

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien

Optimized use of potato protein concentrates in organic aquaculture diets for rainbow trout
(*Oncorhynchus mykiss*)

FKZ: 08OE058

Projektnehmer:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung (FB Aquakultur)
Hermann-Rodewald-Straße 6, 24118 Kiel
Tel.: +49 431 8802584
Fax: +49 431 8802588
E-Mail: cschulz@tierzucht.uni-kiel.de
Internet: <http://www.tierzucht.uni-kiel.de>

Autoren:

Tusche, Karsten; Schulz, Carsten

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft (BÖLN)

Abschlussbericht

Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien



Prof. Dr. Carsten Schulz, M.Sc. Karsten Tusche

Christian-Albrechts-Universität, Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Fachbereich:
Aquakultur

Olsenhausenstraße 40, 24098 Kiel

Tel.: +49 4834 96539914, Fax: +49 4824 96539999

E-Mail: tusche@gma-buesum.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und
Landwirtschaft im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen
nachhaltiger Landwirtschaft

Förderkennzeichen: 08OE058

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	3
1.1 Gesamtziel des Vorhabens	3
1.2 Projektbearbeitung	4
2. Vorgehensweise	4
3. Erster Versuch – Kartoffelproteine in Forellenfuttermitteln.....	6
4. Versuch zur Appetenzsteigerung von Kartoffelproteinfuttermitteln	25
5. Versuch zum Rücktausch von PPC durch Weizenkleber	36
6. Abschließende Zusammenfassung der Projektbearbeitung	47
7. Literatur.....	49

1. Ausgangslage

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

In der ökologischen Fischproduktion ist die Futtermittelherstellung streng reglementiert. Die für die Ernährung von carnivoren Fischarten wie der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) hochwertigen Fischmehle dürfen gemäß den Produktionskriterien von NATURLAND lediglich aus nachhaltig zertifizierter Fischerei (z.B. MSC-Standard), aus Beifängen der Speisefischerei oder aus Überresten der Verarbeitung von ökologisch produzierten Fischen derselben geographischen Region bezogen werden. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit soll die Fischmehlverwendung durch Nutzung alternativer Proteinquellen auf ein Minimum reduziert werden. Der Einsatz nativer pflanzlicher Mehle ist wegen der geringen Proteingehalte, möglicher limitierender Aminosäuren und antinutritiver Inhaltsstoffe begrenzt. Pflanzliche Proteinkonzentrate mit hohen Proteingehalten von 70-90 % dürfen in der ökologischen Fischproduktion nur bei lösungsmittelfreier Aufbereitung eingesetzt werden, was den Einsatz von Proteinisolaten aus Soja, Raps oder Lupine ausschließt. Zudem ist der zur Aufwertung der biologischen Wertigkeit der pflanzlichen Proteine notwendige Einsatz freier Aminosäuren untersagt, so dass alternative Proteinquellen in der ökologischen Fischproduktion nur begrenzt einsetzbar sind. Kartoffeleiweiß weist im Vergleich zu Eiweißen anderer Pflanzen wie Soja oder Raps eine hochwertigere Proteinzusammensetzung ohne limitierende Aminosäuren auf und wird aufgrund der lösungsmittelfreien Herstellung und dem regionalen Anbau als Proteinträger in der Tierernährung nach ökologischen Kriterien anerkannt.

Zur Substitution des Fischmehlanteils in den Öko-Fischfuttermitteln soll deshalb der Einsatz von Kartoffeleiweiß in der Ernährung von Regenbogenforellen (RF) untersucht werden. Dabei soll unter Berücksichtigung möglicher antinutriver Inhaltsstoffe, wie z.B. Solanin oder Chaconin, die maximale Kartoffeleiweißverwendung ermittelt werden, die keine negativen Auswirkungen auf die Wachstumsleistungen und den Gesundheitsstatus der RF aufweist. Darauf aufbauend soll durch die gezielte Kombination von Kartoffeleiweiß mit dem ebenfalls in der Öko-Tierproduktion zugelassenen, aber ernährungsphysiologisch minderwertigeren Weizenklebereiweiß eine preisgünstigere Futtermittelzusammensetzung zur maximal möglichen Fischmehlsubstitution in Öko-Fischfuttermitteln hergestellt werden.

1.2 Projektbearbeitung

Nach Erhalt des Zuwendungsbescheides wurde mit der Projektbearbeitung am 01.12.2008 begonnen. Die gesamte Projektbearbeitungsdauer erstreckt sich vom 01.12.2008 bis zum 31.10.2011. In der ersten Phase wurden vorbereitende Maßnahmen zur Laboranalytik (Verbrauchsmaterialien) und zur praktischen Durchführung der Untersuchung umgesetzt, als auch die Personaleinstellung vorbereitet.

Zum 01.02.2009 konnte M.Sc. Karsten Tusche als verantwortlicher Projektmitarbeiter eingestellt werden. Nach kurzer Einarbeitungszeit erfolgte die Bearbeitung des Projektvorhabens.

2. Vorgehensweise

Wie im Projektantrag beschrieben, soll im Versuchsvorhaben der Einsatz von Kartoffelproteinen (PPC = potato protein concnetrate) mit unterschiedlichen Glykoalkaloidgehalten in der Ernährung von Regenbogenforellen zur maximalen Fischmehlsubstitution untersucht werden. Angestrebt wird dabei, eine Kartoffelproteinherkunft bzw. -qualität zu erhalten, die möglichst keine Auswirkungen auf die Wachstumsleistung und den Gesundheitszustand der Fische aufzeigen.

Diesbezüglich wurde zunächst der Markt nach Angeboten für Kartoffelproteine untersucht. Da die Verfügbarkeit aufgrund der geringen Nachfrage stark eingeschränkt ist, konnten lediglich 3 unterschiedliche Kartoffelproteine bezogen werden. Im Anschluss erfolgte die Analytik der Nährstoffgehalte (Weender Futtermittelanalytik), als auch die Bestimmung der Glykoalkaloidgehalte, sowie der Aminosäurezusammensetzung.

Tabelle 1: Ergebnisse Rohstoffanalytik

	Futtermittel Rohstoffe							
	Fisch- mehl	PPC IG	PPC K5	PPC Süd- stärke	Weizen Kleber Loryma	Weizen Kleber Cargill	Weizen Kleber Südstärke	Weizen- stärke
<i>Inhaltstoffe (% TS)</i>								
Trockensubstanz (TS)	91,8	91,96	95,58	91,29	94,35	92,83	92,82	89,81
Wasser	8,1	8,04	4,42	8,71	5,65	7,17	7,18	10,19
Rohprotein	68,9	84,17	85,9	80,18	82,95	81,88	81,57	0,28
Rohfett	6,9	2,94	3,29	4,75	5,85	5,2	5,30	0,36
Rohfaser	0,5	0,63	0,05	1,06	0,26	0,59	0,66	0,03
Stärke	1,9	0,35	1,01	0,53	10,22	9,38	5,38	92,39
Rohasche	20,6	2,09	0,85	2,35	0,73	1,01	1,54	0,11
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹ TS)</i>								
Solanin		1060,00	4,40	795,00				
Chaconin		1090,00	3,01	1240,00				

Bei den zur Verfügung stehenden Kartoffelproteinen handelt es sich um 2 Rohprodukte („IG“ und „Südstärke“), wie sie nach der Heißdampfextraktion und anschließender Trocknung anfallen, sowie ein weiterverarbeitetes Protein („K5“). Bei Letzterem wurde der Solanin- und Chaconingehalt durch technische Reinigungsprozesse bis auf ein Minimum gesenkt. Aus der vorhergehenden Tabelle 1 lässt sich entnehmen, dass die Kartoffelproteine „IG“ und „Südstärke“ einen Gesamtgehalt an Glykoalkaloiden zw. 2035-2150 mg/kg TS im Rohstoff aufweisen. Diese Menge entspricht Gehalten, welche laut Literatur bereits in früheren Untersuchungen zum Einsatz kamen. Das Kartoffelprotein „K5“ weist in der Gesamtheit lediglich Glykoalkaloidgehalte von 7,41 mg/kg TS auf.

Auf der Basis der Analytik wurden als Austauschprodukt die Proteine „K5“ (LG-PPC) und „IG“ (HG-PPC) der Firma Emsland Gruppe ausgewählt. Sie weisen jeweils einen sehr hohen Proteingehalt auf und unterscheiden sich stark in ihrem Gehalt an Glykoalkaloiden. Des Weiteren lässt sich festhalten, dass alle Kartoffelproteine Aminosäuremuster aufweisen, welche einer bedarfsgerechten Forellenernährung entsprechen und somit keinerlei Supplementierung mit einzelnen Aminosäuren notwendig ist.

Neben den Kartoffelproteinen wurden ebenfalls alle weiteren Futtermittelrohstoffe einer genauen Nährstoff- und Aminosäureanalytik unterzogen. Dies ist zwingend notwendig, um bei der Futtermittelherstellung isonitrogene und isoenergetische Futtermittel (FuMi) zu erzeugen, die zudem in der Nährstoffqualität nicht differieren. Das genutzte Fischmehl ist ein gemäß den Richtlinien der ökologischen Fischproduktion zugelassenes Schlachtkörpermehl (Vereinigte

Fischmehlwerke Cuxhaven) und die Weizenprodukte entstammen aus ökologisch-zertifizierfähigen Herkünften.

3. Erster Versuch – Kartoffelproteine in Forellenfuttermitteln

Material und Methoden

Versuchsfuttermittel

Anhand der Ergebnisse aus der Rohstoffanalyse wurden die zu verwendenden Futterinhaltsstoffe festgelegt und die genauen Zusammensetzungen der einzelnen FuMi für den ersten Versuch errechnet. Der Rohproteingehalt der FuMi sollte ca. 46 % betragen und der Rohfettgehalt 15 % nicht überschreiten. In der Kontrollgruppe wurde ausschließlich Fischmehl als Hauptproteinquelle eingesetzt. Bei den weiteren Gruppen wurde das aus dem Fischmehl stammende Protein sukzessive von 0 auf 100 % durch die jeweiligen Kartoffelproteine ausgetauscht. In den Futtermitteln LG25, LG50, LG75 und LG100 kam das Kartoffelprotein K5 (LG-PPC) mit geringem Glykoalkaloidgehalt (LG = low glycoalkaloid content) zum Einsatz. Bei den Futtermitteln HG25, HG50, HG75 und HG100 wurde das Kartoffelprotein IG (HG-PPC) mit hohem Glykoalkaloidgehalt (HG = high glycoalkaloid content) verwendet. Die Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der 9 FuMi sind in Tabelle 2 dargestellt. Alle Inhaltsstoffe wurden zu Pellets mit einem Durchmesser von 4 mm verarbeitet (L 14-175, AMANDUS KAHL, Reinbek, Deutschland). Anschließend wurden alle FuMi ein weiteres Mal auf ihre Nährstoffgehalte analysiert, um zu überprüfen, ob die FuMi für die Versuchsdurchführung geeignet sind.

Tabelle 2: Inhaltstoffe und Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel für den ersten Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen

	Futtermittel								
	Kontrolle	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
<i>Inhaltstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Fischmehl ¹	686	514	343	171	-	514	343	171	-
LG-PPC ²	-	132	265	397	529	-	-	-	-
HG-PPC ²	-	-	-	-	-	140	281	421	561
Fischöl ¹	100	107	114	121	129	107	115	122	130
Weizenstärke ³	145	137	129	120	112	135	125	116	106
Weizenkleber ³	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Vit ⁴ / Min ⁵ Premix	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cellulose ⁶	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Magnesia	-	40	80	120	160	33	66	99	133
<i>Nährstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Trockensubstanz	929	936	944	952	959	930	932	935	938
Rohprotein	488	490	486	483	477	492	491	488	485
Rohfett	145	158	158	156	145	156	153	158	154
Rohasche	183	179	186	192	199	178	177	179	181
Phosphor	14.4	13.7	13.0	12.3	11.6	13.7	13.1	12.4	11.8
NfE + Rohfaser	166	141	116	100	97	152	116	110	104
Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹)	20.4	20.3	20.6	20.4	20.4	20.3	20.8	21.1	21.1
<i>Essentielle Aminosäuren (g kg⁻¹)</i>									
Arginin	28.2	27.3	26.3	25.4	24.5	27.4	26.6	25.8	25.1
Histidin	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9	10.1	10.4	10.6	10.9
Isoleucin	17.7	20.1	22.4	24.7	27.0	20.2	22.7	25.1	27.6
Leucin	31.7	36.6	41.5	46.4	51.3	36.6	41.5	46.4	51.3
Lysin	31.3	33.4	35.5	37.6	39.7	33.3	35.3	37.3	39.4
Methionin + Cystein	15.6	16.4	17.2	18.0	18.8	16.5	17.3	18.2	19.0
Phenylalanin	17.5	21.3	25.2	29.0	32.8	21.4	25.2	29.1	33.0
Threonin	18.9	21.5	24.2	26.9	29.5	21.4	24.0	26.6	29.2
Valin	21.7	24.3	27.0	29.6	32.2	24.4	27.1	29.8	32.5
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹)</i>									
Solanin	-	0.4	0.8	1.2	1.6	166	306	459	612
Chaconin	-	0.6	1.2	1.7	2.3	149	298	446	595

¹VFCUX, Cuxhaven, Deutschland.²Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim, Deutschland.³Cargill Deutschland GmbH; Krefeld, Deutschland.⁴Vitamin-Premix (mg kg⁻¹); Vitfoss, Grasten, Dänemark: Vitamin A, 1.000.000 IU kg⁻¹; Vitamin D3, 200.000 IU kg⁻¹; Vitamin E (als α -Tocopherol-Acetat), 40.000; Vitamin K3 (als Menadione), 4.000; Vitamin B1, 4.000; Vitamin B2, 8.000; Vitamin B6, 4.000; Vitamin B12, 8; Vitamin C (als Monophosphat), 60.000; Pantotensäure, 8.000; Niacin, 40.000; Folsäure, 1.600; Biotin, 100; Inositol 40.000.⁵Mineral-Premix (mg kg⁻¹); Vitfoss, Grasten, Dänemark: Kobalt (als Kobaltsulfat), 400; Mangan (als Mangansulfat), 2.500; Jod (als Calciumjodid), 500; Kupfer (als Kupfersulfat), 2.500; Selen, 25; Zink (als Zinksulfat), 28.000.⁶Pellan, Mikro-Technik, Bürgstadt, Deutschland.⁷Magnesia 4371, Magnesia GmbH, Lüneburg, Deutschland.

Versuchsaufbau

Der Fütterungsversuch erfolgte in einem Kreislaufsystem der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH (Büsum, Deutschland). Es handelte sich um eine Aquarienanlage mit einem Gesamtvolumen von 9 m³ Wasservolumen. In diese sind zwei biologische Wasseraufbereitungen, Belüftungssysteme, sowie 40 Becken mit einem jeweiligen Wasservolumen von 175 Liter integriert. Die tägliche Beleuchtung erfolgte von 06:30 Uhr bis 18:30 Uhr (12 hL:12 hD). Zur Erfassung der Umweltparameter wurden während des Versuchs täglich die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt, sowie die Gehalte an Ammonium und Nitrit im Kreislaufwasser ermittelt. Die Temperatur betrug während des gesamten Zeitraums durchschnittlich $14,3 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, der Sauerstoffgehalt $9,71 \pm 0,38 \text{ mg l}^{-1}$, der Ammoniumgehalt $0,15 \pm 0,27 \text{ mg l}^{-1}$ und der Nitritgehalt $0,71 \pm 0,37 \text{ mg l}^{-1}$. Des Weiteren wurden täglich ca. 25% des Wasservolumens ausgetauscht. Die Werte liegen innerhalb der aus Literatur bekannten optimalen Werte und haben somit keinen negativen Einfluss auf die Fischgesundheit.

