
**Praxisgerechte Erzeugung
extrudierter Alleinfuttermittel aus
Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung
und deren Einsatz in nachhaltiger Aufzucht
karnivorer Wirtschaftsfischarten**

- Abschlussbericht –

Projektförderer: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Aktenzeichen: 32041/01

Laufzeit: 04/2015 bis 09/2017

Bewilligungsempfänger: Verein zur Förderung agrar- und
stadtökologischer Projekte e. V. (A.S.P.)

A.S.P.

Dipl.-Ing. Adam Karl Erdös

Dr.-Ing. Nicolas Borchert

Dr.-Ing. Rafael Valbuena

Dipl.-Agraring. Steffi Tschuikowa

Kooperationspartner: Institut für Binnenfischerei e.V. (IfB)

Dr. Andreas Müller-Belecke

Steffen Zienert

Marius Hennicke



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	32041/01	Referat	34	Fördersumme	306.796 €
----	-----------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Praxisgerechte Erzeugung extrudierter Alleinfuttermittel aus Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Einsatz in nachhaltiger Aufzucht karnivorer Wirtschaftsfischarten**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
30 Monate	01.04.2015		

Zwischenberichte	Januar 2017	April 2016	
------------------	-------------	------------	--

Bewilligungsempfänger	Verein zur Förderung agrar- und stadtoökologischer Projekte (A.S.P.) e. V.	Tel	030 / 2093 9061
		Fax	030 / 2093 9065
		Projektleitung	Dipl.-Ing. Adam Karl Erdös
		Bearbeiter	
	Philipppstraße 13, Haus 16 10115 Berlin		

Kooperationspartner Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow (IfB)
Im Königswald 2, 14469 Potsdam

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Nebenprodukte aus der regionalen Süßwasserfischverarbeitung können als Protein- und Fettquelle in der Fischernährung dienen. Eine ökonomisch vertretbare Aufzucht karnivorer Fischarten setzt allerdings den Einsatz pelletierter Trockenfuttermittel voraus. Da ein stark saisonales Auftreten mit zum Teil nur geringen Mengen von Fischnebenprodukten zu verzeichnen ist, müssen für deren Verwertung in Trockenfuttermitteln Strategien zur Konservierung bedacht werden, die eine Sammlung ausreichender Mengen bis zur anschließenden Verarbeitung zu Fischmehl und Trockenfutter erlauben. Neben einer Konservierung durch Tiefgefrieren stellt die Silierung mit Ameisensäure eine zweite, ökologisch ggf. günstigere Konservierungsvariante dar. **Ziel des Projektes** war es, die Markttauglichkeit der Technologien zur Silierung von Fischnebenprodukten aus der Süßwasserfischverarbeitung sowie zur darauf gerichteten Herstellung von Trockenfuttermitteln für karnivore Fischarten aus technischer, ökonomischer, mikrobiologischer und ökologischer Sicht unter Praxisbedingungen zu demonstrieren und so die Bedingungen für die Einführung dieser Technologien in die Praxis zu schaffen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Der **A.S.P.** war für die chemische Silierung und Lagerung von Nebenprodukten der regionalen Süßwasserfischverarbeitung sowie für die Herstellung eines Fischmehls und ökologisch nachhaltiger Trockenfutterextrudate mit den speziellen Anforderungen für die Aufzucht von karnivoren Fischarten jeweils im Praxismaßstab verantwortlich. In der ersten Phase (**Arbeitspakete 1, 2 & 3**) des Projektes wurden nach Silierversuchen größere Mengen Silage aus Schlachtnebenprodukten aus der Verarbeitung des afrikanischen Raubwelses hergestellt und anschließend auf einer Betriebs- bzw. Pilotanlage die Mehl- bzw. Trockenfutterherstellung erprobt. Die zweite Phase (**Arbeitspakete 5, 6 & 7**) verkörperte, nach erfolgter Optimierung der Mehlherstellungsverfahren und der Rezeptur, die Produktion im Großmaßstab.

Die Aufgabe des Kooperationspartners **IfB** bestand darin (**Arbeitspakete 4 & 8**), die vom A.S.P. bereitgestellten Alleinfuttermittel mit Fischmehl aus silierten Nebenprodukten der Fischverarbeitung in einer Fütterungsstudie im halbtechnischen Maßstab an Zandern (*Sander lucioperca*) und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) im Vergleich zu einem konventionellen Alleinfuttermittel hinsichtlich Futteraufwand, Wachstumsleistung, Emissionen und Produktqualität zu testen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Fischsilage konnte mithilfe 85%iger Ameisensäure, in Anteilen von 4 %, realisiert werden. Bei pH 4 wird das Wachstum von Mikroorganismen zuverlässig unterbunden, und die Fischsilage ist über längere Zeit (>6 Monate) bei Raumtemperatur lagerfähig. Eine Virenaktivität liegt bereits nach 7 Tagen Lagerung der Fischsilage nicht mehr vor. Bei einer Nutzung zur Fischfutterherstellung wird das Risiko einer möglichen Ansteckung gefütterter Fische durch Viren als sehr gering eingeschätzt.

Aufgrund von prozesstechnischen Parametern bestand der Rohstoff für das Fischsilagemehl zu 50 % aus Fischsilage und zu 50 % aus frischen Fischnebenprodukten. Das durch Scheibentrocknung gewonnene Fischsilagemehl besaß einen Trockensubstanzgehalt von ca. 92 %, einen Proteinanteil von ca. 54 %, einen Fettanteil von ca. 10 % und einen Ascheanteil von ca. 27 %. Mikrobiologisch ist das Fischsilagemehl nicht zu beanstanden. Das biogene Amin Histamin war in den produzierten Fischsilagemehlen analytisch kaum nachweisbar. Das Aminosäurespektrum des Fischsilagemehls wies alle für die Fischernährung notwendigen Aminosäuren auf. Die 12 essentiellen Aminosäuren waren vorhanden.

Das Fischsilagemehl hat sehr ähnliche Eigenschaften eines herkömmlichen Fischmehles, daher gab es bei der Extrusion zur Trockenfutterherstellung keine besonderen Vorkommnisse. In der Fischfutterrezeptur betrug der Anteil an Fischsilagemehl ca. 50 %. Die angestrebten Protein- und Fettgehalte (50 % ± 2 %, 18 % ± 2 %) konnten erzielt werden. Das neue Fischtrockenfutter aus Fischnebenprodukten (Nepro3) wies keine mikrobiologische Auffälligkeiten auf. Beim Einsatz von Antioxidantien befand sich die Anisidinzahl (Maß für den Gehalt an Aldehyden bzw. Maß für die Fettranzigkeit) im normalen Bereich.

Bei der Verwertung von Fischsilagemehl im Futtermittel konnten fischartspezifische Unterschiede festgestellt werden. Nach Verfütterung von optimierten Alleinfuttermitteln mit Fischsilagemehlanteil wurden bei Regenbogenforellen Wachstumsleistungen und Futtermittelnutzungen erzielt, die den Leistungen des als Kontrollstandard eingesetzten Industriefuttermittels ebenbürtig waren. Die an Zandern erzielten Ergebnisse verweisen darauf, dass diese hinsichtlich der Palatabilität ungewöhnlich sensible Fischart Probleme bei der Verwertung von Futtermitteln mit Fischsilagemehl aus Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung aufweist.

Das eingesetzte Futtermittel mit Fischsilagemehl hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung der Forellen, führte jedoch über erhöhte Rot- und Gelb-Anteile zu einer intensiveren Färbung von Filets und Lebern. Fischsilagemehl im Futtermittel kann zu einer leichten aber merklichen Beeinflussung sensorischer Parameter führen. Mögliche Einbußen in sensorischen Qualitätsparametern lassen sich jedoch durch die Vorschaltung einer Hälterphase vor Schlachtung verringern bzw. ausschalten.

Ergaben sich beim Nährstoff Stickstoff noch recht einheitliche Emissionen, so kam es beim Futtermittel mit Fischsilagemehlanteil aufgrund seines erhöhten Phosphoranteils (3,28 % versus 1,45 %) zu einer gegenüber dem industriellen Kontrollfutter 2,8-fach erhöhten Phosphor-Emission. Es bestehen jedoch, insbesondere für Haltungssysteme mit intensiver Wassernutzung, inzwischen Möglichkeiten einer gezielten Reduzierung von P-Emissionen und damit Chancen zur Kompensation eines erhöhten P-Eintrages durch Fischsilagemehl beinhaltende Futtermittel.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projekts wurden im Rahmen der folgenden Veranstaltungen vorgestellt:

- Konservierung von Schlachtresten aus der Fischverarbeitung als Rohstoff für die Fischmehlerzeugung. Fortbildungsveranstaltung - Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow. Seddiner See, 14. September 2017
- Fischfilet...und der Rest? - Über die dezentrale Fermentation zum nachhaltigen Futter für die Fischzucht. Innovationstag Ernährungswirtschaft Berlin Brandenburg 2017, Berlin, 12. September 2017

Fazit

Silierte Fischnebenprodukte der Süßwasserfischverarbeitung sind ein geeigneter Rohstoff für die Herstellung von Fischmehl und Fischtrockenfutter. Die durchgeführte Fütterungsstudie offenbarte fischartspezifische Unterschiede bei der Verwertung von Fischsilagemehl im Futtermittel. Regenbogenforellen konnten im Gegensatz zu den Zandern dieses Futter sehr gut verwerten. Die Nutzung der Fischnebenprodukte zur Fischfutterherstellung ist ökologisch sinnvoll und leistet einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft, regionalen Entwicklung und Kostensenkung in der Aquakultur.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	3
1 Zusammenfassung	12
2 Hintergrund	15
3 Wissenschaftlicher und technischer Stand der Forschung	17
4 Zielsetzung des Projektes, Arbeitsschritte und angewandte Methoden	19
5 Ergebnisse und Diskussion	22
5.1 Untersuchungen und Herstellung der Fischsilage (AP 1 & 5)	22
5.1.1 Herstellung der Silage im Praxismaßstab	22
5.1.2 Chemische und mikrobiologische Parameter der Fischsilage	23
5.1.3 Virologische Untersuchung der Fischsilage	24
5.1.3.1 Widerstandsfähigkeit von Viren gegenüber den Silierbedingungen	24
5.1.3.2 Widerstandsfähigkeit von Viren gegenüber Hitzeeinwirkung	26
5.2 Untersuchungen und Herstellung von Fischsilagemehl und –öl (AP 2 & 6) ..	29
5.2.1 Herstellung von Fischmehl und –öl aus Fischsilage.....	29
5.2.2 Chemische und mikrobiologische Parameter von Fischmehl und -öl	30
5.3 Herstellung von Fischfutterextrudaten (AP 3 & 7)	33
5.3.1 Im Labormaßstab (AP 3)	33
5.3.2 Im Industriemaßstab (AP 7).....	34
5.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung der Fischfutterherstellung aus Fischsilagemehl (AP 9)	37
5.5 Fütterungsstudien an Zandern und Regenbogenforellen (AP 4 & 8)	43
5.5.1 Zu vergleichende Futtermittelformulierungen.....	43
5.5.2 Testfische	44
5.5.3 Haltungseinrichtungen	45
5.5.4 Durchführung der Fütterungsvergleiche, Parametererfassung	48
5.5.5 Statistische Datenauswertung	52
5.5.6 Erste Fütterungsstudie (AP 4).....	53
5.5.6.1 Regenbogenforellen.....	53
5.5.6.2 Zander	57
5.5.6.3 Auswertung der ersten Fütterungsstudie	61
5.5.7 Zweite Fütterungsstudie (AP 8).....	62
5.5.7.1 Regenbogenforellen.....	62
5.5.7.2 Zander	74
5.5.7.3 Nährstoffeintragspotenzial des Nepro 3-Futtermittels.....	78
5.5.7.4 Auswertung der zweiten Fütterungsstudie	81
6 Öffentlichkeitsarbeit	83
7 Fazit	84
7.1 Herstellung der Fischsilage, des Fischmehls und der Fischfutterextrudate ..	84
7.2 Einsatz von Fischsilagemehl in Trockenfuttermitteln für Fische	85
8 Verwendete Literatur	87

9 **Anhang** **90**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozessschema der Silierung von Fischnebenprodukten	22
Abbildung 2: Verfahrensschema zur Herstellung des Fischmehls aus Fischsilage und frischen Fischnebenprodukten	29
Abbildung 3: Bühler Doppelwellenextruder mit einem Wellendurchmesser von 93 mm (Quelle: Gründleinsmühle)	35
Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der Fischfutterpelletproduktion aus Fischmehl, inklusive der Massenbilanz für 1 Tonne Fischfutterpellets. Links ist die Mehlerstellung aus silierten Fischnebenprodukten (in Schwarz) und rechts aus nicht silierten Fischnebenprodukten (in Rot).....	39
Abbildung 5: Transport von Regenbogenforellensetzlingen und Einzelfischwiegung vor Besatz.....	44
Abbildung 6: Zander unterschiedlicher Entwicklungsstadien während der Aufzucht am IfB	45
Abbildung 7: Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Regenbogenforellen eingesetzten IfB-Kreislaufsystems.....	46
Abbildung 8: Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Zandern eingesetzten IfB-Kreislaufsystems	47
Abbildung 9: Netzgehegeanlage des IfB.....	48
Abbildung 10: Grammgenaue Einwaage täglicher Futterrationen.....	49
Abbildung 11: Erfassung von Schlachtkörperparametern	51
Abbildung 12: Durchführung einer paarweisen Vergleichsprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 5495	52
Abbildung 13: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltungsbecken im Verlauf der drei Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 4; Regenbogenforellen im Kreislaufsystem)	56
Abbildung 14: Coating von Nepro-Futtermitteln mit Aromaölen zur Erhöhung deren Akzeptanz durch Zander	60
Abbildung 15: Zander im Haltungsbecken nach Verabreichung gecoateter Nepro-Futtermittel.....	60
Abbildung 16: Futterpellets nach Aufbringung antioxidativer Präpatrate	61
Abbildung 17: Industrielles Kontrollfuttermittel (links), Futtermittel Nepro 1 (Mitte) und Nepro 2 (rechts), Pelletdurchmesser ca. 6 mm	62
Abbildung 18: Haltungsbecken des eingesetzten IfB-Kreislaufsystems mit Regenbogenforellen während der Fütterungsstudie im Rahmen von AP 8.....	63
Abbildung 19: Abbildung 19: Optischer Eindruck der verglichenen Futtermittel Nepro 3 (links) und des industriell hergestellten Kontrollfuttermittels (rechts).....	65
Abbildung 20: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltungsbecken im Verlauf der vier Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Regenbogenforellen im Kreislaufsystem)	67
Abbildung 21: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Netzgehegen im Verlauf der sechs Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Regenbogenforellen in Netzgehegen).....	69

Abbildung 22: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltebecken im Verlauf der zwei Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Zander im Kreislaufsystem).....77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mikrobiologische Parameter von thermisch unbehandelter Fischsilage aus Welsnebenprodukten aus AP 1	23
Tabelle 2:	Mikrobiologische Parameter von thermisch unbehandelter Fischsilage aus Welsnebenprodukten aus AP 5	24
Tabelle 3:	Chemisch-analytische Parameter des erzeugten Fischsilagemehls aus AP 2 und seiner Vorstufen; Werte in Klammern sind für das Fischsilagemehl aus AP 6. NfE sind die stickstofffreien Extraktstoffe.....	30
Tabelle 4:	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischmehls aus AP 2	30
Tabelle 5:	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischmehls aus AP 6	31
Tabelle 6:	Fettsäurespektrum des abgetrennten Öles aus der Fischsilage basierend auf Afrikanischen Raubwels	31
Tabelle 7:	Vergleich der Aminosäuregehalte des Fischsilagemehls aus AP 6 und des Fishmehls 60 aus EU FP 7 Projekt ARRAINA. Essentielle AS sind gelb markiert.	32
Tabelle 8:	Rezepturen der Futtermittelvarianten aus AP 3	33
Tabelle 9:	Aminosäurespektrum der erzeugten Futtermittel; essentielle AS für die Fischzucht sind gelb markiert	34
Tabelle 10:	Rezepturen der Futtermittelvariante aus AP 7	35
Tabelle 11:	Inhaltsstoffe von Nepro 3 sowie der beiden Kontrollfutter der Fütterungsversuche aus AP 8.....	36
Tabelle 12:	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischfutters aus AP 7.	36
Tabelle 13:	Grobkalkulation der Entstehungskosten von 1 t Silage (bezogen auf 15 t Silage pro Jahr)	38
Tabelle 14:	Kostenberechnung der Silierung von Fischnebenprodukten zur Fischmehlherstellung	41
Tabelle 15:	Kostenberechnung für Nicht-Silierte-Fischnebenprodukte zur Fischmehlherstellung	42
Tabelle 16:	Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 4 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter.....	54
Tabelle 17:	Wachstumsleistung und Fütterungsparameter bei der Regenbogenforelle (Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 4).....	55
Tabelle 18:	Erfasste Schlachtkörperparameter nach Futtergruppen (20 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (10 Individuen pro Beckenwiederholung)).....	57
Tabelle 19:	Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Zandern im Rahmen von AP 4 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter	58
Tabelle 20:	Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Zander (erster Fütterungsabschnitt, Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 4).....	59
Tabelle 21:	Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 8 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter.....	63

Tabelle 22:	Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 8 in Netzgehegen im Sacrower See dokumentierten Haltungswasserparameter.....	64
Tabelle 23:	Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich an der Regenbogenforelle im Kreislaufsystem (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum).	65
Tabelle 24:	Durchschnittliche Stückmassen innerhalb Futtergruppen zum Beginn jedes Versuchsabschnitts bei der Regenbogenforelle (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, Regenbogenforellen im Kreislaufsystem).	66
Tabelle 25:	Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich an der Regenbogenforelle in Netzgehegen (Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum)	68
Tabelle 26:	Unterschiede in Schlachtkörperparametern zwischen Futtergruppen bei im Kreislaufsystem gehaltenen Regenbogenforellen (AP 8, 39 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (3x13)).	71
Tabelle 27:	Unterschiede in Schlachtkörperparametern zwischen Futtergruppen bei in Netzgehegen gehaltenen Regenbogenforellen (AP 8, 40 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (2x20))......	72
Tabelle 28:	Paarweise Vergleichsprüfung sensorischer Parameter in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 an Filets von mit Kontroll- und Nepro 3-Futtermittel im Kreislaufsystem versorgten Regenbogenforellen.....	73
Tabelle 29:	Paarweise Vergleichsprüfung sensorischer Parameter in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 an Filets von mit Kontroll- und Nepro 3-Futtermittel im Netzgehege versorgten Regenbogenforellen	73
Tabelle 30:	Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Zandern im Rahmen von AP 8 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter.....	75
Tabelle 31:	Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich am Zander im Kreislaufsystem (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum bis zum vorzeitigen Abbruch).....	76
Tabelle 32:	Analyse des massebezogenen Stickstoffgehaltes (nach Kjeldahl) und Phosphorgehaltes (Mikrowellenaufschluss, ICP-OES) des Futtermittels Nepro 3 im Vergleich zum eingesetzten Kontrollfuttermittel (Mittelwerte aus 2 bis 3 Doppelbestimmungen)	79
Tabelle 33:	Massebezogene Zusammensetzung des für Nepro 3 eingesetzten Fischsilagemehls (eigene Bestimmung) im Vergleich zu handelsüblichen Fischmehlen unterschiedlicher Qualitäten (Tacon et al. 2009).....	80

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AnZ	Anisidinzahl
AP	Arbeitspaket
AS	Aminosäure
DNA	Desoxyribonukleinsäure
FNP	Fischnebenprodukte
FQ	Futterquotient
g	Gramm
h	Stunde
IHN	Infektiöse hämatopoetische Nekrose
ISA	Infectious Salmon Anemia (Infektiöse Anämie der Lachse)
KbE	Koloniebildende Einheiten
Kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
L	Liter
m	Meter
mg	Milligramm
min	Minuten
mm	Millimeter
N	Stickstoff
Nepro	Fischtrockenfutter hergestellt aus Fischnebenprodukten
NfE	stickstofffreie Extraktstoffe
P	Phosphor
PCR	Polymerase-Kettenreaktion
POZ	Peroxidzahl
ppm	parts per million
qPCR	quantitative Polymerase-Kettenreaktion
RNA	Ribonukleinsäure
RT	Raumtemperatur
s	Sekunden
SGR	Spezifische Wachstumsrate (% pro Tag)
SVC	Frühlingsvirämie der Karpfen
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
VHS	Virale hämorrhagische Septikämie
°C	Grad Celcius
% (w/w)	Massenprozent
‰	Promille

1 Zusammenfassung

Die Aufgabe des **A.S.P.** bestand darin, zusammen mit Praxisbetrieben Fischnebenprodukte (FNP) der regionalen Süßwasserfischverarbeitung mit Ameisensäure zu silieren und auf der Basis der Fischsilage Fischmehl und ökologisch nachhaltige Trockenfutterextrudate für die Aufzucht von karnivoren Fischarten zu entwickeln und herzustellen. Weiterhin wurden die Technologien zur Herstellung dieser Produkte (Fischsilage, Fischsilagemehl und Trockenfischfutter) aus technischer, ökonomischer und mikrobiologischer Sicht unter Praxisbedingungen bewertet und deren Vorzüge dargelegt.

Die Aufgabe des Kooperationspartners **IfB** bestand darin, die vom A.S.P. entwickelten und bereitgestellten Alleinfuttermittel mit Fischmehl aus silierten Nebenprodukten der Fischverarbeitung in Fütterungsstudien im halbtechnischen Maßstab an Zandern (*Sander lucioperca*) und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) im Vergleich zu einem konventionellen Alleinfuttermittel zu testen. Wachstumsleistung, Futtermittelverwertung, Schlachtkörpermerkmale und sensorische Parameter wurden in den Vergleichsgruppen ermittelt. Auf Basis der erzielten Fütterungsdaten erfolgten die Bilanzierung des Nährstoffausnutzungspotenzials für Stickstoff und Phosphor sowie eine ökonomische Betrachtung der verglichenen Futtermittel.

Fischsilage

Die Fischsilage konnte mithilfe 85%iger Ameisensäure, in Anteilen von 4 %, realisiert werden. Bei pH 4 wird das Wachstum von Mikroorganismen (aerobe mesophile Keime, Enterobacteriaceae, Clostridium perfringens, Hefen, Schimmelpilze, Salmonellen) zuverlässig unterbunden, und die Fischsilage ist über längere Zeit (>6 Monate) bei Raumtemperatur lagerfähig. Eine Virenaktivität liegt bereits nach 7 Tagen Lagerung der Fischsilage nicht mehr vor. Die Silierung ist auch mit einem Abbau von Virenerbmaterial (RNA / DNA) gekoppelt. Nach einer Silagelagerung von 84 Tagen ist Virenerbmaterial nur noch in einigen Proben nachweisbar. Bei einer anschließenden 1:1 Mischung mit frischen FNP und einer Wärmebehandlung, wie auch in der Praxis bei der Fischmehl- und Trockenfutterherstellung erfolgt, wird noch vorhandenes Virenerbmaterial um 96 % weiter abgebaut. Bei einer Nutzung der Fischsilage zur Fischfutterherstellung wird das Risiko einer möglichen Ansteckung gefütterter Fische durch Viren als sehr gering eingeschätzt.

Fischsilagemehl

Aufgrund von prozesstechnischen Parametern bestand der Rohstoff für das Fischsilagemehl zu 50 % aus Fischsilage und zu 50 % aus frischen FNP. Das durch Scheibentrocknung gewonnene Fischsilagemehl besaß einen Trockensubstanzgehalt von ca. 92 %, einen Proteinanteil von ca. 54 %, einen Fettanteil von ca. 10 % und einen Ascheanteil von ca. 27 %. Mikrobiologisch ist das Fischsilagemehl nicht zu beanstanden. Das biogene Amin Histamin, das bei der bakteriellen Zersetzung der Fischproteine (Verrottung) entsteht und als Marker für den Frischegrad der eingesetzten Rohstoffe zur Fischmehlherstellung dient, ist in den produzierten Fischsilagemehlen analytisch kaum nachweisbar. Das Aminosäurespektrum des Fischsilagemehls wies alle für die Fischernährung notwendigen Aminosäuren (AS) auf. Die 12 essentiellen AS (Arginin, Cystein, Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan, Tyrosin und Valin) sind vorhanden.

Fischfutterextrudate

Das Fischsilagemehl hat sehr ähnliche Eigenschaften eines herkömmlichen Fischmehles, daher gab es bei der Extrusion zur Trockenfutterherstellung in der Firma „Gründleismühle keine besonderen Vorkommnisse. Die angestrebten Protein- und Fettgehalte konnten erzielt werden. Das neu entwickelte Fischtrockenfutter aus Fischnebenprodukten (Nepro 3) wies keine mikrobiologischen Auffälligkeiten auf. Beim Einsatz von Antioxidantien befand sich die Anisidinzahl (Maß für den Gehalt an Aldehyden bzw. Maß für die Fettranzigkeit) im normalen Bereich.

Wirtschaftlichkeit der Fischsilage-, Fischsilagemehl- und Trockenfutterherstellung

Im Rahmen des Vorhabens sind unter nicht optimierten Bedingungen bei der Silierung Mehrkosten von ca. 116 € pro Tonne FNP im Vergleich zu einer einfachen Kühlagerung entstanden. Aufgrund der Einsparung von Entsorgungskosten (im Wert von durchschnittlich 60 €/t) kann die Silierung, trotz eintretender Produktionskosten, bei entsprechender Nutzung des Silierproduktes und Erzielung angemessener Preise eine zusätzliche Einnahmequelle für die Verarbeitungsbetriebe darstellen. Bei derzeitigen Fischmehl-Produktionskosten von ca. 450 €/t (ohne Einbeziehung der Rohstoffkosten) und einem Weltmarktpreis von ca. 1800 €/t Fischmehl sind Silagepreise erzielbar, die eine wirtschaftliche Silageerzeugung garantieren.

Bei Mischung der silierten FNP mit frischen FNP sind die Produktionskosten zur Fischmehlherstellung analog den Kosten der konventionellen Fischmehlherstellung. Abgesehen von zugesetzten Antioxidationsmitteln sind bei der Herstellung des Trockenfutters auch keine zusätzlichen Kosten im Vergleich zur konventionellen Trockenfutterherstellung entstanden.

In Zusammenhang mit der Verwertung der FNP aus der Schlachtung von Süßwasserfisch treten weiterhin wirtschaftlich-ökologische Effekte, die nicht direkt quantifiziert werden können, auf. Dazu gehören Beiträge zur Reduzierung der Überfischung der Weltmeere, zur Kreislaufwirtschaft, zur regionalen Entwicklung und zu einer nachhaltigen Aquakulturproduktion.

Fütterungsstudie

Bei der Verwertung von Fischsilagemehl im Futtermittel konnten große fischartspezifische Unterschiede festgestellt werden. Nach Verfütterung von optimierten Alleinfuttermitteln mit Fischsilagemehlanteil wurden bei Regenbogenforellen Wachstumsleistungen und Futtermittelverwertungen erzielt, die den Leistungen des als Kontrollstandard eingesetzten Industriefuttermittels ebenbürtig waren. Die an Zandern erzielten Ergebnisse verweisen darauf, dass diese hinsichtlich der Palatabilität ungewöhnlich sensible Fischart Probleme bei der Verwertung von Futtermitteln mit Fischsilagemehl aus Nebenprodukten der Fischverarbeitung aufweist.

Das eingesetzte Futtermittel mit Fischsilagemehl hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung, führte jedoch über erhöhte Rot- und Gelb-Anteile zu einer intensiveren Färbung von Filets und Lebern. Fischsilagemehl im Futtermittel kann zu einer leichten aber merklichen Beeinflussung sensorischer Parameter führen. So wurde bei verköstigten Filets sowohl der Geruch, die Farbe als auch der Geschmack ausgeprägter als bei den Filets der Kontrollgruppe ohne Fischsilagemehl bewertet. Die sensorische Produktqualität

wurde durch den Einsatz des Fischsilagemehls nicht verbessert. Mögliche Einbußen in sensorischen Qualitätsparametern lassen sich jedoch durch die Vorschaltung einer Hälterphase vor Schlachtung verringern, bzw. ausschalten.

Ergaben sich beim Nährstoff Stickstoff noch recht einheitliche Emissionen, so kam es beim Futtermittel mit Fischsilagemehlanteil aufgrund seines erhöhten Phosphoranteils (3,28 % versus 1,45 %) zu einer gegenüber dem industriellen Kontrollfutter 2,8-fach erhöhten Phosphor-Emission. Es bestehen jedoch, insbesondere für Haltungssysteme mit intensiver Wassernutzung, inzwischen Möglichkeiten einer gezielten Reduzierung von P-Emissionen und damit Chancen zur Kompensation eines erhöhten P-Eintrages durch Fischsilagemehl beinhaltende Futtermittel. Futtermittel mit Fischsilagemehlanteil sollten aus Nachhaltigkeitsgründen vornehmlich in Fischhaltungseinrichtungen eingesetzt werden, die über eine leistungsfähige mechanische Aufbereitungsstufe zur Entnahme partikulärer Substanzen und damit Phosphor aus dem Ablaufwasserstrom verfügen. Bei Einsatz von Fischsilagemehl in Futtermittelrezepturen empfiehlt sich zudem die gleichzeitige Einbindung von Faeces stabilisierenden Substanzen wie Guar gum.

Der Einsatz von Trockenfutter aus Fischsilagemehl und sonst konventionellen Futterbestandteilen sollte zu keinen wesentlich erhöhten Futterkosten beitragen. Bei der Entwicklung einer Infrastruktur für Fischsilageerzeugung und deren Verwertung zu Fischsilagemehl sollte das Potenzial einer entsprechenden Mitverwertung von nicht als Speise- oder Satzfish absetzbaren Cypriniden-Beifängen aus der Binnenfischerei berücksichtigt werden.

2 Hintergrund

In einer im Dezember 2012 abgeschlossenen, vom Verein zur Förderung agrar- und stadt-ökologischer Projekte e. V. (A.S.P.) in Kooperation mit dem Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (IfB) und der Teichwirtschaft Lohsa durchgeführten, DBU-geförderten “Konzeptstudie zur Erzeugung von Trockenfuttermitteln aus konservierten Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Verwertung durch karnivore Wirtschaftsfischarten“ (Az: 28114) konnte die Machbarkeit der chemischen und der biologischen Silierung von Fischnebenprodukten aus der Süßwasserfischverarbeitung nachgewiesen werden. Die verwerteten Fischnebenprodukte (FNP) enthielten im Durchschnitt ca. 38 % Trockensubstanz, 19 % Rohfett und 14 % Rohprotein. Über beide Silierverfahren war eine Lagerung der FNP bei Raumtemperatur über mehrere Monate möglich.

Eine überschlägige Kostenschätzung ließ das Silieren als ökonomisch tragfähig erscheinen. Nach einer vom Öko-Institut e.V. durchgeführten, orientierenden Ökobilanzierung der Silierung von FNP verursacht die chemische Silierung (ohne Wärmebehandlung) im Vergleich zur biologischen Silierung (mit Wärmebehandlung) und insbesondere zur Tiefkühlagerung die geringsten Mengen an Treibhausgasemissionen.

Des Weiteren wurden qualitätsbestimmende Parameter des Fischöls sowie Möglichkeiten seiner Abtrennung aus der Silage untersucht. Aus den silierten FNP konnten Öle mit einem Abtrennungsgrad bis zu 73,3 % gewonnen werden. Die Öle der silierten Proben waren bei Ergreifung oxidationsstabilisierender Maßnahmen von sehr guter Qualität. Der hohe Anteil an ungesättigten Fettsäuren zeigte, dass die Öle aus ernährungsphysiologischer Sicht sehr wertvoll waren.

Unter Beimengung flüssigkeitsbindender Komponenten waren aus der Silage Trockenfuttermittel für Forelle und Zander im kleinen Maßstab herzustellen. Die hergestellten Futterpellets hatten weitgehend die Komposition von konventionellen Futterpellets. Palatabilitätsversuche zeigten, dass die neuen Futtermittel eine interessante Möglichkeit darstellten, konventionelle Futtermittel in der Forellenerzeugung zu ersetzen oder zu supplementieren. Nunmehr war es erforderlich, die Silage in einer weiterverarbeitbaren und markttauglichen Form darstellen zu können. Ebenso war die Technologie zur Herstellung von professionellen, maßgeschneiderten und an die Komplexität der Zanderaufzucht angepassten Futterextrudaten zu entwickeln.

Zur besseren Beurteilung der Machbarkeit der Verfahren wurden im Rahmen der Konzeptstudie auch nicht standardisierte Experteninterviews in repräsentativ ausgewählten Aquakulturbetrieben, Futtermittelwerken sowie in einem Fischmehlwerk durchgeführt. Bei der deutschlandweiten Befragung war die große Mehrheit der beteiligten Aquakulturbetriebe an der Verwertung der Fischnebenprodukte stark interessiert, schätzte die vorgestellte Silierungstechnologie als praktikabel ein und war zur chemischen Silierung der Fischnebenprodukte im eigenen Unternehmen bereit.

Über die abgeschlossene Konzeptstudie konnten somit ein großes Interesse und Potenzial einer zukünftigen Verwertung von Fischnebenprodukten aus der Süßwasserfischverarbeitung in pelletierten Alleinfuttermitteln für karnivore Fischarten in Deutschland nachgewiesen werden. Eine praxisgerechte Erzeugung von Fischfuttermitteln aus silierten FNP, die Bilanzierung der Gesteungskosten, der Ausschluss einer Keimbelastung sowie eine weitergehende Überprüfung der aus Silage hergestellten Futtermittel hinsichtlich erzielbarer Aufzuchtleistungen und Produktqualitäten stellten auf dem Weg zu einer Anwendung in der Praxis die nächsten wichtigen Schritte dar.

Die Schaffung einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft gehört zum Gestaltungspotenzial ländlicher Räume im Einklang mit der Nutzung nachwachsender Rohstoffe (z.B. Binnenfischerei). Folgende Fragestellung sollte über dieses neue Forschungsvorhaben geklärt werden: Können Trockenfuttermittel, in welchen Nebenprodukte aus der Süßwasserfischverarbeitung Verwertung finden, ökologisch und ökonomisch sinnvoll für die nachhaltige Aufzucht der karnivoren Fischarten Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) und Zander (*Sander lucioperca*) eingesetzt werden?

Diese Fragestellung implementierte folgende Teilaspekte:

- a) Mit welchem Aufwand und welcher Technologie lassen sich Nebenprodukte aus der Süßwasserfischverarbeitung mittels einer chemischen Silierung konservieren?
- b) Mit welchem Aufwand und welcher Technologie lassen sich aus silierten FNP verarbeitungstaugliche Fischmehle herstellen und zu für Zander bzw. Regenbogenforellen geeigneten Trockenfuttermitteln verarbeiten?
- c) Wie bewähren sich die neu zu entwickelnden Futtermittel in praktischen Fütterungsversuchen an Regenbogenforellen und Zandern im Vergleich zu marktüblichen Trockenfuttermitteln für diese Arten?
- d) Wird die Qualität der mit den neu zu entwickelnden Trockenfuttermitteln aufgezogenen Fische beeinflusst?
- e) In welchen Dimensionen werden Stickstoff und Phosphor aus den neu zu entwickelnden Trockenfuttermitteln im Vergleich zu handelsüblichen Futtermitteln in den Fischen retiniert / an das Haltungswasser abgegeben?
- f) Ist der Einsatz der neu zu entwickelnden Futtermittel für die Aufzucht von Regenbogenforellen und Zandern unter den gegebenen Rahmenbedingungen ökologisch ein Gewinn und nachhaltig?

3 Wissenschaftlicher und technischer Stand der Forschung

Eine ökonomisch vertretbare Aufzucht karnivorer Fischarten setzt den Einsatz pelletierter Trockenfuttermittel voraus, die gegenüber Feuchtfuttermitteln und Futterfischen stets verfügbar und problemlos lagerfähig sind. Der Einsatz von Feuchtfuttermitteln verbietet sich weiterhin aufgrund ihres erheblichen Wasserbelastungspotenzials auch aus ökologischer Sicht (Schreckenbach 2000).

Marktübliche Trockenfuttermittel für karnivore Wirtschaftsfischarten weisen Rohproteingehalte um 45 % und Rohfettgehalte um 20 % auf. Bis zu einem gewissen Grad können in Futtermitteln für karnivore Fischarten pflanzliche Fette und Eiweiße ohne negative Einflüsse auf Wachstumsvermögen, Gesundheitszustand und Produktqualität eingesetzt werden. Auf tierische Futterbestandteile, insbesondere auf Fischmehl und Fischöl kann derzeit bei karnivoren Fischarten jedoch noch nicht verzichtet werden. Fischöl stellt dabei die in der Trockenfuttermittelherstellung für aquatische Organismen mit Abstand am stärksten limitierende Rohstoffkomponente dar (Jackson 2009). Aus ökologischer und ökonomischer Sicht sollten alle Bestrebungen dahin gehen, Fischöl- und Fischprotein beinhaltende Nebenprodukte aus der eigenen Verarbeitung als wertvolle Rohstoffkomponenten der Trockenfuttermittelherstellung zuzuführen.

Bei der Verarbeitung von Süßwasserfischen fallen Fischnebenprodukte (FNP) in Höhe von 10 bis 55 % der Fischbiomasse an. Diese sind reich an Eiweißen mit günstigen Proteinmustern und an Fischölen mit ernährungsphysiologisch wichtigen Omega-*n*-Fettsäuren. Bei einer Jahreserzeugung der Süßwasseraquakultur in Deutschland von etwa 21.000 t (Brämick 2016) kann es dabei um erhebliche Stoffströme gehen. In den deutschen verarbeitenden Unternehmen erfolgt bislang häufig die kostenpflichtige Entsorgung (thermische Verwertung) der FNP aus der Süßwasserfischverarbeitung über eine Fremdfirma.

Der Umgang mit Fischnebenprodukten, darunter ihre Entsorgung und Verarbeitung, wird in den Verordnungen (EU) 1069/2009 und 142/2011 geregelt. Sie teilen tierische Nebenprodukte entsprechend ihrer Herkunft, Beschaffenheit bzw. ihres Gefährdungspotenzials in 3 Kategorien ein und legen Maßnahmen zum Umgang fest. Hierin werden bei der Verarbeitung von Fisch anfallende frische Nebenprodukte aus Betrieben, die Fischerzeugnisse für den menschlichen Verzehr herstellen, der Kategorie 3 zugeordnet. Ihnen stehen damit zusätzlich zur Verbrennung unter anderem die Erstellung von Fischmehlen, -ölen und Silagen als zulassungspflichtige Verwertungswege offen.

Da bei der Süßwasserfischverarbeitung ein stark saisonales Auftreten von Fischnebenprodukten zu verzeichnen ist, müssen für deren Verwertung in Trockenfuttermitteln für Fische Strategien zur Konservierung bedacht werden. Neben einer Konservierung durch Tiefgefrieren und der nach Auflauf ausreichender Mengen anschließenden Verarbeitung zu Fischmehl, welches in die Fischfuttermittel eingearbeitet werden kann, stellt die Silierung eine zweite, ökologisch ggf. günstigere Konservierungsvariante dar.

Die Silierung von Fischnebenprodukten kann chemisch oder biologisch erfolgen. Ziel der Silierung ist eine Konservierung der organischen Stoffe unter sauren, anaeroben Bedingungen. Der Silierprozess kann 1 bis 10 Tage dauern (IASP 2006). Das Endprodukt ist dann bei Raumtemperatur mindestens ein halbes Jahr haltbar (IASP 2012). Auch ohne Kühlkapazität und Kühlenergieeinsatz hätten Verarbeitungsbetriebe somit die Möglichkeit der Sammlung und Lagerung von Fischnebenprodukten bis zur zentralen Abholung und Verarbeitung.

Es konnte gezeigt werden, dass die Silage zur Herstellung verfütterungstauglicher und palatabiler Pellets geeignet ist (IASP 2012). Um jedoch einen vollständigen Grad der Substitution des konventionellen Fischmehls im Futtermuster und eine in der Industrie weiterverarbeitba-

re und somit markttaugliche Form der Silage zu erzielen, ist eine geeignete Trocknungstechnologie zu finden. Durch den Silierprozess sind aufgrund der fortgeschrittenen partiellen Hydrolyse des Fischproteins veränderte funktionelle bzw. physikochemische Eigenschaften wie Löslichkeitsverhalten, Schäumungseigenschaften, Emulgierfähigkeit, Wasser- und Ölbindungskapazitäten zu erwarten. Die Technologie zur Herstellung von Futterextrudaten für die Aufzucht karnivorer Fischarten mit dem speziellen Ausgangsmaterial ist daher zu entwickeln.

4 Zielsetzung des Projektes, Arbeitsschritte und angewandte Methoden

Dieses Forschungsvorhaben verfolgte die Entwicklung und Testung von Trockenfutterextrudaten für karnivore Fischarten, in welchen die anfallenden Nebenprodukte aus der regionalen Süßwasserfischverarbeitung nach chemischer Silierung und anschließend, zu entwickelnden adäquaten Trocknungsprozess als Protein- und Fettquelle die Grundlage bildeten. Erhebungen der Parameter zur Einstellung von langsam sinkenden, proteinreichen Futterextrudaten mit geringen Abrasionseigenschaften waren ebenso im Fokus wie die anschließende Technologieüberführung bei einem Industriepartner. Die entwickelten Diäten sollten unter praxisüblichen Haltungsbedingungen beispielhaft an Regenbogenforellen und Zandern getestet werden. Die Regenbogenforelle repräsentiert dabei die mit Abstand bedeutendste karnivore Fischart in der Aquakultur in Deutschland. Der Zander ist eine auch in Deutschland beheimatete karnivore Fischart und gilt als neuer und vielversprechender Kandidat für die Aquakultur. Bereits im frühen Stadium seiner In-Kulturnahme sollte eine nachhaltige Fütterungsstrategie für diese Spezies erarbeitet und etabliert werden.

Bei der Prüfung stand als ökologischer Aspekt die Bilanzierung des N- und P-Austrags der auf silierten FNP basierenden Alleinfuttermittel im Vergleich zum derzeitigen Industriestandard im Vordergrund. Auf Basis der erzielten Aufzuchtleistung war weiterhin das ökonomische Potenzial des FNP-Einsatzes zu bewerten. Mögliche Einflüsse der Futtermittel auf Schlachtkörpermerkmale und Produktqualität der erzeugten Speisefische waren zu erfassen. Zudem sollte die hygienische Sicherheit der entwickelten Trockenfuttermittel, insbesondere hinsichtlich des Übertragungspotenzials viraler Erreger, untersucht werden.

Ziel der Projektaufgaben war es somit, die Markttauglichkeit der Technologien zur Silierung von Fischnebenprodukten aus der Süßwasserfischverarbeitung sowie zu einer darauf gerichteten Herstellung von Trockenfuttermitteln für karnivore Fischarten aus technischer, ökonomischer, mikrobiologischer und ökologischer Sicht unter Praxisbedingungen zu demonstrieren und so die Bedingungen für die Einführung dieser Technologien in die Praxis zu schaffen.

Zusammen mit Praxisbetrieben führte der **A.S.P.** die chemische Silierung und Lagerung von Nebenprodukten der regionalen Süßwasserfischverarbeitung, die Entwicklung einer Methode zur Herstellung eines Fischmehls und ökologisch nachhaltiger Trockenfutterextrudate mit den speziellen Anforderungen für die Aufzucht von karnivoren Fischarten jeweils unter Praxisbedingungen durch. Ferner wurden die Qualität des silierten Materials und daraus gewonnener Öle, der gewonnenen Fischmehle und Trockenfuttermittel untersucht. Darüber hinaus wurde eine Kostenkalkulation der gesamten Herstellungsverfahren durchgeführt. Im Rahmen eines Unterauftrages wurde die Inaktivierungskinetik von wirtschaftlich bedeutenden pathogenen Fischviren der Aquakultur unter Silierbedingungen untersucht. In dem **Arbeitspaket 1 (AP 1)** des Projektes wurden nach Silierversuchen größere Mengen Silage aus Schlachtnebenprodukten aus der Verarbeitung des afrikanischen Raubwelses hergestellt und anschließend, in dem **AP 2**, auf einer Betriebsanlage die Mehlerstellung erprobt. Zwei unterschiedliche Futtermittelrezepturen wurden darauf folgend erstellt und in einer kleinen Pilotanlage extrudiert (**AP 3**). Die zweite Phase (**AP 5, 6 & 7**) verkörpert, nach erfolgter Optimierung der Mehlerstellungsverfahren und der Rezeptur, die Produktion im Großmaßstab. Es erfolgte die Herstellung von Fischfutterpellets in 2 verschiedenen Größen (4 und 6 mm) auf einem industriellen Extruder. Im Rahmen zweier Unteraufträge wurde parallel

die Inaktivierungskinetik von wirtschaftlich bedeutenden pathogenen Fischviren der Aquakultur unter Silierbedingung und Hitzeeinwirkung untersucht. Im Zuge des **AP 9** wurde eine ökonomische Auswertung des gesamten Verfahrens erstellt.

Die Aufgabe des Kooperationspartners **IfB** bestand darin, die vom Kooperationspartner A.S.P. entwickelten und bereitgestellten Alleinfuttermittel mit Fischmehl aus silierten Nebenprodukten der Fischverarbeitung in einer Fütterungsstudie im halbtechnischen Maßstab an Zandern (*Sander lucioperca*) und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) im Vergleich zu einem konventionellen Alleinfuttermittel hinsichtlich Futteraufwand, Wachstumsleistung, Emissionen und Produktqualität zu testen.

Im Rahmen von **AP 4** erfolgte unter praxisnahen Haltungsbedingungen in Kreislaufsystemen im halbtechnischen Maßstab die Verabreichung und Leistungsprüfung von zwei durch den A.S.P. bereitgestellten Versuchsfuttermitteln mit Fischsilagemehl sowie eines Futtermittels nach Industriestandard für einen Zeitraum von 3 Monaten pro Fischart. Während des ersten Fütterungsmonats erfolgte zur Prüfung der Palatabilität die Messung der maximal aufgenommenen täglichen Futterration. In den folgenden zwei Monaten wurden Wachstumsleistung und Futterverwertung bei Verabreichung einer täglichen Futtermenge von etwa 10 % unterhalb der maximal aufgenommenen Ration ermittelt. Zur Bestimmung der Produktqualität wurden zu Versuchsende nach stichprobenartiger Schlachtung der Tiere die Schlachtkörperparameter, Gewicht, Länge, Innereienverfettung und Leberanteil sowie die Leberhelligkeit und -färbung erfasst.

In **AP 8** wurden zur Überprüfung einer auf Basis von AP 4 optimierten Vorzugsvariante eines Trockenfuttermittels mit Fischsilagemehlanteil bei subadulten Tieren Fütterungsuntersuchungen an Regenbogenforellen in Netzgehegen im Praxismaßstab sowie an Regenbogenforellen und Zandern im halbtechnischen Maßstab in geschlossenen Kreislaufsystemen aufgezogen. Die Fütterungsstudien erfolgten wiederum bei praxisüblichen Haltungsbedingungen. Die Parametererfassung erfolgte in Anlehnung an AP 4. Zu Versuchsende wurden weiterhin nach stichprobenartiger Schlachtung die Schlachtkörperparameter, Filetanteil sowie Färbung und Helligkeit von Filet und Leber erfasst. Untersuchungen zur sensorischen Produktqualität wurden durchgeführt. Über die Bilanzierung der über das Futter eingetragenen Mengen an Phosphor sowie Stickstoff und deren Retention im Fisch wurde das Nährstoffeintragungspotenzial der Futtermittel abgeschätzt. Anhand der gewonnenen Daten wurden die getesteten Futtervarianten nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten verglichen.

Inhaltlich lassen sich die Arbeitspakete des Vorhabens in folgende Bausteine einordnen:

1. Baustein 1: **Untersuchungen und Herstellung der Fischsilage (AP 1 & AP 5)**
2. Baustein 2: **Untersuchungen und Herstellung von Fischsilagemehl und -öl (AP 2 & AP 6)**
3. Baustein 3: **Herstellung von Fischfutterextrudaten (AP 3 & AP 7)**
4. Baustein 4: **Wirtschaftlichkeitsberechnung der Fischfutterherstellung aus Fischsilagemehl (AP 9)**
5. Baustein 5: **Fütterungsstudien an Zandern und Regenbogenforellen (AP 4 & AP 8)**

Entlang der Bausteine, beginnend bei Baustein 1, wird das jeweils produzierte Gut weiterverarbeitet, bis es schließlich bei Baustein 5 verfüttert bzw. zur Erzeugung von verzehrbarem Fisch verwertet wird. Sie bauen somit chronologisch aufeinander auf und werden im **Ergebnis- und Diskussionsteil** auch in dieser Reihenfolge beschrieben. Das Projekt bestand aus zwei Phasen der Futtermittelherstellung plus Fütterungsstudie, so dass in jedem Baustein auch die Ergebnisse einer klein- und einer großindustriellen Durchführung dargestellt werden. Eine Ausnahme stellt hier der Baustein 4 dar, welcher sich auf die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Fischfutterherstellung der Bausteine 1-3 bezieht.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Untersuchungen und Herstellung der Fischsilage (AP 1 & 5)

5.1.1 Herstellung der Silage im Praxismaßstab

Die Herstellung der benötigten Mengen an Fischsilage für die Fischmehlproduktion erfolgte beim Unterauftragnehmer, Pommerehne GbR, unter praxistauglichen Bedingungen. Der Prozess ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Es wurden Karkassen, Häute und innere Organe, die beim Filetieren von Afrikanischen Raubwelsen (*Clarias gariepinus*) anfallen, verwendet. Die Entnahme dieser Teile und die Zuführung zum Silierprozess erfolgte unmittelbar nach deren Anfall mittels eines elektrisch betriebenen Fließbandes. Nach Zerkleinerung mit einem Fleischwolf wurde das zerkleinerte Gut in den ersten Behälter (Tagessilo) überführt, wo es mit Ameisensäure automatisch auf $\text{pH} \approx 3,8$ eingestellt wurde. Die Tagesmenge an erzeugter Fischsilage wurde in den zweiten Behälter (Wochensilo) gepumpt und gelagert.

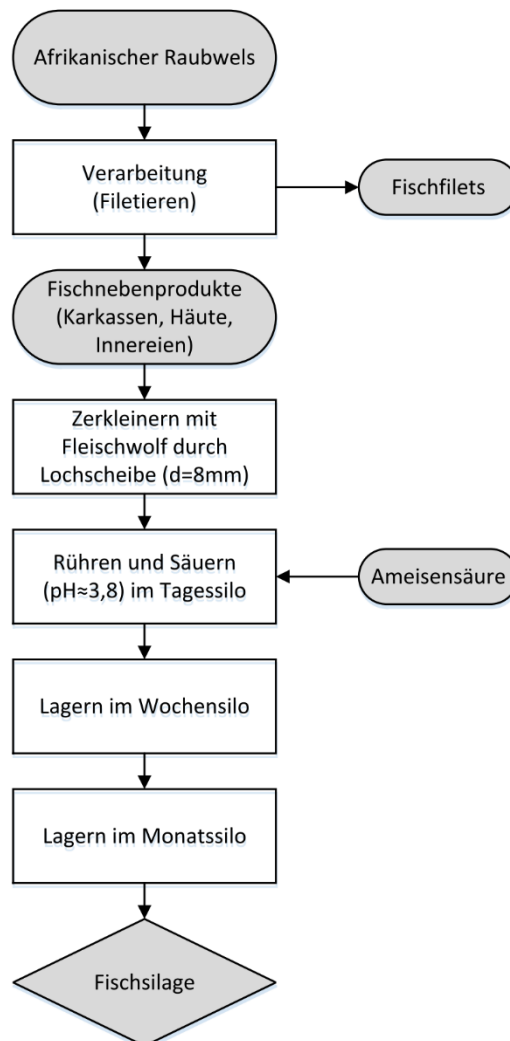


Abbildung 1: Prozessschema der Silierung von Fischnebenprodukten

Die Endlagerung der Silage erfolgte im letzten Behälter (Monatssilo), wo auch die vorgeschriebene thermische Behandlung gemäß den Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 bzw. (EU) Nr. 142/2011 stattfindet. Im Rahmen dieses Projektes wurde von einer thermischen Behandlung im Silierprozess abgesehen, da im Prozess der Fischmehlherstellung eine ausreichende Hygienisierung erfolgte. Zudem wird angenommen, dass durch die unmittelbare Weiterverarbeitung der Fischnebenprodukte und die pH-Wert-Absenkung eine ausreichende Hygienisierung stattfindet, was durch mikrobiologische und virologische Untersuchungen untermauert werden sollte. Insgesamt wurden im AP 1 12 t und im AP 5 16 t Fischsilage erzeugt.

5.1.2 Chemische und mikrobiologische Parameter der Fischsilage

Die Fischsilage aus Welsnebenprodukten aus AP 1 wies einen Trockensubstanzgehalt von 34,7 %, einen Proteingehalt von 13,0 %, einen Fettgehalt von 15,6 % und einen Rohaschegehalt von 5,7 % auf. Der pH-Wert veränderte sich über den Untersuchungsraum nicht signifikant. Nach vier Monaten Lagerung bei Raumtemperatur (RT) wies die Fischsilage einen pH=3,77 und nach sieben Monaten einen pH=3,82 auf. Auch die mikrobiologische Untersuchung der thermisch unbehandelten Silage (vgl. Tabelle 1) nach fünf Monaten Lagerung ergab eine nur geringe Keimbelastung und eine Abwesenheit von Salmonellen und Enterobacteriaceae. Der geringe Befund an *Clostridium perfringens* lag unter dem Richtwert von gewöhnlichen Lebensmitteln.

Tabelle 1: Mikrobiologische Parameter von thermisch unbehandelter Fischsilage aus Welsnebenprodukten aus AP 1

Parameter	Resultat in KbE/g
Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl	$<2 \times 10^2$
Enterobacteriaceae in 1g	negativ
<i>Clostridium perfringens</i>	$1,0 \times 10^1$
Hefen	$<1,0 \times 10^1$
Schimmelpilze	$<1,0 \times 10^1$
Salmonellen in 25g	negativ

Die in AP 5 hergestellte Silage wurde auf einen pH Wert von pH~4,0 eingestellt, welcher sich während der Lagerung bei RT nicht wesentlich veränderte. Noch 14 Monate später wies die Fischsilage einen pH=~4,1 auf. Da das Produkt durch die Zerkleinerung und die Säurezugabe eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Oxidation aufweist, wurde während der Herstellung der Fischsilage der täglichen Produktionsmenge anteilig ein natürliches Antioxidationsmittel (Natucox IP E Liquid) in einer Konzentration von 1500 ppm hinzugegeben und gut untergemischt. Die Welsabschnitte waren im ersten Versuch sehr frisch, die Fischabschnitte noch weitestgehend intakt, so dass ein Antioxidationsmittel kaum seine Wirkung entfalten könnte. In diesem Fall wurde auf die Zugabe eines Antioxidationsmittels verzichtet. Insgesamt wurden 16 t Wels-Silage produziert und 10 t frische Welsabschnitte gesammelt. Die mikrobiologische Stabilität der Silage zeigte wiederum eine geringe Keimbelastung mit Abwesenheit von Enterobacteriaceae, Clostridien und Salmonellen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Mikrobiologische Parameter von thermisch unbehandelter Fischsilage aus Welsnebenprodukten aus AP 5

Parameter	Resultat in KbE/g
Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl	$<2 \times 10^2$
Enterobacteriaceae in 1g	negativ
Clostridium perfringens in 1g	negativ
Hefen	$<1,0 \times 10^1$
Schimmelpilze	$<1,0 \times 10^1$
Salmonellen in 25g	negativ

5.1.3 Virologische Untersuchung der Fischsilage

5.1.3.1 Widerstandsfähigkeit von Viren gegenüber den Silierbedingungen

Obwohl in den Verarbeitungsbetrieben eine strenge Qualitätskontrolle der Rohware erfolgt, bestand der Verdacht, dass silierte Nebenprodukte aus an Viren erkrankten Fischen zu Fischmehl verarbeitet und somit (verarbeitet) weiter an gesunde Fische verfüttert werden könnten. Ein wichtiges Ziel des Vorhabens war es, einen eindeutigen Beleg dafür zu erbringen, dass über die silierten Fischnebenprodukte keine Übertragung von viralen Erregern in die daraus herzustellenden Trockenfutterpellets möglich ist.

Die Inaktivierungskinetik der Erreger der Viralen Hämorrhagischen Septikämie (VHS), der Infektiösen Hämato-poetischen Nekrose (IHN), Infektiösen Anämie der Lachse (ISA) und der Frühlingsvirämie der Karpfen (SVC) war am Lehrstuhl für Fischkrankheiten und Fischereibiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München im Unterauftrag zu untersuchen. Als Prüfungsmethoden wurden standardisierte Testverfahren herangezogen, die von der Weltorganisation für Tiergesundheit (OIE) zum Virusnachweis empfohlen werden (Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals, OIC, 2015).

Um eine statistische Sicherheit bei der Auswertung zu gewährleisten, ist eine Probenanzahl von mindestens $n=6$ notwendig, demnach war bei einer Probenzahl von $n=8$, wie sie im Folgenden Anwendung fand, eine valide Analyse garantiert. Mit jedem der 4 zu untersuchenden Viren wurden acht Proben Welsnebenprodukte inokuliert (4 Gruppen mit je acht Proben). Die Kontrollgruppe bestand aus acht Proben, die mit dem Zellkulturmedium (ohne Virus) inokuliert wurden. Die Virusaktivität war sofort nach der Inokulation, aber unmittelbar vor der Zugabe der zur Silierung benötigten Ameisensäuremenge (Tag 0) und dann in den silierten, gelagerten Nebenprodukten (mit Ameisensäure auf pH 3,8-3,9 eingestellt) 7, 28 und 84 Tage nach der Inokulation und Säurezugabe zu kontrollieren. Die Proben der Tage 0, 7, 28 und 84 wurden anschließend auf Virus-Aktivität mittels eines CPE-Nachweises (Nachweis eines virus-induzierten cytopathischen Effektes) getestet, indem diese in einem Medium für Viruskulturen zu einer Verdünnung von 1:1 und 1:10 suspendiert und auf Einschichtkulturen von EPC (endotheliale Vorläuferzellen) und FHM (Zelllinie der Elritze) ausgesät wurden. Beim Auftreten von CPE (cytopathischer Effekt) wurde das Zellkulturmaterial einer Virusneutralisation unterzogen und zur Bestätigung des Virusverdachts erneut ausgesät. Weiterhin wurde zusätzliches Material, wie oben beschrieben, gesammelt und für eine anschließende Detektion von genetischem Virusmaterial mittels PCR (Polymerase-Kettenreaktion) bei -80 °C zunächst gelagert. Diese Analyse wurde am Ende des Experiments durchgeführt, wobei (bei einer ganzheitlichen Bearbeitung aller Proben) tägliche Schwankungen von Resultaten vermieden werden konnten.

Am Tag 0 wurden alle acht Proben mit zerkleinerten Fischnebenprodukten, beimpft mit jeweils einer der Viren (alle acht Proben jeder Gruppe), positiv auf CPE in Zellkulturen getestet und anschließend als positiv für die jeweiligen Viren (VHS-Virus, IHN-Virus, ISA-Virus und SVC-Virus) bestätigt. Kontrollproben hatten keinen erkennbaren CPE. Alle Viren waren somit vor der Zugabe von Ameisensäure in den zerkleinerten Fischnebenprodukten aktiv. Die PCR-Analyse bestätigte die Anwesenheit von virusgenetischem Material für jedes der spezifischen Viren in der Silage; es bestand kein Verdacht auf Kreuzkontamination (nur die beimpften Viren wurden in den jeweiligen Proben identifiziert). Die gleichzeitig durchgeführten Kontrollproben wiesen kein Virusmaterial auf.

Am Tag 7 wurde die inokulierte Silage aller acht Proben von jedem Virus bei einer Verdünnung von 1:10 negativ auf CPE in Zellkulturen getestet. Bei einer 1: 1-Verdünnung bestand bei mehreren Proben aus verschiedenen Virusgruppen der Verdacht auf einen positiven CPE. Eine erneute Prüfung bestätigte diese Vermutung jedoch nicht, d. h. es gab keine nachweisbare Virusaktivität in der Silage am Tag 7. Die PCR-Analyse bestätigte die Anwesenheit von virusgenetischem Material für jedes der spezifischen Viren in der Silage; es bestand kein Verdacht auf Kreuzkontamination (nur die beimpften Viren wurden in den jeweiligen Proben identifiziert). Die gleichzeitig durchgeführten Kontrollproben wiesen kein Virusmaterial auf.

Am Tag 28 wurde die inokulierte Silage aller acht Proben von jedem Virus bei einer Verdünnung von 1:10 negativ auf CPE in Zellkulturen getestet. Bei einer 1: 1-Verdünnung bestand bei mehreren Proben aus verschiedenen Virusgruppen der Verdacht auf einen positiven CPE. Eine erneute Prüfung bestätigte diese Vermutung jedoch nicht, d. h. es gab keine nachweisbare Virusaktivität in der Silage am Tag 28. Es ist möglich, dass bei der 1: 1-Verdünnung der Silage Proben in einigen Fällen unspezifisch das Zellkulturwachstum hemmten. Diese Hemmung konnte jedoch nicht mit den Viren in Verbindung gebracht werden. Die PCR-Analyse bestätigte die Anwesenheit von virusgenetischem Material für jedes der spezifischen Viren in der Silage. Diese wiesen jedoch eine unterschiedliche Amplitudenstärke auf. Eine Wiederholung dieser Messung (mit weiteren eingefrorenen Proben) führte zu dem Ergebnis, dass 6 von 8 Proben (für jeden Virus) ein verringertes Signal zeigten, was einen möglichen Abbau des Virusmaterials indiziert¹. Es bestand kein Verdacht auf Kreuzkontamination (nur die beimpften Viren wurden in den jeweiligen Proben identifiziert). Die gleichzeitig durchgeführten Kontrollproben wiesen kein Virusmaterial auf.

Am Tag 84 wurde die inokulierte Silage aller acht Proben von jedem Virus bei einer Verdünnung von 1:10 negativ auf CPE in Zellkulturen getestet. Bei einer 1:1-Verdünnung bestand bei 2 Proben vom VHS und 3 Proben vom ISA Virusgruppe der Verdacht auf einen positiven CPE. Eine erneute Prüfung bestätigte diese Vermutung jedoch nicht, d. h. es gab keine nachweisbare Virusaktivität in der Silage am Tag 84. Die PCR-Analyse hat in folgenden Proben positive Virus-DNA-Befunde ergeben: 5/8 auf VHSV, 3/8 auf IHNV, 4/8 auf SVCV und 1/8 auf ISAV. Diese Resultate wurden durch eine zweite Messung bestätigt. Es bestand daher die Annahme, dass das virusgenetische Material über die Zeit so weit abgebaut wurde, dass die Bestimmung nicht mehr möglich war.

¹ Eine fundierte Aussage zum mengenmäßigen Abbau von Virusmaterial über die vergangene Zeitdauer kann über die Bestimmung der quantitativen PCR (qPCR) gemacht werden. qPCR-Untersuchungen wurden in einer anschließenden Versuchsreihe vorgenommen (siehe Punkt 5.1.3.2).

In den Kontrollproben am Tag 0 wurden weder aktive Viren (CPE) noch Virusmaterial (PCR) festgestellt. Dieser Befund verstärkt die Hypothese, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Nebenprodukte von an Viren erkrankten Fischen verarbeitet werden und somit (verarbeitet) weiter an gesunde Fische verfüttert werden, von vornherein nur sehr gering ist.

Die **Ergebnisse** zeigten, dass bereits nach einer Woche Lagerzeit keine Virusaktivität (bei den untersuchten Erregern) in der Silage (pH 3,8-3,9) nachzuweisen war. Auch bis 84 Tage nach der Virenbeimpfung wurde keine Vireanaktivität festgestellt. Aus mikrobiologischer Sicht stellt das silierte Material, auch ohne thermische Vorbehandlung, einen unbedenklichen Rohstoff für die Fischfutterherstellung dar. Die bei der Fischmehlherstellung (aus der Silage) und bei der Extrusion (zur Produktion von Fischfutter-Extrudaten) herrschenden hohen Temperaturen und Drücke bringen eine zusätzliche Sicherheit².