Für den Versuch wurden Regenbogenforellensetzlinge mit einem Gewicht von durchschnittlich 25 g bezogen. Vor Versuchsbeginn erfolgte eine zweiwöchige Akklimatisierung an die Gegebenheiten vor Ort. In dieser Zeit erhielten die Individuen ein kommerzielles Forellenfutter (AllerAqua, Performa 45/20 2mm) mit einer täglichen Fütterungsintensität von 3% des Körpergewichts. Zum Versuchsbeginn wurden 540 Regenbogenforellen (Durchschnittsgewicht $27,77 \text{ g} \pm 0,30$) nach dem Zufallsprinzip auf 27 Tanks verteilt. Den 9 Futtergruppen wurden ebenfalls nach dem Zufallsprinzip je 3 Tanks zugeordnet (n=3). Über einen Zeitraum von 84 Tagen wurde 2x täglich bis zur scheinbaren Sättigung gefüttert und die entsprechenden Futtermengen erfasst.

Abschlussuntersuchung

Zur Bestimmung der Länge, des Gewichtes und der chemischen Körperzusammensetzung wurden zum Beginn des Versuchs 10 Tiere entnommen und bis zur Analyse bei -20°C gelagert. Zum Versuchsende wurden alle Fische abschließend gewogen. Pro Tank wurden 3 Individuen für die Ganzkörperanalytik entnommen. Weiterhin wurden 3 Individuen pro Tank verwendet um Wachstums- und Futterverwertungsparameter zu erfassen (Länge, Gewicht, Lebergewicht) und berechnen zu können. Des Weiteren erfolgte eine Entnahme von Blut- und Gewebeproben zur Bestimmung und Bewertung physiologischer Parameter.

Blutparameter

Um den Einfluss verschiedener Kartoffelprotein- und Glykoalkaloidkonzentrationen auf den Gesundheits- und Ernährungszustand bewerten zu können, erfolgte bei 3 Individuen pro Tank eine Blutentnahme. Mittels einer heparinisierten Spritze wurden 2ml Vollblut aus der Kaudalvene entnommen. Durch zentrifugieren eines kleinen Teils der gerinnungsfreien Probe in Haematokritröhrchen wurde der Blutsenkungswert bestimmt. Der Rest des Vollblutes wurde ebenfalls zentrifugiert (1000g, 5min) und das Plasma bis zu weitergehenden Untersuchungen bei -80°C tiefgefroren. Glukose, Triglyceride und Proteine wurden über einen Mikroplattenleser (Tecan® Infinite 200) mit Lumineszenzdetektor und parameterspezifischen Testkits (Tabelle 3) ermittelt.

Tabelle 3: Verwendete Testverfahren für die Blutparameterbestimmung

Parameter	Hersteller	Kit	Probenmenge [μ l]	Verdünnung	Reagenz [μ l]
Glukose	Greiner	GOD-PAP	5	-	250
Triglyceride	Greiner	GPO-PAP	5	1:2	250
Proteine	Roth	RotiQuant	50	1:200	200

Ganzkörperanalyse / Futtermittelanalyse

Für die Analyse der Ganzkörperzusammensetzung wurden alle Fischproben für 96 h Gefriergetrocknet und homogenisiert. Die Proteinbestimmung erfolgte nach dem Kjeldahl Verfahren ($N \times 6,25$). Aufschluss, Destillation und Titration wurde mit Geräten der Firma Büchi (Büchi Digestion Unit K-435 und Destillation Unit B-324) durchgeführt. Rohfettgehalte wurden durch Extraktion mit Petrolether in einer Soxleth-Einheit ermittelt. Der Trockensubstanzgehalt wurde durch Trocknung bei 105°C bis auf ein konstantes Gewicht bestimmt. Der Rohaschegehalt wurde durch vollständige Verbrennung der Probe in einem Muffelofen bei 450°C über 18h ermittelt. Mittels eines Bombenkalorimeters (IKA®Kalorimeter 200c) erfolgte die Bestimmung des Bruttoenergiegehaltes.

Histologische Untersuchungen

Teile von Magen, Vorder-, Enddarm und Leber wurden für die histologischen Untersuchungen entnommen und in 4% phosphatgepuffertem Formalin fixiert. Nach der Fixierung wurden die Präparate mit Ethanol dehydriert, in Paraffin gebettet, geschnitten (5 μ m) und im Hämatoxylin-Eosin-Verfahren (HE) angefärbt. Die Analyse wurde mit einem Olympus CKX 41 Mikroskop durchgeführt, welches mit einer Canon EOS 500D Digitalkamera ausgestattet war. Die Schnitte wurden nach deutlich erkennbaren und wiederkehrenden Merkmalen typisiert und zwischen den Behandlungsgruppen verglichen.

Statistische Auswertung

Der Einfluss variierender Proteinquellen und Glykoalkaloidgehalte auf die ermittelten Versuchparameter wurde mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse erfasst. Der Vergleich der Mittelwerte der Fütterungsgruppen (n=3) untereinander wird mit dem multiplen Mittelwertvergleich nach Tukey HSD (homogene Varianzen nach Levene) oder Dunnett T3 (inhomogene Varianzen nach Levene) ermittelt. Alle Werte sind als Mittelwert \pm SE angegeben. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS 17.0 für Windows durchgeführt

Ergebnisse

Wachstum

Am Ende des Experiments wiesen die Fische der Kontrollgruppe ein durchschnittliches Endgewicht von 127,9g auf, während alle anderen Gruppen deutlich dahinter zurück blieben (Tabelle 4). Die Futtergruppen LG25, LG50, LG75 und LG100 waren untereinander nicht verschieden voneinander, konnten jedoch im Vergleich zur Kontrollgruppe ihr Gewicht im Versuchszeitraum nur knapp verdoppeln.

Tabelle 4: Wachstum und Parameter der Futtermittelverwertung von Regenbogenforellen in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 7,41 mg kg⁻¹ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg⁻¹ TS). Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (P<0,05)

Parameter	Versuchsfuttermittel									
	Kontrolle	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100	HG100
IBW ¹	27,8 \pm 0,4	27,5 \pm 0,2	27,6 \pm 0,1	27,8 \pm 0,3	27,8 \pm 0,3	27,8 \pm 0,2	27,7 \pm 0,4	28,0 \pm 0,3	28,1 \pm 0,1	
FBW ²	127,9 ^a \pm 12,5	52,9 ^b \pm 6,4	46,5 ^b \pm 2,0	43,3 ^b \pm 4,3	50,7 ^b \pm 1,0	27,6 ^c \pm 1,4	22,9 ^c \pm 0,4	20,9 ^c \pm 1,7	20,7 ^c \pm 1,5	
DFI ³	2,07 ^a \pm 0,1	1,46 ^b \pm 0,1	1,47 ^b \pm 0,0	1,45 ^b \pm 0,1	1,32 ^b \pm 0,1	0,78 ^c \pm 0,2	0,48 ^d \pm 0,2	0,29 ^{de} \pm 0,0	0,03 ^e \pm 0,0	
SGR ⁴	1,84 ^a \pm 0,1	0,78 ^b \pm 0,2	0,63 ^b \pm 0,0	0,53 ^b \pm 0,1	0,72 ^b \pm 0,0	-0,01 ^c \pm 0,1	-0,26 ^d \pm 0,0	-0,35 ^{de} \pm 0,1	-0,37 ^e \pm 0,1	
FCR ⁵	1,13 ^a \pm 0,0	2,00 ^b \pm 0,2	2,51 ^{bc} \pm 0,1	3,05 ^c \pm 0,3	1,91 ^{ab} \pm 0,1	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	
PER ⁶	1,95 ^a \pm 0,1	1,10 ^b \pm 0,2	0,87 ^{bc} \pm 0,1	0,72 ^c \pm 0,2	1,14 ^b \pm 0,1	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	
PPV ⁷	32,9 ^a \pm 0,8	18,0 ^{bc} \pm 2,6	16,4 ^{bc} \pm 1,6	13,4 ^c \pm 2,7	19,7 ^b \pm 1,3	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	
HSI ⁸	1,12 ^{ab} \pm 0,1	1,13 ^a \pm 0,2	1,16 ^a \pm 0,2	1,21 ^a \pm 0,2	1,26 ^a \pm 0,2	0,81 ^b \pm 0,1	0,85 ^{ab} \pm 0,3	0,83 ^b \pm 0,1	0,82 ^b \pm 0,1	
FCF ⁹	1,20 ^a \pm 0,1	1,06 ^a \pm 0,2	1,09 ^a \pm 0,1	1,06 ^a \pm 0,2	1,06 ^a \pm 0,1	0,87 ^b \pm 0,1	0,86 ^b \pm 0,1	0,81 ^b \pm 0,0	0,80 ^b \pm 0,1	

¹Anfangsgewicht; ²Endgewicht; ³tägliche Futtermittelverwertung (% Tag⁻¹); ⁴spezifische Wachstumsrate (% Tag) = [ln (FBW) - ln (IBW)] / Fütterungstage x 100; ⁵Futterquotient = Futter (g) / Zuwachs (g); ⁶Proteinwirkungsverhältnis = Gewichtszunahme (g) / Proteinaufnahme (g); ⁷Proteinretention = 100 x [(RP Fisch x Biomasse) - (RP Fisch x Biomasse)] / (RP Futter x gesamte Futtermittelverwertung); ⁸Hepatosomatischer Index = (Lebergewicht / Körpergewicht) x 100; ⁹Fultons Konditionierungsfaktor = 100 x Körpergewicht x Körperlänge⁻³; n.c. = aufgrund einer nicht vorhandenen Futtermittelverwertung, wurden diese Gruppen aus der Parameterberechnung herausgenommen;

In der Versuchsgruppen mit hohen Glykoalkaloidkonzentrationen im FuMi konnte kein oder sogar negatives Wachstum festgestellt werden. Vergleichbare Werte stellten sich auch in der spezifischen Wachstumsrate (SGR) dar. Mit steigendem Austausch von Fischmehl durch Kartoffelproteinkonzentrate und somit steigenden Glykoalkaloidkonzentrationen ging die Futteraufnahme signifikant zurück. Aufgrund der Tatsache, dass in den Futtergruppen HG25, HG50, HG75 und HG100 negative Zuwächse erfasst werden mussten, waren bei diesen Gruppen der Futterquotient (FCR), das Proteinwirkungsverhältnis (PER) und die Proteinretention (PPV) aus der Berechnung herausgenommen worden. Diese Werte sind mit n.c. (not converted = nicht umgesetzt) bezeichnet. Die Kontrollgruppe wies mit 1,13 den besten Futterquotienten auf und verschlechterte sich mit steigenden Konzentrationen an LG-PPC im FuMi. Hierbei unterschied sich LG100 (1,91) nicht signifikant von der Kontrolle. Auch beim PER und PPV waren in der Kontrollgruppe deutlich bessere Werte festzustellen als in den Kartoffelproteingruppen. Mit steigendem Anteil an LG-PPC ergab sich bis zum 75% Austausch ein nahezu linearer Anstieg des PER und umgekehrt ein nahezu linearer Abfall des PPV. Paradoxerweise wies die Gruppe LG100 von den 4 LG-Gruppen die besten Ergebnisse auf. Bei der Betrachtung des Hepatosomatischen Index (HSI) ergab sich mit steigendem Austausch von LG-PPC ein leichter Anstieg. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant unterschiedlich voneinander. Die Werte der Futtergruppen mit hohen Glykoalkaloidgehalten unterscheiden sich alle signifikant von der Kontrollgruppe. Gleiche Beobachtungen konnten beim Fultons Konditionierungsfaktor gemacht werden.

Körperzusammensetzung

Die Daten für die Ganzkörperanalytik werden in Tabelle 5 wiedergegeben. Es gab keine signifikanten Unterschiede im Aschegehalt zwischen den Versuchsgruppen, auffällig jedoch waren Varianzen im Trockensubstanzgehalt, Rohproteingehalt und Fettgehalt zwischen den Versuchsgruppen. Der Trockensubstanzgehalt (TS) der Kontrollgruppe war signifikant höher als in allen anderen Gruppen. Die Gruppen LG25, LG50 und LG100 hatten eine höhere TS als LG75. Die TS der Gruppen HG25, HG50, HG75 und HG100 lag deutlich niedriger als in den anderen Gruppen und war signifikant unterschiedlich zu diesen. Beim Rohproteingehalt wiesen die Kontrollgruppe und die Gruppen mit niedrigen Glykoalkaloidkonzentrationen geringe Schwankungen ohne signifikante Unterschiede auf. In den Gruppen mit hohem Glykoalkaloidgehalt war der Gehalt an Rohprotein im Körper leicht reduziert. Diese Gruppen wiesen signifikante Unterschiede zu den Gruppe LG50 auf. Der Gehalt an Rohprotein war in

der Kontrollgruppe (111 g kg^{-1}) am höchsten, gefolgt von den Gruppen LG25, LG50 und LG100. Die Gruppe LG75 unterschied sich signifikant von den anderen Gruppen welche mit niedrigen Glykoalkaloidgehalten gefüttert wurden, lag aber noch deutlich über den Gruppen, die hohen Glykoalkaloidgehalten ausgesetzt waren. Ähnliche Ergebnisse ergab die Bestimmung der Bruttoenergie.

Tabelle 5: Effekt von verschiedenen Kartoffelproteinquellen und Glykoalkaloidkonzentrationen auf die chemische Körperzusammensetzung von Regenbogenforellen (g kg^{-1} Originalsubstanz; MJ kg^{-1} TS) der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg^{-1} TS) am Versuchsende. Die Ganzkörperzusammensetzung am Versuchsanfang auf Originalsubstanzbasis stellte sich wie folgt dar: Trockensubstanz 266 g kg^{-1} ; Rohprotein 163 g kg^{-1} ; Rohfett 70 g kg^{-1} ; Asche 33 g kg^{-1} ; Bruttoenergie $23,8 \text{ MJ kg}^{-1}$. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Nährstoff	Versuchsfuttermittel								
	FM	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
Trockensubstanz	$305^a \pm 0,7$	$276^{bc} \pm 0,6$	$287^b \pm 0,5$	$267^c \pm 1,0$	$282^{bc} \pm 0,2$	$224^d \pm 0,4$	$228^d \pm 0,4$	$227^d \pm 0,3$	$229^d \pm 0,3$
Rohprotein	$167^{ab} \pm 0,5$	$163^{abc} \pm 0,4$	$173^a \pm 0,3$	$170^{ab} \pm 0,9$	$167^{abc} \pm 0,2$	$155^c \pm 0,4$	$160^{bc} \pm 0,3$	$155^c \pm 0,2$	$160^{bc} \pm 0,3$
Rohfett	$111^a \pm 0,3$	$82^c \pm 0,3$	$86^{bc} \pm 0,2$	$67^d \pm 0,3$	$91^b \pm 0,0$	$39^e \pm 0,1$	$36^e \pm 0,1$	$41^e \pm 0,1$	$39^e \pm 0,1$
Asche	$34^{ab} \pm 0,1$	$35^{ab} \pm 0,3$	$37^b \pm 0,1$	$37^b \pm 0,2$	$32^a \pm 0,1$	$34^{ab} \pm 0,1$	$36^{ab} \pm 0,1$	$36^{ab} \pm 0,1$	$36^{ab} \pm 0,1$
Bruttoenergie	$27,1^a \pm 0,1$	$26,0^b \pm 0,1$	$25,9^b \pm 0,3$	$24,9^c \pm 0,0$	$26,9^a \pm 0,2$	$23,0^d \pm 0,0$	$21,9^e \pm 0,1$	$22,6^d \pm 0,1$	$22,4^{de} \pm 0,1$

Blutparameter

Bei der Ermittlung und Auswertung der Blutparameter (Tabelle 6) wurden geringe Unterschiede festgestellt. Der Haematokritwert war in der Kontrollgruppe (33,8 %) am höchsten, dieser ist jedoch durch die relativ hohe Standardabweichung nicht signifikant unterschiedlich von den anderen Gruppen. Jedoch unterscheiden sich die Gruppen LG25, LG50, LG75 und LG100 signifikant von den Gruppen HG25, HG50 und HG100. Bei den Plasmaproteinkonzentrationen wies die Kontrollgruppe den höchsten Wert ($41,9 \text{ mg ml}^{-1}$) auf, mit steigenden Glykoalkaloidgehalten im FuMi ging dieser Wert bis auf 15 mg ml^{-1} (HG100) zurück. Bei den Plasmatriglyceriden zeigten sich vergleichbare Werte mit signifikanten Unterschieden. Bei den Glukosewerten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen allen Gruppen in denen Kartoffelproteine eingesetzt wurden.