Virus-DNA konnte in allen beimpften Proben an Tag 0, 7 und 28 festgestellt werden, jedoch mit unterschiedlich starken Amplituden an Tag 28. Am Tag 84 kam es auch zu Proben, die frei von Viruserbmaterial waren, was dessen totalen Abbau signalisiert.

5.1.3.2 Widerstandsfähigkeit von Viren gegenüber Hitze einwirkung

Um mehr Informationen zum Anteil noch vorhandenen Virusmaterials nach der Lagerung und auch durch Wärmeeinwirkung zu erhalten, wurde ein zweiter Versuchsansatz entwickelt. Hierbei wurde die Silage ebenfalls mit fischpathogenen Viren inokuliert und für eine Dauer von 28 Tagen (4 Wochen) bei Raumtemperatur gelagert, was eine durchschnittliche Lagerzeit bei kleineren Fischereibetrieben darstellt, um ausreichend Material für einen rentablen Abtransport zu sammeln. Im Folgenden wurde der Abbau von Virenmaterial beim Herstellungsprozess durch Erwärmungsprozesse bei der Mehlherstellung und Extrusion zum fertigen Fischfutterpellet simuliert. Es wurde hierbei angenommen, dass die Fischsilage für 20 min bei 80 °C in einer mit Dampf beheizten Förderschnecke feucht erhitzt wird und anschließend beim Trocknen im Scheibentrockner für 2,5 h bei 90 °C verweilt³. Bei einer Umrechnung von 2,5 h trockener Erhitzung bei 90 °C auf feuchte Hitze⁴ kommt man auf 29,5 min bei 80 °C feuchter Erhitzung. Im Extruder erfolgt nochmals kurzzeitig (für 1-2 min je nach Durchsatz) eine Temperatureinwirkung von ca. 100 °C, was das Anheben der Wärmebehandlung in den folgenden Versuchen auf 30 min (feuchte Hitze) rechtfertigt. Schwer einzuschätzen und zu simulieren im Laborversuch ist die kurzzeitige Druckerhöhung beim Extruderauslass, wodurch eine Expansion des Produktes ermöglicht wird.

Zusätzlich wurde bei einem Ansatz die doppelte Zeit (60 min) aufgewandt, um deren Auswirkung auf die Viren einschätzen zu können. Als zweiter Prozessparameter wurde der pH-Wert von dem silageüblichen pH 4 auf pH 5 erhöht, da dieser Umstand auch beim derzeitigen Prozess vor der Trocknung bei einer 1:1 Mischung von Silage und frischen FNP passiert.

Versuchsaufbau: Wie im Versuch davor wurden vier Fischviren von Bedeutung für die Aquakultur (VHS-Virus, IHN-Virus, ISA-Virus und SVC-Virus) in Silage (pH 3,8-4,0), frisch vorbereitet aus afrikanischen Welsnebenprodukten, in je eine Probe inokuliert. Die

² Mit dem Ziel, den Effekt einer zusätzlichen thermischen Behandlung genauer zu quantifizieren, wurde eine zusätzliche Versuchsreihe durchgeführt (siehe Punkt 5.1.3.2).

³ Die angenommenen Zeiten und Temperaturen basieren auf der in der Praxis für die Fischmehl- und Trockenfutterherstellung eingestellten Prozessbedingungen.

⁴ Die Umrechnung bezieht sich auf Zeiten und Temperaturen, die sowohl bei trockener Hitze als auch bei feuchter Hitze den gleichen Virusabbau-Effekt haben.

fünfte Probe diente als Negativkontrolle (keine Virusimpfung). Um eine statistische Sicherheit bei der Auswertung zu gewährleisten, wurde eine Probenanzahl von n=6 (pro Virus) verwendet.

Die molekulare (PCR) Prüfung der Kontrollproben und der aufgetauten Fischnebenprodukte zeigte keine Anwesenheit von virusgenetischem Material aus den obigen Viren. Die molekularen (PCR) -Tests des infizierten Silagematerials zeigten für alle Viren ein Vorhandensein der geimpften Viren, eine Kreuzkontamination mit anderen Viren fand in keiner Probe statt.

Der pH-Wert der Proben wurde wöchentlich bis zum Tag 28 kontrolliert. Am Tag 28 nach dem Beginn der Silierung wurden die mit jedem Virus inokulierten Silage-Proben mit Proben virusfreier FNP im Verhältnis 1:1 w/w (z. B. 25 g Silage + 25 g frische FNP) gemischt, um so in den verdünnten Proben einen pH-Wert von 5 zu erreichen (+/- 0,2, kurz: pH 5). Um einen pH-Wert von 3,8-3,9 (kurz: pH 4) im Prozess zu erzielen, wurden weiterhin am Tag 28 die inokulierten Silage-Proben mit Kontrollsilage-Proben (ohne Virus) in 1:1 w/w gemischt. In diesem Fall entstand eine ähnliche Verdünnung (bzw. Virusbelastung) wie bei den Proben mit pH 5. Auf dieser Weise entstanden folgende zwei Versuchsansätze ohne Wärmebehandlung:

1. pH 4 (beimpfte Silage 1:1 mit virusfreier Silage gemischt), ohne Temperatureinwirkung
2. pH 5 (beimpfte Silage 1:1 mit virusfreien frischen FNP gemischt), ohne Temperatureinwirkung

Die insgesamt 60 entstanden Proben (30⁵ bei pH 4 und 30 bei pH 5) wurden bis zur Analyse (unter Verwendung standardisierter RNA / DNA-Isolationsprotokolle) bei -80 °C gelagert. Dann erfolgte die Analyse mittels quantitativer PCR (qPCR), um die relative Menge des virusgenetischem Materials (in % der Virusmenge in der nicht verdünnten Probe) zu bestimmen. Folgende Formel wurde hierbei verwendet: $RVL = VL(Dil) / VL * 100$, wobei RVL die relative Viruslast, VL (Dil) die Viruslast der verdünnten Probe und VL die Viruslast der unverdünnten Probe ist. Die qPCR-Analyse der nicht erwärmten Proben (bei beiden pH-Werten) brachte folgende Erkenntnis: die relativen Mengen an virusgenetischem Material reduzierte sich durch die Verdünnung auf durchschnittlich 58,15 % (pH 5) und 57,22 % (pH 4) in Bezug auf die nicht verdünnten Proben.

Die verdünnten Silageproben wurden im Folgenden zwei Wärmebehandlungen (30 min und 60 min bei 80 °C) unterzogen. Hierbei wurden die Proben in drei Gruppen aufgeteilt (pH 4 wärmebehandelt für 30 min, pH 5 wärmebehandelt für 30 min und pH 5 wärmebehandelt für 60 min). Es entstanden also folgende drei Versuchsansätze:

1. pH 4, 80 °C, 30 min
2. pH 5, 80 °C, 30 min
3. pH 5, 80 °C, 60 min

⁵ Je 6 Proben pro Virusart und 6 Kontrollproben

Auch diese Proben wurden einer RNA / DNA-Isolierung unterworfen und bei -80 °C bis zur Analyse gelagert. Diese Proben wurden ebenfalls mit qPCR auf virusgenetisches Material getestet. Die relative Viruslast wurde unter Verwendung der Formel $RVL = VL(Ht) / VL * 100$ berechnet, wobei VL (Ht) die virusgenetische Materialbelastung der wärmebehandelten Probe und VL der nicht wärmebehandelten Probe ist. Die qPCR-Untersuchung zeigte, dass die Wärmebehandlungen der virusinokulierten Proben die Mengen des nachweisbaren virusgenetischen Materials auf durchschnittlich 6,75 % (pH 4, 30 min bei 80 °C), 7,33 % (pH 5, 30 min bei 80 °C) und 5,80 % (pH 5, 30 min bei 80 °C) der Menge in nicht wärmebehandelten Proben verringerte. Das jeweilige virusgenetische Material war aber in jeder der beimpften Probe nach der Untersuchung noch nachweisbar.

Schlussfolgerung: Die relative Menge des viralen genetischen Materials wird bei der Verdünnung mit nicht kontaminierten Silage- oder Fischzutaten entsprechend verringert, bei einer nachfolgenden Wärmebehandlung wird dieser Anteil auf ca. 1/25 des ursprünglich vorhandenen viralen genetischen Materials (RNA / DNA) weiter verringert. Aus dieser Sicht wird das Risiko der Übertragung von VHSV, IHNV, SVCV und ISAV von potenziell kontaminierten Fischzutaten, bei Erniedrigung des pH-Wertes und gleichzeitigen Wärmebehandlungen, als gering eingeschätzt.

Die Ergebnisse der bisherigen in vitro-Untersuchung der Virusaktivität (zytopathische Effekte, s. o.)⁶ und die Untersuchung der relativen Menge des viralen genetischen Materials (qPCR) in Fischsilage deuten darauf hin, dass dieses Produkt, wenn es ordnungsgemäß hergestellt wird, ein sehr geringes Risiko als Vektor für Krankheitsübertragung der verwendeten Viren (VHSV, IHNV, SVCV, ISAV) darstellen wird. Ob die Kreuzkontamination und die Krankheitsübertragung in einer realen Aquakultur-Situation möglich wären, könnte nur eine weiterführende Studie klären. Hierbei wären aufwändige Fütterungsversuche notwendig: Gesunde Fische wären mit Silage zu füttern, die fischpathogene Viren aus mitverarbeiteten, kranken Fischen enthält. Die zu fütternden Fische sollten für den jeweiligen Virus anfällig sein.

⁶ Bereits nach einer Woche Lagerzeit war keine Virusaktivität (bei den untersuchten Erregern) in der Silage (pH 3,8-3,9) nachzuweisen.

5.2 Untersuchungen und Herstellung von Fischsilagemehl und -öl (AP 2 & AP 6)

5.2.1 Herstellung von Fischmehl und -öl aus Fischsilage

Im zweiten und sechsten Arbeitspaket erfolgte jeweils die Herstellung von Fischmehl aus der Fischsilage und frischen Fischnebenprodukten. Die Herstellung von Fischmehl, welches ausschließlich aus Fischsilage gewonnen wird, ist aufgrund der fortgeschrittenen proteolytischen Verflüssigung mit branchenüblichen Scheibentrocknungsanlagen nicht realisierbar. Auch der Ansatz zur Herstellung eines reinen Fischsilagemehls durch Einsatz einer Walzentrocknungsanlage konnte nicht erfolgreich umgesetzt werden. Sprühtrocknungsverfahren schließen sich aufgrund des hohen Anteils an grobpartikulären Feststoffen aus. Daher wurde ein Verfahren zur Herstellung von Fischmehl aus Silage und Fischabschnitten entwickelt, welches die Verwendung eines hohen Anteils an Fischsilage erlaubt. Das Verfahren ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

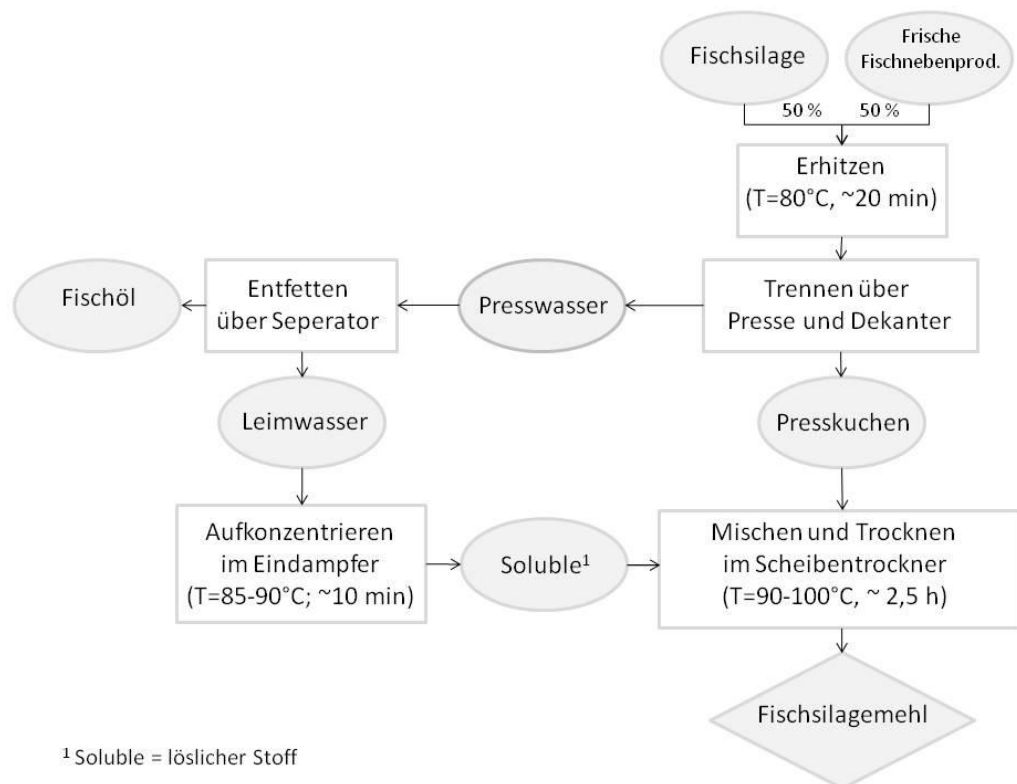


Abbildung 2: Verfahrensschema zur Herstellung des Fischmehls aus Fischsilage und frischen Fischnebenprodukten

Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, wurde zunächst die Fischsilage mit frischen Welsabschnitten im Verhältnis von 1:1 vermengt und anschließend auf ca. 80 °C erhitzt. Die Trennung von Presswasser und Presskuchen erfolgte über eine Presse mit anschließendem Dekanter. Im nächsten Schritt wurde das Presswasser über einen Separator entfettet. Das resultierende Leimwasser wurde im Eindampfer auf ca. 50 % Trockenmasse aufkonzentriert und schließlich zusammen mit dem Presskuchen, als Soluble, dem Scheibentrockner zugeführt. Nach einer anfänglichen Vermischung erfolgte die Trocknung zu Fischsilagemehl.

5.2.2 Chemische und mikrobiologische Parameter von Fischmehl und -öl

In Tabelle 3 sind die chemisch-analytischen Parameter des Fischsilagemehls und seiner Vorstufen aus AP 2 aufgeführt. Daraus wird unter anderem ersichtlich, dass mittels Drei-Phasen-Dekanters eine Ölabtrennung aus der Silage mit hoher Trennschärfe erzielt werden konnte. Die Fischsilage enthielt im Ausgangszustand 15,6 % Fett und nach der Entfettung lediglich 2,6 %. Das Fischmehl enthielt mit 26,1 % einen hohen Aschegehalt. Dieser Umstand ist markant für ein Fischmehl solcher Herkunft, da die Nebenprodukte einen prozentual höheren Anteil an Fischgräten durch die vorangegangene Fleischeiweißentnahme beim Filetieren aufweisen. Das Fischsilagemehl aus AP 6 wies ähnliche Werte auf (siehe Tabelle 3), allerdings war der Trockensubstanzgehalt um ca. 6 Prozentpunkte geringer, der Wassergehalt dementsprechend höher.

Tabelle 3: Chemisch-analytische Parameter des erzeugten Fischsilagemehls aus AP 2 und seiner Vorstufen; Werte in Klammern sind für das Fischsilagemehl aus AP 6. NfE sind die stickstofffreien Extraktstoffe.

Parameter (in %)	Fischsilage	Entfettete Silage	Konz, entfett. Fischsilage	Fischsilage- mehl
Trockensubstanz	34,7	24,5	59,8	97,6 (91,4)
Wasser	65,3	75,5	40,2	2,4 (8,6)
Protein	13,0	15,1	36,8	60,0 (53,5)
Fett	15,6	2,6	6,3	10,3 (10,3)
Rohasche	5,7	6,6	16,0	26,1 (29,8)
Rohfaser	0,3	0,3	0,6	1,0
NfE	0,1	0,1	0,1	0,2

Das biogene Amin Histamin, das bei der bakteriellen Zersetzung der Fischproteine (Verrottung) entsteht und als Marker für den Frischegrad der eingesetzten Rohstoffe zur Fischmehlherstellung dient, konnte im Fischmehl aus AP 2 mittels Dünnschichtchromatographie (Bestimmungsgrenze 40 mg/kg) nicht nachgewiesen werden. Dies unterstreicht die geringe Keimbelastung der Fischsilage (vgl. Tabelle 1) und die Stabilität der Fischsilage gegenüber Verderbnisprozessen. Diese Analyse zur Histamingehaltsbestimmung wurde im AP 6 durch eine andere Methode (ELISA) mit einer Bestimmungsgrenze von 2,5 mg/kg mit höherer Genauigkeit durchgeführt. Hierbei wurde ein sehr geringer Histamingehalt von 6,7 mg/kg ermittelt. Weiterhin wies das Fischsilagemehl in beiden Arbeitspaketen (AP 2 und 6) eine geringe Keimbelastung hinsichtlich Gesamtkeimzahl, Enterobacteriaceae, Clostridium, Salmonellen, Hefen und Schimmelpilze auf, wie aus der Tabelle 4 und 5 entnommen werden kann.

Tabelle 4: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischmehls aus AP 2

Parameter	Resultat in KbE/g
Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl	$<2 \times 10^2$
Enterobacteriaceae in 1g	negativ
<i>Clostridium perfringens</i>	$<1,0 \times 10^1$
Hefen	$<1,0 \times 10^1$
Schimmelpilze	$<1,0 \times 10^1$
Salmonellen in 25g	negativ

Tabelle 5: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischmehls aus AP 6

Parameter	Resultat in KbE/g
Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl	$<2 \times 10^2$
Enterobacteriaceae in 1g	negativ
<i>Clostridium perfringens</i> in 1g	negativ
Hefen	$<1,0 \times 10^1$
Schimmelpilze	$<1,0 \times 10^1$
Salmonellen in 25g	negativ

Das Fischmehl wies eine Schüttdichte von 0,69 kg/l auf. Der Gehalt an Phosphor lag bei 5,1 % und an Calcium bei 8,3 %. Die Wasseraktivität des Fischmehls war mit $a_w=0,38$ sehr niedrig. Die Wasserbindekapazität lag im Durchschnitt bei 164 % des Eigengewichtes. Bei der Siebanalyse passierten ca. 89 % des Fischmehles durch ein 1-mm-Sieb und 42 % durch ein 0,5-mm-Sieb. Insgesamt ist die Qualität des Fischsilagemehls mit kommerziellen hochqualitativen Fischmehlen vergleichbar, reicht jedoch nicht vollständig an deren Qualität heran. Der Proteingehalt ist mit 50-60 % vergleichsweise niedrig und der Aschegehalt mit 26 - 30 % höher.

Die Tabelle 6 führt das ermittelte Fettsäurespektrum des aus der Fischsilage abgetrennten Öles auf. Wie für Süßwasserfische üblich wiesen sie deutlich mehr Omega-6-Fettsäuren auf als Omega-3-Fettsäuren. Der Gehalt von 4,73 % an Omega-3-Fettsäuren ist mit der Qualität der Fischöle maritimen Ursprungs nicht vergleichbar. Mit einer Peroxidzahl von $POZ=0,97$ und einer Anisidinzahl von $AnZ=19,66$ wies das Fischsilageöl aus AP 2 eine gute Qualität hinsichtlich der Fettoxidation auf, welche mit dem Fischsilageöl aus AP 6 vergleichbar ist: $POZ=0,31$ und $AnZ=16,92$.

Tabelle 6: Fettsäurespektrum des abgetrennten Öles aus der Fischsilage basierend auf Afrikanischen Raubwels

Fettsäure	[%]
12:0	0,1
14:0	2,4
16:0	16,9
16:1 n7	3,5
18:0	5,5
cis 18:1 n9 tr	0,6
cis 18:1 n9	39,4
cis 18:2 n6	12,9
cis 20:0	0,4
cis 18:3 n3	0,8
cis 18:3 n6	4,3
cis 22:0	0,4
Summe gesättigt	26,0
Summe Monounesättigt	48,1
Summe Polyunesättigt	25,5
Summe Trans-FS	0,6
Summe Omega-3	4,73

Das Aminosäurespektrum des Fischmehls wies alle für die Fischernährung notwendigen Aminosäuren (AS) auf. Die 12 essentiellen AS sind: Arginin, Cystein, Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan, Tyrosin und Valin. Allerdings variiert die Konzentration der AS je nach verwendetem Fischmehl. Das Fischsilagemehl aus AP 6 besteht im Vergleich zum Fischmehl 60 (aus dem EU FP 7 Projekt ARRAINA) zu großen Teilen aus den gleichen AS (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Vergleich der Aminosäuregehalte des Fischsilagemehls aus AP 6 und des Fishmehls 60 aus EU FP 7 Projekt ARRAINA. Essentielle AS sind gelb markiert.

Aminosäure	Fischsilagemehl [g/100g]	Fischmehl 60 [g/100g]
Alanin	4,3	3,8
Arginin	4,6	3,7
Asparaginsäure	3,7	5,5
Citrullin	0,02	
Cystein	0,5	0,5
Glutamin	0,4	
Glutaminsäure	5,4	7,6
Glycin	7	3,8
Histidin	1,2	1,4
Hydroxyprolin	2,1	
Isoleucin	2,3	2,5
Leucin	2,4	4,3
Lysin	4,6	4,5
Methionin	1,5	1,6
Ornithin	2,4	
Phenylalanin	1,9	2,3
Prolin	3,3	2,5
Serin	1,9	2,3
Taurin	0,4	
Threonin	1,9	2,5
Thryptophan	0,4	0,6
Tyrosin	1,4	1,9
Valin	2,8	2,9

Die Fettkennzahlen der Fischmehle beider Arbeitspakete (2 und 6) verwiesen hinsichtlich der Peroxidzahl und Anisidizahl auf nur geringe Oxidation. Die Peroxidzahl im AP 2 lag bei POZ= 1,17 bzw. POZ=1,30 für AP 6. Die Anisidinzahlen in gleicher Reihenfolge entsprachen AnZ=21,01 und AnZ=14,82.

5.3 Herstellung von Fischfutterextrudaten (AP 3 & 7)

5.3.1 Im Labormaßstab (AP 3)

In AP 3 wurden zwei verschiedene Fischfutterextrudate in jeweils zwei verschiedenen Durchmessern (4 mm und 6 mm) aus dem Fischsilagemehl hergestellt. Die Rezepturen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Es wurde ein Doppelschneckenextruder (Berstorff ZE25 und Werner & Pfleiderer ZSK25) mit einem Schneckendurchmesser von 25 mm und einer Schneckenlänge von 1330 mm verwendet. Die Futtermittelmischungen wurden mit einer Massentemperatur von ca. 130 °C bei einem Druck von ca. 12 bar extrudiert und anschließend nachgetrocknet.

Tabelle 8: Rezepturen der Futtermittelvarianten aus AP 3

Komponenten (in %)	Nepro 1	Nepro 2
Fischsilagemehl	50,53	40,56
Blutmehl	7,22	8,20
Federmehl	5,00	5,97
Weizenmehl	14,28	16,37
Gluten	11,59	15,71
Lachsöl	11,38	13,19

Die Futtermittel wurden so zusammengestellt, dass sie etwa 50 % Protein und 20 % Fett enthielten. Der Aschegehalt lag zwischen 12 und 15 %. Der Trockensubstanzgehalt lag zwischen 92-94 %, der auch nach sieben-monatiger Lagerung nicht signifikant abnahm. Die Sinkgeschwindigkeit der Extrudate hielt die Vorgabe von >15 s/m ein. Die Abrasivität und das Quellverhalten im Wasser waren nicht vergleichbar mit kommerziellen Futtermitteln. Die mikrobiologischen Untersuchungen ergaben wie zu erwarten eine geringe Keimbelastung und sind identisch mit den Ergebnissen für das Fischmehl, die in Tabelle 4 aufgeführt sind.

Die Tabelle 9 führt das ermittelte Aminosäurespektrum von den erzeugten Futterextrudaten auf. Es enthält unter Abwesenheit von Cystein und Tryptophan mit Methionin, Arginin, Threonin, Histidin, Isoleucin, Lysin, Leucin, Valin und Phenylalanin zehn der zwölf für die Fischaufzucht essentiellen Aminosäuren.

Tabelle 9: Aminosäurespektrum der erzeugten Futtermittel; essentielle AS für die Fischzucht sind gelb markiert

Aminosäure	Gehalt
Alanin	3,35 g/100 g
Arginin	3,52 g/100 g
Asparagin	0,49 g/100 g
Asparaginsäure	4,98 g/100 g
Carnosin	0,17 g/100 g
Glutamin	0,07 g/100 g
Glutaminsäure	4,62 g/100 g
Glycin	2,58 g/100 g
Histidin	1,09 g/100 g
Hydroxyprolin	0,16 g/100 g
Isoleucin	2,11 g/100 g
Leucin	4,34 g/100 g
Lysin	3,49 g/100 g
Methionin	1,59 g/100 g
Ornithin	0,17 g/100 g
Phenylalanin	2,44 g/100 g
Prolin	1,29 g/100 g
Serin	2,55 g/100 g
Taurin	1,29 g/100 g
Threonin	2,52 g/100 g
Tyrosin	1,84 g/100 g
Valin	1,96 g/100 g

Aus den vorläufigen Resultaten der Fütterungsstudie des AP 4 ging ein Mangel bzgl. der Futtermittelakzeptanz und -verwertung hervor. Da die anderen Komponenten üblicherweise in der Fischfuttermittelherstellung eingesetzt werden, konnten diese als Ursache ausgeschlossen werden. Ebenso gaben die analytischen Parameter der Futtermittel keinen Anlass dazu, dass die Verwendung von Fischsilagemehl für die Fischaufzucht generell abträglich sein könnte. Daher wurde das Öl aus den Futtermitteln extrahiert und bezüglich der Parameter der Fettoxidation untersucht. Während das Öl aus dem kommerziellen Kontrollfuttermittel bei einer Anisidinzahl (Maß für die mittels Oxidation ungesättigter Fettsäuren gebildeten Aldehyde) von lediglich AnZ=12 lag, wies das Futtermittel Nepro 1 eine Anisidinzahl von AnZ=129 und Nepro 2 eine Anisidinzahl von AnZ=227 auf.

Die Abbauprodukte der Fettoxidation, insbesondere die Aldehyde, sind toxisch für die Fische. Daher kann die schlechte Futtermittelverwertung und -akzeptanz darauf zurückgeführt werden (siehe Punkt 5.5.6).

5.3.2 Im Industriemaßstab (AP 7)

Das im AP 7 produzierte Fischfutter (Nepro 3) wurde in zwei Pelletdurchmessern (4 mm, 6 mm) extrudiert. Es wurde mit Hilfe der Ergebnisse aus den Fütterungsversuchen aus AP 4 und den umfassenden Erfahrungen der Gründleinsmühle entwickelt. Neben den in Tabelle 9 aufgelisteten Komponenten wurden weiterhin ernährungsphysiologische Zusatzstoffe eingesetzt.

Tabelle 10: Rezepturen der Futtermittelvariante aus AP 7

Komponenten	Nepro 3 [%]
Fischsilagemehl	50,33
Fischmehl (Naturland)	11,5
Weizen	13,85
Gluten	13,28
Fischöl	11,04
Zusatzstoffe	
Vitamin A	16.000 IE
Vitamin D3	1.600 IE
Vitamin E	160 mg
Kupfer	5 mg
Mangan	16 mg
Zink	18 mg
Jod	1,6 mg
Selen	0,08 mg
Eisen	100 mg

Die Extrusion im industriellen Maßstab erfolgte bei der Gründleismühle in Obervolkach unter Verwendung eines Bühler Doppelwellenextruders (Baujahr 1993, Komplettrekonstruktion September 2015) mit einem Wellendurchmesser von 93 mm. Hierbei wurden Temperaturen im Inneren von ca. 96-98 °C und am Ausgang von ca. 120 °C erreicht, der Druck betrug ca. 25 bar. Der in Abbildung 3 abgebildete Extruder lief durchschnittlich mit einem Durchsatz von 2 t pro Stunde.



Abbildung 3: Bühler Doppelwellenextruder mit einem Wellendurchmesser von 93 mm (Quelle: Gründleinsmühle)

Da bei der Extrusion der Fischfutterpellets erhebliche Drücke und Temperaturen herrschen, besteht hier besonderer Handlungsbedarf, dem Oxidationsprozess entgegen zu wirken. Hier wurden im AP 7 insbesondere zwei Maßnahmen verfolgt:

1. Zugabe von Paramega IP XP Foodgrade Liquid zum Fischöl in einer Konzentration von 3.000 ppm.
2. Zugabe von Naturox IP Plus Dry zum mehlartigen Futter vor der Extrusion in einer Konzentration von 500 ppm.

Um die Wirkung dieser Maßnahmen aufzuzeigen, wurden die Fettkennzahlen des Nepro 3 (4 mm) und des eingesetzten Kontrollfutters (Beeskow 4,5 mm) kontrolliert und verglichen. Beide zeigen mit AnZ=11,96 (Nepro 3) und AnZ=9,83 (Beeskow 4,5 mm) bzw. POZ= 3,91 (Nepro 3) und POZ=0,4 (Beeskow 4,5 mm) geringe Werte, welche eine Oxidation als nicht relevant auswiesen.

Die Analyse der Inhaltsstoffe des Fischfutters Nepro 3 ergab einen Fettgehalt von 17,12 % sowie einen Proteingehalt von 48,18 % (vgl. Tabelle 11). Das Kontrollfutter von Beeskow beinhaltet dem gegenüber nur einen Fettgehalt von 15,35 % und Proteingehalt von 46,89 % sowie einen um die Hälfte reduzierten Aschegehalt, was einer Reduktion um ca. 8 % entspricht. Zum effektiven Anfüttern junger Zander wurde ein Kontrollfutter (Ivory Ex) eingesetzt, welches einen erhöhten Fett- (20,64 %) sowie Proteingehalt (52,2 %) aufwies.

Tabelle 11: Inhaltsstoffe von Nepro 3 sowie der beiden Kontrollfütterungen der Fütterungsversuche aus AP 8.

	Fett [%]	Protein [%]	TS [%]	Wasser [%]	Asche [%]
Nepro 3	17,12	48,18	95,32	4,69	17,27
Beeskow (Kontrolle)	15,35	46,89	92,24	7,76	7,48
Ivory Ex (Kontrolle)	20,64	52,2	92,11	7,89	8,75

Die mikrobiologische Betrachtung des Nepro 3 (vgl. Tabelle 12) wies keine Auffälligkeiten auf.

Tabelle 12: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des erzeugten Fischfutters aus AP 7.

Parameter	Resultat in KbE/g
Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl	$<2 \times 10^2$
Enterobacteriaceae in 1g	negativ
Clostridium perfringens in 1g	negativ
Hefen	$<2,0 \times 10^1$
Schimmelpilze	$<8,0 \times 10^1$
Salmonellen in 25g	negativ

5.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung der Fischfutterherstellung aus Fischsilagemehl (AP 9)

Ein maßgeblicher Bestandteil pelletierter Trockenfuttermittel ist Fischmehl, welches konventionell aus Fischnebenprodukten (FNP) von Meerwasserfischen gewonnen wird. Die Verarbeitung der Nebenprodukte von Süßwasserfischen erfordert aufgrund z. T. nur gering anfallender Mengen eine Konservierung durch z. B. Ameisensäure. Auch diese sogenannten silierten FNP sind zur Fischmehlherstellung und anschließenden Extrusion zu Fischfutterpellets geeignet. Alle verwendeten Rohstoffe sowie deren Mengen für die Herstellung von einer Tonne (1000 kg) Fischfutterpellets sind in Abbildung 4 dargelegt. Auf der linken Seite ist in Schwarz die Herstellung von Fischfutterpellets mit silierten FNP der Süßwasserfischverarbeitung abgebildet und auf der rechten Seite in Rot die konventionelle Herstellung. Es ist zu beachten, dass bei der Anwendung von silierten FNP im Rahmen dieses Vorhabens diese für die Fischmehlherstellung 1:1 mit konventionellen (nicht silierten) FNP, ebenfalls aus der Süßwasserfischverarbeitung, gemischt wurden.

Auf Grundlage des Trockensubstanzgehaltes der FNP von 34,7 % sowie einer Ölausbeute von 13,33 % ergab sich bei der Trocknung im Scheibentrockner eine Mehlausbeute von 21,89 %. Die entwickelte Fischfutterrezeptur enthielt 50,3 % (503 kg auf 1 Tonne) des eigenen Fischmehls, wobei eine Menge von ca. 1149,6 kg FNP und 1149,6 kg Fischsilage bzw. 2299,2 kg FNP nötig waren, um diese herstellen zu können. Weiterhin wurden Weizen, Gluten, Fischöl, Fischmehl Naturland und eine Vormischung (eine Mischung aus ernährungsphysiologisch wichtigen Vitaminen und Mineralien) in den in Abbildung 4 angegebenen Mengen verwendet. Um das Oxidieren des enthaltenen Fettes zu verhindern wurden sowohl zur Silage als auch zur fertigen Futtermischung unterschiedliche Antioxidationsmittel zugegeben.

Der wesentliche Unterschied für die Wirtschaftlichkeitsberechnung besteht im Bereich der Silierung, weshalb dieser Teil im Folgenden maßgeblich betrachtet wurde. Hierbei sind Kalkulationen zu 2 Szenarien angestellt worden:

1. Grobkalkulation für kleinere Betriebe (beispielhaft für eine Silagemenge von 15 t/a)
2. Detaillierte Kalkulation für einen Großbetrieb mit einer anfallenden Silagemenge von 432 t/a

Bei Szenarium 1 wird eine FNP-Menge von 15 t/a angenommen, was eine tägliche Silagemenge von ca. 62,5 kg darstellt. Solche minimalen Mengen bedürfen auch nur einer sehr einfachen Geräteausstattung, die auf einige wenige Utensilien reduziert ist. Ein Industriefleischwolf wird für die Vor- und Feinzerkleinerung der Fischnebenprodukte benötigt. Um das Einziehen der gesamten Karkasse inklusive Kopf zu gewährleisten, ist eine Apparatur mit einem ausreichend großen Wellendurchmesser zu wählen. Ein homogenes Untermischen der zerkleinerten FNP und der Silierzusätze könnte mit Hilfe einer Schraubenpumpe bewerkstelligt werden, indem das Gut im Lagerbehälter eine bestimmte Zeit im Kreislauf umgepumpt wird. Da das Material durch das Pumpen mechanisch beansprucht wird, ist eine feinere Zerkleinerung des Materials damit verbunden. Zur Lagerung der Silage sind 5-10 IBC Behälter (Intermediate Bulk Container) mit jeweils 1000 L Kapazität vorgesehen. Diese Lager- und Transportbehälter sind für saure Lebensmittel geeignet, mit Stahlrohrrahmen und Kunststoffpaletten versehen und mehrfach stapelbar. Bei einer Investition von ca. 8.000 € (bei der Nutzung von z. T. gebrauchten Geräten) wird eine Abschreibung (über 10 Jahre) von 53 € pro Tonne zu zahlen sein. Spätestens nach

Ausschöpfung der maximalen Lagerkapazität (5-10 Tonnen) sollte die Silage einer Weiterverarbeitung (z.B. der Pelletherstellung) zugeführt werden.

Es wird eingeschätzt, dass bei einer täglichen Verarbeitung von 62,5 kg FNP eine Person etwa 0,5 h benötigt, um die Arbeiten im Zusammenhang mit dem Silieren zu verrichten. Bei Lohnkosten von 20 €/h würde somit ein Kostenbeitrag von 160 € für die Silierung von einer Tonne anfallen. Stromkosten für den Fleischwolf und die Pumpen werden mit ca. 6 € pro Tonne veranschlagt. Materialkosten für Ameisensäure und Antioxidationsmittel belaufen sich auf ca. 80 € pro Tonne Fischsilage (vgl. Tabelle 13). Es würden somit 299 € Kosten für die Herstellung einer Tonne Fischsilage anfallen.

Tabelle 13: Grobkalkulation der Entstehungskosten von 1 t Silage (bezogen auf 15 t Silage pro Jahr)

Kostenpunkte	Preis [€]
Ameisensäure	40
Antioxidationsmittel	40
Energie	6
Abschreibung	53
Personal	160
Gesamtkosten (Sachkosten)	299

Bei Szenarium 2 erfolgte die Fischsilageherstellung gemäß der Durchführung bei diesem Forschungsprojekt. Hierbei wurden 2 Varianten miteinander verglichen und schließlich gegeneinander ausgewogen; bei Variante 1 wurden silierte FNP (Tabelle 14) und bei Variante 2 ausschließlich nicht silierte, gekühlte FNP (Tabelle 15) eingesetzt. Die Berechnungen der Variante 1 entstanden unter der Annahme, dass pro Tag eine Silagemenge von 1,8 t anfällt, was bei 240 Arbeitstagen 432 t pro Jahr ausmacht. In Tabelle 1 sind hier neben den Rohstoff- und Energiekosten auch Abschreibungskosten der Anlage und Personalkosten dargestellt. Die Gemeinkosten wurden in Höhe von 30 % der Sachkosten veranschlagt. Unter Beachtung aller Punkte kommt man hier auf einen Selbstkostenanteil von 13,7 Cent je kg Fischfutter. Demgegenüber sind in Tabelle 2 die Kosten der Variante 2 dargestellt. Die Rohstoffkosten sind aufgrund eines nicht vorhandenen Einsatzes von Antioxidationsmittel und Ameisensäure deutlich geringer, auch die Energiekosten unterliegen einer Reduktion durch den Nichteinsatz von Rührwerken und Pumpen. Trotz der Mehrkosten durch den Einsatz eines Kühlhauses, welches aus hygienischen Gründen unbedingt notwendig ist, betragen die Kosten pro kg hier nur ca. 2,1 Cent, woraus sich im Folgenden ein Kostenunterschied von 11,6 Cent pro kg zu den silierten FNP ergibt.

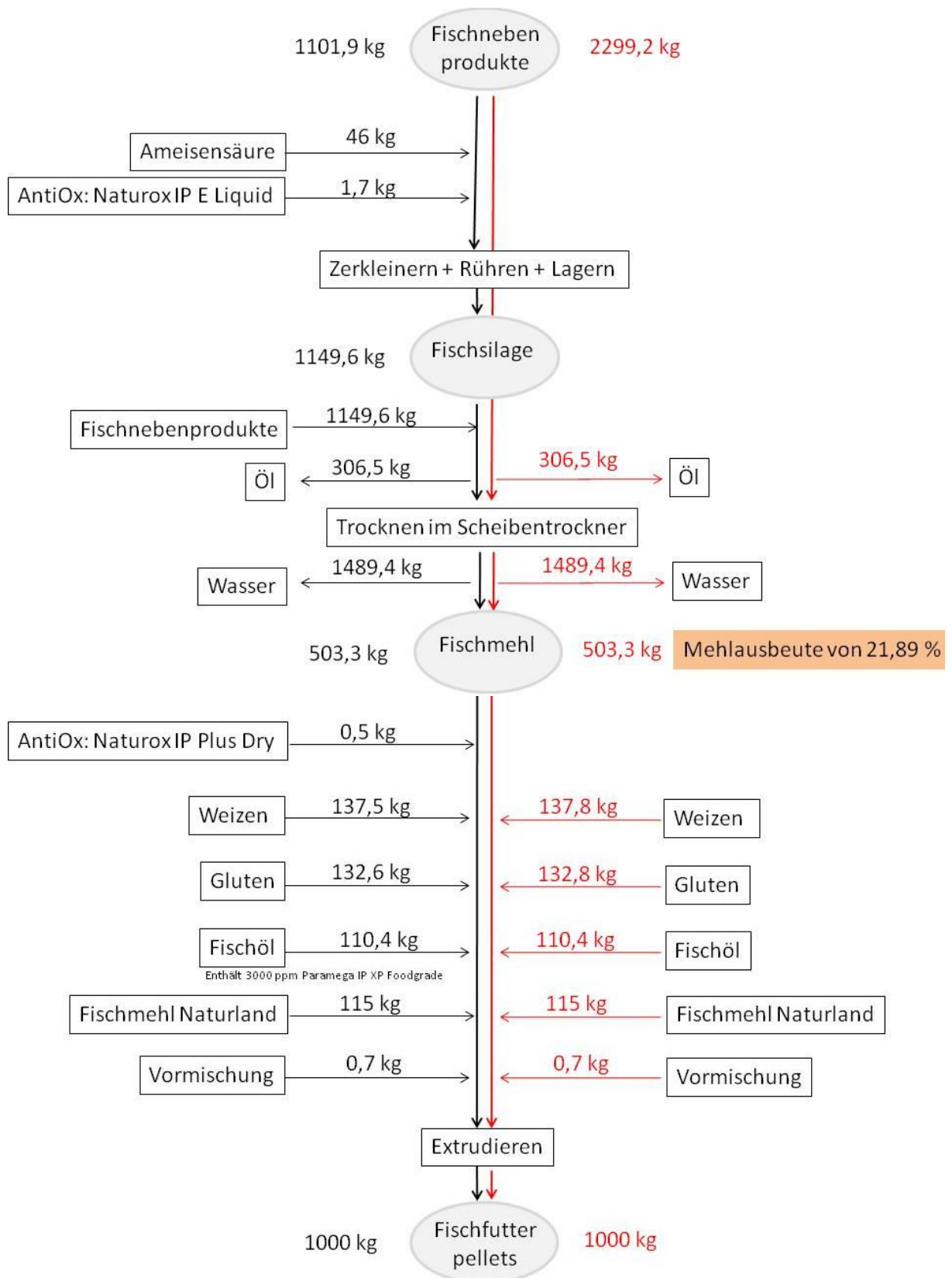


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der Fischfutterpelletproduktion aus Fischmehl, inklusive der Massenbilanz für 1 Tonne Fischfutterpellets. Links die Mehlherstellung aus silierten Fischnebenprodukten (in Schwarz), rechts aus nicht silierten Fischnebenprodukten (in Rot).

Zu klären bleibt die Frage des Endpreises für eine Tonne Silage und ob kleine (Szenarium 1) oder große Betriebe (Szenarium 2) einen Gewinn damit erzielen können. Nach Einschätzung eines Fachmannes liegen die Produktionskosten für Fischmehl ohne Einbeziehung der Rohstoffkosten (also nur Energie-, Wasser-, Personal-, Abschreibungs- und Verwaltungskosten) bei ca. 450 €/t Fischmehl. Bei einem derzeitigen Weltmarktpreis von ca. 1800 €/t Fischmehl und unter Berücksichtigung einer bei der Fischmehlherstellung erzielten Ausbeute von ca. 22 % (aus Fischsilage ausgehend) sind durchaus Silagepreise aushandelbar, die eine wirtschaftliche Silageproduktion ermöglichen.

Sowohl bei der Mehlerstellung (Trocknung durch Scheibentrockner) als auch bei der Pelletherstellung (Extrusion) sind nach Expertenangaben keine nennenswerten Mehrkosten zu erwarten. Hier ist nur der weitere Einsatz von Antioxidationsmitteln zu nennen, welche mit 3,2 Cent pro kg (32 € pro Tonne) zu veranschlagen sind. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das produzierte Fischfutter aus silierten FNP derzeit insgesamt Mehrkosten von 14,8 Cent pro kg gegenüber handelsüblichem Futter hat. Bei einem derzeitigen Preis von 1200 € pro t könnte das Fischfutter demnach um 12,3 % teurer verkauft werden, bei einem Biofutter mit einem Einkaufspreis von 2120 € pro Tonne macht der Preisanstieg lediglich 7 % aus. Ob dieser mögliche Preisanstieg zugunsten eines nachhaltigen Produktes am Ende vom Konsumenten akzeptiert würde, bleibt in dieser Forschungsarbeit ungeklärt. Einsparungspotential besteht dennoch in der Menge der eingesetzten Rohstoffe, insbesondere der Mengen an Antioxidationsmittel sowie Ameisensäure. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei dem produzierten Fischfutter mit einem Überschuss an Antioxidationsmitteln bzw. Ameisensäure gearbeitet wurde, lässt sich davon ausgehen, dass auch geringere Mengen geeignet sind.

Zum Schluss sei darauf hingewiesen, dass bei der hier dargestellten Kostenkalkulation nur FNP aus der Verarbeitung von Süßwasserfischen für die Fischfutterpelletherstellung berücksichtigt wurden. Bei der konventionellen Pelletherstellung aus nicht silierten FNP (Szenarium 2, Variante 2) wurde nur eine einfache Kühlung zur Konservierung der anfallenden FNP bis zu ihrer Verarbeitung zu Fischmehl vorgesehen. Die Kühlung erlaubt allerdings Lagerzeiten von maximal 5 Tagen. Die silierten FNP können dagegen bis 6 Monate ohne Qualitätseinbuße gelagert werden. Vergleichbare Lagerzeiten mit anderem Konservierungsverfahren, z. B. mittels Tiefkühlung, würden erhebliche Mehrkosten verursachen (IASP 2012). Ein direkter Kostenvergleich mit Fischfutterpellets aus Meeresfischen ist nicht möglich, da belastbare Preisangaben zu diesem Rohstoff nicht vorhanden sind. Unabhängig von den tatsächlichen Kosten für die zu Fischmehl verarbeiteten Meeresfische ist der dadurch zurzeit auftretende ökologische Schaden schwer zu quantifizieren.

Tabelle 14: Kostenberechnung der Silierung von Fischnebenprodukten zur Fischmehlherstellung

Posten	Preis/Einheit [€]	Nennleistung [kW]	Menge pro Tonne Silage	Kosten pro Tonne Silage [€]
Rohstoffe				
Fischnebenprodukte	0 €/kg		958,5 kg	0,00 €
Ameisensäure (85%ig) ¹	1000 €/t		40 kg	40,00 €
Naturox IP E Liquid	29 €/kg		1,5 kg	43,50 €
Gesamtkosten Rohstoffe				83,50 €
Energiekosten				
Schnecke	0,14 €/kWh	0,75 kW	3,33 kWh	0,46 €
Fleischwolf	0,14 €/kWh	8,50 kW	18,88 kWh	2,64 €
Pumpe	0,14 €/kWh	1,10 kW	3,06 kWh	0,43 €
Rührwerk	0,14 €/kWh	2,25 kW	30,00 kWh	4,20 €
Dosiergerät	0,14 €/kWh	0,18 kW	0,10 kWh	0,01 €
Rührwerk	0,14 €/kWh	1,50 kW	20,00 kWh	2,80 €
Rührwerk	0,14 €/kWh	1,50 kW	20,00 kWh	2,80 €
Wärmepumpe	0,14 €/kWh	0,75 kW	6,00 kWh	0,84 €
Verteilerschnecke	0,14 €/kWh	1,00 kW	1,25 kWh	0,18 €
Pumpe	0,14 €/kWh	2,20 kW	2,75 kWh	0,39 €
Gesamtkosten Energie				14,75 €
Abschreibung				
Gesamtkosten Abschreibung	8.800 €/Jahr			20,37 €
Personalkosten				
0,1 Arbeitskraft pro Jahr	30.000 €/a.			6,94 €
Gesamtkosten Personal				6,94 €
Sachkosten				
Gesamte Sachkosten				105,19 €
Gemeinkosten (30 % der Sachkosten)				
Gesamte Gemeinkosten				31,56 €
Selbstkosten				
Gesamte Selbstkosten pro Tonne				136,75 €
Selbstkosten pro Kg Silage				0,137 €

Tabelle 15: Kostenberechnung für Nicht-Silierte-Fischnebenprodukte zur Fischmehlherstellung

Posten	Preis/Einheit [€]	Nennleistung [kW]	Menge pro Tonne Silage	Kosten pro Tonne Silage [€]
Rohstoffe				
Fischnebenprodukte	0 €/kg		1000 kg	0,00
Gesamtkosten Rohstoffe				0,00
Energiekosten				
Schnecke	0,14 €/kWh	0,75 kW	3,33 kWh	0,46
Fleischwolf	0,14 €/kWh	8,50 kW	18,88 kWh	2,64
Pumpe	0,14 €/kWh	1,10 kW	3,06 kWh	0,43
Kühlung	0,14 €/kWh	0,001kWh/°C.kg	10,00 kWh	1,4
Gesamtkosten Energie				4,93
Abschreibung				
Gesamtkosten Abschreibung	3.450 €/Jahr			7,99
Personalkosten				
0,05 Arbeitskraft pro Jahr	30.000 €/a.			3,47
Gesamtkosten Personal				3,47
Sachkosten				
Gsamte Sachkosten				16,39
Gemeinkosten (30 % der Sachkosten)				
Gesamte Gemeinkosten				4,92
Selbstkosten				
Gesamte Selbstkosten pro t				21,307

Selbstkosten pro Kg FNP				0,021 €
--------------------------------	--	--	--	----------------

5.5 Fütterungsstudien an Zandern und Regenbogenforellen (AP 4 & 8)

5.5.1 Zu vergleichende Futtermittelformulierungen

Die Formulierung und Herstellung der zu untersuchenden Futtermittel mit Fischsilagemehl erfolgte durch den A.S.P. e. V., Berlin. Die eingesetzten Rohwaren sowie die Nährstoffzusammensetzung der resultierenden Endprodukte sind den Schilderungen in Abschnitt 5.3 zu entnehmen.

In den Fütterungsstudien im Rahmen von **AP 4** wurden die Versuchsfuttermittel Nepro 1 und Nepro 2 getestet. Als Kontrollfuttermittel fungierte in AP 4 das marktübliche, von der Fa. Aller Aqua industriell erzeugte Alleinfuttermittel „Aller Metabolica“ in 4,5 mm Körnung mit folgender Deklaration:

	Aller Metabolica
Rohprotein (%)	52
Rohfett (%)	15
Rohasche (%)	7,0
Rohfaser (%)	2,0
P (%)	1,2

Das Alleinfuttermittel Aller Metabolica war aus folgenden Rohwaren formuliert (alphabetische Reihenfolge): Blutmehl, Federmehl, Fischöl, Geflügelmehl, Hefe, Krillmehl, Maisgluten, Rapsöl, Soja, Sojaproteinkonzentrat, Weizen, Weizengluten. Die von den einzelnen Rohstoffen verwendeten prozentualen Anteile wurden in der Deklaration nicht weiter aufgeschlüsselt.

In **AP 8** wurde das Versuchsfuttermittel Nepro 3 primär mit dem marktüblichen Produkt „FSM 47/15 EX“ des Spezialfuttermittelwerks Beeskow GmbH in den Körnungen 4,5 und 6,0 mm verglichen. Aufgrund des insbesondere für juvenile Zander mit 47 % recht geringen Rohproteinanteils des Produktes FSM 47/15 EX wurde im Verlauf des ersten Fütterungsmonats das Produkt „Aller Ivory EX“ der Fa. Aller Aqua GmbH in der Körnung 3,5 mm verabreicht.

Die in AP 8 eingesetzten Kontrollfuttermittel wiesen folgende Deklaration auf:

	FSM 47/15 EX	Aller Ivory EX
Rohprotein (%)	47	54
Rohfett (%)	15	20
Rohasche (%)	7,0	10
Rohfaser (%)	2,0	1,0
P (%)	1,0	1,5

Das Alleinfuttermittel FSM 47/15 EX war aus folgenden Rohwaren formuliert (alphabetische Reihenfolge): Erbsenprotein, Federmehl hydrolisiert, Fischmehl, Fischöl, Geflügelfleischmehl, Hämoglobinpulver, HP-Sojaextraktionsschrot, Rapssaat, Rapsschrot, Triticale, Weizen.

Das Alleinfuttermittel Aller Ivory EX war aus folgenden Rohwaren formuliert (alphabetische Reihenfolge): Fischmehl, Fischöl, Hefe, Krillmehl, Weizen, Weizengluten. Die von den einzelnen Rohstoffen verwendeten prozentualen Anteile wurden in der Deklaration nicht weiter aufgeschlüsselt.

5.5.2 Testfische

Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) im benötigten Stückmassbereich von 100 bis 150 g wurden vor dem Beginn der angestrebten Fütterungsstudien nach Verfügbarkeit von Forellenzüchtern in der Umgebung erworben (Forellenzucht Gürtler, Schlaubetal, Brandenburg, Forellenhof Thießen, Sachsen-Anhalt) und an das IfB transportiert (Abbildung 5). Zur Vereinheitlichung der Variation der Stückmasse wurden die am deutlichsten vom Mittel abweichenden Individuen entnommen. Die benötigte Individuenzahl wurde schließlich einheitlich auf die eingesetzten Haltungseinrichtungen verteilt. Die individuellen Stückmassen aller besetzten Tiere wurden im Rahmen der Einwaage ermittelt und dokumentiert.



Abbildung 5: Transport von Regenbogenforellensetzlingen und Einzelfischwiegung vor Besatz

Die für die angestrebten Fütterungsstudien benötigten Zander (*Sander lucioperca*) wurden aus dem Bestand des IfB entnommen. Hier wurden nach Vorverlegung der natürlichen Laichzeit aus dem am Institut etablierten Laichfischbestand Zanderbrütlinge erstellt, an Trockenfuttermittel adaptiert und bis zum Einsatz in den Fütterungsstudien auf Trockenfutterbasis aufgezogen (Müller-Belecke und Zienert 2008, Zienert und Heidrich 2005). Abbildung 6 zeigt juvenile Zander unterschiedlicher Entwicklungsstadien während der Aufzucht am IfB. Auch bei den Zandern erfolgten vor dem Start der Fütterungsstudien eine Einzelfischwiegung und die gleichmäßige Aufteilung der benötigten Stückzahl auf die Haltungsbecken.



Dottersackbrut (ca. 5mm Länge)



Trockenfutteradaptation (ca. 20 mm Länge)



Zandersetzlinge (ca. 5 g)



Satzzander (ca. 200 g)

Abbildung 6: Zander unterschiedlicher Entwicklungsstadien während der Aufzucht am IfB

5.5.3 Haltungseinrichtungen

Das für die Fütterungsstudien an Regenbogenforellen eingesetzte, in einer Halle untergebrachte geschlossene Kreislaufsystem umfasst sechs siloförmige Haltungsbecken mit einem Haltungsvolumen von jeweils 1,3 m³. Das Ablaufwasser der Haltungsbecken fließt gesammelt zur mechanischen Reinigung (Siebtrommelfilter, Bespannung 60 µm) und nach Filterung in den Pumpensumpf. Der Trommelfilter wird für Spülvorgänge mit Zirkulationswasser betrieben.

Im Pumpensumpf erfolgen geregelt die Temperierung und pH-Anpassung des Zirkulationswassers. Wasserverluste werden im Pumpensumpf über einen Schwimmerschalter ausgeglichen. Ein Paar redundanter Pumpen rezirkuliert das Haltungswasser durch ein automatisches Sauerstoffanreicherungssystem zurück in die Haltungsbecken. Das eingespeiste Wasser wird geregelt zu etwa 130 % mit Sauerstoff übersättigt. In den Haltungsbecken werden nach Bedarf (in Abhängigkeit der Fischgröße) zwischen einem und zwei Wasserwechsel pro Stunde eingestellt. Zur Reduzierung der Keimbelastung werden stündlich etwa 2 m³ des zirkulierenden Haltungswasserstroms im Bypass an einem UVC-Brenner (85 W) vorbeigeführt.

Ein weiteres redundantes Pumpenpaar fördert im Bypass ca. 10 m³ Wasser pro Stunde aus dem Pumpensumpf zur Nitrifikation durch einen Wirbelbettreaktor mit einer Kapazität zur Nitrifikation von rund 120 g NH₄-N pro Tag. Nach Passage des Biofilters gelangt der Teilstrom über eine Entgasungskaskade zurück in den Pumpensumpf. Durch die vorhandene

rechnergestützte Mess- und Regeltechnik (Siematic WinCC, Fa. Siemens) werden zentrale Parameter der Haltungsumwelt (Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Wasserzirkulation) kontinuierlich visualisiert und dokumentiert. Im Falle von Parameterüber- oder unterschreitungen übernimmt ein Alarmierungssystem die Information des von IfB-Fachpersonal betriebenen Bereitschaftsdienstes (24 h, 7 Tage die Woche). Zur Futtermittelverabreichung steht ein SPS-gesteuertes Fütterungssystem (Fa. Pflanze) zur Verfügung, welches die täglich eingewogene Futtermenge frei skalierbar über den Tag in die Haltung Becken portioniert.

Über die Ermittlung von Futterresten in den einzelnen Beckenausläufen erlaubt das Haltungssystem das Erkennen von Schwankungen des Futteraufnahmevermögens im Bereich von 0,1 Gewichtsprozenten der Bestandsbiomasse jedes einzelnen Beckens.

Das Kreislaufsystem mit einem Gesamtvolumen von 11,6 m³ erlaubt bei praxisüblichen Haltungsdichten die Durchführung von Leistungsprüfungen an Wirtschaftsfischarten mit Haltungswasserparametern im Optimalbereich der jeweiligen Spezies (Schreckenbach 2010). Für die Durchführung der Fütterungsstudien an Regenbogenforellen, die Haltungswassertemperaturen von 14 – 16 °C präferieren (Schäperclaus und Lukowicz 1998), wurde das Kreislaufsystem während der Sommermonate über einen Wärmetauscher mit Tiefenwasser (ca. 10 °C) aus dem unmittelbar an dem Kreislaufsystem gelegenen Sacrower Sees gekühlt. Abbildung 7 zeigt eine Teilansicht des eingesetzten Kreislaufsystems.

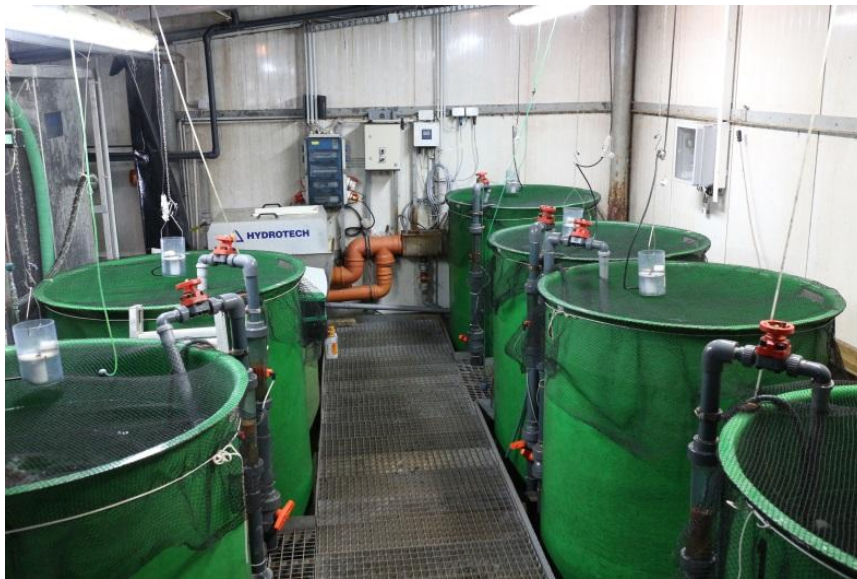


Abbildung 7: Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Regenbogenforellen eingesetzten IfB-Kreislaufsystems

Das für die Fütterungsstudien an Zandern eingesetzte Kreislaufsystem ähnelt dem vorab beschriebenen Kreislaufsystem in Ausstattung, Dimensionen und Funktionen. Es befindet sich in einer aufwändiger isolierten, klimatisierten Halle und verfügt über sechs Rundbecken mit einem Haltungsvolumen von jeweils 1,4 m³. Anstelle des Wirbelbettreaktors ist zur biologischen Aufbereitung des Haltungswassers ein Bewegtbettreaktor (MBBR) installiert, der konstruktiv neben seiner Biofilterfunktion zur CO₂-Entgasung beiträgt. Dieses System verfügt somit über keine separate Entgasungskaskade. Die eingesetzten Kreislaufsysteme erlaubten Fütterungsstudien bei konstanten Haltungswassertemperaturen im Optimalbereich

des Zanders (ca. 22-24 °C). Abbildung 8 zeigt eine Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Zandern eingesetzten Kreislaufsystems.



Abbildung 8: Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Zandern eingesetzten IfB-Kreislaufsystems

An Regenbogenforellen wurden im Rahmen von AP 8 weiterhin Fütterungsstudien im Praxismaßstab in Netzgehegen durchgeführt. Zum Einsatz kamen vier Gehege der im Sacrower See (ca. 100 ha Seenfläche) gelegenen Netzgehegeanlage des IfB. Die rechteckigen Gehege sind an Schwimmstegen und Schwimmkörpern aufgehängt und verfügen über ein Haltungsvolumen von je etwa 30 m³ (Breite: 3 m; Länge: 4 m; Tiefe: 2,5 m). Zur Verminderung des Prädatoreinflusses werden die einzelnen Gehege etwa 60 cm oberhalb der Wasseroberfläche mit Netzen überspannt. Die Futterverteilung erfolgt über 24 h-Bandfutterautomaten, auf welche die täglich zu verabreichende Futtermenge aufgelegt wird. Der Sacrower See verfügt im Regelfall im Zeitraum von Oktober bis Mai über Wassertemperaturen unterhalb von 18 °C. In diesen Monaten ist die Durchführung von Fütterungsversuchen mit Kaltwasserfischarten wie Regenbogenforellen ohne ungewöhnlichen Temperaturstress für die gehaltenen Fische möglich. Die Haltungstemperaturen folgen dem natürlichen Temperaturverlauf. Die Fütterungsintensität ist entsprechend anzupassen. In den Wintermonaten führen niedrige Wassertemperaturen und ggf. Eisbedeckung zwischenzeitlich zu praxisüblichen Situationen, in denen minimale Futtergaben oder Fütterungspausen auftreten. Die Haltungsumwelt Netzgehege unterscheidet sich somit insbesondere hinsichtlich der ausgeprägten natürlichen Schwankungen der Wassertemperatur von der zuvor beschriebenen Haltungsumwelt Kreislaufsystem. Abbildung 9 zeigt eine Teilansicht des für die Fütterungsstudien an Regenbogenforellen eingesetzten Netzgehegeanlage im Sacrower See.



Abbildung 9: Netzgehegeanlage des IfB

5.5.4 Durchführung der Fütterungsvergleiche, Parametererfassung

Die Fische wurden zur Akklimatisierung an die Haltungsbedingungen bereits kurz vor Untersuchungsbeginn in die Haltungseinrichtungen verbracht. Die Besatzdichten wurden in Abhängigkeit von Art und Größenklasse in einem geringen aber praxisrelevanten Bereich eingestellt. Um eine Homogenität der Gruppen zu gewährleisten, wurden in der Adaptationsphase offenbar futtermisshandhabende oder konstitutionell ungeeignete Exemplare gegen geeignete Tiere ersetzt.

Die täglichen Futterrationen wurden anhand der beobachteten Futteraufnahme der Tiere tagesaktuell über Microsoft Excel-basierte Fütterungstabellen für jedes Becken grammgeneu berechnet, eingewogen (Abbildung 10) und in den Kreislaufsystemen über die SPS gesteuerten Futterautomaten in drei Intervallen (4 h) verabreicht. In Netzgehegen erfolgte die Futtermittelverabreichung der täglich eingewogenen Ration kontinuierlich über 24h-Bandfutterautomaten. Die tägliche Routine (7 Tage pro Woche) umfasste in den Kreislaufsystemen eine Reinigung der Haltungseinrichtung sowie eine Überprüfung und Anpassung von Haltungsparemtern (Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert). Einmal wöchentlich wurden weitere Haltungsparemtern (Ammonium-, Nitrit-, Nitratbelastung, Alkalinität, Trübung und Leitfähigkeit) im institutseigenen Labor überprüft. Das Verhalten der Fische, sowie die Futteraufnahme wurden während der Woche mehrmals täglich, am Wochenende einmal pro Tag kontrolliert.

In den Netzgehegen erfolgten neben der täglichen Fütterung eine Sichtkontrolle der Fischbestände, die Funktionsüberprüfung der Bandfutterautomaten und die Dokumentation der Seewassertemperatur in 2 m Tiefe. An Wintertagen mit geschlossener Eisdecke wurde die Fütterung bis zum nächsten Eisaufgang eingestellt. Zur Aufrechterhaltung einer hinreichenden Durchströmung der Netzgehege wurden die Netzbeutel im Falle erhöhten Algenaufwuchses bei Bedarf getauscht. In regelmäßigen Abständen wurden im Becken des Sacrower Sees, in dem sich die Netzgehegeanlage befindet, die Sichttiefe und in Proben aus

einer Wassertiefe von 1 bis 2 m die Parameter Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Alkalinität, Leitfähigkeit, Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor bestimmt.