Tabelle 6: Blutparameter (Haematokrit in %; Protein, Triglyceride, Glucose in mg ml^{-1}) von Regenbogenforellen der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg^{-1} TS). Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Versuchsfuttermittel

Parameter	FM	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
Haematocrit	33,8 ^{ab} ± 6,7	28,4 ^a ± 6,1	25,2 ^a ± 5,0	29,8 ^a ± 6,0	30,3 ^a ± 5,8	28,2 ^b ± 5,0	29,3 ^a ± 5,4	24,8 ^{ab} ± 4,0	25,7 ^b ± 6,9
Protein	41,9 ^a ± 2,8	27,0 ^{bc} ± 11,1	30,3 ^b ± 6,4	27,4 ^{bc} ± 5,2	21,2 ^{bcd} ± 7,0	23,8 ^{bcd} ± 4,8	19,4 ^{cd} ± 4,8	19,8 ^{cd} ± 2,7	15,0 ^d ± 5,7
Triglyceride	3,54 ^a ± 1,2	3,48 ^a ± 1,0	2,23 ^{abc} ± 0,9	2,40 ^{ab} ± 0,6	0,93 ^{bc} ± 0,7	0,84 ^{bc} ± 0,2	1,02 ^{bc} ± 0,6	0,76 ^{bc} ± 0,5	1,67 ^c ± 2,1
Glukose	1,43 ^a ± 0,2	1,20 ^{ab} ± 0,2	1,21 ^{ab} ± 0,4	1,09 ^b ± 0,2	0,99 ^b ± 0,2	1,04 ^b ± 0,2	0,99 ^b ± 0,1	0,96 ^b ± 0,1	0,90 ^b ± 0,2

Histologie

Die histopathologischen Erscheinungsbilder der Kontrollgruppe (FM) wurden als Referenzgruppe verwendet, um Veränderung zu identifizieren, welche durch steigende Kartoffelprotein- und Glykoalkaloidgehalte hervorgerufen wurden (LG25-LG100, HG25-HG100). Die beobachteten Merkmale werden wie folgt beschrieben: Das Lebergewebe der Kontrollgruppe (Abb. 1C) war durch die gleichmäßige Verteilung der vieleckigen Hepatozyten charakterisiert (Zellkern deutlich in der Peripherie sichtbar). Die mittelgroßen, eosinophilen (fast transparente) Vakuolen wiesen auf eine ausgewogene Vakuolisierung hin, welcher an dieser Stelle als Normalzustand erfasst wurde. Sinusoide durchziehen das Leberparenchym und sind mit Endothelzellen ausgekleidet. Diese Gefäßzwischenräume waren normal geweitet und regelmäßig verteilt. Es wurden keine Ceroid-Pigment-Cluster (Melano-Makrophagenzentren) im begutachteten Gewebe beobachtet. Dieses beobachtete Bild der Leber wurde als Typ 1 bezeichnet (Tabelle 7).

Bei Typ 2 wurden abnormale Veränderungen beobachtet, welche jedoch noch als moderat bezeichnet werden konnten. Eine zunehmende Vakuolisierung und leicht vergrößerte Hepatocyten wurden dokumentiert. Das Verhältnis von Vakuolen zu Hepatozyten hat sich von ca. 1:4 auf 1:2 erhöht. Der sinusoidale Zwischenraum reduzierte sich mit ansteigender Hepatocytengröße. Ceroid-Pigment-Cluster wurden in geringem Grade dokumentiert. Der Gesamtzustand wurde als milde Hypertrophie des Lebergewebes eingeordnet und in 33% der Individuen der Kontrollgruppe erfasst (Abb. 1B).

Mit zunehmender Substitution von FM durch LG-PPC (LG25-LG100) wurde ein zunehmender Grad der Hypertrophie des Lebergewebes (Typ 3) dokumentiert. Kennzeichnend dafür war eine zunehmende Vaskularisierung des Gewebes und eine erhebliche Reduktion des Sinusoidalraumes (zum Teil nicht mehr wahrnehmbar). Das Parenchym wird überwiegend durch die hypertrophen Hepatocyten gebildet (Abb. 1A). In besonders starken Fällen war kein Cytoplasma mehr sichtbar und der Zellkern wurde durch die stark angeschwollene Vakuole gegen die Zellwand gepresst. Das Verhältnis von Vakuolen und „normalen“ Hepatocyten lag zwischen 1:2 und 1:1. Darüber hinaus waren die Lebern oft

vergrößert, was sich auch in erhöhten HSI widerspiegelte. Ceroid-Pigment-Cluster wurden geringgradig in allen Schnitten dieses Typs erfasst.

Die Leberschnitte der HG-Gruppen zeigten alle das Bild einer starken Hypotrophie (Abb. 1D; Typ 4). Die Vakuolen waren nahezu abwesend (Vakuolen-Hepatocyten-Verhältnis 0:1). In allen Bereichen wurden Ceroid-Pigment-Cluster in der Nähe der Blutgefäße erfasst.

Das Auftreten der verschiedenen histopathologischen Lebertypen in den einzelnen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Vorkommen (in %) von verschiedenen histopathologischen Lebertypen (Details siehe Text), in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 7,41 mg kg⁻¹ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg⁻¹ TS); (n = 9).

Leber Typ	Versuchsfuttermittel								
	FM	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
(1)	67	56	23	22	22	-	-	-	-
(2)	33	33	33	22	22	-	-	-	-
(3)	-	11	33	34	56	-	-	-	-
(4)	-	-	11	22	-	100	100	100	100

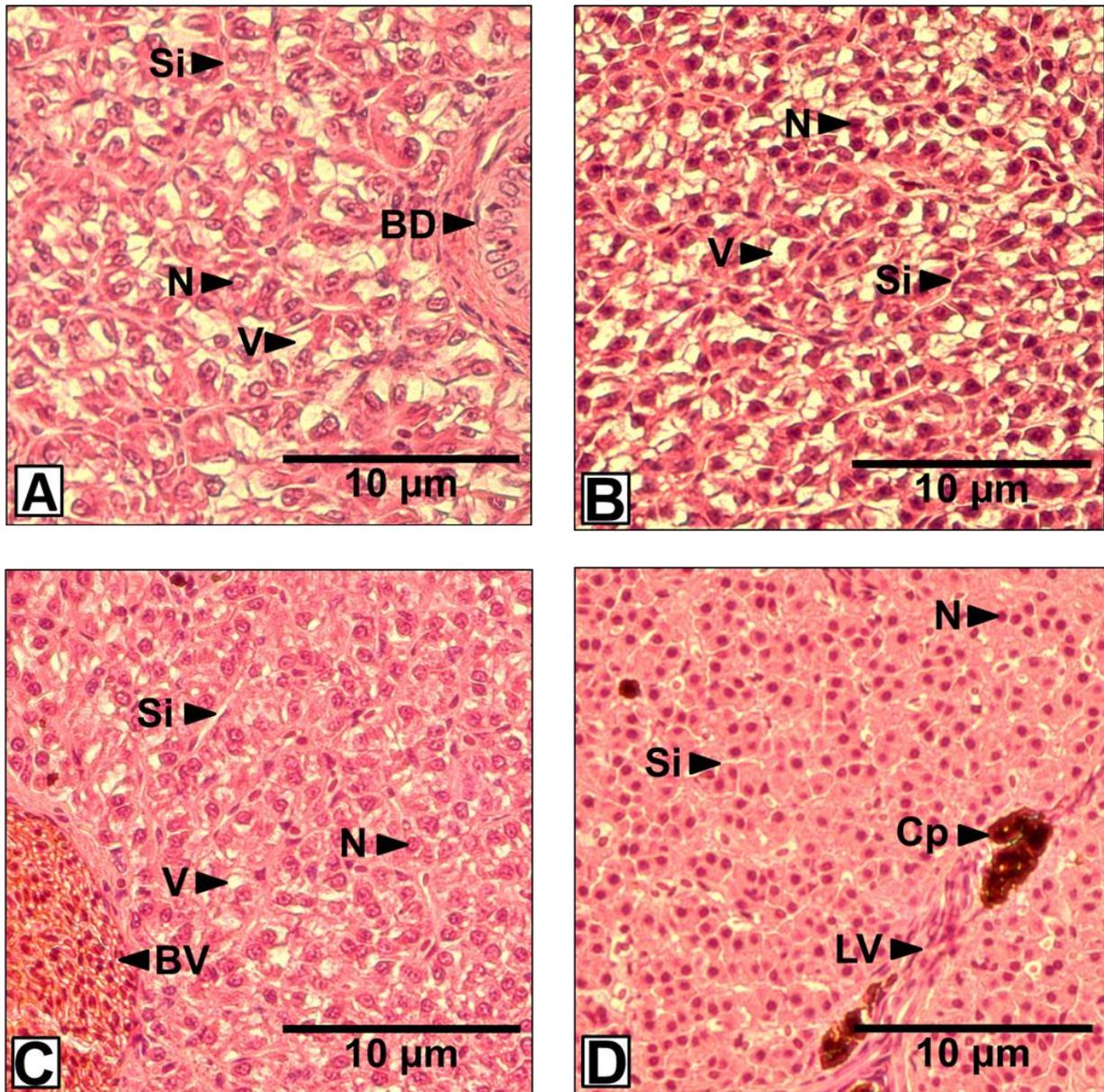


Abb. 1: Histologische Schnitte (HE-gefärbt, 200x) der Leber von Regenbogenforellen in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $2150 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) repräsentativ für eine starke Hypertrophie (A, in LG100), leichte Hypertrophie (B, in der Kontrollgruppe), Normalzustand (C, in der Kontrollgruppe) und Hypotrophie (D, in HG25). BD, Gallengang; BV, Blutgefäß; LV, Lymphgefäß; Cp, Ceroidpigment; N, Zellkern; Si, Sinusoid; V, Vakuole.

Das Magengewebe der Kontrollgruppe (Abb. 2A; Typ 1) zeigt die typische 4 schichtige Struktur bestehend aus: (1) der gefalteten Mucosa, (2) der Submucosa, (3) der Muscularis und der (4) Serosa. Die innere Oberfläche wurde durch ein einschichtiges Plattenepithel abgegrenzt, gefolgt von der Lamina propria. Die Lamina propria ist ein lockeres Bindegewebe mit Blutgefäßen, Magendrüsen, Muskelfasern und Nerven. Diese beiden Oberflächenschichten und das Stratum compactum bilden gemeinsam die Tunica mucosa aus. Die klassische Ringstruktur aus (von innen nach außen) Stratum compactum, Tela submucosa

und Tunica muscularis war sehr gut ausgeprägt. Die Tunica muscularis war aus der glatten Muskulatur (Tunica muscularis circularis) und der Skelettmuskulatur (Tunica muscularis longitudinalis) zusammengesetzt. Die Muskelschichten des Magens sind im Vergleich zu anderen Bereichen des Verdauungstraktes stärker ausgeprägt (siehe unten). Das abschließende Peritonealgewebe (Tunica serosa) fungierte als äußere Schicht (nicht dargestellt). Die Tunica mucosa und Tela submucosa waren stark gefaltet, was zu einer Vergrößerung der inneren Oberfläche führte. Zwischen den Falten konnten tiefe Krypten beobachtet werden.

In den LG-Gruppen wurden im Vergleich zur Kontrollgruppe keine Veränderungen in der Morphologie des Magens beobachtet. Alle Bereiche waren deutlich zu unterscheiden, normal entwickelt und ohne auffällige Befunde.

In den HG-Gruppen (wobei innerhalb der HG-Gruppen keine Unterschiede feststellbar waren) wurden deutliche Veränderungen aufgezeichnet (Abb. 2B; Typ 2). Die Tunica mucosa und die Tela submucosa waren vorhanden, jedoch schwächer ausgeprägt. Die Lamina propria war lediglich als dünne Schicht vorhanden und reichte selten bis zum Plattenepithel. Alle Muskelschichten waren weniger stark ausgeprägt. Die Faltung der Tunica mucosa und der Tela submucosa war rudimentär ausgeprägt.

Das Auftreten der verschiedenen histopathologischen Magentypen in den einzelnen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

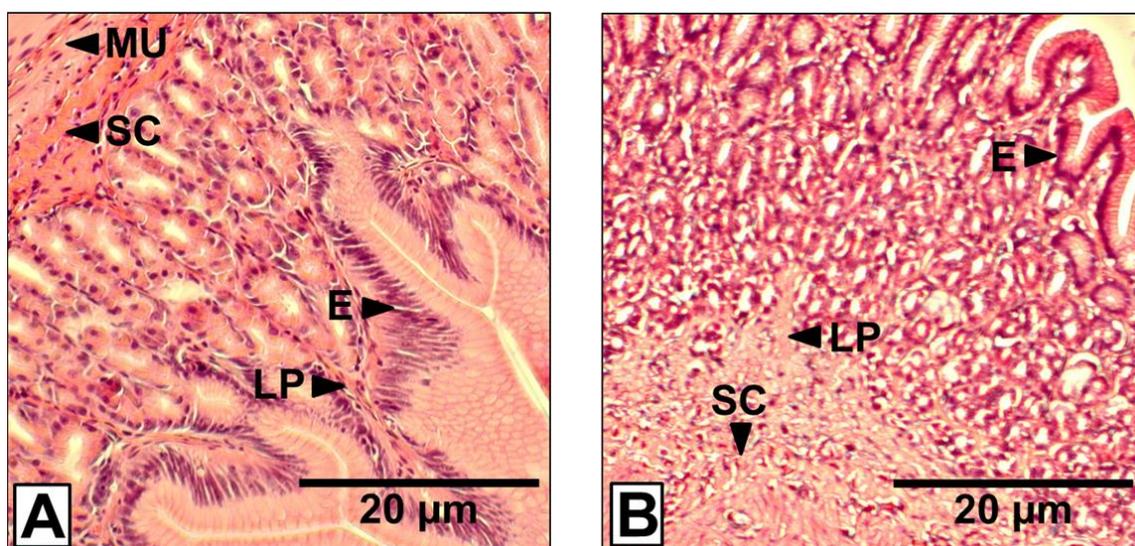


Abb. 2: Histologische Schnitte (HE-gefärbt, 100x) des Magens von Regenbogenforellen in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg^{-1} TS) repräsentativ für den Normalzustand (A, in der Kontrollgruppe) und einem unterentwickelten Zustand (B, HG100). E, Epithelium; LP, Lamina propria; MU, Tunica muscularis; SC, Stratum compactum.

Tabelle 8: Vorkommen (in %) von verschiedenen histopathologischen Magentypen (Details siehe Text), in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1}$ TS)

kg⁻¹ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg⁻¹ TS); (n = 9).

Magen Typ	Versuchsfuttermittel								
	FM	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
(1)	100	100	100	100	100	22	-	-	-
(2)	-	-	-	-	-	78	100	100	100

Der Vorderdarm der Kontrollgruppe wies dieselben Grundstrukturen auf, wie sie im Magen-Darm-Trakt vorzufinden war (Abb. 3A; Typ 1). Die Innenflächen der Tunica mucosa wurde aus einem hochprismatischen, einschichtigen Epithel (Lamina epithelialis mucosae) gebildet. Sie bestand aus den absorbierenden Darmzellen (Enterozyten), welche zum inneren Lumen mit einem Bürstensaum zur Oberflächenvergrößerung abschließen. Innerhalb dieser Schicht fanden sich zahlreiche und gleichmäßig verteilte Becherzellen (große Vakuolen). Zur Vergrößerung der Oberfläche war die Tunica mucosa stark gefaltet. Die Lamina propria des Darms war vergleichbar mit der des Magens, bestehend aus Bindegewebsschichten welche die Versorgung und Entsorgung der Enterozyten gewährleistete. Das Stratum compactum zeichnete sich durch eine regelmäßige Wellung aus. Eine Tela submucosa war nicht vorhanden und somit war die Tunica muscularis im Vergleich zum Magen sehr dünn.