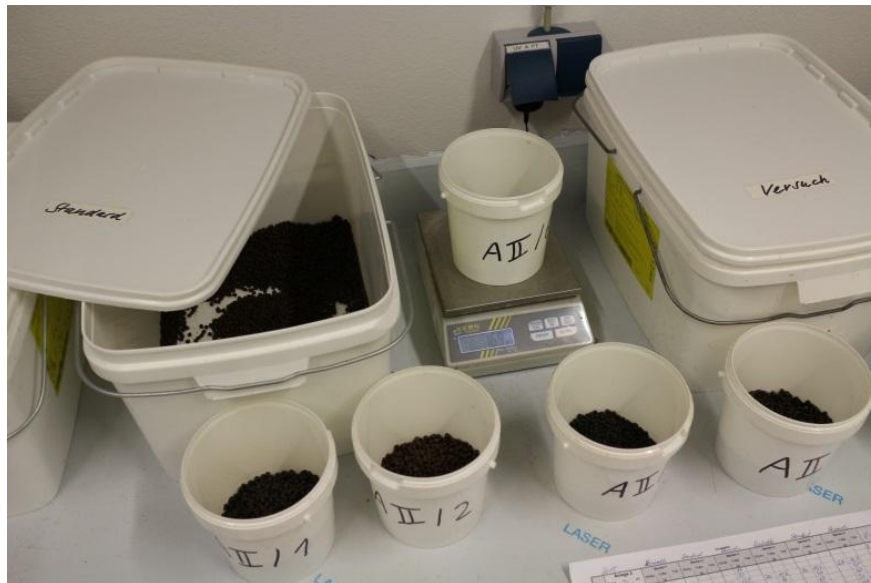


Abbildung 10: Grammgenaue Einwaage täglicher Futterrationen

Während des ersten Monats der Fütterungsstudien erfolgte in den Kreislaufsystemen zur Prüfung der Palatabilität die Messung der maximal aufgenommenen täglichen Futterration. In den folgenden Monaten wurden Wachstumsleistung und Futtermittelnutzung bei Verabreichung einer leicht rationierten täglichen Futtermenge ermittelt. Pro Behandlungsvariante wurde im Rahmen von AP 4 mit zwei, in AP 8 mit drei zeitgleichen Wiederholungen gearbeitet. Fütterungsstudien im Praxismaßstab in Netzgehegen (AP 8) erfolgten mit zwei zeitgleichen Wiederholungen.

In den Kreislaufsystemen in vierwöchigen Abständen erfolgten zur mehrmaligen Ermittlung von Wachstumsleistung und Futtermittelnutzung während des Verlaufs der Fütterungsstudien Wägungen der Bestandsbiomasse der einzelnen Haltungseinheiten. In den Netzgehegen musste im Februar aufgrund einer geschlossenen Eisdecke auf eine Wägung verzichtet werden. Die ursprünglich über vier Monate geplante Fütterungsstudie in Netzgehegen wurde aufgrund temperaturbedingt geringer Futteraufnahme während der Wintermonate auf 6,5 Monate ausgedehnt.

Anhand der erhobenen Daten wurden die folgenden Parameter berechnet und zur Bewertung der Futtermittel herangezogen:

SGR %/d („specific growth rate“ nach Busacker et al. 1990): Beschreibt die durchschnittliche, tägliche Wachstumsrate (Stückmassezunahme). Durch Schaffung gleicher Umweltbedingungen mit den eingesetzten Futtermitteln als veränderlicher Komponente im Studienaufbau bildet die spezifische Wachstumsrate den Einfluss des Futtermittels in idealer Weise ab.

FQ („Futterquotient)“: Beschreibt den nötigen Futtereinsatz für ein kg Zuwachs an Fischmasse und ist neben der SGR der Parameter mit der höchsten Aussagekraft über die Futtermittelqualität. Ein FQ von 1,5 bedeutet beispielsweise, dass zum Erzeugen von 1 kg Fisch 1,5 kg Futtermittel benötigt wurden. Je höher der FQ desto schlechter stellt sich die Futtermittelverwertung dar.

Fütterungsintensität % max.: Beschreibt die maximal aufgenommene Futtermenge in % der Fischbiomasse. Sie liegt zumeist oberhalb der Fütterungsintensität für optimale Produktqualität und Futtermittelverwertung, stellt jedoch Informationen zur Palatabilität der verabreichten Futtermittel zur Verfügung.

Auf Basis der in den Fütterungsstudien erzielten Futtermittelverwertung wurde unter Einbeziehung der in den Futtermitteln ermittelten P- und N-Gehalte und der Nährstoffgehalte im Fischzuwachs (Schreckenbach et al. 2001) das Nährstoffeintragspotenzial der Futtermittel bilanziert.

Zur Bestimmung von Schlachtkörperparametern folgte der Leistungsprüfung nach stichprobenartiger Schlachtung von 30 bis 40 Individuen pro Futtergruppe im IfB-Schlachtraum (Abbildung 11) die Erfassung von Stückmasse, Länge, Filetanteil (Filet ohne Haut, AP 8), Intestinalfettanteil, Leberanteil sowie die Bestimmung von Helligkeit und Färbung des Filets (AP 8) und der Leber im CIE-L*a*b*-Farbraum mittels des Chromameters Minolta CR-300. Neben der Wägung des Intestinalfettes erfolgte nach Eröffnung der Bauchhöhle zusätzlich eine optische Einschätzung des Intestinalfettanteils (Klasse 1: wenig; Klasse 5: viel).

Der **Leberanteil in %** (Hepato-Somatischer-Index) stellt das Verhältnis von Lebermasse zu Körpermasse dar. Der Leberanteil kann als Indikator für problematische Futterinhaltsstoffe dienen, die eine Lebervergrößerungsveränderung durch Stoffwechselschwierigkeiten und/oder übermäßige Fettaufnahme widerspiegeln.

Der **Intestinalfettanteil in %** (Intestinalfett-Somatischer-Index) gibt das Verhältnis von Intestinalfettmasse zu Körpermasse an. Anhand des Intestinalfettanteils können Rückschlüsse auf Energiegehalt und -umsetzung der Futtermittel gezogen werden.

Der **CIE-L*a*b*-Farbraum** stellt Helligkeit und Farbanteile nach einem definierten Standard im dreidimensionalen Raum dar. Zur gewohnten Färbung und Helligkeit deutlich veränderte Filetfarben können Schwierigkeiten bei der Vermarktung der Endprodukte nach sich ziehen. Leberhelligkeit und -färbung können weitere Indizien für Stoffwechselschwierigkeiten und/oder übermäßige Fettaufnahme darstellen.



Filettieren, Häuten



Filettieren



Erfassung von Leber-, Intestinalfettmassen



Chromameter Minolta CR-300

Abbildung 11: Erfassung von Schlachtkörperparametern

Sensorische Untersuchungen wurden in Form von paarweisen Vergleichsprüfungen in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 durchgeführt. Panels aus sechs geschulten Prüfpersonen wurden die zu vergleichenden, bei 180 °C für 10 min im Backofen gegarten Filetstücke in vier Durchgängen (24 Prüfungen pro paarweisem Vergleich) zur Verköstigung vorgelegt. Bei einer Mindestzahl von 18 Entscheidungen für eine der Vergleichsgruppe des analysierten Vergleichsgruppenpaars, konnte damit ein statistisch nachweisbarer, signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$; zweiseitiger Vergleich) dargestellt werden. Konnte von einer Testperson in einem Prüfmerkmal kein Unterschied festgestellt werden, erfolgte eine Zuordnung zu gleichen Anteilen zu beiden Vergleichsgruppen. Abbildung 12 vermittelt einen Eindruck zur Durchführung einer paarweisen Unterschiedsprüfung am IfB und stellt die verwendeten Prüfbögen und Prüfberichte dar.



Vorbereitung des Prüfgutes



Panel während der Vergleichsprüfung

Paarweise Vergleichsprüfung nach DIN EN ISO 5495

Prüfgut: RF Datum: 19.07.2017
 Prüfperson: Simon II

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen getrennt für jedes Prüfmerkmal:

- 1. Frage: Welche Probe ist ausgeprägter? (Nr. angeben oder k. U. für „keinen Unterschied“)
- 2. Frage: Welche Probe wird bevorzugt? (Nr. angeben oder k. U. für „keinen Unterschied“)

Zusatzfrage: Was stört an der nicht bevorzugten Probe?

Prüfmerkmal	1. Frage	2. Frage
a) Geruch	618	133

Zusatzfrage:
 (z.B. zu süßlich, kein Aroma, zu fischig, muffig, modrig, stechend, Fremdgeruch nach...)

Prüfmerkmal	1. Frage	2. Frage
b) Farbe (innen)	133	618

Zusatzfrage:
 (z.B. zu blass, zu dunkel, ungleichmäßig, zu farbig, zu grau/bräunlich...)

Prüfmerkmal	1. Frage	2. Frage
c) Festigkeit	133	618

Zusatzfrage: etwas zäh
 (z.B. zu fest, zu zäh, zu weich, schwammig, gummiartig, schmierig, bröckelig...)

Prüfmerkmal	1. Frage	2. Frage
d) Geschmack	133	618

Zusatzfrage: nicht so intensives Geschmack
 (z.B. zu salzig, zu fade, süßlich, säuerlich, bitter, modrig, muffig, fettig, alt, nach Anlake, zu fischig, Fremdgeschmack nach...)

Prüfbericht paarweise Vergleichsprüfung nach DIN EN ISO 5495

Prüfgut: Meyer RF NK
 a) 16. Stelle b) Meyer 3

Prüfdatum: 19.7.17 Prüfungsleiter: AS
 Anzahl der Prüfpersonen: a) 24 b) 24
 Prüfklima: 21°C

Anzahl und Qualifikation der Prüfpersonen: ein gemischtes Panel, n=6

Durchgang 1:

Prüfprobencodes: a) 113, 659
 781, 643
 957, 703

Durchgang 2:

Prüfprobencodes: a) 152, 481
 965, 863
 847, 773

Durchgang 3:

Prüfprobencodes: a) 883, 745
 200, 24
 37, 751

Durchgang 4:

Prüfprobencodes: a) 985, 617
 465, 7
 297, 778

Prüfbogen

Prüfbericht

Abbildung 12: Durchführung einer paarweisen Vergleichsprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 5495

Zur Vermeidung der Einflussnahme geschmacksbeeinträchtigender Substanzen aus dem Haltungswasser auf fütterungsbedingte sensorische Charakteristika wurde vor der Verwendung von Fischen für Sensorik-Untersuchungen an anderen Tieren aus der zu prüfenden Gruppe eine Vorab-Verköstigung auf Anreicherung von Geosmin und Methyl-Iso-Borneol (MIB) durchgeführt. Bei Vorhandensein dieser geschmacksbeeinträchtigenden Substanzen erfolgte zunächst eine Hälterung der sensorisch zu untersuchenden Tiere.

5.5.5 Statistische Datenauswertung

Die statistische Untersuchung einheitlicher Individuengrößen zu Untersuchungsbeginn erfolgte über einfaktorielle Varianzanalysen an Stückmassen der in die Haltungseinheiten (sechs Haltungsbecken im Falle der Untersuchungen in Kreislaufsystemen, vier Gehege im

Fälle der Untersuchungen in Netzgehegen) besetzten Individuen (fixer Faktor: Beckenwiederholungen bzw. Netzgehegewiederholungen).

Der statistische Vergleich der Stückmasseentwicklung zwischen Futtergruppen nach Abschluss der Leistungsprüfungen erfolgte nach Überprüfung auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest über zweifaktorielle Varianzanalysen mit der Futtergruppe als zu untersuchendem Haupteffekt als fixem Faktor und der Becken- bzw. Netzgehegewiederholung als zufälligem Faktor und post hoc Tests (Scheffe', Dunnett-T3 in Abhängigkeit von Varianzhomo- oder heterogenität).

Die in den Nepro-Futtergruppen gewonnenen Schlachtkörperparameter wurden mit zweiseitigen Students T-Tests auf signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe geprüft.

Die statistische Datenanalyse erfolgte unter Zuhilfenahme des Softwarepaketes IBM-SPSS 15.0 bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

Die statistische Auswertung der sensorischen Untersuchungen erfolgte nach den Vorgaben der DIN EN ISO 5495 (24 Prüfproben pro Futtergruppe und Prüfung).

5.5.6 Erste Fütterungsstudie (AP 4)

5.5.6.1 Regenbogenforellen

Haltungsumwelt

Während der vom 30.11.2015 bis zum 22.02.2016 verlaufenden Fütterungsstudie wurden die in Tabelle 16 dargestellten Minima und Maxima in den gemessenen Wasserparametern vorgefunden. Alle Parameter bis auf die Haltungswassertemperatur lagen über den gesamten Untersuchungszeitraum in einem für Regenbogenforellen optimalen Bereich (Schreckenbach 2010). Auch die für eine maximale Futteraufnahme zeitweise suboptimale Haltungswassertemperatur von unter 13 °C liegt in einem für die Regenbogenforelle als typische Kaltwasserart problemlos zu tolerierenden Bereich. Aufgrund der Haltung in einem geschlossenen Kreislaufsystem mit hohen Zirkulationsraten (1 – 2 Umläufe pro Stunde) waren alle Wasserparameter für die Futtergruppen und alle Beckenwiederholungen zeitgleich stets nahezu identisch.

Tabelle 16: Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 4 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter

Parameter	Minimum	Maximum
Wassertemperatur (°C)	11,0	14,9
Sauerstoffgehalt (mg/l)	10,0	11,7
Trübung (FNU)	0,9	2,5
pH-Wert	7,4	8,0
Alkalinität (mmol/l)	1,0	1,8
Leitfähigkeit (µS)	354	8.930
Salinität (‰)	0,0	1,6
Ammonium (mg/l)	0,08	0,16
Nitrit (mg/l)	0,05	0,13
Nitrat (mg/l)	7	49

Zu Beginn der Fütterungsstudie am 30.11.2015 betrug die Besatzdichte in den sechs verwendeten Haltungsbekken zwischen 7,4 und 8,2 kg pro m³. Zum Ende der Prüfung am 22.02.2016 lagen die Besatzdichten zwischen 8,5 und 17,8 kg pro m³ und befanden sich damit im unteren praxisrelevanten Bereich. Negative Einflüsse durch Dichtestress oder damit verbundene suboptimale Haltungswasserparameter auf die Untersuchungsergebnisse konnten somit ausgeschlossen werden. Die durchschnittlichen Startstückmassen der zu Versuchsbeginn in die Haltungsbekken besetzten Gruppen von Regenbogenforellen lagen - ermittelt auf Basis von Einzelfischwiegungen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) - mit 162,5 bis 181,1 g auf einem einheitlichen Niveau und unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p = 0,107$ bis $p = 0,988$).

Futtermittelverbrauch, Wachstumsleistung

In Tabelle 17 sind Informationen zu den im Rahmen von AP 4 durchgeführten Fütterungsuntersuchungen mit zwei Fischmehl aus silierten Nebenprodukten der Fischverarbeitung einschließenden Futtermitteln (Nepro 1, Nepro 2) im Vergleich zum Industriestandard (Kontrolle) über den gesamten Untersuchungszeitraum aufgeführt.

Wurde in den Kontrollgruppen über den gesamten Untersuchungszeitraum mit industriellem Alleinfuttermittel eine im betreffenden Stückmassbereich praxisübliche spezifische Wachstumsrate von etwa 1 % pro Tag beobachtet, reduzierte sich diese in den Nepro 1-Gruppen auf knapp 0,3 % in den Nepro 2-Gruppen auf unter 0,2 %. Ebenfalls nicht praxistauglich lagen die Futterquotienten bei den beiden in AP 4 getesteten Nepro-Futtermitteln bei knapp 3 (Nepro 1) bzw. 4 (Nepro 2). Die Überlebensraten lagen bei allen Testgruppen mit ca. 93 – 98 % im praxisüblichen Rahmen. Gesundheitszustand und Verhalten der Fische waren während des Untersuchungszeitraums in allen Futtergruppen unauffällig. Die in den Kontrollgruppen ermittelten Wachstumsleistungen und Futterquotienten verweisen auf eine Verwertung des eingesetzten industriellen Futtermittels auf praxisüblichem Niveau und damit auf die Eignung des eingesetzten Haltungssystems für die durchgeführten Fütterungsstudien.

Tabelle 17: Wachstumsleistung und Fütterungsparameter bei der Regenbogenforelle (Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 4).

	Kontrolle	Nepro 1	Nepro 2
Versuchsstart (Datum):	30.11.15	30.11.15	30.11.15
Versuchsende (Datum):	22.2.16	22.2.16	22.2.16
Besetzte Individuen (n):	60	60	60
Besatzgewicht gesamt (kg):	10,325	9,850	10,125
Entnahme Tote (n):	1,5	4,5	2
Entnahme Tote (kg):	0,294	0,821	0,4315
Entnahme Sonstige (n):	0	0	0,5
Entnahme Sonstige (kg):	0	0	0,074
Abgefischte Individuen (n):	58,5	55,5	57,5
Abfischgewicht (kg):	22,450	11,325	11,150
Futtermiteinsatz (kg):	14,874	6,360	5,950
Veruchszeitraum (d):	84	84	84
Startstückmasse (g):	172,1	164,2	168,8
Endstückmasse (g):	383,7^a	204,1^b	194,1^b
Zuwachs (g):	211,6	39,9	25,3
SGR (%):	0,96	0,26	0,17
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,20	2,82	3,92
Überlebensrate (%):	97,5	92,5	96,7

^{a,b,c}: unterschiedliche Buchstaben verweisen auf signifikante

Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Endstückmassen ($p \leq 0,05$)

Die anhand der Einzelfischstückmassen nach Ende der Leistungsprüfung durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse wies die Unterschiede in der Endstückmasse zwischen der Kontrollgruppe und den Futtergruppen Nepro 1 und Nepro 2 als statistisch signifikant aus ($p \leq 0,05$). Die Unterschiede zwischen den Gruppen Nepro 1 und Nepro 2 erwies sich als nicht signifikant.

Abbildung 13a/b stellt die Entwicklung der in den einzelnen Haltungsbecken beobachteten spezifischen Wachstumsraten (SGR) und Futterquotienten (FQ) in Abfolge der Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung) dar. Mit wenigen Ausnahmen lagen die beiden Beckenwiederholungen (A, B) pro untersuchtem Futtermittel in den erfassten Parametern innerhalb der einzelnen Versuchsabschnitte auf einem einheitlichen Niveau. Die mit dem Kontrollfuttermittel versorgten Becken wiesen durchgängig die mit Abstand höchsten spezifischen Wachstumsraten und die günstigsten Futterquotienten auf. Die mit den Versuchsfuttermitteln Nepro 1 und Nepro 2 gefütterten Becken lagen bei den SGR und FQ während des ersten und letzten Versuchsabschnittes auf einem einheitlichen, ungünstigen Niveau. Eine schlüssige Erklärung für die während des mittleren Versuchsabschnittes nochmals deutlich zurückfallenden SGR und massiv steigenden FQ der beiden Beckenwiederholungen der Nepro 2-Gruppe kann nicht erbracht werden. Insbesondere in den Kontrollgruppen ist die in Fischernahrung und -physiologie allseits bekannte Verringerung der Wachstumsrate und Verschlechterung der Futtermittelverwertung aufgrund sinkender Stoffwechselrate bei zunehmender Größe gut zu erkennen (Steffens 1985).

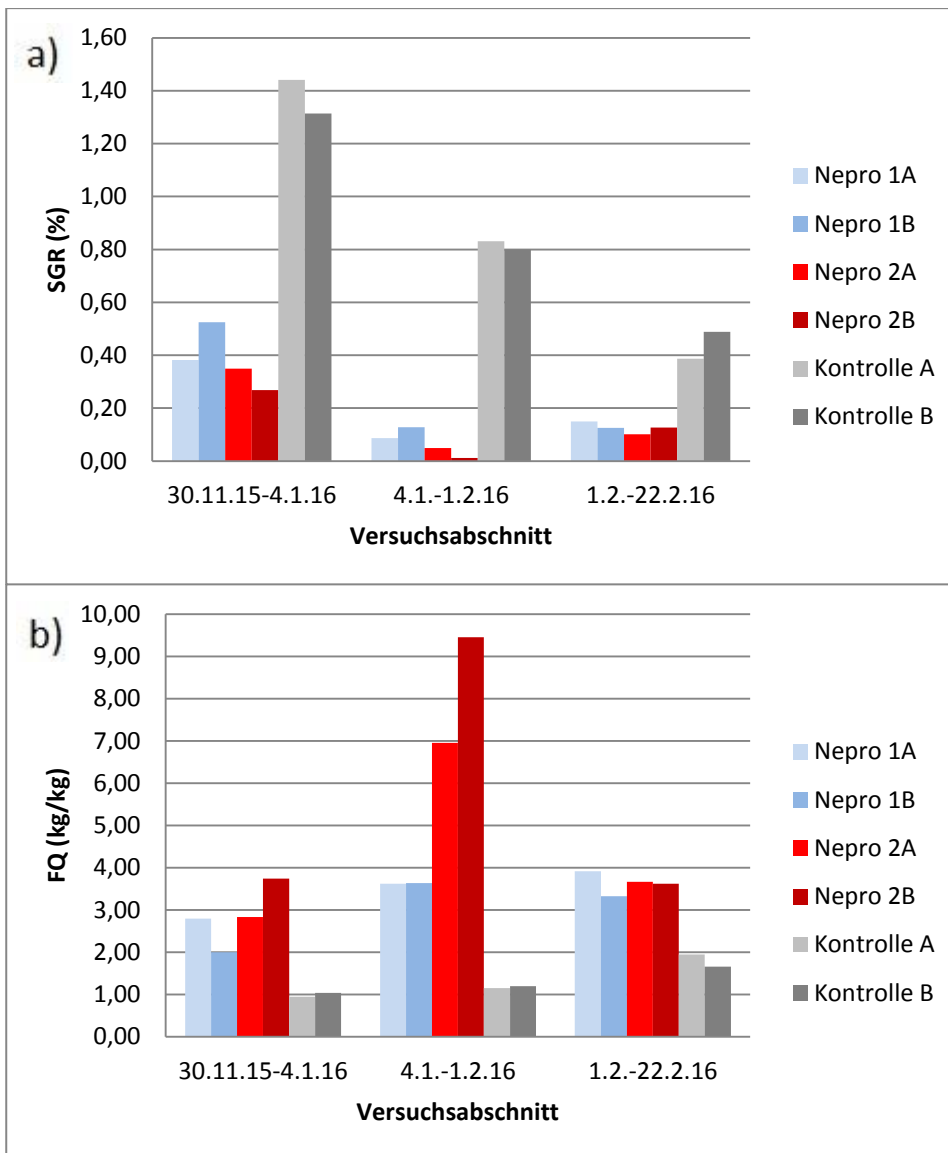


Abbildung 13: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltung Becken im Verlauf der drei Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 4; Regenbogenforellen im Kreislaufsystem)

Während des ersten, vierwöchigen Fütterungsabschnittes wurde die mit den untersuchten Futtermitteln erzielbaren maximalen Fütterungsintensitäten untersucht. Sie lag beim Kontrollfutter mit 1,5 % in der für den Stückmassbereich von rund 200 g erwarteten Größenordnung. Vom Futtermittel Nepro 1 nahmen die Forellen lediglich maximal 1,05 %, vom Futter Nepro 2 nur 0,95 % der Bestandsbiomasse auf. Diese praxisuntauglichen, schlechten maximal möglichen Fütterungsintensitäten verwiesen auf eine mangelhafte Palatibilität der geprüften Futtermittel Nepro 1 und Nepro 2.

In Anhangstabelle A1 sind die während der einzelnen Versuchsabschnitte im Rahmen von AP 4 an Regenbogenforellen im Kreislaufsystem erzielten Ergebnisse im Einzelnen als Mittelwerte aus zwei Beckenwiederholungen innerhalb Futtergruppen aufgeführt.

Schlachtkörperparameter

Tabelle 18 zeigt die an 20 pro Futtergruppe im Rahmen von AP 4 stichprobenartig geschlachteten Regenbogenforellen gemessenen Schlachtkörperparameter.

Vergleichbare Leberanteile verwiesen darauf, dass es in den vorliegenden Untersuchungen durch den Einsatz der Nepro-Futtermittel offenbar nicht zu massiven Änderungen im Lebermetabolismus, welche Lebergrößenänderungen nach sich ziehen können, kam. Die Lebern der Nepro-Gruppen waren jedoch signifikant dunkler (L-Wert), hatten vergleichbare Rotanteile (a-Wert) und weniger Gelbanteile (b-Wert) als die Lebern der Tiere aus der Kontrollgruppe. Offenbar wurde bei der im Vergleich zur Kontrolle deutlich geringeren Futteraufnahme in den Nepro-Gruppen weniger (helles, gelbliches) Fett in die Lebern eingelagert. Ähnlich abzuleiten sind die Intestinalfettanteile, die ebenfalls in den Nepro-Gruppen geringer ausfielen.

Tabelle 18: Erfasste Schlachtkörperparameter nach Futtergruppen (20 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (10 Individuen pro Beckenwiederholung))

Parameter	Kontrolle		Nepro 1		p	Nepro 2		p
	MW	SD	MW	SD		MW	SD	
Stückmasse (g)	408,0	91,07	201,3*	62,51	0,000	198,0*	53,27	0,000
Länge (cm)	31,78	2,20	27,00*	2,34	0,000	26,68*	2,01	0,000
Lebergewicht (g)	7,19	2,27	3,71*	0,81	0,000	3,50*	0,83	0,000
Leberanteil (%)	1,76	0,37	1,83	0,45	0,603	1,80	0,25	0,710
Leberhelligkeit L	32,82	2,89	30,74*	3,56	0,050	29,53*	2,75	0,001
Leberfarbe a	15,01	1,73	14,56	2,33	0,494	14,59	2,16	0,497
Leberfarbe b	5,14	2,55	3,69	3,24	0,124	1,96*	1,95	0,000
Intenstinalfettgew. (g)	10,77	5,04	4,96*	3,01	0,000	3,14*	2,09	0,000
Intestinalfettanteil (%)	2,64	0,86	2,26	1,05	0,220	1,49*	0,72	0,000
Intestinalfettklasse (1-5)	3,60	0,50	2,70*	0,66	0,000	2,20*	0,62	0,000

MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung, *: signifikanter Unterschied zur Kontrolle ($p \leq 0,05$)

5.5.6.2 Zander

Haltungsumwelt

Tabelle 19 fasst die während der vom 12.10.2015 bis zum 09.11.2015 verlaufenden Fütterungsstudie gemessenen Minima und Maxima der Haltungswasserparameter zusammen. Alle Parameter lagen über den gesamten Untersuchungszeitraum in einem für Zander optimalen Bereich (Schreckenbach 2010). Aufgrund der Haltung im geschlossenen Kreislaufsystem mit hohen Zirkulationsraten (1 – 1,5 Umläufe pro Stunde) waren alle Wasserparameter für alle Futtergruppen und Beckenwiederholungen zeitgleich stets nahezu identisch.

Tabelle 19: Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Zandern im Rahmen von AP 4 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter

Parameter	Minimum	Maximum
Wassertemperatur (°C)	23,8	24,1
Sauerstoffgehalt (mg/l)	7,6	9,6
Trübung (FNU)	1,0	1,9
pH-Wert	7,1	7,2
Alkalinität (mmol/l)	0,5	0,7
Leitfähigkeit (µS)	2.220	3.230
Salinität (‰)	1,1	1,8
Ammonium (mg/l)	0,18	0,27
Nitrit (mg/l)	0,10	0,18
Nitrat (mg/l)	60	78

Die Besatzdichte in den sechs verwendeten 1,4 m³-Haltungsbecken lag zu Beginn der Fütterungsstudie zwischen 10,4 und 10,9 kg pro m³ und zwischen 9,9 und 12,0 kg an deren Ende. Negative Einflüsse durch Dichtestress oder damit verbundene suboptimale Haltungswasserparameter auf die Untersuchungsergebnisse konnten wiederum ausgeschlossen werden. Die durchschnittlichen Startstückmassen der zu Versuchsbeginn in die Haltungsbecken besetzten Gruppen lagen - ermittelt auf Basis von Einzelfischwiegen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) - mit 284,5 bis 315,3 g auf einem einheitlichen Niveau und unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p = 0,083$ bis $p = 1,000$).

Futtermittelverbrauch, Wachstumsleistung

Bereits wenige Tage nach Beginn der Fütterungsversuche mit Zandern wurde in beiden Wiederholungen beider Versuchsfuttermittel (Nepro 1 und Nepro 2) die komplette Verweigerung der Futteraufnahme festgestellt. Während der Fütterungen konnte an oberflächennah stehenden Zandern beobachtet werden, dass die zugeführten Futterpellets während des Absinkens betrachtet und kurz verfolgt wurden. Nach Annäherung an die Pellets auf wenige cm ließ das Interesse der Tiere nach. Die Aufnahme der Pellets in das Maul erfolgte nur in Ausnahmefällen. Nach Sekundenbruchteilen wurden die Pellets in diesem Fall wieder ausgespuckt. Die absinkenden Pellets wurden vom Bodenablauf aus dem Becken herausgeführt. Im Gegensatz zu den in den Kontrollgruppen verfütterten industriell hergestellten Pellets, welche erwartungsgemäß aufgenommen und geschluckt wurden, lösten sich die Nepro 1 und 2-Pellets nach kurzer Zeit vollständig auf und konnten dadurch nach erfolgter erfolgloser Fütterung nicht immer aus dem Ablaufwasser herausgesiebt und nachgewiesen werden. Im Gegensatz zum industriell hergestellten Kontrollfutter, welches auch nach mehreren Stunden im Wasser in seiner Struktur erhalten bleibt und damit im Falle auftretender Futterreste im Beckenablauf nachgewiesen werden konnte, war die Kontrolle der Futteraufnahme der Nepro-Futtermittel damit erheblich erschwert.

Tabelle 20 fasst die während der Fütterungsstudie an Zandern im Rahmen von AP 4 beobachteten Daten zu Wachstumsleistung und Futtermittelverwertung während des ersten Fütterungsabschnitts.

Tabelle 20: Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Zander (erster Fütterungsabschnitt, Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 4).

	Kontrolle	Nepro 1	Nepro 2
Versuchsstart (Datum):	12.10.15	12.10.15	12.10.15
Versuchsende (Datum):	9.11.15	9.11.15	9.11.15
Besetzte Individuen (n):	53,0	50,0	49,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	14,875	15,125	14,875
Entnahme Verluste (n):	0,0	0,0	0,0
Entnahme Verluste (kg):	0,000	0,000	0,000
Entnahme Sonstige (n):	0	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	53,0	50,0	49,0
Abfischgewicht (kg):	16,500	14,100	13,950
Futtermiteinsatz (kg):	2,921	2,268	1,604
Versuchszeitraum (d):	28	28	28
Startstückmasse (g):	280,7	302,9	303,6
Endstückmasse (g):	311,3	282,5	290,6
Zuwachs (g):	30,7	-20,4	-13,0
SGR (%):	0,37	-0,25	-0,16
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,80	-1,72	-1,74
Überlebensrate (%):	100,0	100,0	100,0
FI max. (%)	0,65	0,00	0,00

Verluste wurden in keiner Testgruppe beobachtet. Gesundheitszustand und Verhalten der Fische waren während des Untersuchungszeitraums in allen Futtergruppen unauffällig.

Auch nach drei Fütterungswochen konnte die erhoffte Gewöhnung der Zander an die Nepro-Futtermittel nicht festgestellt werden. Während der ersten Probewiegung nach vierwöchiger Aufzucht wurde in allen mit Nepro-Futtermitteln versorgten Gruppen eine Gewichtsabnahme beobachtet (Tabelle 20). Aus Tierschutzgründen erfolgte daraufhin der Abbruch der Futtermittelabgabe von Nepro-Futtermitteln an die Zander und in der Folge die Versorgung der Fische mit industriell hergestellten Futtermitteln. Aufgrund der durch vorzeitigen Abbruch begrenzten Fütterungsdauer und den damit verbundenen geringen Zuwächsen (bzw. Gewichtsabnahmen) erwiesen sich die Unterschiede in den Stückmassen schließlich als statistisch nicht signifikant.