In den LG-Gruppen wurde der regelmäßig geformte Bürstensaum mit ansteigendem Glykoalkaloidanteil zunehmen unregelmäßiger, was auf den Grad der Vakuolisierung zurückzuführen war (Abb. 3B; Typ 2). Die Enterozyten selbst waren nicht von diesem Effekt betroffen. Darüber hinaus reduzierte sich die Schichtdicke der Lamina propria und die damit stark ausgeprägte Form der Tunica mucosa. Weiterhin erschien die Tunica mucosa sehr unregelmäßig in ihrer Struktur. Die geringere Faltung der Schleimhaut zeichnete sich durch die reduzierte Höhe der Zotten aus. Das Wellenmuster des Stratum compactum war im Vergleich zur Kontrollgruppe viel stärker ausgeprägt.

In der LG100-Gruppe wurden die meisten Veränderungen im Bereich des Dünndarms dokumentiert (Abb. 3C; Typ 3). Die Vakuolisierung des Bürstensaums war in dieser Gruppe am stärksten vertreten. Teile der Tunica mucosa waren sehr unregelmäßig geformt und zum Teil sogar unterbrochen. Die Lamina propria wurde zu einer dünnen Schicht reduziert und unregelmäßig zwischen die Lamina epithelialis mucosae gefaltet, wobei sie an einigen Stellen in undefinierbare Zellstrukturen auslief. Es wurden keine Entzündungen beobachtet und das Stratum compactum und die Tunica muscularis wiesen normale Eigenschaften wie in der Kontrollgruppe auf.

In den HG-Gruppen (Abb. 3D; Typ 4) war am auffälligsten, dass der Vorderdarm in seiner Größe bzw. Proportion sehr stark reduziert war, obwohl alle bisher beschriebenen

funktionellen Strukturen voll entwickelt waren. Darüber hinaus wurde eine viel stärkere Vakuolisierung als in der Kontrollgruppe dokumentiert. Entzündete Gewebestrukturen wurden nicht beobachtet.

Das Auftreten der verschiedenen histopathologischen Dünndarmtypen in den einzelnen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 9 zusammengefasst.

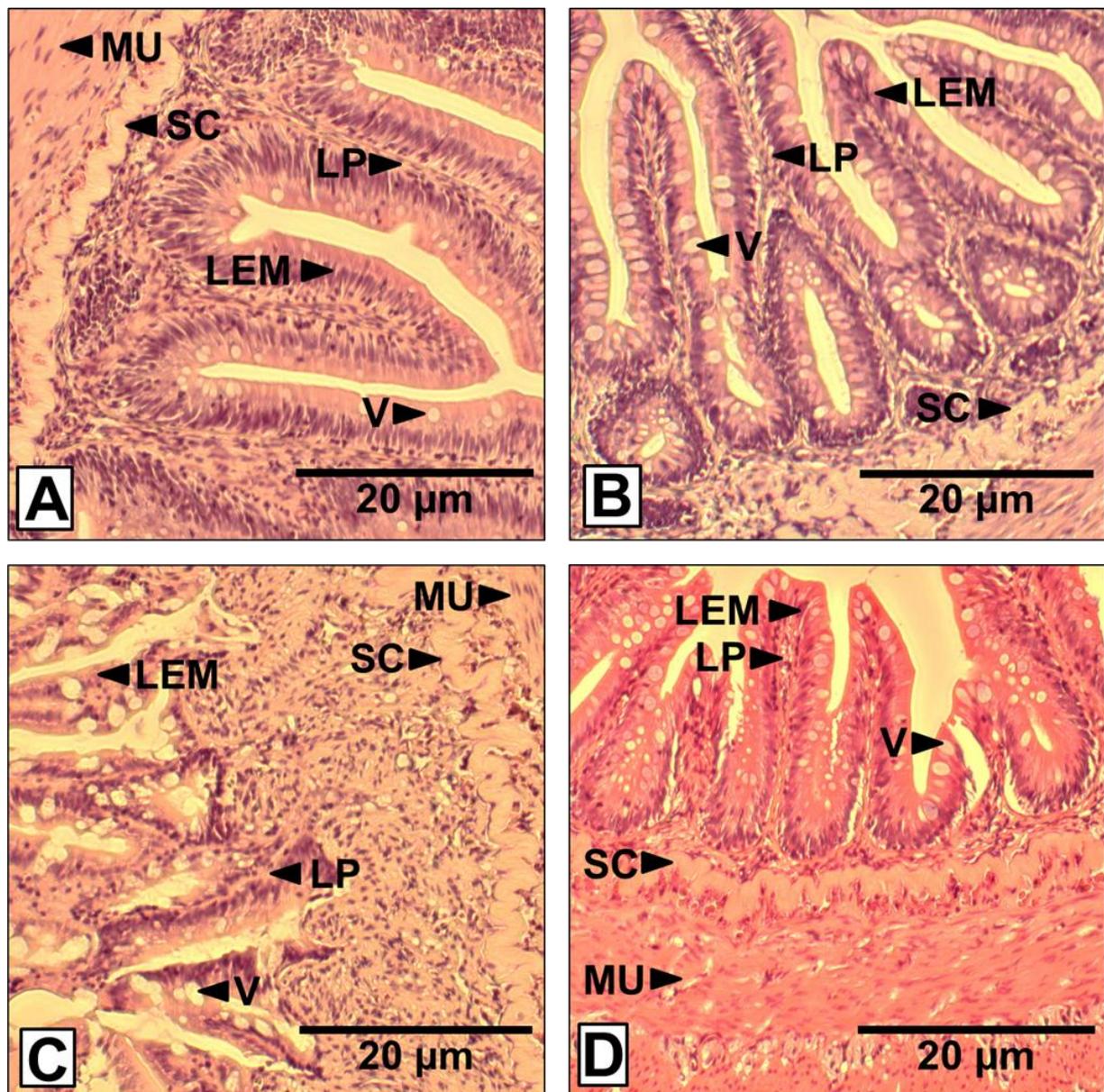


Abb. 3: Histologische Schnitte (HE-gefärbt, 100x) des Dünndarms von Regenbogenforellen in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $7,41 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von $2150 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) repräsentativ für einen normalen Zustand (A, Kontrollgruppe), leichte Veränderungen (B, LG75), starke Veränderungen (C, LG100) und einen unterentwickelten Zustand (D, HG75). LEM, Lamina epithelialis mucosae; LP, Lamina propria; MU, Tunica muscularis; SC, Stratum compactum; V, Vakuole.

Tabelle 9: Vorkommen (in %) von verschiedenen histopathologischen Dünndarmtypen (Details siehe Text), in der Fischmehl-Kontrolle (FM), den LG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt

von 7,41 mg kg⁻¹ TS) und den HG-Gruppen (Supplementierung von FM mit einem PPC mit einem Glykoalkaloidgehalt von 2150 mg kg⁻¹ TS); (n = 9).

Dünndarm Typ	Versuchsfuttermittel								
	FM	LG25	LG50	LG75	LG100	HG25	HG50	HG75	HG100
(1)	89	78	56	22	22	-	-	-	-
(2)	11	22	44	56	22	-	-	-	-
(3)	-	-	-	22	56	-	-	-	-
(4)	-	-	-	-	-	100	100	100	100

Im Enddarm wurden keinerlei veränderlichen Prozesse beobachtet. Aus diesem Grund, wird dieser Abschnitt nicht weiter behandelt.

Diskussion

Die Wachstumsparameter des ersten Versuchs zeigten, dass jegliche Verwendung von PPC in der Ernährung von Regenbogenforellen in einem signifikant geringeren Wachstum mündet als in der Kontrollgruppe. Fische, die mit FuMi mit geringen Glykoalkaloidkonzentrationen gefüttert wurden (LG25 – LG100) konnten ihr Gewicht während des gesamten Versuchszeitraumes verdoppeln (Vergleich Kontrolle: Verdreifachung des Gewichts im Versuchszeitraum). Der DFI und die SGR waren signifikant geringer im Vergleich zur Kontrolle, während der Futterquotient anstieg. Auch bei der PER und PPV zeigten sich signifikant geringere Werte. Obwohl die Aminosäurezusammensetzung und der stark reduzierte Glykoalkaloidgehalt in den LG-PPC Futtermitteln eine sehr gute Nährstoffzusammensetzung aufwiesen, waren die reduzierte PER und PPV ein klares Anzeichen für eine unzureichende AS-Versorgung und/oder Verwertung. Die AS-Verwertung kann durch antinutritive Inhaltstoffe negativ beeinflusst werden (Tacon und Jackson, 1985; Francis et al., 2001). Weiterhin gilt, dass bei einem reduzierten Nährstoffangebot (reduzierte Futteraufnahme), der Organismus Proteine zur Energiegewinnung im Grundstoffwechsel verwendet und diese Proteine damit nicht mehr für das Wachstum zur Verfügung stehen.

Moyano et al. (1992) dokumentierte repräsentative PER (1,67 – 1,74) für Regenbogenforellen, welche mit FuMi gefüttert wurden, in denen Fischmehl zu 50 und 70 % durch eine Mischung aus Lupinenmehl, Maiskleber und Kartoffelprotein ersetzt wurde. Gleiche Beobachtungen wurden beim PPV (35,7 und 39,3 %) gemacht. Die Futteraufnahme wurde nicht beeinträchtigt. Diese Erkenntnisse wurden von Espe et al. (2006) beim Atlantischen Lachs untermauert, wobei bis zu 100% des Fischmehls durch einen pflanzlichen Mix aus Weizenkleber und Maiskleber ersetzt wurden. Im Gegensatz dazu, führte ein Einschluss von HG-PPC in das FuMi in allen Fällen zu einer drastisch reduzierten

Futteraufnahme (bis hin zur völligen Verweigerung der Futteraufnahme) und negativem Wachstum.

Xie und Jokumsen (1997a) berichten das bei der Verwendung von nur 94 g PPC kg⁻¹ FuMi (Glykoalkaloidgehalt 1000 mg kg⁻¹ PPC; Fischmehl zu 18% durch PPC ersetzt; Rohproteingehalt 460 g kg⁻¹) bereits signifikante Rückgänge bei den Wachstumsleistung in Regenbogenforellen feststellbar waren. Mit steigenden Austauschmengen an PPC bis zu 510 g kg⁻¹ (100 % Fischmehlaustausch durch PPC) wurde die Futteraufnahme weiter verringert und das Wachstum schlug in einen negativen Bereich um. Eine zweite Studie von Xie und Jokumsen (1997b) mit reduzierten PPC-Einsatzmengen (Glykoalkaloidgehalt 1000 mg kg⁻¹ PPC; Rohproteingehalt der FuMi 430 g kg⁻¹) führte zu einer vergleichbaren Ergebnislage des Vorgängerversuchs. Eine PPC Verwendung von mehr als 22 g kg⁻¹ resultierte dabei in einer verringerten Futterverwertung und Wachstum von Regenbogenforellen. Die Daten der HG-Gruppen des hier präsentierten Versuchs stehen im Einklang mit diesen Werten. Generell muss man sagen, dass jeglicher Einsatz von LG-PPC und HG-PPC im FuMi zu einer signifikanten Abnahme der Futteraufnahme und des Wachstums im Vergleich zur Kontrolle führte, bis hin zur kompletten Futterverweigerung und negativem Wachstum. Aber im Vergleich zu den Ergebnissen von Xie und Jokumsen (1997a, b), war eine Verwendung von 529 g kg⁻¹ LG-PPC im FuMi (100% Fischmehlaustausch) mit einer positiven Futteraufnahme und –verwertung möglich. Dies könnte ein Hinweis für die Wirkung von Glykoalkaloiden und anderen antinutritiven Inhaltsstoffen in PPC-Futtermitteln sein, welche sich negativ auf den Geschmack und damit auch auf den Ernährungszustand und das Wachstum der Fische auswirken. Tacon und Jackson (1985) berichten, dass ein Austausch von bis zu 30% Fischmehl durch LG-PPC (Glykoalkaloidgehalt von 137 mg kg⁻¹) ohne signifikante Unterschiede bei den Wachstumsparametern im Vergleich zu einer Fischmehl-Kontrolle bei Regenbogenforellen erfolgte. Ähnliche Beobachtungen wurden von Refstie und Tiekstra (2003) beim Atlantischen Lachs aufgezeichnet. Sie bewerteten vier FuMi (Rohproteingehalt 480 g kg⁻¹) mit Fischmehl-Austauschraten von 0 – 7 – 14 – 21% durch ein LG-PPC. Daraus ergaben sich Glykoalkaloidkonzentrationen, welche vergleichbar mit den Daten der LG-PPC Gruppen (LG25-LG100) aus dem aktuellen Versuch waren. Allerdings lagen die Wachstumsergebnisse beim Atlantischen Lachs deutlich über den aktuellen Datensätzen und es konnte an vorhergehender Stelle geschlussfolgert werden, dass bis zu einem Einsatz von 21% PPC im FuMi keinerlei Einschränkung zu erwarten ist. Dies konnte im aktuellen Fall nicht bestätigt werden.

In Bezug auf die Ergebnisse der Ganzkörperuntersuchungen der Versuchsfische wurden vorhergehende Versuchsansätze bestätigt. Xie und Jokumsen (1997a, b; 1998) berichten bei steigenden PPC-Gehalten von signifikant reduzierten Gehalten der Trockensubstanz, Rohfettgehalten und Bruttoenergiegehalten im Vergleich zur Kontrollgruppe, wohingegen der Gehalt an Asche und Protein innerhalb der Versuchsgruppen nicht beeinflusst wurde.

Mit steigendem Gehalt an PPC in den Futtermitteln reduzierte sich der Geschmack, was über den DFI in der aktuellen, als auch in den vorhergegangenen Studien (Xie und Jokumsen, 1997a, b; 1998) erfasst wurde. Dennoch war der DFI innerhalb der LG-Gruppen nicht signifikant unterschiedlich voneinander, wohingegen dieser Wert innerhalb der HG-Gruppen stark und signifikant unterschiedlich voneinander abfiel. Für diese Sachlage soll geschlussfolgert werden, dass der Gehalt an Glykoalkaloiden (LG: 1,0 – 3,9 mg kg⁻¹; HG: 315 – 1207 mg kg⁻¹) noch vor dem eigentlichen Gehalt an PPC den Geschmack der Futtermittel konzentrationsabhängig beeinflusst. Diese Beobachtung konnte in der aktuellen Studie mathematisch belegt werden. Auch Xie und Jokumsen (1997a) haben diese Schlussfolgerung getroffen. Darüber hinaus wurde in der HG100-Gruppe beobachtet, dass die Individuen nach Verabreichung der Pellets in das Becken, vor selbigen davon schwammen. Es muss vermutet werden, dass von den Partikeln eine geschmacklich-abschreckende Wirkung ausgeht. Eine hohe Wasserlöslichkeit der Glykoalkaloide, wie sie von Jensen et al. (2009) beschrieben wurde, unterstützt die Hypothese, dass die Glykoalkaloide in hohen Konzentrationen aus dem Pellet ausgewaschen werden und als Geschmacksunterdrücker rund um den Futterpartikel wirken. Beim Menschen berichtet Friedman (2006) von Geschmacksuntersuchungen mit Schwellenwerten von 140 mg kg⁻¹ (Glykoalkaloidgehalte in frischen Kartoffelprodukten), die zu einem bitteren Geschmack führen. Bei Konzentrationen von 220 mg kg⁻¹ beschrieben einige Testpersonen Reizungen der Schleimhaut im Mund- und Rachenraum. Solche Beobachtungen konnten in der aktuellen Studie nicht gemacht werden.

Neben den möglichen Auswirkungen auf den Geschmack der FuMi, können noch antimikrobiellen Wirkungen der Glykoalkaloide auf die Verdauung und Futtermittelverwertung betrachtet werden. Jin et al. (2008) berichtet, dass Glykoalkaloide aus PPC einen Einfluss auf die mikrobielle Verdauung von Ferkeln hatte, wobei jedoch keine genauen Konzentrationen erfasst wurden. Friedman (2006) spricht gar von antibiotischen Wirkmechanismen bei Mäusen und unterstreicht damit einen antimikrobiellen Einfluss der Glykoalkaloide. Der gestiegene FCR in den LG-Gruppen könnte zu einem kleinen Teil über dieses Szenario gewertet werden. Da die mikrobielle Verdauung bei Salmoniden jedoch eher von untergeordneter Rolle ist, wird diesem Effekt auch nur eine kleinere Wirkung zugeschrieben.

Auch andere pflanzeigene Substanzen, wie z.B. Protease-Inhibitoren, können für einen solchen Effekt verantwortlich gemacht werden (Tacon und Jackson, 1985).

Aufgrund der hohen Varianz der Haematokritwerte konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden, wenngleich es eine leichte Abnahme bei der PPC Verwendung gab. Wells und Weber (1991) definierten einen optimalen Haematokrit bei 30% der gesamten Blutprobe. Der Haematokrit der Kontrollgruppe lag bei 33,8% und kann somit als normal definiert werden. In allen PPC-Gruppen lag der Haematokrit mit 24,8 – 30,3% leicht unter dem definierten Optimum, was auf einen leichten Einfluss hindeuten könnte. Friedman (2006) berichtet von Fütterungsversuchen mit Kartoffelproteinen mit hohen Glykoalkaloidgehalten ($49 - 53 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Körpergewicht Tag}^{-1}$) mit Kaninchen, bei denen der Haematokrit und Haemoglobingehalt im Vergleich zu Kontrolle deutlich reduziert wurde. Dies wurde als Zeichen einer haemolytischen Anämie bewertet. In der aktuellen Untersuchung wird der reduzierte Haematokrit, als auch die reduzierten Gehalte von Plasmaproteinen, Plasmatriglyceriden und Glukose in alle PPC-Gruppen als Indikator für Unterernährung und Hunger bewertet. Für gut konditionierte Fische werden Gehalte für die verschiedenen Plasmanährstoffe wie folgt angegeben: Plasmaproteine $35,6 \text{ mg ml}^{-1}$, Plasmatriglyceride $3,05 \text{ mg ml}^{-1}$ und Glukose $0,85 \text{ mg ml}^{-1}$ (Congleton und Wagner, 2006). Diese Werte sind nahezu deckungsgleich mit den Werten aus der Kontrollgruppe. Alle PPC-Gruppen weisen deutlich geringere Werte auf, wobei die HG-Gruppen herauszustellen sind. Auch diese Werte können durch Congleton und Wagner (2006) bestätigt werden und wurden dort bei Fische dokumentiert, welche einer 3 wöchigen Hungerphase ausgesetzt waren. Obwohl direkte negative Einflüsse von Glykoalkaloiden und anderen antinutritiven PPC-Einflüssen (z.B. unzureichende Versorgung mit AS, Fettsäuren oder Mineralstoffen) nicht ausgeschlossen werden können, so soll an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass die Daten aus der Blutplasmauntersuchung auf eine extrem schlechte Versorgungslage der Individuen aus den PPC-Gruppen hindeuten. Diese Minderversorgung geht dabei auf die reduzierte Aufnahme der Futtermittel zurück.

Die eher unspezifischen Anzeichen der extremen Unterversorgung wie sie vor allem in HG100 zu beobachten war, wurde auch durch die histologischen Befunde untermauert. Es wurden keine Entzündungen und Nekrosen in allen PPC Gruppen dokumentiert, wie sie bei toxischen Effekten auftreten würden. Alle Schnitte die vom „normalen“ Zustand des Verdauungstraktes abwichen, zeigten ein klares Bild von Mangelversorgung und Unterernährung. Die hypotrophen Lebern der HG-Gruppen zeigten die charakteristischen Anzeichen von Hunger, wie sie von Glenncross (2006) beschrieben wurden. Aber auch der

ansteigende Grad der Hypertrophie in den LG-Gruppen muss als Zeichen der Unterernährung und damit Unterversorgung gewertet werden.

Die Vakuolisierung der Hepatozyten geht auf Fetteinlagerungen zurück (Yamamoto et al., 2010), welche durch den Einschluss von LG-PPC in die Futterpartikel hervorgerufen werden. Dies wird wiederum durch die steigenden HSI dieser Gruppen bestätigt. Grund für diese Einlagerung könnte eine unzureichende Versorgung bzw. Verfügbarkeit der Proteine aus der Nahrung sein oder eine Wirkung von Toxinen (konnte nicht nachgewiesen werden). Friedman (2006) beobachtete an Mäusen, die mit bis zu 20% gefriergetrockneten Kartoffelbeeren (Glykoalkaloidgehalt bis zu 76 mg kg⁻¹ Futter) in der Nahrung gefüttert wurden, dass die Individuen erhöhte Lebergewicht und geringere Wachstumsraten aufwiesen. Es wurde geschlussfolgert, dass die Leberzunahme eine Anpassungsreaktion auf die Kartoffelproteine und deren antinutritiven Eigenschaften im Futter darstellte. Zwischen 40–80 % der Individuen der LG-Gruppen wiesen hypertrophe Lebern des Typs 2, 3.

Yamamoto et al. (2010) berichtet von leicht abnormalen Veränderungen der Lebern von Regenbogenforellen bei denen fermentierte und unfermentierte Sojabohnen als Fischmehlersatz zum Einsatz kamen. Bei beiden Sojaprodukten wurde eine Hypotrophie im Lebergewebe festgestellt, aber nur im unfermentierten Sojafutter kam es zusätzlich zu einer reduzierten Futteraufnahme und damit Wachstum. In der aktuellen Untersuchung wurde in den HG-Gruppen kein oder sogar negatives Wachstum aufgezeichnet. Als eine Konsequenz der Mangelernährung verbrauchten die Individuen jegliche Energiereserven. Diese basieren hauptsächlich auf Glykogen und Fettreserven z.B. in den Vakuolen der Leber (Yamamoto et al., 2010). Mit voranschreitendem Grad der Unterversorgung fällt der HSI stark ab und die Vaskularisierung des Gewebes geht stark zurück, wie es in den HG-Gruppen beobachtet wurde. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass die Hypotrophie hauptsächlich eine Folge des Hungers war, welche damit indirekt durch die Zusammensetzung des Futters der HG-Gruppen hervorgerufen wurde. Glenncross et al. (2006) zeigte, dass die Verwendung von Gramin (>100 mg kg⁻¹; Indol-Alkaloid aus der Lupine) zu einem vermehrten Auftreten von Ceroid-Clustern in der Leber und Niere von Regenbogenforellen führte. Diese Cluster sind für das aufnehmen und Abbauen von abgestorbenen Gewebeteilen und Giftstoffen im umgebenden Gewebe verantwortlich. Es gab allerdings keinen Rückschluss auf eine Giftwirkung des Gramin in diesen Organteilen, da diese Substanz (gleich wie in der aktuellen Untersuchung) dazu führte, dass die Futtermittel nicht aufgenommen wurde und damit auch nicht als Giftstoff in den Körper gelangen konnte. Deshalb muss das Auftreten der Ceroid-Cluster im Gewebe ebenfalls als ein Anzeichen für Hunger gewertet werden.

Die histopathologische Untersuchung des Magens zeigte Veränderungen bei den HG-Gruppen, aber nicht in den LG-Gruppen. Durch den ansteigenden Anteil an PPC in den Futtermitteln kam es zu einer schwächeren Ausprägung der klassischen 4-schichtigen Struktur in diesem Organ in allen HG-Gruppen. Auch an dieser Stelle steht dies in einer direkten Verbindung zu einer mangelhaften Versorgung (Glencross et al., 2006). Es gab keine histopathologischen Befunde die auf Nekrosen und Entzündungen hindeuteten, welche durch Glykoalkaloideinwirkung im Magen hervorgerufen worden wären.

Im Gegensatz dazu waren Abschnitte des Dünndarms bereits in den LG-Gruppen beeinflusst worden. Gerade bei LG75 und LG100 deutete sich eine funktionelle Einschränkung über eine Verkürzung der Schleimhautfalten, eine abnorme Vakuolisierung der Enterozyten und eine Infiltration mit entzündungsanzeigenden Zellen (Lymphozyten, Makrophagen und Leukozyten) in der Lamina propria an. Beaverfjord und Krogdahl (1996) berichteten von vergleichbaren Veränderungen im Atlantischen Lachs bei einer Ernährung mit Sojamehl (40% des Proteins im Futter; Rohproteingehalt nicht angegeben). Burrells et al. (1999) bestätigte dies in Fütterungsversuchen mit Sojaproteinen (Proteinaustausch zu mehr als 50%) in Futtermitteln für Regenbogenforellen. Es wurde zusammengefasst, dass die antinutritiven Faktoren (Glycinin und β -Conglicinin) für Entzündungen und strukturverändernde Prozesse im Dünndarmbereich verantwortlich waren. Gerade die strukturelle Veränderung führte zu einer verringerten Nährstoffaufnahme (Van den Ingh et al., 1991; Burrells et al., 1999; Refstie et al., 2000). Obwohl in der aktuellen Studie keinerlei solcher entzündlichen Prozesse dokumentiert wurde, muss die dennoch vorhandene Oberflächenverkleinerung (extrem veränderte Mucosa und Submucosa) die Nährstoffaufnahme beeinflusst haben. Ein weiteres Mal beziehend auf die HG-Gruppen, waren auch hier nahezu alle Reduktionen der Gewebeschichten auf Unterernährung und Hunger zurückzuführen. Als eine übergeordnete Zusammenfassung zur umfassenden Histologie lässt sich sagen, dass in keinem der beobachteten Gewebestrukturen toxische Effekte beobachtet wurden, die durch Glykoalkaloide oder ähnliche Substanzen hervorgerufen wurden. Alle abnormalen Zustände deuteten dagegen auf die schon beschriebenen Hungerzustände hin.

Der Erkenntnisstand über den Einfluss von Kartoffelproteinen und Glykoalkaloiden auf den Geschmack, die Bekömmlichkeit und Verwertbarkeit in der Forellenernährung muss in weiteren Untersuchungen vertieft werden. Dennoch kann und muss davon ausgegangen werden, dass eine reduzierte Futterraufnahme auch zu einem unausgewogenen Ernährungszustand führt. Die verringerte Futterraufnahme der LG- und HG-Gruppen führte zu einer unzureichenden Nährstoffversorgung und Energieversorgung, welche jedoch für

Wachstum benötigt wird. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Verwendung von LG-PPC sich durch Potentiale für die Fischernährung auszeichnet, wenn die Akzeptanz und damit Futteraufnahme gesteigert werden kann.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Kartoffelproteinen als Fischmehlersatz in der ökologischen Ernährung von Regenbogenforellen ist im höchsten Maße von der Qualität des Rohstoffs abhängig. Vor allem der Gehalt an Glykoalkaloiden und anderen möglichen antinutritiven Inhaltsstoffen spielt eine Rolle, was wiederum durch die Substitutionshöhe beeinflusst werden kann. Der Geschmack, die Verdauung und Verwertung wird durch hohe Substitutionsraten stark (negativ) beeinflusst. Als Abschlussempfehlung für diesen ersten Versuch werden als maximale Proteinaustauschhöhe 50% mit einem LG-PPC angegeben, wobei das Futter weiterhin einen hohen nutritiven Wert aufweist. Gerade die Akzeptanz der Futterpartikel sollte in zukünftigen Forschungsvorhaben verbessert werden, um zu gewährleisten, dass Nährstoffe dieses neuen Einsatzstoffes in ausreichenden Mengen in den Organismus gelangen. Dies könnte über den Einsatz von geschmacksverstärkenden Produkten erfolgen.

Generell haben gereinigte Kartoffelproteine das Potential als alternative Proteinquelle in ökologischen Fischfuttermitteln verwendet zu werden. Es lässt sich nach den Vorgaben der EU Gesetzgebung verwenden und bietet aus ernährungsphysiologischer Sicht alle benötigten Aminosäuren, ohne das eine Supplementierung mit freien AS erfolgen müsste. Dennoch müssen weitere Erkenntnisse für eine bessere Verwendung und Ausnutzung in der Ernährung von Regenbogenforellen gefunden werden.

4. Versuch zur Appetenzsteigerung von Kartoffelproteinfuttermitteln

In Anlehnung an die bereits gewonnenen Erkenntnisse zum Einsatz von Kartoffelproteinen in der Forellenernährung, wurde eine weitere Versuchsreihe durchgeführt, um die Aufnahme solcher Futtermittel zu steigern. Im Folgenden wird kurz ausgeführt, um welche zusätzlichen Einsatzstoffe es sich handelte.

Blutmehl

Blutmehl wurde erfolgreich in Lockfuttern in der Angelfischerei eingesetzt und zeichnet sich durch gute Bindeeigenschaften aus. Blutmehl weist eine hohe Verdaulichkeit (bis zu 99%) bei

Regenbogenforellen auf (Bureau et al., 1999) und ist reich an den Aminosäuren Valin, Leucin und Histidin (Tacon und Jackson, 1985). Aufgrund der guten Bindeeigenschaften wird es häufig in Futterpellets eingesetzt. Vergleichende Untersuchungen zur Appetenzsteigerung bei Fischen durch Zugabe von Blutmehl liegen kaum vor. Millamena (2002) ersetzte Fischmehl durch Fleisch- und Blutmehl (Verhältnis 4:1) in der Ernährung des Zackenbarsches (*Epinephelus coioides*). Gewichtszunahme und spezifische Wachstumsrate lagen bis zu einer Austauschrate von 30% höher als bei der Kontrollgruppe. In einem Substitutionsversuch an der japanischen Flunder (*Paralichthys olivaceus*) ersetzte Kikuchi (1999) Fischmehl durch Sojamehl und fügte in Vergleichsgruppen zusätzlich Blutmehl und Maisglutenmehl hinzu. Wachstum und Futterquotient der Futtergruppe der Blutmehl zugefügt wurde, waren auf gleichem Niveau wie die Kontrollgruppe und deutlich besser als bei den Futtergruppen in denen Sojamehl allein oder ein Gemisch aus Sojamehl und Maisglutenmehl als Substitut dienten.

Muschelmehl

Muschelmehl ist, wie auch das Blutmehl, ein in Anglerkreisen oft genutzter Zusatzstoff zur Attraktivitätssteigerung des Angelfutters. Muscheln sind Bestandteil der Naturnahrung vieler Fischarten und gehören auch zum Nahrungsspektrum der Forelle. Muschelmehl hat ein für Forellen attraktives Aminosäureprofil (Berge und Austreng, 1989). In dem schon von Kikiuchi (1999) erwähnten Versuch führte die Zugabe von 5% Miesmuschelmehl in Futtermitteln mit Soja-, Blut-, und Maisglutenmehl als Fischmehlsubstitut, zu deutlich verbessertem Wachstum und Futterquotienten. Kikuchi et al.(2002) erreichten durch Zugabe von Muschelfleischextrakt in einem fischmehlbasiertem Futter eine deutlich höhere Futteraufnahme und bessere Futterquotienten bei der japanischen Flunder. In einem weiteren Versuch von Kikuchi und Furata (2009a) wurde Muschelextrakt als Futterstimulanz in Fisch- und Sojamehlfutter bei Tiger-Kugelfisch (*Takifugu rubripes*) eingesetzt. Spezifische Wachstumsrate und Gewichtszunahme wurden bei einem Einsatz von bis zu 10% Muschelextrakt deutlich gesteigert. Kikuchi und Furata (2009b) ersetzten in einem weiteren Versuch beim Tiger-Kugelfisch Fischmehl durch Sojamehl und gefriergetrocknetes Miesmuschelfleisch. Der Zusatz des Muschelfleischs hatte auch hier einen positiven Effekt auf das Wachstum. Mackie et al. (1980) untersuchten bei der Seesunge (*Solea solea L.*) den Einfluss von Muschelfleisch und einer chemischen Mixtur basierend auf der Zusammensetzung von Muschelfleisch als Zusatz in einem Casein-basierten Grundfutter. Beide Zusätze erhöhten die Futteraufnahme. Das im Muschelfleisch enthaltene Betain, Glycin

und Alanin wurden als Hauptstimulanzien identifiziert.