Nach Rekonditionierung der Nepro-Gruppen mit industriellen Futtermitteln wurden Möglichkeiten der Steigerung der Attraktivität der Nepro-Futter für die Zander getestet. Hierzu wurden vier aus aquatischen Organismen gewonnene Ölaromen mit Potenzial für eine geschmackliche Verbesserung auf die Nepro-Pellets aufgetragen. Folgende Aroma-Öle kamen zum Einsatz:

- Rohes Fischöl (Einzelfuttermittel, QS-Ware), Fa. Seelöwe
- Lachsöl (Ergänzungsfuttermittel, Flüssigadditiv), Fa. Selfmade Baits
- Heilbuttöl (Ergänzungsfuttermittel, Flüssigadditiv), Fa. Selfmade Baits
- Muschelöl (Ergänzungsfuttermittel, Flüssigadditiv), Fa. Selfmade Baits

Pellets der Futtermittel Nepro 1 und Nepro 2 wurden mit 200 ml Öl pro kg benetzt. Die Pellets nahmen diese Ölmenge vollständig auf. Die entsprechend gecoateten Pellets wurden wiederholt unter Beobachtung des Futteraufnahmeverhaltens verabreicht. Abbildung 14 zeigt drei der vier zum Einsatz kommenden Aromaöle sowie ein Nepro-Futter vor und nach dem Coating. In Abbildung 15 ist ein Haltungsbecken mit Zandern nach Studien zur Akzeptanz mit Aromaölen gecoateter Nepro-Futtermittel dargestellt.



Abbildung 14: Coating von Nepro-Futtermitteln mit Aromaölen zur Erhöhung deren Akzeptanz durch Zander



Abbildung 15: Zander im Haltungsbecken nach Verabreichung gecoateter Nepro-Futtermittel

Trotz Coatings in den aufgeführten Varianten wurden die Pellets beider Nepro-Futtermittel von den Zandern nicht verwertet. Beim Futtermittel Nepro 2 ergab sich stets das bereits beobachtete Verhalten der verweigerten Futteraufnahme. Gecoatete Pellets des Futtermittels Nepro 1 wurden in allen Verabreichungsversuchen zum Teil kurz von den Zandern aufgenommen aber unmittelbar wieder ausgespuckt.

Gegenüber den nicht mit Aroma-Ölen gecoateten Nepro-Pellets ergab sich somit offenbar nur eine marginale Steigerung der Palatabilität für den Zander. Die getesteten Futtermittel Nepro 1 und 2 erwiesen sich damit als für den Zander ungeeignet.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Nepro-Futtermittels am A.S.P. wurde am IfB an Zandern weiterhin deren Akzeptanz von drei Antioxidantien (Naturox IP E Liquid; Verdilox IP GT Liquid; Paramega IP XP Food-Grade Liquid) geprüft. Den Fischen vertraute, schwimmfähige Industriefuttermittel-Pellets wurden für 10 sec in eine Lösung der einzelnen Antioxidantien in Wasser (1.500 ppm) getaucht und anschließend für 5 min luftgetrocknet (Abbildung 16). Die entsprechend vorbereiteten Pellets wurden den Tieren in Wiederholung verabreicht, die Futteraufnahme wurde überprüft. Alle getesteten Antioxidantien führten in der verabreichten Konzentration zu keiner erkennbaren Einschränkung der Futteraufnahme unter den Zandern und boten sich somit für den Einsatz im weiterentwickelten Nepro-Futtermittel an.



Abbildung 16: Futterpellets nach Aufbringung antioxidativer Präparate

5.5.6.3 Auswertung der ersten Fütterungsstudie

Die im Labormaßstab vom A.S.P. produzierten Futtermittel scheinen aus verfahrenstechnischen Gründen zu nicht zufriedenstellenden Futteraufnahmen, Wachstumsleistungen und Futtermittelnutzungen bei Regenbogenforellen und Zandern geführt zu haben. Einzeleffekte, die zur beobachteten Futterverweigerung führten, konnten nicht im Detail ergründet werden. Im Vergleich zum eingesetzten industriellen Futtermittel waren beide Nepro-Futtermittel neben ihren unterschiedlichen Inhaltsstoffen ungleichmäßiger geformt und von poröserer Oberfläche (Abbildung 17).



Abbildung 17: Industrielles Kontrollfuttermittel (links), Futtermittel Nepro 1 (Mitte) und Nepro 2 (rechts), Pelletdurchmesser ca. 6 mm

Zudem verwiesen Untersuchungen am A.S.P. auf stark erhöhte Anisidinzahlen (AnZ) in den Futtermitteln Nepro 1 (AnZ = 129,1) und Nepro 2 (AnZ = 226,8) im Vergleich zum Kontrollfuttermittel (AnZ 12,2). Als Marker für alpha-beta-ungesättigte Aldehyde indizierten die hohen Anisidinzahlen toxische Endprodukte der Fettoxidation in größerem Umfang (vgl. Abschnitt . 5.3.1). Insbesondere die aus vorangegangenen Untersuchungen für ihre sehr hohe Sensibilität gegenüber Futtermitteln mit für sie ungünstiger Palatabilität bekannten Zander verweigerten die Futtermittel Nepro 1 und 2 komplett. Unter Einbeziehung der aus AP 4 gewonnenen Erkenntnisse konnte vom A. S. P. für AP 8 ein optimiertes Futtermittel mit Fischsilagemehl formuliert werden.

5.5.7 Zweite Fütterungsstudie (AP 8)

5.5.7.1 Regenbogenforellen

Haltungsumwelt

Die während der vom 08.08.2016 bis zum 28.11.2016 durchgeführten Leistungsprüfung im Kreislaufsystem ermittelten Minima und Maxima der Haltungswasserparameter sind in Tabelle 21 aufgeführt. Sie lagen im Untersuchungszeitraum im Optimum für die Art (Schreckenbach 2010) und aufgrund der Wasserführung im Kreislauf für die Futtergruppen und alle Beckenwiederholungen stets einheitlich.

Tabelle 21: Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 8 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter

Parameter	Minimum	Maximum
Wassertemperatur (°C)	13,3	15,3
Sauerstoffgehalt (mg/l)	9,8	10,9
Trübung (FNU)	1,8	6,8
pH-Wert	6,7	7,3
Alkalinität (mmol/l)	0,2	0,7
Leitfähigkeit (µS)	429	3.520
Salinität (‰)	0,0	1,7
Ammonium (mg/l)	0,20	0,56
Nitrit (mg/l)	0,26	0,59
Nitrat (mg/l)	42	139

Die Besatzdichten in den Becken des Kreislaufsystems zu Beginn der Untersuchung betragen zwischen 9,7 – 10,2 kg/m³, und lagen gegen Ende der Prüfung zwischen 30,1 und 33,7 kg/m³ Haltungsbekkenvolumen. Negative Einflüsse durch Dichtestress oder damit verbundene suboptimale Haltungswasserparameter auf die Untersuchungsergebnisse waren in diesem Besatzdichtebereich wiederum nicht zu erwarten. Abbildung 18 zeigt eines der eingesetzten Haltungsbekken während der Leistungsprüfung. Die Durchschnittsgewichte in den Beckenwiederholungen zu Prüfungsbeginn - ermittelt auf Basis von Einzelfischwiegungen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) – lagen mit 239,0 bis 246,7 g recht einheitlich und unterschieden sich nicht signifikant ($p = 0,916$ bis $p = 1,000$).



Abbildung 18: Haltungsbekken des eingesetzten IfB-Kreislaufsystems mit Regenbogenforellen während der Fütterungsstudie im Rahmen von AP 8

Die Fütterungsstudie an Regenbogenforellen in Netzgehegen erstreckte sich vom 24.10.2016 bis zum 15.05.2017. Tabelle 22 skizziert die während des Untersuchungszeitraums im Sacrower See im Bereich der Netzgehege ermittelten Minima und Maxima untersuchter Haltungswasserparameter, die, bis auf die Temperatur stets im Optimalbereich für eine

maximale Wachstumsleistung der Regenbogenforelle befanden. Die dem natürlichen Temperaturverlauf folgenden Wassertemperaturen lagen während des Untersuchungszeitraums im Mittel bei 6,6 °C (Median: 5,4 °C) und damit zumeist deutlich unter dem Optimum für maximales Wachstum der Art, zwischen etwa 14 °C und 16 °C. An lediglich 30 Tagen der über 6,5 Monate verlaufenden Untersuchung wurden Wassertemperaturen oberhalb 10 °C verzeichnet. Damit bot die gewählte Haltungsumwelt Netzgehege im Sacrower See unter Einbeziehung des Winterhalbjahrs eine Möglichkeit der Prüfung des Nepro-Futtermittels auch unter, in der Forellenerzeugung in Deutschland recht häufig über einen weiten Bereich der Aufzuchtperiode vorzufindenden, suboptimalen Temperaturbedingungen.

Tabelle 22: Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Regenbogenforellen im Rahmen von AP 8 in Netzgehegen im Sacrower See dokumentierten Haltungswasserparameter

Parameter	Minimum	Maximum
Wassertemperatur (°C)	2,6	14,2
Sauerstoffgehalt (mg/l)	8,1	15,9
Sichttiefe (m)	1,0	2,2
pH-Wert	7,7	8,0
Alkalinität (mmol/l)	1,5	1,8
Leitfähigkeit (µS)	366	380
Gesamtstickstoff (mg/l)	0,75	1,01
Gesamtphosphor (mg/l)	0,002	0,067

Um jeglichen Einfluss durch Dichtestress oder Sauerstoffmangel während der Winterstagnation im Sacrower See auch bei wind- und damit strömungsarmen Zeiten zu vermeiden, wurden in den Untersuchungen in den Netzgehegen Besatzdichten eingestellt, die im Verlauf der gesamten Leistungsprüfung zwischen 0,5 und 1 kg/m³ Netzkäfigvolumen lagen. Die Durchschnittsgewichte in den Netzgehegewiederholungen zu Prüfungsbeginn (Einzelfischwiegungen am lebenden Tier, incl. Abtropfwasser) waren mit 149,8 bis 158,6 g auf einem einheitlichen Niveau und unterschieden sich nicht signifikant ($p = 0,275$ bis $p = 1,000$).

Futtermittelaufwand, Wachstumsleistung

Das vom Verbundpartner A.S.P. in Kooperation mit dem Fischfuttermittelproduzenten Gründleinsmühle GmbH formulierte Alleinfuttermittel auf Basis von Fischmehl aus silierten Nebenprodukten der Fischverarbeitung Nepro 3 (Abbildung 19) führte bei Wachstumsleistung und Futtermittelnutzung von Regenbogenforellen unter optimalen Haltungsbedingungen im Kreislaufsystem zu Ergebnissen, die oberhalb der Leistungen des als Kontrollstandard eingesetzten Industriefuttermittels lagen. Über den gesamten viermonatigen Verabreichungszeitraum betrachtet, wurden mit dem Futtermittel Nepro 3 günstigere Zuwächse, spezifische Wachstumsraten und Futterquotienten erzielt (Tabelle 23). Hohe Leistungen und Überlebensraten in allen Gruppen verwiesen wiederum auf eine gute Qualität der eingesetzten Haltungsumwelt und der Versuchsdurchführung. Gesundheitszustand und Verhalten der Individuen in allen Beckenwiederholungen waren unauffällig.



Abbildung 19: Optischer Eindruck der verglichenen Futtermittel Nepro 3 (links) und des industriell hergestellten Kontrollfuttermittels (rechts)

Tabelle 23: Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich an der Regenbogenforelle im Kreislaufsystem (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum).

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	8.8.16	8.8.16
Versuchsende (Datum):	28.11.16	28.11.16
Besetzte Individuen (n):	55,0	55,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	13,157	12,763
Entnahme Tote (n):	1,3	0,7
Entnahme Tote (kg):	0,607	0,325
Entnahme Sonstige (n):	1,3	2,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,924	1,138
Abgefischte Individuen (n):	52,3	52,3
Abfischgewicht (kg):	40,132	42,949
Futtermiteinsatz (kg):	30,324	30,777
Veruchszeitraum (d):	112	112
Startstückmasse (g):	239,2	232,1
Endstückmasse (g):	767,1	820,8*
Zuwachs (g):	527,9	588,7
SGR (%):	1,04	1,13
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,06	0,97
Überlebensrate (%):	97,6	98,8

*: signifikanter Unterschied zur Kontrolle ($p \leq 0,05$)

Die mit dem Versuchsfuttermittel Nepro 3 im Kreislaufsystem versorgten Gruppen erreichten schließlich mit etwa 6 % mehr, signifikant höhere durchschnittliche Endstückmassen als die mit dem Industriefuttermittel versorgten Tiere (835,0 g versus 783,9 g auf Basis von Einzelfischwiegungen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) ermittelt, $p = 0,037$).

Die während des ersten Untersuchungsmonats durchgeführten Untersuchungen zur maximal möglichen Fütterungsintensität zeigten, dass bis zu täglichen Rationen von 1,8 % der

Fischbiomasse bei 14 °C Haltungswassertemperatur beide Futtermittel restlos aufgenommen wurden. Höhere tägliche Futterdosen wurden mangels Praxisrelevanz im betrachteten Stückmassbereich nicht getestet.

Abbildung 20a/b veranschaulicht, dass die spezifischen Wachstumsraten und Futterquotienten während aller Versuchsabschnitte bei den mit Nepro 3 versorgten Beckenwiederholungen durchgängig günstiger als in den entsprechenden Beckenwiederholungen der Kontrolle ausfielen. Tabelle 24 enthält Informationen zu den durchschnittlichen Stückmassen innerhalb Futtergruppen zum Beginn jedes Versuchsabschnitts. Die sich mit zunehmenden Stückmassen verschlechternden spezifischen Wachstumsraten und Futterquotienten (Abbildung 20a/b) sind im Aquakultursektor üblich, durch sinkende Stoffwechselraten bei zunehmender Größe bedingt (Steffens 1985) und bei allen Fischarten und Futtermitteln feststellbar. Die im letzten Versuchsabschnitt relativ geringen spezifischen Wachstumsraten liegen im praxisüblichen Absetzen der Fütterung, etwa eine Woche vor Schlachtung begründet. Als Indikator für einheitliche Versuchsbedingungen für alle Haltungseinheiten liegen SGR und FQ in den Beckenwiederholungen innerhalb Futtergruppen auf einem einheitlichen Niveau.

Tabelle 24: Durchschnittliche Stückmassen innerhalb Futtergruppen zum Beginn jedes Versuchsabschnitts bei der Regenbogenforelle (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, Regenbogenforellen im Kreislaufsystem).

Versuchsabschnitt (Datum)	Nepro 3 Startstückmasse (g)	Kontrolle Startstückmasse (g)
8.8. - 5.9.16	232,1	239,2
5.9. - 4.10.16	351,8	357,7
4.10. - 31.10.16	509,5	496,0
31.10. - 28.11.16	683,4	648,4

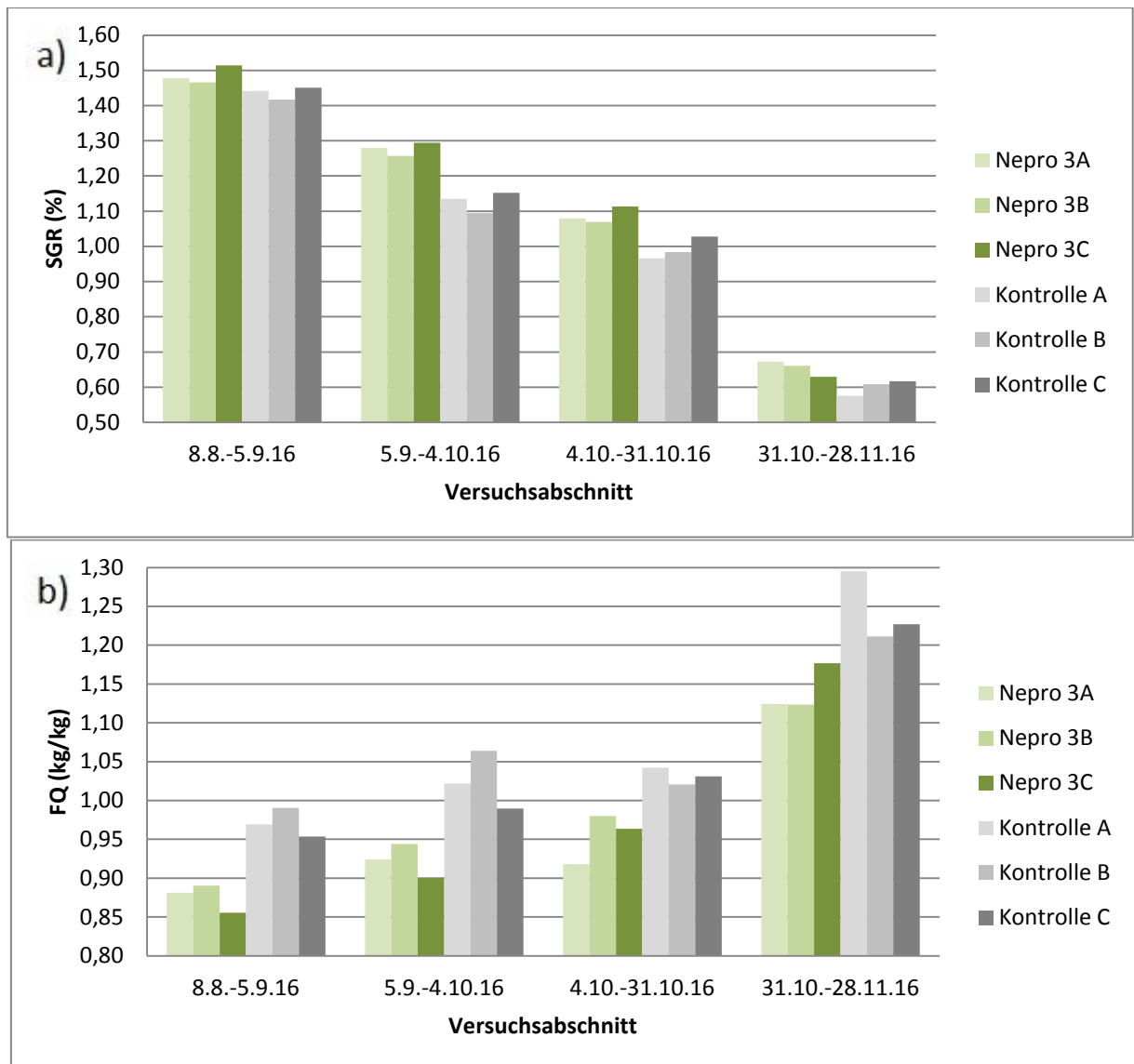


Abbildung 20: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltungsbekken im Verlauf der vier Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Regenbogenforellen im Kreislaufsystem)

In Anhangstabelle A2 sind die während der einzelnen Versuchsabschnitte im Rahmen von AP 8 an Regenbogenforellen im Kreislaufsystem erzielten Ergebnisse im Einzelnen als Mittelwerte aus drei Beckenwiederholungen innerhalb Futtergruppen aufgeführt.

Das leicht bessere Abschneiden des Futtermittels Nepro 3 im Vergleich zur Kontrolle ist wahrscheinlich durch den etwa zwei Prozentpunkte höheren Fettgehalt und einer damit verbundene höheren Energieversorgung zu erklären (Tabelle 11). Von einer Überlegenheit des eingesetzten Fischsilagemehls gegenüber traditionell hergestelltem Fischmehl sollte auf Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse somit nicht ausgegangen werden.

Tabelle 25 stellt die in den den Fütterungsstudien an Regenbogenforellen in Netzgehegen im Sacrower See über den gesamten, 6,5 monatigen Untersuchungsverlauf erzielten Ergebnisse dar.

Tabelle 25: Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich an der Regenbogenforelle in Netzgehegen (Mittelwerte aus 2 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum)

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	24.10.16	24.10.16
Versuchsende (Datum):	15.5.17	15.5.17
Besetzte Individuen (n):	93	93,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	14,33	14,245
Entnahme Tote (n):	2,5	3
Entnahme Tote (kg):	0,694	0,610
Entnahme Sonstige (n):	0	12
Entnahme Sonstige (kg):	0	2,000
Abgefischte Individuen (n):	91,5	78,5
Abfischgewicht (kg):	31,64	27,98
Futtermiteinsatz (kg):	19,085	18,560
Veruchszeitraum (d):	203	203
Startstückmasse (g):	154,1	152,3
Endstückmasse (g):	345,9	360,7
Zuwachs (g):	191,8	208,4
SGR (%):	0,40	0,42
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,06	1,14
Überlebensrate (%):	97,3	96,8

Sowohl die Regenbogenforellen in den Kontrollgruppen als auch die Fische in den Nepro 3-Gruppen zeigten aufgrund der während des Untersuchungsverlaufes geringen durchschnittlichen Wassertemperaturen im Sacrower See (6,6 °C), verglichen mit den Fütterungsstudien bei Optimaltemperaturen im Kreislaufsystem erheblich geringere Zuwächse und spezifische Wachstumsraten. Die beobachteten Stückverluste lagen für den 6,5 monatigen Untersuchungszeitraum auf einem für beide Futtergruppen einheitlichen, niedrigen Niveau. Im Frühjahr 2017 wurde zwei Wochen vor Abschluss der Fütterungsstudie in einem Netzgehege der Nepro 3-Gruppe trotz Netzüberdeckung der Einfall von Rabenkrähen beobachtet. Die Vögel gelangten zwischen Netzbeutel und Netzabdeckung, versuchten an die Fische zu kommen und vermochten einige Tiere durch Schnabelhiebe stark zu verletzen. Daraufhin mussten dem Gehege 24 verletzte Fische entnommen werden. Aufgrund der Außergewöhnlichkeit des Vorkommnisses wurden diese verletzungsbedingt entnommenen und getöteten Tiere bei der Ermittlung der Überlebensrate nicht berücksichtigt.

Die über den gesamten Studienverlauf erzielten spezifischen Wachstumsraten und Futterquotienten lagen in beiden Futtergruppen auf einem einheitlichen, bei diesem Temperaturregime praxisüblichen Niveau. Auf Basis von Einzelfischwiegungen nach Versuchsende ermittelt, ergaben sich nach der Netzgehegeaufzucht keine signifikanten Größenunterschiede zwischen Nepro 3- und Kontrollgruppen ($p = 0,502$).

Abbildung 21a/b stellt die spezifischen Wachstumsraten und Futterquotienten in den einzelnen Versuchsabschnitten (von Wägung zu Wägung) für die einzelnen Netzgehegewiederholungen dar.

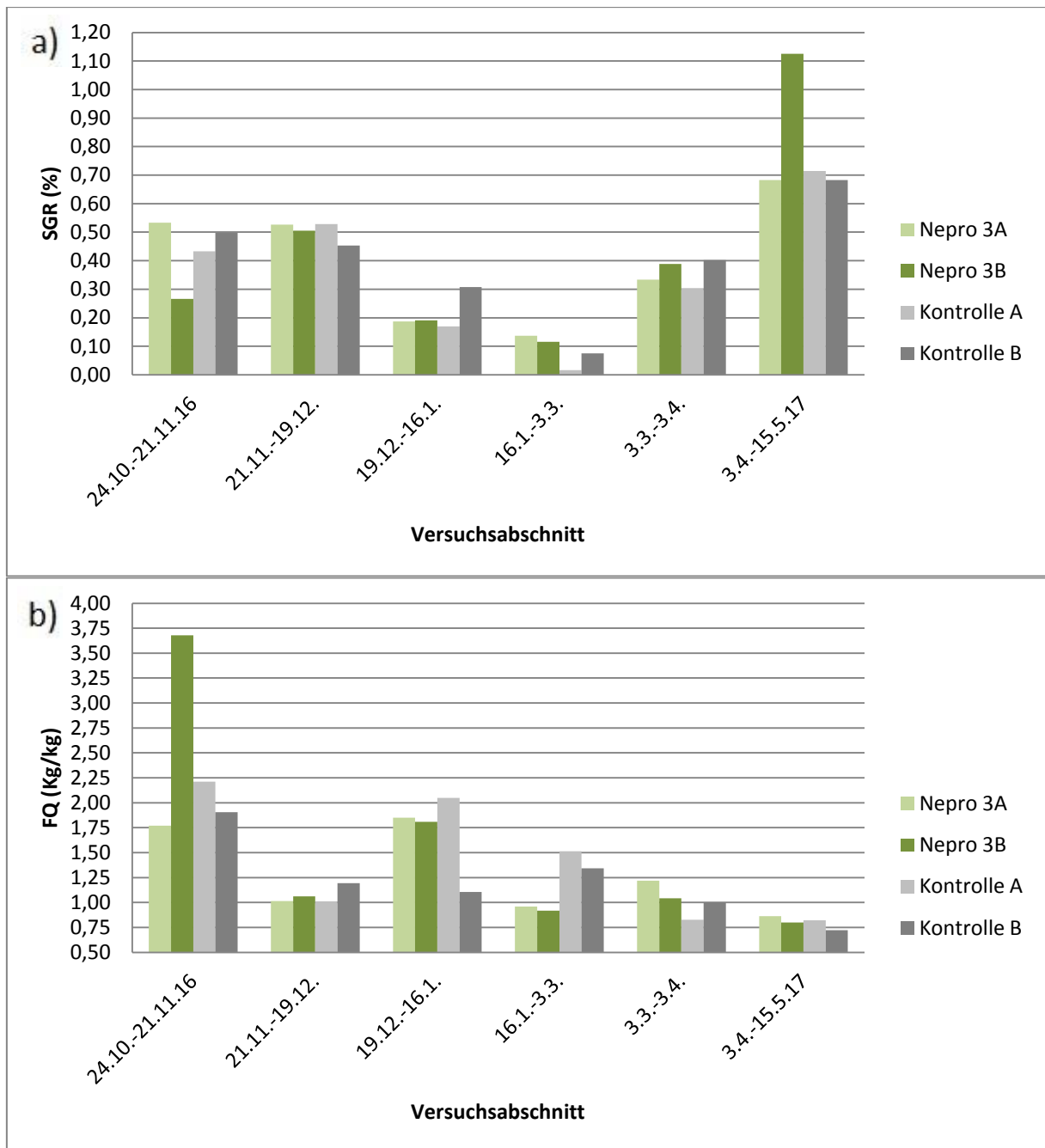


Abbildung 21: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Netzgehegen im Verlauf der sechs Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Regenbogenforellen in Netzgehegen)

Die spezifischen Wachstumsraten zeigten sich erwartungsgemäß als stark abhängig von der durchschnittlichen Haltungswassertemperatur während der Versuchsabschnitte und gingen in Perioden mit Wassertemperaturen unter 3 °C im Januar und Februar auf 0,1 % und darunter zurück.

Aufgrund eines ungewöhnlichen Temperatursturzes Ende Oktober / Anfang November 2016, der eine geregelte Reduzierung der Fütterungsintensität erschwerte, kam es zwischenzeitlich es zu einer Überfütterung aller untersuchten Gruppen. Entsprechend schlecht fielen in diesem Untersuchungsabschnitt die Futterquotienten aus.

Zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den Netzgehegewiederholungen innerhalb Futtergruppen und deutlich vom erwarteten Wert abweichende Messungen („Ausreißer“) in einzelnen Versuchsabschnitten verweisen auf die in einer nicht eingehausten Haltungseinrichtung wie Netzgehegen erschwerte Kontrolle aller Umwelteinflüsse. So wurde etwa über mehrere Wochen ein Einfall jagender Kormorane in der unmittelbaren Nähe von zwei Netzgehegen beobachtet, der möglicherweise für Stress und eingeschränkte Futterraufnahme der Forellen darin führte. Zwei sich an anderen Positionen in der Netzgehegeanlage befindende, für die hier beschriebene Fütterungsstudie eingesetzte Gehege wurden von dem beobachteten Kormoraneinfall nicht betroffen. Aufgrund der beispielhaft geschilderten, unkontrollierbaren Umweltwirkungen erscheint eine Interpretation von Futtermiteinflüssen auf Messwerte während einzelner Versuchsabschnitte nicht zielführend. Über den gesamten 6,5-monatigen Versuchsverlauf erwies sich das Futtermittel Nepro 3 für die in Netzgehegen bei natürlichem Temperaturverlauf gehaltenen Regenbogenforellen hinsichtlich Wachstumsleistung und Futtermittelverwertung als dem Kontrollfuttermittel ebenbürtig. Anhangstabelle A3 sind die während der einzelnen Versuchsabschnitte im Rahmen von AP 8 an Regenbogenforellen in Netzgehegen erzielten Ergebnisse im Einzelnen als Mittelwerte aus zwei Netzgehegewiederholungen innerhalb Futtergruppen zu entnehmen.

Schlachtkörperparameter

Tabelle 26 zeigt die an einer Stichprobe von 39 Individuen pro Futtergruppe (13 Tiere pro Beckenwiederholung) an Regenbogenforellen aus dem *Kreislaufsystem* gemessenen Schlachtkörperparameter. Keine nennenswerten Differenzen zwischen den Futtergruppen wurden bei den Anteilen an Filet, Leber und Intestinalfett festgestellt. Filetfarbe, Leberhelligkeit und -farbe wichen zwischen den Gruppen jedoch signifikant voneinander ab. Die Filets der Nepro 3-Gruppe wiesen einen auch sichtbar höheren Rot- und Gelb-Anteil auf. Zunächst vermutete, im Vergleich zum Kontrollfutter erhöhte Anteile von Carotinoiden im Nepro-3-Futtermittel bestätigten sich nicht. Auch bei den weiteren im Futtermittel Nepro 3 eingesetzten Bestandteilen (Weizen, Gluten, Fischmehl, Fischöl (vergl. Tabelle 10)) wurde von keiner starken Farbwirkung ausgegangen. Von einer die Filetfarbe beeinflussenden Wirkung des Fischsilagemehls muss damit ausgegangen werden.

Tabelle 26: Unterschiede in Schlachtkörperparametern zwischen Futtergruppen bei im Kreislaufsystem gehaltenen Regenbogenforellen (AP 8, 39 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (3x13)).

Parameter	Kontrolle		Nepro 3		p
	MW	SD	MW	SD	
Filetgew. (g)	403,08	122,56	432,46	116,81	0,254
Filetanteil (%)	50,39	2,73	50,96	2,83	0,352
Filethelligkeit L	42,05	3,06	41,46	2,54	0,357
Filetfarbe a	4,70	1,54	5,85*	1,03	0,000
Filetfarbe b	1,52	0,88	3,32*	1,62	0,000
Lebergew. (g)	7,83	2,15	8,24	2,65	0,455
Leberanteil (%)	0,99	0,14	0,97	0,19	0,659
Leberhelligkeit L	25,21	4,32	27,71*	5,17	0,016
Leberfarbe a	17,59	2,02	19,59*	2,32	0,000
Leberfarbe b	-0,83	3,13	0,62*	3,39	0,041
Intenstinalfettgew. (g)	17,07	8,59	16,99	8,17	0,966
Intenstinalfettanteil (%)	2,05	0,79	1,97	0,77	0,632
Intenstinalfettklasse (1-5)	3,87	1,05	3,79	0,98	0,704

MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung, *: signifikanter Unterschied zur Kontrolle ($p \leq 0,05$)

Die Lebern der Nepro 3-Forellen waren signifikant heller und wiesen gleichzeitig einen signifikant höheren Gelbanteil auf. Beide Aspekte könnten als Hinweis auf eine leicht erhöhte Fetteinlagerung in die Leber gedeutet werden. Andererseits ist auch der Rotanteil gegenüber den Lebern aus der Kontrollgruppe erhöht. Natürlich aufgewachsene Regenbogenforellen weisen in der Regel ausgeprägt dunkelrot gefärbte Lebern auf. Der durch das Nepro 3-Futter verursachte hohe Rotanteil könnte somit als Indiz für einen normal verlaufenden Leberstoffwechsel gedeutet werden. Auch die gegenüber der Kontrollgruppe kaum veränderten Intenstinalfettanteile sowie die recht einheitlichen durchschnittlichen Intenstinalfettklassen zwischen den Futtergruppen verweisen auf eine normale Verstoffwechslung des Nepro-3-Futtermittels durch die Regenbogenforelle. Aufgrund des im Nepro-3-Futtermittel im Vergleich zum Kontrollfuttermittel etwa 2 % höheren Fettanteils wurde entgegen der Messergebnisse vor Versuchsbeginn ein eher erhöhter Intenstinalfettanteil in der mit Nepro-3 versorgten Gruppe prognostiziert.