Zielsetzung

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, die Attraktivität des in Vorversuchen untersuchten Kartoffelproteinkonzentrats zu steigern. Dies sollte durch die Zugabe von Blutmehl und Muschelmehl in unterschiedlichen Dosierungen erreicht werden. Es wurden Wachstumsparameter, Futteraufnahmeintensität und Futterquotienten der einzelnen Fütterungsgruppen erfasst und miteinander verglichen.

Material und Methoden

Versuchsfuttermittel

Zur Durchführung des Versuchs wurden gemäß der neu definierten Aufgabenstellung 7 Futtermittel mittels Pelletierverfahren hergestellt. Zur Beurteilung der stimulierenden Wirkung unterschiedlicher Futtermittelzusatzstoffe wurden 5 Futtermittel mit 50% Kartoffelprotein als Proteinquelle verwendet. Eines wurde ohne weitere Zusätze eingesetzt und soll als Vergleichsgruppe (PP) dienen. Als Stimulanzien kamen Blutmehl (BM4, BM8) und Muschelmehl (MM4, MM8) in Dosierungen von 4 und 8 zum Einsatz. Des Weiteren wurden zwei Futtermittel (FM, GFM) eingesetzt, deren Proteingehalt zu nahezu 100% durch Fischmehl gedeckt wurde. Einem dieser Futtermittel (GFM) wurden die Glykoalkaloide Solanin und Chaconin in der Menge zugefügt, wie sie in den Kartoffelproteinfuttergruppen vorkommen. Der zuvor berechnete Rohproteingehalt aller Futtermittel beträgt 46,0%, der Rohfettanteil 14,0% in der Trockenmasse. Der Energiegehalt ist mit 21,19 MJ/Kg in allen Futtermitteln identisch. Die im Labor ermittelten Werte hierfür weichen teilweise geringfügig von den Berechnungen ab und sind wie die Inhaltsstoffe der Futtermittel in der Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Inhaltsstoffe und Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel für den Appetenzsteigerungsversuch in g kg^{-1} TS. FM – Fischmehlkontrolle, GFM – Futter auf Fischmehlbasis und $7,4\text{mg kg}^{-1}$ Glykoalkaloiden, PPC – Futter mit 50% PPC als Fischmehlersatz, BM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Blutmehl als Geschmacksverstärker, MM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Muschelmehl als Geschmacksverstärker.

	Versuchsfuttermittel						
	FM	GFM	PP	BM4	BM8	MM4	MM8
<i>Inhaltsstoffe (g kg^{-1})</i>							

Fischmehl	595	595	262	205	147	231	200
PPC	-	-	268	268	268	268	268
Blutmehl	-	-	-	40	80	-	-
Muschelmehl	-	-	-	-	-	40	80
AS-mix	-	-	-	-	-	-	-
Fischöl	95	95	109	113	116	111	112
Weizenstärke	241	241	223	225	226	206	189
Weizenkleber	60	60	60	60	60	60	60
Vit/Min Premix	10	10	10	10	10	10	10
Magnesiumsilicat	-	-	68	80	93	75	81
Glykoalkaloids (mg kg ⁻¹)	-	2.0	-	-	-	-	-
<hr/>							
<i>Nährstoffe (g kg⁻¹)</i>							
Rohprotein	484	479	469	470	471	460	466
Rohfett	169	171	151	146	143	147	136
Rohasche	113	112	124	128	135	135	146
Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹)	22.1	22.1	21.9	21.7	21.6	21.7	21.1
Trockensubstanz	917	880	927	927	935	932	936
<hr/>							
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹)</i>							
Solanine	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Chaconine	-	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht den technischen und biologischen Vorgaben des ersten Fütterungsversuchs. Um sicherzustellen, dass keine systemischen Effekte über freie Glykoalkaloide im Wasser hervorgerufen werden können, wurden in den Rohren für das Ablaufwasser Aktivkohlefilter installiert. Diese Filter wurden wöchentlich erneuert.

Für den Versuch wurden Regenbogenforellen mit einem Gewicht von durchschnittlich 52 g bezogen. Vor Versuchsbeginn erfolgte eine fünf tägige Akklimatisierung an die Gegebenheiten vor Ort. In dieser Zeit erhielten die Individuen ein kommerzielles Forellenfutter (AllerAqua, Performa 45/20 2mm) mit einer täglichen Fütterungsintensität von 3% des Körpergewichts. Zum Versuchsbeginn wurden 147 Regenbogenforellen (Durchschnittsgewicht 52,8 g ± 5,2) nach dem Zufallsprinzip auf 27 Tanks verteilt. Den 7 Futtergruppen wurden ebenfalls nach dem Zufallsprinzip je 3 Tanks zugeordnet (n=3). Der Versuchszeitraum betrug 56 Tage.

Abschlussuntersuchung

Siehe erster Versuch

Blutparameter

Siehe erster Versuch

Ganzkörperanalyse / Futtermittelanalyse

Siehe erster Versuch

Statistische Auswertung

Siehe erster Versuch

Ergebnisse

Wachstum

In der nachfolgenden Tabelle 11 sind alle Parameter des Wachstums, der Futteraufnahme und Futterverwertung der 7 Futtergruppen erfasst. Es wurde jeweils der Mittelwert aus den 3 Wiederholungen der Futtergruppen gebildet.

Tabelle 11: Wachstum und Parameter der Futterverwertung von Regenbogenforellen, bei der Fütterung von verschiedenen Versuchsfuttermitteln (FM – Fischmehlkontrolle, GFM – Futter auf Fischmehlbasis und 7,4mg kg⁻¹ Glykoalkaloiden, PPC – Futter mit 50% PPC als Fischmehlersatz, BM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Blutmehl als Geschmacksverstärker, MM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Muschelmehl als Geschmacksverstärker). Daten sind als Mittelwert ± Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (P<0,05)

Parameter	Versuchsfuttermittel						
	FM	GFM	PP	BM4	BM8	MM4	MM8
IBW ¹	53,1 ± 0,7	52,8 ± 0,3	53,0 ± 0,6	52,5 ± 0,4	53,1 ± 0,9	53,2 ± 0,6	53,0 ± 1,1
FBW ²	190,6 ^a ± 4,3	175,8 ^{ab} ± 16,7	144,4 ^{bc} ± 20,6	140,1 ^{bc} ± 8,4	143,5 ^{bc} ± 11,6	133,9 ^c ± 2,8	125,1 ^c ± 10,2
DFI ³	2,42 ^a ± 0,1	2,42 ^a ± 0,1	1,69 ^{bc} ± 0,3	2,04 ^{ab} ± 0,1	1,94 ^{abc} ± 0,1	1,75 ^{bc} ± 0,2	1,64 ^{bc} ± 0,1
SGR ⁴	2,31 ^a ± 0,0	2,17 ^{bc} ± 0,2	1,80 ^{bcd} ± 0,3	1,77 ^{bcd} ± 0,1	1,79 ^{bcd} ± 0,2	1,67 ^{cd} ± 0,0	1,54 ^d ± 0,1
FCR ⁵	1,05 ^{ab} ± 0,1	1,12 ^{ab} ± 0,1	0,94 ^b ± 0,1	1,15 ^a ± 0,1	1,09 ^{ab} ± 0,0	1,05 ^{ab} ± 0,1	1,06 ^{ab} ± 0,0
PER ⁶	2,16 ^{ab} ± 0,1	2,13 ^{ab} ± 0,2	2,47 ^b ± 0,2	2,00 ^a ± 0,2	2,09 ^{ab} ± 0,1	2,23 ^{ab} ± 0,2	2,16 ^{ab} ± 0,1
HSI ⁷	1,41 ± 0,1	1,56 ± 0,4	1,39 ± 0,2	1,55 ± 0,1	1,49 ± 0,2	1,61 ± 0,1	1,76 ± 0,1
FCF ⁸	1,36 ^a ± 0,0	1,33 ^{ab} ± 0,0	1,26 ^{ab} ± 0,1	1,27 ^{ab} ± 0,1	1,30 ^{ab} ± 0,0	1,28 ^{ab} ± 0,0	1,27 ^{ab} ± 0,1

¹Anfangsgewicht; ²Endgewicht; ³tägliche Futteraufnahme (% BW Tag⁻¹); ⁴spezifische Wachstumsrate (% BW Tag) = [ln (FBW) - ln (IBW)] / Fütterungstage x 100; ⁵Futterquotient = Futter (g) / Zuwachs (g); ⁶Proteinwirkungsverhältnis = Gewichtszunahme (g) / Proteinaufnahme (g); ⁷Hepatosomatischer Index = (Lebergewicht / Körpergewicht) x 100; ⁸Fultons Konditionierungsfaktor = 100 x Körpergewicht x Körperlänge⁻³.

Den größten individuellen Zuwachs erreichten nach 56 Tagen die Fische der Futtergruppe FM mit 137,5 g, gefolgt von Futtergruppe GFM mit 123,0 g. In den Gruppen PP, BM4, BM8 und MM8 lag der Zuwachs auf gleichem Niveau. Im Vergleich zur Fischmehlgruppe waren sie aber signifikant unterschiedlich von dieser. Die geringsten Zuwachsraten erzielen die

Futtergruppen MM4 und MM8.

Die spezifische Wachstumsrate der Futtergruppen stellt sich ähnlich dar wie der Zuwachs. Sie war bei Futtergruppe FM mit 2,31 % BW d⁻¹ am höchsten. Die Gruppen PP, BM4, BM8, MM4 und MM8 wiesen einen signifikanten Unterschied zu FM auf. Die geringsten Wachstumsraten zeigten sich bei Futtergruppe MM4 und MM8.

Die Futtergruppe PP erreichte die besten Werte bezüglich der Futtermittelverwertung. Sie benötigte 94 g (PPC) Futter zum Aufbau von 100 g Körpermasse (OS). Das entspricht einem Futterquotienten von 0,94. Einen signifikanten Unterschied wies sie nur zu BM4 (FQ = 1,15) auf. Die Futterquotienten aller anderen Gruppen variieren nur gering und liegen zwischen 1,05 und 1,12.

Die beste Proteinverwertung wies die Futtergruppe PP auf. Diese benötigte zum Aufbau von 247 g Körpermasse 100 g Protein im Futtermittel. Das PER betrug 2,47. Ein signifikanter Unterschied bestand zu Gruppe BM4 (PER: 2,00). Das PER der anderen Gruppen lag zwischen 2,09 und 2,38 und wies keine signifikanten Unterschiede zu der oben genannten Gruppe auf.

Den höchsten Fultons Konditionierungsfaktor (FCF) erreichte die Futtergruppe FM mit 1,36. Die Werte aller anderen Gruppen schwankten zwischen 1,27 und 1,33 und sind nicht signifikant unterschiedlich zu FM.

Die größte Futtermenge bis zur scheinbaren Sättigung nahmen die Futtergruppen FM und GFM auf. Die Futtermittelaufnahme betrug im Durchschnitt 2,42% des eigenen Körpergewichts pro Tag. Deutlich, aber nicht signifikant niedriger war die Futtermittelaufnahme bei den Futtergruppen BM4 (2,05% BW d⁻¹) und BM8 (1,95% BW d⁻¹). Alle anderen Gruppen nahmen signifikant weniger Futter auf als die Fischmehlgruppen. Beim hepatosomatischen Index wurden statistisch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Futtergruppen festgestellt. Die höchsten Werte erreichen die mit Muschelmehl versetzten Futtergruppen MM4 (1,61) und MM8 (1,76). Während des Versuchs starb kein Fisch noch zeigten sie jegliche Krankheitssymptome.

Körperzusammensetzung

Die Daten der Ganzkörperanalytik können der Tabelle 12 entnommen werden. Die Körper der Forellen hatten einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 294 g kg⁻¹. Signifikant unterschiedlich von allen anderen Gruppen waren die Futtergruppen MM4 und MM8. Sie hatten Trockensubstanzgehalte von 264 g kg⁻¹ (MM4) und 263 g kg⁻¹ (MM8), wohingegen die anderen Gruppen TS-Gehalte zwischen 294 g kg⁻¹ und 310 g kg⁻¹ aufwiesen. Auffällig

bei diesen beiden Gruppen waren ebenfalls die Werte für Rohfett im Körper. Mit 81 g kg^{-1} (MM8) und 83 g kg^{-1} (MM4) waren sie auch hier signifikant unterschiedlich von allen anderen Gruppen.

Der Rohproteingehalt variierte zwischen 151 und 159 g kg^{-1} . In den Aschegehalten wiesen alle Gruppen keine signifikanten Unterschiede voneinander auf.

Tabelle 12: Effekt von verschiedenen Futtermitteln (FM – Fischmehlkontrolle, GFM – Futter auf Fischmehlbasis und $7,4 \text{ mg kg}^{-1}$ Glykoalkaloiden, PPC – Futter mit 50% PPC als Fischmehlersatz, BM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Blutmehl als Geschmacksverstärker, MM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Muschelmehl als Geschmacksverstärker) auf die chemische Körperzusammensetzung von Regenbogenforellen (g kg^{-1} Originalsubstanz; MJ kg^{-1} TS) am Versuchsende. Die Ganzkörperzusammensetzung am Versuchsanfang auf Originalsubstanzbasis stellte sich wie folgt dar: Trockensubstanz 253 g kg^{-1} ; Rohprotein 139 g kg^{-1} ; Rohfett 92 g kg^{-1} ; Asche 26 g kg^{-1} ; Bruttoenergie $26,7 \text{ MJ kg}^{-1}$. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Nährstoffe	Versuchsfuttermittel						
	FM	GFM	PP	BM4	BM8	MM4	MM8
Trockensubstanz	$303^{ab} \pm 1,3$	$302^{ab} \pm 1,1$	$301^{ab} \pm 1,2$	$308^a \pm 3,4$	$303^{ab} \pm 7,0$	$264^c \pm 4,2$	$263^c \pm 1,8$
Rohprotein	$153^a \pm 1,4$	$153^{ab} \pm 1,9$	$154^{ab} \pm 1,9$	$158^{bc} \pm 2,6$	$153^a \pm 3,6$	$156^{abc} \pm 2,1$	$155^{abc} \pm 3,7$
Rohfett	$126^{ab} \pm 0,4$	$123^b \pm 2,5$	$123^b \pm 1,7$	$128^a \pm 1,9$	$125^{ab} \pm 3,7$	$83^d \pm 1,7$	$81^d \pm 0,3$
Rohasche	$28 \pm 1,1$	$30 \pm 3,4$	$27 \pm 3,5$	$27 \pm 1,0$	$28 \pm 3,1$	$26 \pm 1,7$	$26 \pm 1,3$
Bruttoenergie	$28,1^a \pm 0,1$	$27,3^{bc} \pm 0,2$	$27,2^c \pm 0,1$	$27,6^b \pm 0,1$	$27,6^b \pm 0,1$	$26,4^d \pm 0,0$	$25,8^e \pm 0,1$

Blutparameter

Bei der Untersuchung der Blutparameter wurden keine Unterschiede zwischen den Futtergruppen festgestellt. Lediglich bei den Haematokritwerten gab es einen signifikanten Unterschied von den Gruppen FM und MM4 zu den übrigen Versuchsgruppen. Alle Werte der Blutuntersuchung können der Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 13: Blutparameter (Haematokrit in %; Protein, Triglyceride, Glucose in mg ml^{-1}) von Regenbogenforellen die mit den verschiedenen Versuchsfuttermitteln gefüttert wurden (FM – Fischmehlkontrolle, GFM – Futter auf Fischmehlbasis und $7,4\%$ Glykoalkaloiden, PPC – Futter mit 50% PPC als Fischmehlersatz, BM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Blutmehl als Geschmacksverstärker, MM – Futter mit 50% PPC und 4% und 8% Muschelmehl als Geschmacksverstärker). Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$).

Blutparameter	Versuchsfuttermittel						
	FM	GFM	PP	BM4	BM8	MM4	MM8
Haematokrit	$33,8^{ab} \pm 6,7$	$28,4^a \pm 6,1$	$25,2^a \pm 5,0$	$29,8^a \pm 6,0$	$30,3^a \pm 5,8$	$28,2^b \pm 5,0$	$29,3^a \pm 5,4$
Proteine	$37,3 \pm 5,2$	$38,5 \pm 2,8$	$36,5 \pm 4,4$	$34,1 \pm 4,0$	$37,3 \pm 3,3$	$33,3 \pm 2,4$	$37,0 \pm 4,8$
Triglyceride	$3,43 \pm 0,7$	$5,47 \pm 1,0$	$3,45 \pm 1,2$	$4,52 \pm 2,0$	$5,74 \pm 2,1$	$5,69 \pm 3,0$	$3,75 \pm 1,6$
Glukose	$1,38 \pm 0,2$	$1,47 \pm 0,3$	$1,48 \pm 0,4$	$1,51 \pm 0,4$	$1,64 \pm 1,0$	$1,20 \pm 0,2$	$1,31 \pm 0,2$

Diskussion - Schlussfolgerung

Konzentrierte Kartoffelproteine (PPC) wurden bereits in der Vergangenheit als Alternative für Fischmehl in Futtermitteln für Forellen verwendet. Dieser Einsatz führte zu einer verringerten Futteraufnahme und daraus resultierend zu einem Hungerzustand, der sich durch die Verringerung der Wachstumsleistungen und in den stärksten Fällen durch histopathologischen Veränderungen darstellte (Tusche et al., 2011a). Dieser Effekt verstärkte sich nicht nur mit ansteigendem Fischmehlaustausch, sondern vor allem deutlich mit ansteigendem Glykoalkaloidgehalt in verschiedenen PPC-Quellen mit unterschiedlichen Qualitäten (hohe und geringe Glykoalkaloidkonzentrationen im Rohstoff). In der aktuellen Studie wurde aus diesem Grund ein hochgereinigtes PPC mit geringem Glykoalkaloidgehalt ($7,41 \text{ mg kg}^{-1}$ PPC, was in einem Gehalt von $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter resultiert) als Fischmehlersatz verwendet. Auch aus den Ergebnissen anderer Studien (Xie und Jokumsen, 1997a, b; 1998) konnte abgeleitet werden, dass eine Reduktion dieser antinutritiven Inhaltsstoffe einen positiven Einfluss auf die Verwendbarkeit der PPC hat. Die reduzierte Futteraufnahme und damit verbundenen Effekte wie sie von Tusche et al. (2011a) beobachtet wurden, zeigte sich vor allem in deutlichen Zeichen der Unterernährung und weniger über Vergiftungserscheinungen durch sekundäre Pflanzenmetabolite. Deshalb wurde angenommen, dass über die Verwendung von geschmacksverstärkenden Inhaltsstoffen im Futter die Attraktivität von PPC in der Ernährung von Forellen erhöht werden kann.

Im aktuellen Versuch wurde ein Fischmehlfuttermittel als Kontrollgruppe verwendet. Darüber hinaus wurde eine weitere Fischmehlgruppe (GFM) mit Glykoalkaloiden versetzt, wie sie in den PPC Futtermitteln auftraten, um negative Auswirkungen direkt identifizieren zu können. Die Futteraufnahme von GFM war gleichzusetzen mit der FM Gruppe ($2,42 \% \text{ BW d}^{-1}$). Im Hinblick auf die Wachstumsrate zeigte sich jedoch, dass diese bei der GFM Gruppe ($2,17 \% \text{ BW d}^{-1}$) leicht zurück ging im Vergleich zur FM Gruppe ($2,31 \% \text{ BW d}^{-1}$). Eine Wirkung der Glykoalkaloide kann an dieser Stelle nicht ausgeschlossen werden.

Vergleicht man die GFM Gruppe mit den PPC basierten Futtermitteln, dann war die Futteraufnahme bei allen PPC Gruppen reduziert, obwohl überall gleiche Glykoalkaloidkonzentrationen vorlagen. Obwohl diese Verringerung des DFI statistisch noch nicht in allen Fällen signifikant war, sollte davon ausgegangen werden, dass der nachlassende Geschmack der PPC Futtermittel nicht ausschließlich über die Glykoalkaloide herbeigeführt wird. Diese Annahme sollte zumindest bei den aktuellen und damit sehr geringen Konzentrationen von Glykoalkaloiden in den Futtermitteln gelten. Auf der anderen Seite darf nicht unerwähnt bleiben, dass das Fischmehl selbst als sehr guter Geschmackverstärker wirken kann und damit die Wirkung von Glykoalkaloiden im GFM Futter unterdrückt bzw.

überlagert. Generell gilt, dass im Geschmackssystem der Salmoniden vor allem L-Aminosäuren (AS) mit kurzen, unverzweigten und ungeladenen aliphatischen Ketten als stärkste Stimulanzen wirken (Hara et al., 1994). Darüber hinaus ist bekannt, dass Salmoniden auch auf die AS Prolin, Alanin und Betain reagieren (Marui et al., 1983; Hara, 2006; Yamashita et al., 2006). Unter den Salmoniden weißt die Regenbogenforelle eine deutlich höhere Anzahl an Geschmacksknospen auf als ihre Artverwandten, wie der Rotlachs (*Oncorhynchus nerka*) oder die Heringsmaräne (*Coregonus clupeaformis*). Dies deutet auf die Bedeutung der Geschmackswahrnehmung über die Zunge hin (Hara et al., 1994). Zum Fischmehl lässt sich diesbezüglich ausführen, dass es hohe Gehalt an freiem Alanin (50 mg kg⁻¹) und Leucin (52 mg kg⁻¹) aufweist. Die unteren Wahrnehmungsgrenzen für die AS liegen bei der Forelle zwischen 10⁻⁶ bis 10⁻⁷ mol l⁻¹. Bereits geringste Mengen im Wasser und um/an einem Futterpartikel reichen aus, um an den Geschmacksknospen eine Reaktion hervorzurufen (Li et al., 2011). Im Falle von Alanin kann dies beispielsweise eine verstärkte Suchreaktion durch ein Individuum nach Futterpartikeln sein (Hara et al., 1994).

In der aktuellen Studie wurden bei den Kartoffelprotein-basierten Futtermitteln die höchsten Futteraufnahmen dokumentiert (DFI von 2,04 % d⁻¹ und 1,95 % d⁻¹) wenn 4% oder 8% Blutmehl hinzugefügt wurden. Kikuchi (1999) berichtet von ähnlichen, den Appetit steigernden, Effekten bei juvenilen japanischen Flundern (*Paralichthys olivaceus*), wenn einem Sojamehl basierten Futter 10% Blutmehl zugegeben wurden. Mit einer Supplementierung stieg die tägliche Futteraufnahme von 4,38 % BW d⁻¹ in der Fischmehlkontrolle auf 4,44 % BW d⁻¹ in der Blutmehlgruppe. Li et al. (2011) führt weitergehend aus, dass Blutmehl einen hohen Anteil an freien AS aufweist z.B. Alanin (78 mg kg⁻¹) und Prolin (114 mg kg⁻¹). Ebenso vergleichbar mit den eigenen Ergebnissen, sind die Daten von Millamena (2002). Es wird berichtet, dass die DFI in der Ernährung von Zackenbarschen auf 3,10 % BW d⁻¹ und 3,04 % BW d⁻¹ ansteigen, wenn 6% oder 8% Blutmehl (Kontrollgruppe 2,95 % BW d⁻¹) in das Futter beigemischt wurde. Da BM einen hohen Gehalt an Valin, Lysin und Histidin aufweist, kann dieser Einsatzstoff zu einer balancierten AS Zusammensetzung beitragen, wenn defizitäre pflanzliche Proteinquellen zum Einsatz kommen (Li et al., 2011). Allerdings weisen genau diese BM Gruppen im eigenen Versuch, im Gegensatz zur höchsten Futteraufnahme, die schlechteste Futtermittelverwertung (1,15 BM4; 1,09 BM8) auf. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass Blutmehle und andere tierische Proteinquellen schwankenden Qualitäten unterworfen sind. Gerade bei der scheinbaren Verdaulichkeit weist Berau et al. (1999) darauf hin, dass verschiedene Blutmehle die in Fütterungsversuchen mit Forellen zum Einsatz kamen scheinbare

Verdaulichkeitskoeffizienten zwischen 80 – 99 % aufwiesen. Vor allem technische Verarbeitungsschritte beeinflussen diese hohen Variationen der nutritiven Qualität des Rohstoffs. Aufgrund dieser Tatsache muss vermutet werden, dass das im aktuellen Versuch verwendete BM lediglich einer verminderten nutritiven Qualität entsprach. Die reduzierten PER (2,00 BM4 und 2,09 BM8) geben einen Hinweis auf diese Sachlage. Alle anderen Fütterungsgruppen wiesen höhere PER auf. Auf der anderen Seite hatte der Einsatz von Blutmehl einen positiven Einfluss auf die Stabilität der Futtermittel. Dadurch konnte die Festigkeit während der Wasserpassage verbessert werden und auch der Kot wies eine höhere Festigkeit auf. Dies kann zur Verbesserung der Wasserparameter bzw. Wasserbelastung beitragen.

Der Einsatz von Muschelmehl als Futterstimulanz zeigte wiedererwartend keinen bzw. sogar einen leicht negativen Einfluss auf die Futterraufnahme von PPC Futtermitteln. Dieses Ergebnis steht eher in einem Kontrast zu anderen Untersuchungen. Kikuchi (1999) berichtet von der Verwendung von 5% Muschelfleisch in Sojamehl (300 g kg^{-1}) basierten Futtermitteln für juvenile Japanische Flundern und konnte dabei die tägliche Futterraufnahme ($5,16 \% \text{ d}^{-1}$) im Vergleich zur Kontrollgruppe ($4,38 \% \text{ d}^{-1}$) steigern. Vergleichbares wird von Kikuchi und Furuta (2009b) für die Verwendung von Muschelmehl als Attraktant in Futtermitteln für den Japanischen Kugelfisch (*Takifugu rubripes*) dokumentiert. In dieser Studie wurde zusammengefasst, dass hohe Menge an verfügbarem Alanin und Glycin die Attraktivität des Futters steigern. Diese beiden AS und die nicht-AS Betain wurden auch von Mackie et al. (1980) als Hauptlockstoffe im Muskelfleisch von Muscheln identifiziert, welches als Stimulanz für Seezungen verwendet wurde. Die Aminosäurezusammensetzung der MM-Gruppen im aktuellen Versuch zeigten in den Bereichen der bisher erwähnten und stimulierenden AS keine erhöhten bzw. sogar niedrigere Konzentrationen als im Standard-PPC-Futtermittel und somit sollte im Nachhinein ein stimulierender Effekt durch L-Aminosäuren über Geruch und/oder Geschmack ausgeschlossen werden. Zusätzlich dazu war die Futtermittelverwertung dieser MM-Gruppen leicht erhöht (1,05 MM4; 1,06 MM8), was dazu führte, dass diese Gruppen generell ein sehr geringes Wachstum aufwiesen. Diese leicht reduzierte Futterraufnahme und damit unzureichende Versorgung wird über den geringeren Fettgehalt der Individuen dieser Gruppen sichtbar. Zusammenfassen sollte festgehalten werden, dass sich ein Grünlippen-Muschelmehl nicht eignet, um eine Steigerung von Kartoffelprotein-basierten Futtermitteln für Regenbogenforellen herbeizuführen.

Mit einem Blick auf die generelle Nährstoffzusammensetzung der verschiedenen Futtermittel soll ausgeschlossen werden, dass die tägliche Futterraufnahme über einen

Nährstoffabhängigen Effekt hervorgerufen wurde (z.B. defizitäre AS). Beim Atlantischen Lachs (Grisdale-Helland et al., 2010), Silberbarsch (*Bidyanus bydianus*) (Yang et al., 2011) und Cobia (*Rachycentron canadum*) (Zhou et al., 2007) wurde dokumentiert, dass ein Lysin-Mangel zu einem reduzierten Appetit und daraus folgend zu einer geringeren Wachstumsleistung führt. Der Gehalt an essentiellen AS war in der aktuellen Studie deutlich über dem Bedarf von Regenbogenforellen (Rodehutsord et al., 1997) und sollte dementsprechend nicht zu negativen Auswirkungen geführt haben. Dennoch kann man keine Aussage darüber treffen, inwiefern mögliche antinutritive Inhaltstoffe aus den PPC einen Einfluss auf die AS Verwertung haben, wie es aus anderen pflanzlichen Proteinquellen bekannt ist (Francis et al., 2001).

Die haematologischen Untersuchungen zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Fütterungsgruppen. Es konnten lediglich Tendenzen aufgezeigt werden. Verglichen mit den Blutparametern von juvenilen Salmoniden (Congleton und Wagner, 2006), kann geschlussfolgert werden, dass die aktuell untersuchten Tiere einen guten Ernährungs- und Konditionierungszustand aufwiesen. Dies war notwendig, um Wachstum zu gewährleisten und Unterernährung zu verhindern, wie sie in vorangegangenen Untersuchungen aufgetreten war (Tusche et al., 2011a).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle Kartoffelproteingruppen eine reduzierte Futteraufnahme und Wachstum aufwiesen, wenn sie mit den Fischmehl-Futtergruppen verglichen werden. Weiterhin muss festgehalten werden, dass alle PPC Gruppen auch oder gerade im Vergleich mit der GFM Gruppe ebenfalls geringere Wachstumsleistungen aufwiesen. Dies könnte zum einen darauf hindeuten, dass über die Glykoalkaloide hinaus weitere antinutritive Effekte von den PPC ausgehen, welche aber an dieser Stelle nicht erfasst wurden und zum anderen könnte die Wirkung von Solanin und Chaconin durch die hohe Attraktivität von Fischmehl kompensiert worden sein. Dennoch lag das PER in allen Fütterungsgruppen über 2, was auf eine gute Proteinverwertung hindeutet. Unterstützt wird diese Aussage durch die guten Futterquotienten zwischen 0,91 – 1,15. Die höchsten täglichen Fütterungsraten wurden in den Fischmehlgruppen (FM und GFM) ermittelt. Der Effekt von Fischmehl auf den Geschmack war deutlich intensiver als jeglicher verwendeter Geschmacksverstärker im Versuch. Unter diesen geschmacksverstärkenden Substanzen wies Blutmehl die höchsten Futteraufnahmen auf. Neben diesem Effekt zeigte sich zusätzlich ein positiver Einfluss auf die Bindeeigenschaften im Futterpartikel. Dies ist für die Zukunft ein weiterer wichtiger Punkt für den Einsatz von Kartoffelproteinen in biologisch-organischen

Fischfuttermitteln. Neben der hohen biologischen Wertigkeit des Proteins, verhindert die Feinkörnigkeit des Rohstoffs PPC eine stabile Verarbeitung.