Ganz ähnliche Schlüsse konnten aus den Schlachtkörperparametern gezogen werden, die an den in Netzgehegen bei natürlichem Temperaturverlauf aufgezogenen Regenbogenforellen gewonnen wurden (Tabelle 27).

Tabelle 27: Unterschiede in Schlachtkörperparametern zwischen Futtergruppen bei in Netzgehegen gehaltenen Regenbogenforellen (AP 8, 40 untersuchte Regenbogenforellen pro Futtergruppe (2x20)).

Parameter	Kontrolle		NEPRO 3		<i>p</i>
	MW	SD	MW	SD	
Anzahl Beobachtungen (n)	40		40		
Stückmasse (g)	445,9	70,62	458,1	64,1	0,419
Länge (cm)	34,7	1,64	35,4	1,61	0,052
Filetgewicht (g)	236,8	39,92	240,5	38,84	0,675
Filetanteil (%)	53,0	1,44	52,4	3,72	0,340
Filethelligkeit L	39,4	1,43	41,0*	1,45	0,000
Filetfarbe a	3,3	0,63	4,6*	0,88	0,000
Filetfarbe b	1,2	1,25	3,3*	1,68	0,000
Lebergewicht (g)	4,1	0,91	4,1	0,55	0,689
Leberanteil (%)	0,94	0,11	0,88*	0,09	0,011
Leberhelligkeit L	25,4	5,29	29,7*	3,76	0,000
Leberfarbe a	25,4	5,29	29,7*	3,76	0,000
Leberfarbe b	15,9	3,14	15,1	1,54	0,134
Intestinalfettgew. (g)	4,1	2,51	5,1	2,39	0,087
Intestinalfettanteil (%)	0,88	0,47	1,09	0,46	0,052
Intestinalfettklasse (1-5)	2,28	1,13	2,80*	0,88	0,023

MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung, *: signifikanter Unterschied zur Kontrolle ($p \leq 0,05$)

Wiederum wiesen die Filets der Nepro-3-Gruppe im Vergleich zur Kontrolle mehr Rot- und Gelb-Anteile auf und waren im Durchschnitt zudem etwas heller. Der im Vergleich zur Kontrollgruppe erhöhte Rotanteil und der etwas geringere Leberanteil legten einen ausgewogen funktionierenden Leberstoffwechsel nahe. Die leicht erhöhte Leberhelligkeit in der Nepro-3-Gruppe verwies auf eine erhöhte Fetteinlagerung, die nun auch mit einer aufgrund des leicht höheren Fettgehaltes des Nepro-3-Futters erwarteten Erhöhung des Intestinalfettanteils und der Intestinalfettklasse einher ging. Eine Erhöhung des Gelbanteiles in der Leberfärbung blieb indessen aus.

Sensorik

Tabelle 28 (Regenbogenforellen aus dem Kreislaufsystem) und Tabelle 29 (Regenbogenforellen aus der Netzgehegehaltung) stellen die in den paarweisen Vergleichsprüfungen in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 untersuchten sensorischen Prüfmerkmale Geruch, Farbe, Festigkeit und Geschmack gegenüber.

Tabelle 28: Paarweise Vergleichsprüfung sensorischer Parameter in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 an Filets von mit Kontroll- und Nepro 3-Futtermittel **im Kreislaufsystem** versorgten Regenbogenforellen

	ausgeprägter (n Entscheidungen)			bevorzugt (n Entscheidungen)		
	A) Kontrolle	k. U.	B) Nepro 3	A) Kontrolle	k. U.	B) Nepro 3
Geruch	3	9	12	12	9	3
Farbe		4	20*	6	4	14
Festigkeit	9	6	9	9	5	10
Geschmack	11	1	12	10	4	10

k. U.: kein Unterschied

*: signifikanter Unterschied zur Vergleichsgruppe ($p \leq 0,05$)

Tabelle 29: Paarweise Vergleichsprüfung sensorischer Parameter in Anlehnung an DIN EN ISO 5495:2007 an Filets von mit Kontroll- und Nepro 3-Futtermittel **im Netzgehege** versorgten Regenbogenforellen

	ausgeprägter (n Entscheidungen)			bevorzugt (n Entscheidungen)		
	A) Kontrolle	k. U.	B) Nepro 3	A) Kontrolle	k. U.	B) Nepro 3
Geruch	4	3	17*	19*	3	2
Farbe	1		23*	19*		5
Festigkeit	10		14	21*		3
Geschmack	3		21*	21*		3

k. U.: kein Unterschied

*: signifikanter Unterschied zur Vergleichsgruppe ($p \leq 0,05$)

Deuteten sich unter den am im Kreislaufsystem aufgezogenen Regenbogenforellen erfassten sensorischen Prüfmerkmalen Unterschiede nur an, und sind lediglich bei der Ausprägtheit der Färbung signifikant, so fielen sie bei den in den Netzgehegen aufgezogenen Tieren sehr viel stärker und zumeist signifikant aus. Zurückzuführen sind die deutlicher ausfallenden Unterschiede bei Netzgehegehaltung gegenüber der Haltung im Kreislaufsystem mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine bei der Haltung im Kreislaufsystem notwendigen Hälterungsphase vor Entnahme der Fische für die Sensorik-Verköstigung.

Im Rahmen der Schlachtungen zur Erfassung von Schlachtkörperparametern fand bei den Forellen aus beiden Haltungseinrichtungen eine Vorab-Verköstigung auf Anreicherung von geschmacksbeeinträchtigenden Substanzen wie Geosmin und Methyl-Iso-Borneol (MIB) statt. Entsprechende Substanzen führen zu einem typischen modrig-muffeligen, ungenießbaren Geschmack von Speisefischen und sind häufig auch in Haltungsverfahren mit intensiver Wassernutzung, wie Kreislaufsystemen zu finden (Guttman und van Rijn 2008; Schrader und Summerfelt 2010). Die Filets der im Kreislaufsystem aufgezogenen Forellen beider Futtergruppen wiesen eine deutlich negative Geschmacksbeeinträchtigung durch Geosmin und/oder MIB auf und mussten dementsprechend vor der Sensorik-Prüfung zunächst eine Hälterungsphase durchlaufen. Die im Kreislaufsystem aufgezogenen Forellen wurden hierzu im Dezember/Januar 2016/2017 zunächst bei geringer Fütterungsintensität, später futterfrei in Netzgehegen im Sacrower See gehältert. Aufgrund niedriger durchschnittlicher Wassertemperaturen von 4,8 °C während dieses Zeitraums betrug die Hälterungsdauer 39 Tage, während derer nur während der ersten 16 Tage geringe Mengen an Nepro 3- und Kontrollfuttermittel an die entsprechenden Gruppen verabreicht werden konnten. Während

der Hälterungsphase wurden die Regenbogenforellen aus dem Kreislaufsystem erfolgreich von geschmacksbeeinträchtigenden Substanzen befreit und konnten somit für die Sensorik-Untersuchung verwendet werden. Offenbar führte die Hälterungsphase jedoch auch dazu, dass sich futterbedingte sensorische Charakteristika nicht mehr in der ursprünglichen Intensität auswirkten.

Die in den Netzgehegen im Sacrower See aufgezogenen Regenbogenforellen wiesen keine Geschmacksbeeinflussung durch Geosmin und/oder MIB auf und konnten im Mai 2017, nach drei Tagen Nüchternung, direkt für die geplanten Sensorik-Untersuchungen geschlachtet werden. Bei einer durchschnittlichen Wassertemperatur von 11,6 °C während der letzten zwei Wochen der Aufzucht in den Netzgehegen erfolgte die Verabreichung von Nepro 3- und Kontrollfuttermittel in recht hoher Intensität bis kurz vor Schlachtung. Futterbedingte sensorischen Charakteristika kamen somit offenbar deutlicher zur Geltung.

Wie aus Tabelle 29 ersichtlich kann die Verabreichung des Futtermittels Nepro 3 an Regenbogenforellen zu einer merklichen Beeinflussung sensorischer Parameter führen. So wurde bei den verköstigten Nepro 3-Filets sowohl der Geruch, die Farbe als auch der Geschmack ausgeprägter als bei den Filets der Kontrollgruppe bewertet. Die Prüfer bevorzugten dabei in allen Prüfmerkmalen die Filets der Kontrollgruppe, mit der geringeren Ausprägung der Prüfmerkmale.

Die sensorische Produktqualität wurde durch den Einsatz des Nepro 3-Futtermittels damit nicht befördert. Die einhellige Meinung der Mitglieder des Test-Panels war jedoch auch, dass die Unterschiede zwischen den Prüfgruppen erfassbar aber trotzdem relativ gering ausfielen. Filets von Regenbogenforellen, die mit dem Futtermittel Nepro 3 aufgezogen wurden, können - bei Freiheit von Geosmin und/oder MIB - auch ohne vorangegangene Hälterung mit Genuss verzehrt werden.

Nach erfolgter Hälterung (Forellen aus dem Kreislaufsystem, Tabelle 28) wurde vom Test-Panels lediglich beim Prüfmerkmal Farbe ein signifikanter Unterschied zwischen den Filets der Nepro 3- und der Kontrollgruppe detektiert. Die sensorische Beurteilung des gegarten Filets deckt sich damit mit erhöhten Rot- und Gelb-Anteilen der rohen Filets von mit Nepro 3-Futtermittel versorgten Forellen (Tabellen 26 und 27). Bei den insgesamt größeren Filets der im Kreislaufsystem aufgezogenen Forellen (ca. 200 g pro Filet im Vergleich zu ca. 90 g pro Filet bei den im Netzgehege aufgezogenen Fischen) wurde jedoch keine Präferenz hinsichtlich der weniger ausgeprägt gefärbten Filets geäußert. Mögliche Einbußen in sensorischen Qualitätsparametern durch den Einsatz von Nepro 3 Futtermitteln lassen sich somit offenbar durch die Vorschaltung einer Hälterphase vor Schlachtung verringern, bzw. ausschalten. Die hierfür notwendigen Hälterungszeiten bei unterschiedlichen Wassertemperaturen und Stückmassenbereichen bleiben zukünftig zu prüfen.

5.5.7.2 Zander

Haltungsumwelt

Die im Rahmen von AP 8 an Zandern durchgeführte Fütterungsstudie erstreckte sich vom 15.08. bis zum 10.10.2016. Die in diesem Zeitraum im eingesetzten Kreislaufsystem gemessenen Minima und Maxima erfasster Wasserparameter sind in Tabelle 30 dargestellt.

Die Parameter lagen über den Untersuchungszeitraum in einem für sensible Fischarten wie Zander optimalen Bereich (Schreckenbach 2010). Die Haltung im geschlossenen Kreislaufsystem mit hohen Zirkulationsraten (1 – 2 Umläufe pro Stunde) führte zu zeitgleich stets nahezu identischen Wasserparametern für alle Beckenwiederholungen der Futtergruppen.

Tabelle 30: Minima und Maxima der während der Fütterungsstudie an Zandern im Rahmen von AP 8 im Beckenauslauf des Kreislaufsystems dokumentierten Haltungswasserparameter

Parameter	Minimum	Maximum
Wassertemperatur (°C)	22,0	23,8
Sauerstoffgehalt (mg/l)	7,7	8,6
Trübung (FNU)	0,7	1,8
pH-Wert	6,6	7,4
Alkalinität (mmol/l)	0,3	0,8
Leitfähigkeit (µS)	1.453	5.010
Salinität (‰)	0,5	2,6
Ammonium (mg/l)	0,08	0,28
Nitrit (mg/l)	0,04	0,07
Nitrat (mg/l)	99	158

Die Fütterungsstudie startete in den sechs verwendeten Haltungsbecken mit Besatzdichten zwischen 3,6 und 4,0 kg pro m³. Bei der Endabfischung lagen die Besatzdichten zwischen 3,7 und 6,8 kg pro m³. Negative Einflüsse durch Dichtestress und/oder damit verbundene suboptimale Haltungswasserparameter auf die Untersuchungsergebnisse konnten damit wiederum ausgeschlossen werden. Die durchschnittlichen Startstückmassen der zu Versuchsbeginn in die Haltungsbecken besetzten Gruppen lagen - ermittelt auf Basis von Einzelfischwiegen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) - mit 79,5 bis 87,2 g auf einem einheitlichen Niveau und unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p = 0,126$ bis $p = 1,000$).

Futterraufwand, Wachstumsleistung

Tabelle 31 fasst die während der Fütterungsstudien im Rahmen von AP 8 beobachteten Daten zu Wachstumsleistung und Futtermittelverwertung des Zanders über den Untersuchungszeitraum von zwei Monaten zusammen. Entgegen den Regenbogenforellen und wie bereits im Rahmen von AP 4 beobachtet (vergl. Abschnitt 5.5.6.2) vermochten die Zander das angebotene Nepro 3-Futtermittel nicht gut zu verwerten. Die Futtermittelaufnahme erfolgte sehr zurückhaltend. Die für den Zander offenbar nicht hinreichende Palatabilität des Futtermittels Nepro 3 führte wiederum zu gegenüber den Kontrollgruppen massiv reduzierten spezifischen Wachstumsraten und nicht praxistauglichen Futterquotienten. Die Überlebensraten lagen in den Testgruppen zwischen 91 – 100 % und damit, insbesondere in einer der Nepro 3-Gruppen, für eine lediglich knapp zweimonatige Studie vergleichsweise gering aber noch im Rahmen. Gesundheitszustand und Verhalten der Fische waren während des Untersuchungszeitraums in allen Futtergruppen unauffällig. Die in den Kontrollgruppen ermittelten Wachstumsleistungen und Futterquotienten indizieren wiederum eine praxisübliche Verwertung des eingesetzten industriellen Futtermittels und damit auf die Eignung des eingesetzten Kreislaufsystems für aussagekräftige Haltungswasserstudien.

Tabelle 31: Wachstumsleistung und Fütterungsparameter beim Leistungsvergleich am Zander im Kreislaufsystem (Mittelwerte aus 3 Wdh. pro Futtergruppe, AP 8, gesamter Untersuchungszeitraum bis zum vorzeitigen Abbruch)

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	15.8.16	15.8.16
Versuchsende (Datum):	10.10.16	10.10.16
Besetzte Individuen (n):	65,0	65,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	5,260	5,398
Entnahme Verluste (n):	1,3	3,3
Entnahme Verluste (kg):	0,090	0,260
Entnahme Sonstige (n):	1	1
Entnahme Sonstige (kg):	0,094	0,098
Abgefischte Individuen (n):	62,7	60,7
Abfischgewicht (kg):	9,187	5,767
Futtermiteinsatz (kg):	4,025	1,914
Versuchszeitraum (d):	56	56
Startstückmasse (g):	80,9	83,0
Endstückmasse (g):	146,6	94,9
Zuwachs (g):	65,7	11,9
SGR (%):	1,06	0,24
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	0,98	2,83
Überlebensrate (%):	97,9	94,9

Die Darstellung von spezifischen Wachstumsraten und Futterquotienten der einzelnen Beckenwiederholungen nach Untersuchungsabschnitten in Abbildung 22a und b veranschaulicht, dass sich die Tiere auch über die Zeit nicht an das Futtermittel Nepro 3 zu gewöhnen vermochten.

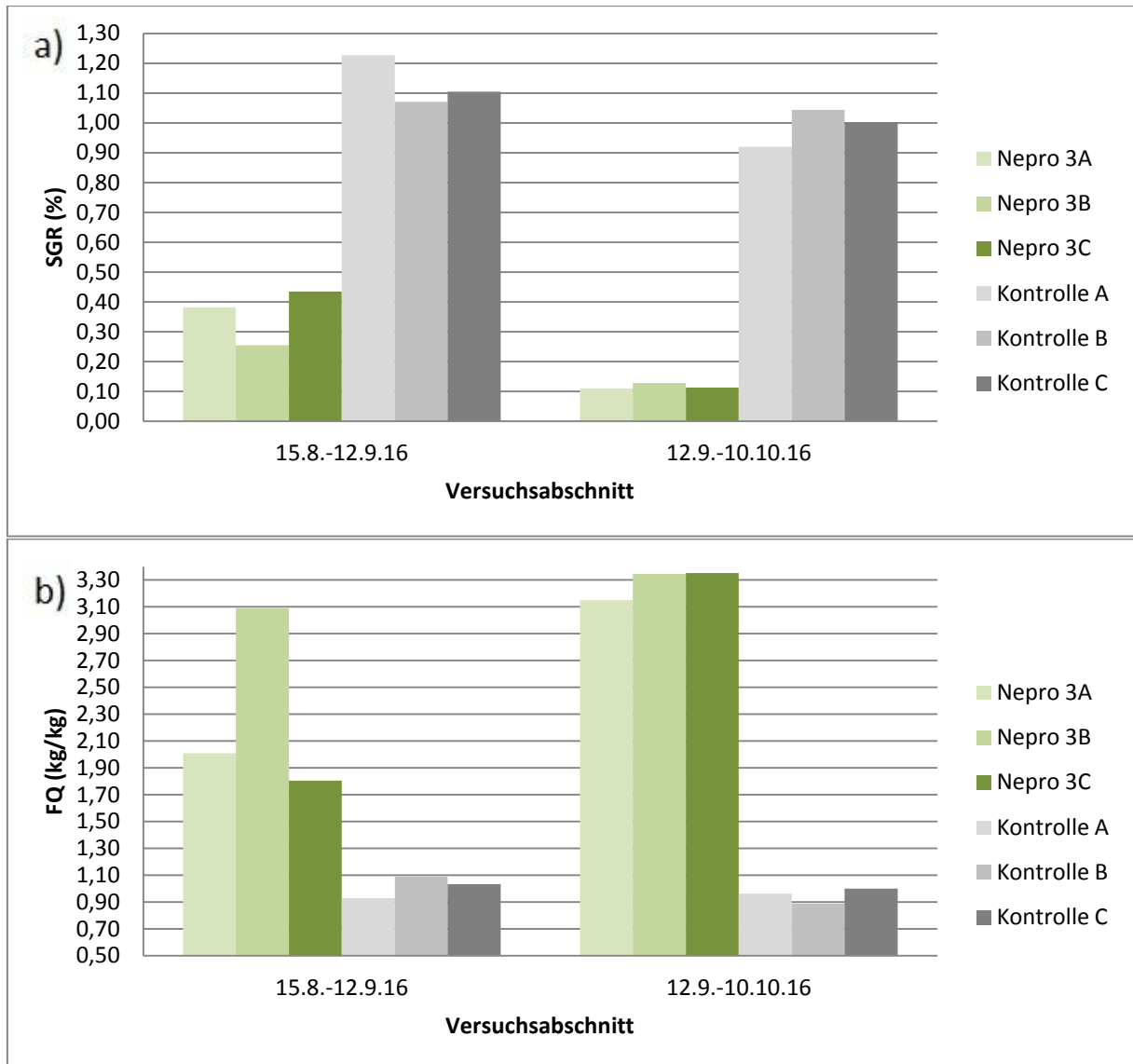


Abbildung 22: Entwicklung der a) spezifischen Wachstumsraten und b) Futterquotienten in einzelnen Haltungsbekken im Verlauf der zwei Versuchsabschnitte (von Wägung zu Wägung; AP 8; Zander im Kreislaufsystem)

Die mit dem Kontrollfuttermittel versorgten Becken wiesen durchgängig die deutlich höheren spezifischen Wachstumsraten und die günstigeren Futterquotienten auf. Während des zweiten Monats der Verabreichung gingen die spezifischen Wachstumsraten in den Nepro 3-Gruppen weiter zurück, die Futterquotienten verschlechterten sich weiter. Die Untersuchung wurde daraufhin aus Tierschutzgründen abgebrochen. Die ursprünglich mit Nepro 3 versorgten Gruppen wurden wieder mit Industriefuttermitteln gefüttert. Bei Untersuchungsabbruch lagen die durchschnittlichen Endstückmassen in den mit dem Kontrollfuttermittel versorgten Zandern signifikant über den Werten der Nepro 3-Gruppe (148,4 g versus 93,7 g auf Basis von Einzelfischwägungen am lebenden Tier (incl. Abtropfwasser) ermittelt, $p = 0,000$).

Mit Ausnahme des Futterquotienten von Beckenwiederholung B der Nepro 3-Gruppe lagen die SGR und FQ innerhalb der Versuchsabschnitte auf einem einheitlichen Niveau, was auf eine zufriedenstellende Wiederholbarkeit der durchgeführten Studie verweist.

Die erzielten maximalen Fütterungsintensitäten während des ersten, vierwöchigen Fütterungsabschnittes lagen beim Kontrollfutter mit 1,3 % leicht unter dem für den Stückmassbereich von rund 100 g erwarteten Wert (ca. 1,6 %). Vom Futtermittel Nepro 3 nahmen die Zander lediglich maximal 0,5 %, der Bestandsbiomasse auf. Offenbar weist auch das Nepro 3-Futter eine für den sensiblen Zander mangelhafte Palatibilität auf.

In Anhangstabelle A4 sind die während der einzelnen Versuchsabschnitte im Rahmen von AP 8 an Zandern im Kreislaufsystem erzielten Ergebnisse im Einzelnen als Mittelwerte aus drei Beckenwiederholungen innerhalb Futtergruppen zusammengestellt.

Die an den Zandern im Rahmen von AP 8 erzielten Ergebnisse verweisen wiederum darauf, dass diese hinsichtlich der Palatabilität ungewöhnlich sensiblen Fischart Probleme bei der Verwertung von Futtermitteln mit Fischsilagemehl aus Nebenprodukten der Fischverarbeitung aufweist.

Der vorzeitige Abbruch der Fütterungsstudie an Zandern führte zu sehr geringen Zuwächsen nach Verabreichung des Nepro 3-Futtermittels. Eine zielführende Erfassung von Schlachtkörperparametern und die Durchführung eines Sensorik-Tests waren somit nicht möglich. Anstelle dessen erfolgte die Fortführung der bereits im Rahmen von AP 4 an den Zandern aufgenommenen Untersuchungen zur Erhöhung der Palatabilität über Coating der Pellets mit geschmacksintensiven Substanzen. Auch bei höheren Stückmassen führte das Coating der Nepro 3-Pellets mit den in Abschnitt 5.5.6.2 beschriebenen Ölen zu keiner höheren Akzeptanz des Futtermittels durch den Zander.

5.5.7.3 Nährstoffeintragspotenzial des Nepro 3-Futtermittels

Basierend auf den Ergebnissen der Fütterungsstudien an Regenbogenforellen im Kreislaufsystem und in Netzgehegen wird zur Bilanzierung des Nährstoffeintrages beim Nepro 3-Futtermittel ein durchschnittlicher Futteraufwand von 1,06 kg pro kg Fischzuwachs (0,97 kg im Kreislaufsystem, 1,14 kg im Netzgehege) angesetzt. Beim Kontrollfuttermittel ergibt sich ein identischer durchschnittlicher Futteraufwand (1,06 kg im Kreislaufsystem, 1,06 kg im Netzgehege).

Tabelle 32 stellt die Stickstoff- und Phosphor-Gehalte von Proben der verabreichten Futtermittel dar.

Tabelle 32: Analyse des massebezogenen Stickstoffgehaltes (nach Kjeldahl) und Phosphorgehaltes (Mikrowellenaufschluss, ICP-OES) des Futtermittels Nepro 3 im Vergleich zum eingesetzten Kontrollfuttermittel (Mittelwerte aus 2 bis 3 Doppelbestimmungen)

Futtermittel	N_{ges} (%)	P_{ges} (%)
Kontrolle	7,79	1,45
Nepro 3	7,71	3,28

Nach Untersuchungen von Schreckenbach et al. (2001) beinhalten Regenbogenforellen massebasiert durchschnittlich 2,72 % Stickstoff sowie 0,43 % Phosphor. Damit können für die Futtermittel Nepro 3 und Kontrolle folgende Ein- und Austräge für die Nährstoffe N und P bilanziert werden:

	Kontrolle		Nepro 3	
	N	P	N	P
Eintrag pro kg verabreichtem Futtermittel (g)	77,9	14,5	77,1	32,8
Entnahme über Fischzuwachs (g)	25,7	4,1	25,7	4,1
Nährstoffemission pro kg verabreichtem Futtermittel (g)	52,2	10,4	51,4	28,7

Ergeben sich beim Stickstoff mit einer Emission von knapp über 50 g pro kg verabreichten Futters noch recht einheitliche Emissionen, so kommt es mit dem Futtermittel Nepro 3 aufgrund seines erhöhten Phosphorgehaltes (3,28 % versus 1,45 %) mit 28,7 g pro kg verabreichten Futters bei Nepro 3 zu einer gegenüber dem industriellen Kontrollfutter 2,8-fach erhöhten Phosphor-Emission.

Der mit 3,28 % vergleichsweise hohe Phosphoranteil des Nepro 3-Futtermittels ist primär auf seinen Gehalt an Fischsilagemehl zurückzuführen. Tabelle 33 zeigt die massebezogene Zusammensetzung des für die Herstellung von Nepro 3 eingesetzten Fischsilagemehls (Mittelwert aus 6 Bestimmungen an zwei Fischsilagemehlproben) im Vergleich zu entsprechenden Parametern in handelsüblichen Fischmehlen unterschiedlicher Qualitäten (Tacon et al. 2009, ARRANA 2015).

Tabelle 33: Massebezogene Zusammensetzung des für Nepro 3 eingesetzten Fischsilagemehls (eigene Bestimmung) im Vergleich zu handelsüblichen Fischmehlen unterschiedlicher Qualitäten (Tacon et al. 2009)

Fischmehltyp	Fett (%)	TS (%)	Asche (%)	P_{ges} (%)	N_{ges} (%)	Protein (%)
Fischsilagemehl	10,3	91,4	29,8	5,3	8,6	53,5
Fischmehl 65 (offal and whole fish)	5,0	90,0	20,0	4,8	10,4	65,0
Fischmehl 65 (whole fish)	9,0	90,0	16,0	2,6	10,4	65,0
Fischmehl 72 (herring)	9,0	92,0	10,0	1,9	11,5	72,0

Die für das eingesetzte Fischsilagemehl verwendeten Nebenprodukte aus der Süßwasserfischverarbeitung beinhalten im Vergleich zu ganzen Fischen, welche als Rohstoff für die qualitativ hochwertigsten, handelsüblichen Fischmehle eingesetzt werden, erwartungsgemäß höhere Knochenanteile, damit auch höhere Asche- und Phosphorgehalte. Bei einem Anteil von 50 % Fischsilagemehl im Futtermittel Nepro 3 wirken sich Diese entsprechend auf die Phosphorgehalte des Futtermittels aus.

In Abhängigkeit des eingesetzten Haltungssystems bestehen in der Fischhaltung unterschiedliche Möglichkeiten und Erfolgsaussichten der Kontrolle von Nährstoffemissionen. In Durchlaufsystemen ist es nur sehr eingeschränkt möglich Stickstoffemissionen zurückhalten (Sindilariu et al. 2009a, Verdegem 2013). In geschlossenen Kreislaufsystemen mit integrierter Denitrifikationsstufe ist es hingegen möglich einen hohen Anteil der sich im Haltungswasser anreichernden N-Verbindungen in gasförmigen Stickstoff zu überführen und damit aus der Emissionsfracht zu entziehen (van Rijn 2013, Müller-Belecke et al. 2013, Mongirdas et al. 2017). Auf Basis von in den IfB-Kreislaufsystemen mit integrierter Denitrifikationsstufe gewonnenen Erfahrungen, ist eine Eliminierung von etwa 50 % der über das Futter eingetragenen und nicht über Fischzuwachs entnommenen N-Fracht auch unter Praxisbedingungen möglich. Anstelle von gut 50 g N pro kg verabreichten Futters reduziert sich die N-Emission auf etwa 25 g. Hiervon verbleiben etwa 50 % in der Trockenmasse des über die mechanische Reinigungsstufe entnehmbaren Schlamms. Rund 50 % verbleiben im Ablaufwasserstrom und könnten bei Bedarf über eine vergleichsweise kleine, in den verbleibenden Ablaufwasserstrom integrierte Denitrifikationsstufe eliminiert werden (Suhr et al. 2013).

Im Gegensatz zu N-Komponenten, deren biologische Umsetzung im Haltungswasser im Rahmen von Nitrifikation und Denitrifikation zu einer nennenswerten Elimination durch Übergang als N₂ in die Atmosphäre beitragen kann, wird über Futtermittel eingetragener und nicht über Fischzuwachs entnommener Phosphor stets ausgetragen. Phosphor liegt in Fischhaltungssystemen jedoch zu einem Großteil partikulär gebunden vor und kann damit über eine effektive mechanische Wasseraufbereitung weitgehend aus dem Haltungswasser entnommen werden (Brinker et al., 2005, Sindilario et al. 2009a/b). Brinker et al. (2005) gelang durch die Einmischung kleiner Mengen von Guar gum die Stabilisierung von Kot und damit eine erhebliche Verbesserung der Abscheideleistung von partikulärer Substanz und Phosphor aus dem Haltungswasser einer Forellenerzeugung mit mechanischer Aufbereitung des Ablaufwassers. Müller-Belecke et al. (2016) entwickelten ein Modul zur effizienten Abscheidung von Phosphor aus dem Ablaufwasser geschlossener Kreislaufsysteme unter Ausnutzung des Prinzips der chemisch-physikalischen Phosphatfällung. Damit bestehen

insbesondere für Haltungssysteme mit intensiver Wassernutzung inzwischen Möglichkeiten der gezielten Reduzierung von P-Emissionen und damit Chancen zur Kompensation eines erhöhten P-Eintrages durch Fischsilagemehl beinhaltende Futtermittel.

Das Futtermittel Nepro 3 sollte aus Nachhaltigkeitsgründen vornehmlich in Fischhaltungseinrichtungen eingesetzt werden, die über eine leistungsfähige mechanische Aufbereitungsstufe zur Entnahme partikulärer Substanzen und damit Phosphor aus dem Ablaufwasserstrom verfügen. Bei Einsatz von Fischsilagemehl in Futtermittelrezepturen empfiehlt sich zukünftig die gleichzeitige Einbindung von Faeces stabilisierenden Substanzen wie Guar gum.

5.5.7.4 Auswertung der zweiten Fütterungsstudie

In Wachstumsleistung und Futteraufwand weist das Futtermittel Nepro-3 für die Erzeugung von Regenbogenforellen gegenüber dem aktuellen Industriestandard keinen Rückstand jedoch auch keinen nennenswerten Vorteil auf. Zur Vermeidung einer Erhöhung der Gestehungskosten sollte sich das Nepro 3-Futtermittel preislich auf einem einheitlichen Niveau mit dem derzeitigen Industriestandard anordnen. Entsprechend darf der Futterbestandteil Fischsilagemehl keine Mehrkosten verursachen und sollte auf einem Preisniveau mit potenziell gleichwertigen Futterbestandteilen liegen. Es bleibt abzuwarten, ob die Silierung von Nebenprodukten aus der Fischverarbeitung, die Lagerung der Fischsilage auf dem Betrieb sowie Transport und zentrale Verarbeitung zu Fischmehl in Praxi maximal Kosten in einer Größenordnung des Importes gleichwertiger Fischmehlprodukte verursacht. Von großer Bedeutung ist hier sicherlich die Skalierung der zu schaffenden Infrastruktur. Arrangieren sich viele Süßwasserfischverarbeiter mit einem zentralen Fischmehlerzeuger, wird das Erreichen dieses Zieles sicherlich einfacher als im Falle kleiner Verbände.

In diesem Zusammenhang könnte eine Ausdehnung der Fischsilageherstellung auf Betriebe der Binnenfischerei von Interesse sein. In Deutschland wurden im Jahr 2015 ca. 230.000 ha Wasserfläche durch 899 Seen- und Flussfischereibetriebe haupt- und nebenerwerblich bewirtschaftet (Brämick 2016). Es wurden rund 3.020 t Süßwasserfische angelandet. Die artenmäßige Zusammensetzung der Fänge variiert, in Abhängigkeit von den vorherrschenden Gewässertypen und -strukturen, regional stark voneinander. In den seenreichen Regionen Norddeutschlands dominieren hauptsächlich Cypriniden (Weißfische) den Fang. Der Anteil von Blei, Güster, Plötze, Rotfeder und anderen, zumeist nicht als Speise- oder Satzfisch absetzbaren Arten am Gesamtfang betrug 2015 beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern 50 % und in Brandenburg sogar 78 % des Gesamtfanges (Brämick 2016). Der aus Cypriniden bestehende Großteil des Gesamtfanges ist aufgrund mangelnder Verbrauchernachfrage kaum marktgängig und stände ebenfalls für die Verarbeitung zu Fischsilage(mehl) zur Verfügung.

Gelingt es, die Nutzung nachhaltig erzeugten Fischsilagemehls im Futtermittel als ideelles Produktqualitätskriterium zu bewerben und zu vermarkten, ist ggf. der hochpreisige Verkauf entsprechend gefütterter Regenbogenforellen in ein Premiumsegment möglich. In diesem Fall wäre die Kompensation erhöhter Futterrohstoffkosten zu erwarten. Die meisten deutschen Endverbraucher sind nach Erfahrungen bisheriger Marktstudien jedoch in der Regel nicht bereit, für ideelle Produktqualitätskriterien wie etwa biologische / nachhaltige / regionale Erzeugung einen Preisaufschlag von deutlich oberhalb 25 % zu zahlen (Spiller und Lüth 2004, Kuhnert et al. 2005, Schwabe 2015). Bei der Erzeugung von Speiseforellen unter den

Produktionsbedingungen in Deutschland betragen die Ausgaben für Futtermittel in der Regel mehr als 50 % der gesamten variablen Kosten (LfL 2016). Somit ist kaum davon auszugehen, dass für Fischsilagemehl als Futterbestandteil Mehrkosten oberhalb von 25 % im Vergleich zu gleichwertigen marktüblichen Futterbestandteilen toleriert werden können.

6 Öffentlichkeitsarbeit

Die Ergebnisse des Projektes wurden in Form von Vorträgen auf zwei Veranstaltungen der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Teilnehmer waren Vertreter aus den Bereichen der Fischfutterherstellung, der Aquakultur und Binnenfischerei, der Forschung sowie aus der Fischereiverwaltung und aus dem Fischereiverband. Es wurden folgende zwei Vorträge gehalten:

1. Konservierung von Schlachtresten aus der Fischverarbeitung als Rohstoff für die Fischmehlerzeugung. Fortbildungsveranstaltung - Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow. Seddiner See, 14. September 2017.
2. Fischfilet...und der Rest? - Über die dezentrale Fermentation zum nachhaltigen Futter für die Fischzucht. Innovationstag Ernährungswirtschaft Berlin Brandenburg 2017, Berlin, 12. September 2017.

Die Ergebnisse wurden im Zuge der Vorträge kontrovers diskutiert. Es wurde zum Einen gelobt, dass dieses Thema der Nachhaltigkeit in der Fischfutterproduktion angegangen wird und Alternativen zum gängigen „Raubzug“ durch die Weltmeere erarbeitet werden. Zum Anderen wurde die Problematik des hohen Phosphorgehaltes und des geringen Proteingehaltes kritisiert. Aber auch alternative Nutzungsmöglichkeiten, welche in der Schweinefütterung und dem Petfood-Bereich (Hundefutter, Katzenfutter) gesehen werden, könnten in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Die in der vorliegenden Studie gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Abwägung von Möglichkeiten und Grenzen einer nachhaltigen Verwertung von Nebenprodukten aus der Süßwasserfischverarbeitung über deren kleinteilige Sammlung, Konservierung mittels chemischer Silierung und die spätere Weiterverarbeitung. Die Ergebnisse können zur Planung und Etablierung einer Infrastruktur für diese Form der Kreislaufwirtschaft im Rahmen der Kultivierung von Süßwasserfischen herangezogen werden. Schließlich unterstützen sie bei der Ermittlung eines angemessenen Preises für die Bereitstellung von Silage aus Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung.

Weiterhin wird das Projekt mit wichtigen Ergebnissen in den Jahresberichten und auf den Webseiten des IASP und des IfB veröffentlicht werden.

7 Fazit

7.1 Herstellung der Fischsilage, des Fischmehls und der Fischfutterextrudate

Die Silierung ist ein mikrobiologisch sicheres Verfahren zur Haltbarmachung, Lagerung (bei Raumtemperatur) und Sammlung der FNP. Für die Silierung ist allerdings auf jeden Fall eine anfängliche Investition nötig, um die Zerkleinerung der FNP und deren homogene Vermischung mit Ameisensäure zu gewährleisten. Wie an Hand einer Kostenkalkulation für zwei verschiedene Betriebsgrößen demonstriert wurde, ist die Fischsilageherstellung je nach Equipment mehr oder weniger arbeitsintensiv. In kleineren Batches kann/muss viel händisch gearbeitet werden: abmessen der Ameisensäure, untermischen, pH-Wert messen und kontrollieren. In größeren Anlagen kann mit entsprechender Automatisierung alles mit sehr geringem Personalaufwand ablaufen.

Im Rahmen des Vorhabens sind unter nicht optimierten Bedingungen bei der Silierung Mehrkosten von ca. 116 € pro Tonne FNP im Vergleich zu einer einfachen Kühllagerung entstanden. Die Silierung bietet allerdings die Möglichkeit einer einfachen Lagerung der FNP bei Raumtemperatur und deutlich längere Lagerungszeiten. Dadurch können größere Mengen von FNP gesammelt und Transportkosten zu einer zentralen Verarbeitungsstelle reduziert werden. In der Mehrzahl der Fälle (weniger als 50 Tonnen FNP pro Jahr) ist nur dann eine Weiterverarbeitung und Nutzung der FNP wirtschaftlich.

Aufgrund der Einsparung von Entsorgungskosten (im Wert von durchschnittlich 60 €/t) kann die Silierung, trotz eintretender Produktionskosten, bei entsprechender Nutzung des Silierproduktes und Erzielung angemessener Preise eine zusätzliche Einnahmequelle für die Verarbeitungsbetriebe darstellen. Bei derzeitigen Fischmehl-Produktionskosten von ca. 450 €/t (ohne Einbeziehung der Rohstoffkosten) und einem Weltmarktpreis von ca. 1800 €/t Fischmehl sind durchaus Silagepreise erzielbar, die eine wirtschaftliche Silageerzeugung garantieren.

Es stellte sich heraus, dass die Herstellung von Fischmehl, welches ausschließlich aus Fischsilage gewonnen wird, aufgrund der fortgeschrittenen proteolytischen Verflüssigung mit branchenüblichen Scheibentrocknungsanlagen nicht direkt realisierbar ist. Der Ansatz zur Herstellung eines reinen Fischsilagemehls durch Einsatz einer Walzentrocknungsanlage konnte nicht erfolgreich umgesetzt werden. Dieses Trocknungsverfahren könnte allerdings in der Zukunft mit entsprechender FuE-Arbeit auf die Fischsilage angepasst werden. Sprühtrocknungsverfahren schließen sich aufgrund des hohen Anteils an grobpartikulären Feststoffen aus. Im Rahmen des Vorhabens wurde die Trocknung einer Mischung aus Fischsilage und frischen Fischnebenprodukten (FNP), im Verhältnis 1:1, mit einer Scheibentrocknungsanlage erfolgreich etabliert. Im Vergleich zu konventionellem Fischmehl hatte das Mehl unter Einsatz von Fischsilage (Fischsilagemehl) einen leicht erhöhten Fett- bzw. Aschegehalt (10,3 % anstatt 9,0 % bzw. 26,0-30,0 % anstatt 9,0-12,0 %) und einen etwas niedrigeren Proteingehalt (53,5-60,0 % anstatt 65,0-72,0 %).

Fischfutterextrudate konnten mit dem hergestellten Fischsilagemehl unter Verwendung von weiteren essentiellen Zutaten problemlos im großindustriellen Maßstab zu Trockenfuttermitteln extrudiert werden. Da im ersten Versuchsdurchlauf schlechte Futteraufnahmeleistungen (vergl.

Abschnitt 5.5.6) mit stark erhöhten Anisidinzahlen einher gingen, sind im zweiten Versuchsdurchlauf zu besonders gefährdeten Produkten Antioxidationsmittel zugesetzt worden. Bei der Herstellung der Silage aus Fischnebenprodukten im großtechnischen Maßstab machen die eingesetzten Antioxidationsmittel (Natucox IP E Liquid) und die Ameisensäure ca. 60 % der Produktionskosten (Selbstkosten) aus. Sowohl die Zugabe von Antioxidationsmittel als auch die Zugabe von Ameisensäure können aber zugunsten der Wirtschaftlichkeit noch optimiert werden.

Die in der Aquakultur eingesetzten Futtermittel bestehen zu einem großen Teil aus Fischmehl und Fischöl, die fast ausschließlich aus Meeresfischen gewonnen werden. Auf Grund der begrenzten natürlichen Fischbestände sind Fischmehl und insbesondere auch Fischöl limitierende Rohstoffkomponenten in der Trockenfuttermittelherstellung für die nachhaltige Aquakulturproduktion. Aus ökologischer Sicht sollten alle Bestrebungen dahin gehen, Fischöl und Fischprotein beinhaltende Nebenprodukte als wertvolle Rohstoffkomponenten der Trockenfuttermittelherstellung zuzuführen. Es wurde nachgewiesen, dass silierte FNP ein geeigneter Rohstoff für die Herstellung von Fischmehl und Fischtrockenfutter sind. Silierte FNP können aber auch als Schweinefutter und zur Produktion von Petfood, wie Hunde- und Katzenfutter, Verwendung finden. Die Nutzung der Fischnebenprodukte zur Fischfutterherstellung ist ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll und leistet einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft und zur regionalen Entwicklung.

7.2 Einsatz von Fischsilagemehl in Trockenfuttermitteln für Fische

Die vorliegende Studie offenbart große fischartspezifische Unterschiede bei der Verwertung von Fischsilagemehl im Futtermittel.

Bei einem unter Produktionsstandards der Guten Fachlichen Praxis erzeugten Futtermittel mit Anteilen aus Fischsilagemehl wurden bei Regenbogenforellen Wachstumsleistungen und Futtermittelverwertungen erzielt, die den Leistungen des als Kontrollstandard eingesetzten Industriefuttermittels ebenbürtig waren.

Die an den Zandern erzielten Ergebnisse verweisen darauf, dass diese hinsichtlich der Palatabilität ungewöhnlich sensible Fischart Probleme bei der Verwertung von Futtermitteln mit Fischsilagemehl aus Nebenprodukten der Fischverarbeitung aufweisen kann. Auch Untersuchungen zur Erhöhung der Palatabilität über Coating der Pellets mit geschmacksintensiven Substanzen führten beim Zander zu keiner verbesserten Akzeptanz.

Das eingesetzte Futtermittel mit Fischsilagemehl hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung, führte jedoch über erhöhte Rot- und Gelb-Anteile zu einer intensiveren Färbung von Filets und Lebern.

Fischsilagemehl im Futtermittel kann zu einer leichten, aber merklichen Beeinflussung sensorischer Parameter führen. So wurden bei verköstigten Filets sowohl der Geruch, die Farbe als auch der Geschmack ausgeprägter als bei den Filets der Kontrollgruppe ohne Fischsilagemehl bewertet. Die sensorische Produktqualität wurde durch den Einsatz des Fischsilagemehls nicht verbessert. Mögliche Einbußen in sensorischen Qualitätsparametern lassen sich jedoch durch die Vorschaltung einer Hälterphase vor Schlachtung verringern bzw. ausschalten.

Ergaben sich beim Stickstoff noch recht einheitliche Emissionen, so kam es beim Futtermittel mit Fischsilagemehlanteil aufgrund seines erhöhten Phosphoranteils (3,28 % versus 1,45 %) zu einer gegenüber dem industriellen Kontrollfutter 2,8-fach erhöhten Phosphor-Emission. Es bestehen jedoch, insbesondere für Haltungssysteme mit intensiver Wassernutzung, inzwischen Möglichkeiten der gezielten Reduzierung von P-Emissionen und damit Chancen zur Kompensation eines erhöhten P-Eintrages durch Fischsilagemehl beinhaltende Futtermittel. Futtermittel mit Fischsilagemehlanteil sollten aus Nachhaltigkeitsgründen vornehmlich in Fischhaltungseinrichtungen eingesetzt werden, die über eine leistungsfähige mechanische Aufbereitungsstufe zur Entnahme partikulärer Substanzen und damit Phosphor aus dem Ablaufwasserstrom verfügen. Bei Einsatz von Fischsilagemehl in Futtermittelrezepturen empfiehlt sich zudem die gleichzeitige Einbindung von Faeces stabilisierenden Substanzen wie Guar gum.

Der Einsatz von Fischsilagemehl sollte zu keinen wesentlich erhöhten Futterkosten führen. Die Bereitstellung von Fischsilage aus Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und die Herstellung von Fischsilagemehl daraus sollte auf einem mit gleichwertigen Futterbestandteilen ähnlichen Preisniveau liegen.

Bei der Entwicklung einer Infrastruktur für Fischsilageerzeugung und deren Verwertung zu Fischsilagemehl sollte das Potenzial einer entsprechenden Mitverwertung von nicht als Speise- oder Satzfish absetzbaren Cypriniden-Beifängen aus der Binnenfischerei berücksichtigt werden.

8 Verwendete Literatur

ARRAINA (2015): Feed ingredients in aquaculture, Technical booklet: A Database of Aquaculture Feed Ingredients. Report of the EU-FP7 Project ARRAINA. SPAROS Lda, Olhão. <http://www.sparos.pt/index.php/en/resources-v1/arraina-information>

Brämick, U. (2016): Jahresbericht zur deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2015. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow. 50 S. <http://www.ifb-potsdam.de/de-de/ver%C3%B6ffentlichungen/downloads.aspx>

Brinker A., Koppe W., Rösch R. (2005): Optimizing trout farm effluent treatment by stabilizing trout feces: a field trial. *North American Journal of Aquaculture* 67, 244-258.

Busacker, G. P., Adelman, I. R., Goolish, E. M. (1990): Growth. In Schreck, C. B. & Moyle, P. B. (eds), *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA: 363–387.

Guttman L., van Rijn, J. (2008): Identification of conditions underlying production of geosmin and 2-methylisoborneol in a recirculating system. *Aquaculture* 279, 85–91.

IASP (2006): Entwicklung von Verfahren zur Nutzung von Abprodukten der industriellen Verarbeitung von Karpfen. Forschungsbericht. Auftraggeber Sachsen Fischland GmbH

IASP (2012): Konzeptstudie zur Erzeugung von Trockenfuttermitteln aus konservierten Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Verwertung durch karnivore Wirtschaftsfischarten. Abschlussbericht, Vorhaben gefördert unter dem Az 28144 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Jackson, A. (2009): Fish in – fish out: Ratios explained. *Aquaculture Europe* 34(3), 5-10.

Kuhnert, H., Feindt, P. H., Beusmann, V. (2005): Ausweitung des ökologischen Landbaus in Deutschland – Voraussetzungen, Strategien, Implikationen, politische Optionen. In: *Angewandte Wissenschaft*, Heft 509. Münster-Hiltrup.

LfL (2016): Forellenfütterung – bedarfsgerecht und gewässerschonend. LfL-Merkblatt, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Fischerei. 2 S.

Mongirdas, V., Žibienė, G., Žibas, A. (2017): Waste and its characterization in closed recirculation aquaculture systems – A review. *Journal of Water Security* 3, 1-8.

Müller-Belecke, A., Zienert, S. (2008): Out-of-season spawning of pike perch (*Sander lucioperca* L.) without need for hormonal treatments. *Aquaculture Research* 39, 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.

Müller-Belecke, A., Kaufhold, S., Schmidt, G., Kühn, C., Spranger, A. (2016): Entwicklung und Leistungsprüfung eines Kompaktmoduls zur Phosphorelimination im Ablaufwasser geschlossener Kreislaufsysteme. *Fischerei & Fischmarkt in Mecklenburg Vorpommern* 4/2016, 29-34.

van Rijn, J. (2013): Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* 53, 49–56.

Schäperclaus, W., v. Lukowicz, M. (1998): *Lehrbuch der Teichwirtschaft*. Parey, Berlin, 590 S.

Schrader, K. K., Summerfelt, S. T. (2010): Distribution of off-flavor compounds and isolation of geosmin-producing bacteria in a series of water recirculating systems for rainbow trout culture. *North American Journal of Aquaculture* 72, 1-9.

Schreckenbach, K., (2000): Nutzung und Ausscheidung von Nährstoffen und Energie bei der Fütterung von Regenbogenforellen mit Trockenmischfuttermitteln und Frischfisch. *Mitt. Landesforschungsanstalt f. Landw. u. Fischerei MV* 22, 22-40

Schreckenbach, K., Knösche, R., Ebert, K. (2001): Nutrient and energy content of freshwater fishes. *Journal of Applied Ichthyology* 17, 142– 144.

Schreckenbach, K. (2010): Gesundheit und Hygiene – Basis für Wachstum. S. 87 – 116. In: Schmidt-Puckhaber (Ed.) *Fisch vom Hof?! Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen*. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 144 S.

Schwabe, M. (2015): Abschätzung des Marktpotenzials für ökologisch zertifizierte Aquakulturprodukte – Ergebnisse einer Verbraucherbefragung. Masterarbeit Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät. 62 S.

Sindilariu, P. D., Reiter, R., Wedekind, H. (2009a): Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquatic Living Resources* 22, 93-103.

Sindilariu, P. D., Brinker, A., Reiter, R., (2009b): Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. *Aquaculture Engineering* 41, 127-135.

Spiller, A., Lüth, M. (2004): Determinanten zum Kaufverhalten von Konsumenten. In: Leitzmann, C.; Beck, A.; Hamm, U.; Hermanowski, R. (Hrsg.): *Praxishandbuch BioLebensmittel*. Hamburg. Kap. V-2.2.1.

Steffens, W. (1985): *Grundlagen der Fischernährung*. Gustav Fischer Verlag, Jena. 226 S.

Suhr, K. I., Arvin, E., Pedersen, P. B. (2013): End-of-pipe denitrification using RAS effluent waste streams: Effect of C/N-ratio and hydraulic retention time. *Aquaculture Engineering* 53, 57– 64.

Tacon, A. G. J., Metian, M.; Hasan, M. R. (2009): Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No.540. Rome, FAO. 209 S.

Verdegem M. C. J. (2013): Nutrient discharge from aquaculture operations in function of system design and production environment. Reviews in Aquaculture 5, 158–171.

Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte, v. 21.10.2009)

Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren (v. 25.02.2011)

Zienert, S., Heidrich, S. (2005): Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow 18: 60 S.

9 Anhang

Anhangstabelle A1: Ergebnisse der Fütterungsstudien im Rahmen von AP 4 an Regenbogenforellen im Kreislaufsystem nach Versuchsabschnitten (von Wägung zu Wägung)

	Kontrolle	Nepro 1	Nepro 2
Versuchsstart (Datum):	30.11.15	30.11.15	30.11.15
Versuchsende (Datum):	4.1.16	4.1.16	4.1.16
Besetzte Individuen (n):	60,0	60,0	60,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	10,325	9,850	10,125
Entnahme Verluste (n):	0,5	1,5	0,0
Entnahme Verluste (kg):	0,046	0,289	0,000
Entnahme Sonstige (n):	0	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	59,5	58,5	60,0
Abfischgewicht (kg):	16,575	11,250	11,275
Futtermiteinsatz (kg):	6,269	3,935	3,737
Versuchszeitraum (d):	35	35	35
Startstückmasse (g):	172,1	164,2	168,8
Endstückmasse (g):	278,5	192,5	187,9
Zuwachs (g):	106,5	28,3	19,2
SGR (%):	1,38	0,45	0,31
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,00	2,40	3,29
Überlebensrate (%):	99,2	97,5	100,0
Fütterungsintensität max. (%)	1,50	1,05	0,95

	Kontrolle	Nepro 1	Nepro 2
Versuchsstart (Datum):	4.1.16	4.1.16	4.1.16
Versuchsende (Datum):	1.2.16	1.2.16	1.2.16
Besetzte Individuen (n):	59,5	58,5	60,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	16,575	11,250	11,275
Entnahme Verluste (n):	0,5	2,5	1,0
Entnahme Verluste (kg):	0,144	0,484	0,260
Entnahme Sonstige (n):	0	0	0,5
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000	0,074
Abgefischte Individuen (n):	59,0	56,0	58,5
Abfischgewicht (kg):	20,650	11,100	11,075
Futtermiteinsatz (kg):	4,958	1,212	1,075
Versuchszeitraum (d):	28	28	28
Startstückmasse (g):	278,5	192,5	187,9
Endstückmasse (g):	349,9	198,3	189,5
Zuwachs (g):	71,4	5,9	1,6
SGR (%):	0,82	0,11	0,03
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,17	3,63	8,20
Überlebensrate (%):	99,2	95,7	98,3

	Kontrolle	Nepro 1	Nepro 2
Versuchsstart (Datum):	1.2.16	1.2.16	1.2.16
Versuchsende (Datum):	22.2.16	22.2.16	22.2.16
Besetzte Individuen (n):	59	56	58,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	20,65	11,1	11,075
Entnahme Tote (n):	0,5	0,5	1
Entnahme Tote (kg):	0,104	0,048	0,172
Entnahme Sonstige (n):	0	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0	0	0
Abgefischte Individuen (n):	58,5	55,5	57,5
Abfischgewicht (kg):	22,45	11,325	11,15

Futtermiteinsatz (kg):	3,405	0,981	0,9
Veruchszeitraum (d):	21	21	21
Startstückmasse (g):	349,9	198,3	189,5
Endstückmasse (g):	383,7	204,1	194,1
Zuwachs (g):	33,8	5,8	4,6
SGR (%):	0,44	0,14	0,11
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,80	3,62	3,64
Überlebensrate (%):	99,2	99,1	98,3

Anhangstabelle A2: Ergebnisse der Fütterungsstudien im Rahmen von AP 8 an Regenbogenforellen im Kreislaufsystem nach Versuchsabschnitten (von Wägung zu Wägung)

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	8.8.16	8.8.16
Versuchsende (Datum):	5.9.16	5.9.16
Besetzte Individuen (n):	55,0	55,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	13,157	12,763
Entnahme Verluste (n):	0,7	0,0
Entnahme Verluste (kg):	0,249	0,000
Entnahme Sonstige (n):	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	54,3	55,0
Abfischgewicht (kg):	19,433	19,350
Futtermiteinsatz (kg):	6,335	5,766
Versuchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	239,2	232,1
Endstückmasse (g):	357,7	351,8
Zuwachs (g):	118,4	119,8
SGR (%):	1,44	1,49
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	0,97	0,88
Überlebensrate (%):	98,8	100,0
Fütterungsintensität max. (%)	1,80	1,80

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	5.9.16	5.9.16
Versuchsende (Datum):	4.10.16	4.10.16
Besetzte Individuen (n):	54,3	55,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	19,433	19,350
Entnahme Verluste (n):	0,7	0,3
Entnahme Verluste (kg):	0,358	0,149
Entnahme Sonstige (n):	0,0	0,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	53,7	54,7
Abfischgewicht (kg):	26,620	27,853
Futtermiteinsatz (kg):	7,731	7,983
Versuchszeitraum (d):	29	29
Startstückmasse (g):	357,7	351,8
Endstückmasse (g):	496,0	509,5
Zuwachs (g):	138,4	157,7
SGR (%):	1,13	1,28
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,03	0,92
Überlebensrate (%):	98,8	99,4

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	4.10.16	4.10.16

Versuchsende (Datum):	31.10.16	31.10.16
Besetzte Individuen (n):	53,7	54,7
Besatzgewicht gesamt (kg):	26,620	27,853
Entnahme Tote (n):	0,0	0,3
Entnahme Tote (kg):	0,000	0,177
Entnahme Sonstige (n):	0,3	1,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,057	0,257
Abgefischte Individuen (n):	53,3	53,3
Abfischgewicht (kg):	34,576	36,443
Futtermiteinsatz (kg):	8,265	8,601
Veruchszeitraum (d):	27	27
Startstückmasse (g):	496,0	509,5
Endstückmasse (g):	648,4	683,4
Zuwachs (g):	152,4	173,9
SGR (%):	0,99	1,09
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,03	0,95
Überlebensrate (%):	100,0	99,4

	Kontrolle	NEPRO
Versuchsstart (Datum):	31.10.16	31.10.16
Versuchsende (Datum):	28.11.16	28.11.16
Besetzte Individuen (n):	53,3	53,3
Besatzgewicht gesamt (kg):	34,576	36,443
Entnahme Tote (n):	0,0	0,0
Entnahme Tote (kg):	0,000	0,000
Entnahme Sonstige (n):	1,0	1,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,867	0,881
Abgefischte Individuen (n):	52,3	52,3
Abfischgewicht (kg):	40,132	42,949
Futtermiteinsatz (kg):	7,993	8,427
Veruchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	648,4	683,4
Endstückmasse (g):	767,1	820,8
Zuwachs (g):	118,7	137,3
SGR (%):	0,60	0,65
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,24	1,14
Überlebensrate (%):	100,0	100,0

Anhangstabelle A3: Ergebnisse der Fütterungsstudien im Rahmen von AP 8 an Regenbogenforellen in Netzgehegen nach Versuchsabschnitten (von Wägung zu Wägung)

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	24.10.16	24.10.16
Versuchsende (Datum):	21.11.16	21.11.16
Besetzte Individuen (n):	93,0	93,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	14,330	14,245
Entnahme Verluste (n):	0,0	0,0
Entnahme Verluste (kg):	0,000	0,000
Entnahme Sonstige (n):	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	93,0	93,5
Abfischgewicht (kg):	16,325	15,925
Futtermiteinsatz (kg):	4,080	4,056
Versuchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	154,1	152,3

Endstückmasse (g):	175,5	170,3
Zuwachs (g):	21,5	18,0
SGR (%):	0,47	0,40
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	2,06	2,72
Überlebensrate (%):	100,0	100,0

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	21.11.16	21.11.16
Versuchsende (Datum):	19.12.16	19.12.16
Besetzte Individuen (n):	93,0	93,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	16,3	15,9
Entnahme Verluste (n):	0,0	0,0
Entnahme Verluste (kg):	0,0	0,0
Entnahme Sonstige (n):	0,0	0,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,0	0,0
Abgefischte Individuen (n):	93,0	93,5
Abfischgewicht (kg):	18,7	18,4
Futtermiteinsatz (kg):	2,6	2,6
Versuchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	175,5	170,3
Endstückmasse (g):	201,3	196,8
Zuwachs (g):	25,8	26,5
SGR (%):	0,49	0,52
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,10	1,04
Überlebensrate (%):	100,0	100,0

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	19.12.16	19.12.16
Versuchsende (Datum):	16.1.17	16.1.17
Besetzte Individuen (n):	93,0	93,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	18,7	18,4
Entnahme Tote (n):	0,0	0,0
Entnahme Tote (kg):	0,0	0,0
Entnahme Sonstige (n):	0,0	0,0
Entnahme Sonstige (kg):	0,0	0,0
Abgefischte Individuen (n):	93,0	93,5
Abfischgewicht (kg):	20,0	19,4
Futtermiteinsatz (kg):	1,9	1,8
Veruchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	201,3	196,8
Endstückmasse (g):	215,3	207,5
Zuwachs (g):	14,0	10,7
SGR (%):	0,24	0,19
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,58	1,83
Überlebensrate (%):	100,0	100,0

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	16.1.17	16.1.17
Versuchsende (Datum):	3.3.17	3.3.17
Besetzte Individuen (n):	93,5	93,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	20,025	19,4
Entnahme Tote (n):	0,5	1,5
Entnahme Tote (kg):	0,1315	0,209
Entnahme Sonstige (n):	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0	0
Abgefischte Individuen (n):	93	92
Abfischgewicht (kg):	20,35	20,225
Futtermiteinsatz (kg):	1,0005	0,9705
Veruchszeitraum (d):	46	46
Startstückmasse (g):	214,1	207,5

Endstückmasse (g):	218,8	219,9
Zuwachs (g):	4,7	12,4
SGR (%):	0,05	0,13
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	3,93	0,94
Überlebensrate (%):	99,5	98,4

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	3.3.17	3.3.17
Versuchsende (Datum):	3.4.17	3.4.17
Besetzte Individuen (n):	93,5	92
Besatzgewicht gesamt (kg):	20,35	20,225
Entnahme Tote (n):	0	0,5
Entnahme Tote (kg):	0	0,115
Entnahme Sonstige (n):	0	0
Entnahme Sonstige (kg):	0	0
Abgefischte Individuen (n):	93,5	91,5
Abfischgewicht (kg):	23,325	22,5
Futtermiteinsatz (kg):	2,702	2,6855
Veruchszeitraum (d):	31	31
Startstückmasse (g):	223,6	219,9
Endstückmasse (g):	249,4	245,9
Zuwachs (g):	25,8	26,0
SGR (%):	0,35	0,36
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	0,91	1,13
Überlebensrate (%):	100,0	99,5

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	3.4.17	3.4.17
Versuchsende (Datum):	15.5.17	15.5.17
Besetzte Individuen (n):	93,5	91,5
Besatzgewicht gesamt (kg):	23,325	22,5
Entnahme Tote (n):	2	1
Entnahme Tote (kg):	0,562	0,286
Entnahme Sonstige (n):	0	12
Entnahme Sonstige (kg):	0	2
Abgefischte Individuen (n):	91,5	78,5
Abfischgewicht (kg):	31,64	27,98
Futtermiteinsatz (kg):	6,808	6,450
Veruchszeitraum (d):	42	42
Startstückmasse (g):	249,4	245,9
Endstückmasse (g):	345,9	360,7
Zuwachs (g):	96,4	114,8
SGR (%):	0,78	0,90
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	0,77	0,83
Überlebensrate (%):	97,9	98,9

Anhangstabelle A4: Ergebnisse der Fütterungsstudien im Rahmen von AP 8 an Zandern im Kreislaufsystem nach Versuchsabschnitten (von Wägung zu Wägung)

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	15.8.16	15.8.16
Versuchsende (Datum):	12.9.16	12.9.16
Besetzte Individuen (n):	65,0	65,0
Besatzgewicht gesamt (kg):	5,260	5,398
Entnahme Verluste (n):	0,00	0,33
Entnahme Verluste (kg):	0,000	0,030
Entnahme Sonstige (n):	1,00	0,67
Entnahme Sonstige (kg):	0,094	0,098
Abgefischte Individuen (n):	64,0	63,7
Abfischgewicht (kg):	7,117	5,850
Futtermiteinsatz (kg):	1,973	1,256

Versuchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	80,9	83,0
Endstückmasse (g):	111,2	91,9
Zuwachs (g):	30,3	8,8
SGR (%):	1,13	0,36
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	1,02	2,30
Überlebensrate (%):	100,0	99,5
Fütterungsintensität max. (%)	1,30	0,50

	Kontrolle	Nepro 3
Versuchsstart (Datum):	12.9.16	12.9.16
Versuchsende (Datum):	10.10.16	10.10.16
Besetzte Individuen (n):	64,0	63,7
Besatzgewicht gesamt (kg):	7,117	5,850
Entnahme Verluste (n):	1,33	3,00
Entnahme Verluste (kg):	0,090	0,230
Entnahme Sonstige (n):	0,00	0,00
Entnahme Sonstige (kg):	0,000	0,000
Abgefischte Individuen (n):	62,7	60,7
Abfischgewicht (kg):	9,187	5,767
Futtermiteinsatz (kg):	2,052	0,658
Versuchszeitraum (d):	28	28
Startstückmasse (g):	111,2	91,9
Endstückmasse (g):	146,6	94,9
Zuwachs (g):	35,4	3,0
SGR (%):	0,99	0,12
FQ (kg Futter / kg Zuwachs):	0,95	3,28
Überlebensrate (%):	97,9	95,3