5. Versuch zum Rücktausch von PPC durch Weizenkleber

Der Engpass für eine nachhaltige Steigerung der ökologisch-biologischen Aquakultur für fleischfressende Fischarten liegt in einem ausreichenden Angebot zertifizierter Rohstoffe zur Futtermittelherstellung (Bergleiter, 2009). Obwohl oder gerade weil die Gesetzgebung und Verbände festhalten, dass eine artgerechte Fütterung zu erfolgen hat (einschließlich der Verwendung von zertifiziertem Fischmehl und Fischöl in den Futtermitteln für carnivore Arten) (Europäische Union, 2009b; IFOAM, 2010), ist eine ausreichende Versorgung mit diesen Protein und Fettquellen derzeit nicht realisierbar (Mente et al., 2011). Der mögliche Ansatz zur Lösung dieses Mangels an hochwertigen Nährstoffquellen liegt in der Verwendung von pflanzlichen Rohstoffen. Der Einsatz pflanzlicher Proteine kann durch das Vorhandensein von pflanzeneigenen antinutritiven Substanzen (z.B. Glykoalkaloide) (Tusche et al., 2011a) und/oder einer unzureichenden Aminosäure-Zusammensetzung eingeschränkt sein (Francis et al., 2001; Glenncross et al., 2006; Xie und Jokumsen, 1997a). Es konnte jedoch aufgezeigt werden, dass eine Weiterverarbeitung von Rohstoffen (z.B. Hitzedegeneration) und/oder eine Anreicherung mit defizitären Inhaltstoffen (z.B. freie AS, Phosphor) dazu führt, dass die Futterraufnahme und Futterverwertung deutlich gesteigert werden konnte und teilweise ebenso gute Ergebnisse erzielt werden konnten, wie mit Fischmehl basierten Futtermitteln (Refstie und Tiekstra, 2003; Slawski et al., 2011; Tusche et al., 2011a). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass jede Rohstoffart und Menge bei den verschiedenen Arten jeweils ausgetestet werden muss.

Die Vielfalt der möglichen Rohstoffe wird in der Ökoaquakultur durch 3 obligatorische Anforderungen eingegrenzt. 1) Die Gesetzgebung, als auch die Zertifizierungsverbände müssen einen potentiellen Rohstoff zugelassen bzw. positiv für einen Nutzung bewertet haben (legislative Ebene). 2) Der Rohstoff muss eine artgerechte Versorgung sicherstellen, ohne dass mit synthetischen Zusatzstoffen gearbeitet werden muss (biologisch/physiologische Ebene). 3) Der Rohstoff muss zu einem wirtschaftlich vertretbaren Preis am Markt verfügbar sein (ökonomische Ebene). Alle potentiellen Futtermittelbestandteile müssen in Bezug auf diese 3 Kriterien positiv bewertet werden, bevor eine kommerzielle Nutzung in der biologisch-ökologischen Aquakultur gewährleistet ist.

PPC wurden in vorangegangenen Untersuchungen als mögliche pflanzliche Proteinquellen in Aquakulturfuttermitteln bewertet. In der Lachsernährung konnten 38% des Fischmehlproteins ohne Einschränkung auf die Wachstumsleistung und Gesundheit durch ein Kartoffelprotein ersetzt werden (Refstie und Tiekstra, 2003). Tusche et al. (2011b) dokumentierte bei einer PPC-Einsatzmenge von 56% im Protein eine gute Futteraufnahme und Wachstum in Regenbogenforellen. Diese Einsatzmenge des PPC bzw. Austauschmenge des Fischmehls sollte auch in zukünftigen Untersuchungen gehalten werden. PPC als Rohstoff wird über das Verfahren der Heißdampfextraktion und Koagulation gewonnen. Dieses Verfahren ist zertifizierungskonform (ANNEX V, Europäische Union, 2009b). Nach der Verarbeitung steht ein hochwertiges Protein (Rohproteingehalte $>800 \text{ g kg}^{-1}$ TS) mit einer ausgeglichenen AS-Zusammensetzung zur Verfügung (Tacon und Jackson, 1985), wobei jedoch Methionin als potentiell limitierende AS identifiziert wurde (Xie und Jokumsen, 1998). Weiterhin produzieren alle Nachtschattengewächse (einschließlich der Kartoffel) Glykoalkaloide, welche der Pflanze zur Schädlingsabwehr dienen und in der Fischernährung zu antinutritiven Effekten führen (Jeroch et al., 1999). Glykoalkaloide verursachen typischerweise einen bitteren Geschmack und dies führt zu einer reduzierten Futteraufnahme und damit Wachstum (Xie und Jokumsen, 1997b; Tusche et al., 2011a). Eine zusätzliche technische Reinigung der PPC mittels Membran-Absorbern ist in der Lage den Gehalt an Glykoalkaloiden von mehr als 2000 mg kg^{-1} auf $<50 \text{ mg kg}^{-1}$ zu reduzieren. Dadurch verbessert sich die ganzheitliche Qualität des Rohstoffs PPC, was grundsätzlich notwendig war und ist, um vermehrt zum Einsatz in organisch-biologischen Fischfuttermitteln zu kommen (Refstie und Tiekstra, 2003; Tusche et al., 2011b). Es ist jedoch hinderlich, dass die Produktion von hochgereinigten Kartoffelproteinen sehr teuer ist und zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur in geringen Mengen produziert wird.

Eine mögliche Proteinalternative konnte im Weizenkleber (WG) aufgezeigt werden. Dieses pflanzliche Protein zeichnet sich durch eine sehr hohe Marktverfügbarkeit und günstigere Preise im Vergleich zum PPC aus. Darüber hinaus ist dieser Rohstoff in organisch-biologischen Aquakulturfuttermitteln zugelassen (Mente et al., 2011; Europäische Union, 2009b). Auf der anderen Seite weist dieses Pflanzenprotein ein begrenztes ernährungsphysiologisches Potential für einen Einsatz in organischen Futtermitteln auf.

Obwohl WG hohe Verdaulichkeiten ($>99\%$) in Futtermitteln für den Atlantischen Lachs und Dorsch aufwies (Storebakken et al., 2000; Tibbetts et al., 2006) zeigte sich in der direkten AS-Zusammensetzung zum Teil sehr geringe Lysingehalte bis hin zu Lysinmangelsituationen im Hinblick auf den Bedarf von Regenbogenforellen (NRC, 1993). Folglich führte eine L-Lysin

Supplementierung zu einer Verbesserung der ernährungsphysiologischen Qualität des Rohstoffs, wenn WG als alleinige Proteinquelle verwendet wurde (Pfeffer et al., 1992; Davies et al., 1997), was jedoch in einer organisch-biologischen Aquakultur nicht zulässig ist (Europäische Union, 2009b; IFOAM, 2010).

Zielsetzung

Der Schwerpunkt dieser vorerst abschließenden Untersuchung lag auf der Bewertung der Futterraufnahme, Verwertung und Einfluss auf die Tiergesundheit von verschiedenen WG und PPC Kombinationen als konstant hoher Fischmehlersatz in Futtermitteln für Regenbogenforellen. In Übereinstimmung mit der ökologischen-biologischen Aquakulturrichtlinie EG 710/2009 wurde den Futtermitteln keinerlei freie Aminosäuren oder andere nicht zertifizierte Inhaltsstoffe zugesetzt um mögliche Mangelsituationen zu kompensieren.

Material und Methoden

Versuchsfuttermittel

Es wurden 7 isonitrogene und isoenergetische Futtermittel formuliert und hergestellt, wie sie der Tabelle 14 zu entnehmen sind. In einem Kontrollfuttermittel wurde Fischmehl (VFCUX, Cuxhaven, Deutschland) als Hauptproteinquelle eingesetzt. In sechs weiteren Futtermitteln wurden jeweils 56% des Fischmehlproteins durch ein Weizenkleber-Kartoffelproteingemisch ausgetauscht (Weizenkleber, Cargill GmbH, Krefeld, Deutschland; PPC mit geringem Glykoalkaloidgehalt: 23,4 mg kg⁻¹ TS, K5, Emsland Gruppe, Emlichheim, Deutschland). Der sukzessive Austausch von PPC durch WG erfolgte in Schritten von 0%, 10%, 20%, 30%, 40% und 50% (prozentualer Anteil des PPC-Proteins). Die Höchsteinsatzmenge von Weizenkleber im Futtermittel wurde über den Gehalt an essentiellen AS im Rohstoff festgesetzt und konnte 194 g kg⁻¹ nicht überschreiten, ohne defizitäre Lysingehalte zu erzeugen. Um die Verordnung EG 710/2009 zu gewährleisten, wurden keine freien AS hinzugefügt. Ein Grundgehalt von 6% Weizenkleber war notwendig, um notwendige Bindeeigenschaften in den Versuchsfuttermitteln zu erzeugen (einschließlich in der Kontrollgruppe). Die Pflanzenproteinfuttermittel wurden nach ihrem Gehalt an Weizenkleber benannt (W6 – W19).

Die Nährstoffzusammensetzungen der einzelnen Futtermittel wurden so zusammengestellt, dass sie dem metabolischen Bedarf der Versuchsindividuen entsprach. Vor allem der Gehalt an essentiellen AS und des Phosphors lag oberhalb der Bedarfsgrenzen von Salmoniden.

Alle Inhaltsstoffe wurden zu Pellets mit einem Durchmesser von 4 mm verarbeitet (L 14-175, AMANDUS KAHL, Reinbek, Deutschland). Aufgrund der hohen Proteingehalte von PPC und WG wurde Magnesia als inerter Füllstoff eingesetzt, um gleichbleibende Nährstoffgehalte in den Futtermitteln zu realisieren (ANNEX V, Europäische Union, 2009b).

Tabelle 14: Inhaltsstoffe, Aminosäurezusammensetzung und Gehalt an antinutritiven Glykoalkaloiden in den Versuchsfuttermitteln in g kg^{-1} TS.

	Futtermittel						
	FM	W6	W9	W11	W14	W17	W19
<i>Inhaltsstoffe (g kg^{-1})</i>							
Fischmehl ¹	606	265	265	265	265	265	265
LG-PPC ²	-	267	241	214	187	160	134
Fischöl ¹	61	91	90	90	89	89	88
Weizenstärke ³	264	240	241	241	241	242	242
Weizenkleber ³	60	60	87	114	141	167	194
Vitamin ⁴ + Mineral Mix ⁵	10	10	10	10	10	10	10
Magnesia ⁶	-	66	66	66	67	67	67
<i>Nährstoffzusammensetzung (g kg^{-1} TS)</i>							
Trockensubstanz	923	932	932	932	931	932	927
Rohprotein	457	461	464	462	460	462	445
Rohfett	146	142	142	146	144	145	145
Rohasche	127	132	131	132	131	134	130
Phosphor	14,1	12,6	12,6	12,7	12,7	12,8	12,8
NfE + Rohfaser	270	265	263	260	265	260	280

Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹ TS)	21,5	21,3	21,4	21,4	21,4	21,4	21,3
<i>Essentielle Aminosäuren (g kg⁻¹)</i>							
Arginin	24,0	22,9	22,5	22,1	21,6	21,2	20,7
Histidin	8,6	9,4	9,3	9,2	9,2	9,1	9,0
Isoleucin	15,5	20,5	19,9	19,4	18,8	18,3	17,7
Leucin	28,0	38,2	37,2	36,2	35,1	34,3	33,3
Lysin	25,9	30,8	29,3	27,7	26,1	24,6	23,0
Methionin + Cystein	13,8	15,8	15,6	15,5	15,4	15,2	15,1
Phenylalanin	15,9	23,7	23,2	22,7	22,2	21,7	21,2
Threonin	16,1	21,8	20,9	20,0	19,1	18,2	17,4
Valin	18,9	24,5	23,8	23,1	22,4	21,7	20,9
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹)</i>							
Solanin	0,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2
Chaconin	0,0	3,7	3,4	3,0	2,6	2,2	1,9

¹VFCUX, Cuxhaven, Deutschland.

²Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim, Deutschland.

³Cargill Deutschland GmbH; Krefeld, Deutschland.

⁴Vitamin-Premix (mg kg⁻¹); Vitfoss, Grasten, Dänemark: Vitamin A, 1.000.000 IU kg⁻¹; Vitamin D3, 200.000 IU kg⁻¹; Vitamin E (als α -Tocopherol-Acetat), 40.000; Vitamin K3 (als Menadione), 4.000; Vitamin B1, 4.000; Vitamin B2, 8.000; Vitamin B6, 4.000; Vitamin B12, 8; Vitamin C (als Monophosphat), 60.000; Pantotensäure, 8.000; Niacin, 40.000; Folsäure, 1.600; Biotin, 100; Inositol 40.000.

⁵Mineral-Premix (mg kg⁻¹); Vitfoss, Grasten, Dänemark: Kobalt (als Kobaltsulfat), 400; Mangan (als Mangansulfat), 2.500; Jod (als Calciumjodid), 500; Kupfer (als Kupfersulfat), 2.500; Selen, 25; Zink (als Zinksulfat), 28.000.

⁶Magnesia 4371, Magnesia GmbH, Lüneburg, Deutschland.

Tryptophan wurde nicht analysiert.

Versuchsaufbau

Der Fütterungsversuch wurde in den Haltungseinrichtungen der Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA, Büsum, Deutschland) durchgeführt. Vor dem Experiment wurden 420 Regenbogenforellen (Forellenzucht Trostadt GbR, Trostadt, Deutschland) nach dem Zufallsprinzip auf 21 Tank (175 l/Tank) verteilt. Daraus ergaben sich 7 Gruppen im triplikaten Ansatz mit jeweils 20 Fischen pro Tank ($52,2 \pm 0,1$ g). Vor Versuchsbeginn erfolgte eine 14 tägige Akklimatisierung in System. Die Tanks wurden als geschlossener Kreislauf arrangiert ($4,5 \text{ m}^3$ Gesamtwasservolumen, Wasserwechselrate 6 h^{-1} , täglicher Wasseraustausch 1700 l kg^{-1} Futter) und die tägliche Beleuchtungsdauer erfolgte in einem 12 h Licht und 12 h Dunkelheits-Rhythmus. Die wichtigsten Wasserparametern wurden täglich ermittelt ($13,4 \pm 0,5^\circ\text{C}$; $9,6 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$; Handy Polaris; OxyGuard International A/S, Birkerød, Dänemark; $0,25 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$, $0,3 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$; Microquant Test Kit für NH_4 und NO_2 ; Merck KGaA, Darmstadt, Germany) und dokumentiert. Während der Akklimatisierungsphase wurde ein handelsübliches Forellenfutter verabreicht (Performa 45/20, 2mm; AllerAqua A/S, Christiansfeld, Dänemark). Über den gesamten

Versuchszeitraum von 8 Wochen wurden die Fische 2x täglich bis zur scheinbaren Sättigung gefüttert.

Abschlussuntersuchung

Siehe erster Versuch

Blutparameter

Siehe erster Versuch

Ganzkörperanalyse / Futtermittelanalyse

Siehe erster Versuch

Statistische Auswertung

Siehe erster Versuch

Ergebnisse

Wachstum

Zwischen den Fütterungsgruppen zeigten sich am Ende des Versuchs keinerlei signifikante Unterschiede in den Wachstumsparametern (Tabelle 15). Während des gesamten Zeitraums gab es keinerlei Sterblichkeit unter den Individuen und alle Gruppen konnten ihr Gewicht mehr als verdoppeln.

Tabelle 15: Wachstumsparameter (Mittelwert \pm SD, n=3) von Regenbogenforellen die mit den jeweiligen Versuchsfuttermitteln ernährt wurden (FM – Fischmehlkontrolle, PPC Gruppen – Supplementierung von Kartoffelprotein durch Weizenkleber bei einem festgelegtem Gesamtaustausch des Fischmehls von 56% im Futtermittel). Mittelwerte mit gleichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (P<0,05).

Parameter	Versuchsfuttermittel													
	FM		W6		W9		W11		W14		W17		W19	
IBW ¹	52,2	\pm 0,1	52,2	\pm 0,1	52,1	\pm 0,1	52,2	\pm 0,1	52,1	\pm 0,1	52,1	\pm 0,0	52,2	\pm 0,0
FBW ²	135,6	\pm 9,1	134,2	\pm 5,9	124,9	\pm 13,1	125,7	\pm 10,4	123,3	\pm 10,1	137,3	\pm 6,9	131,8	\pm 9,8
DFI ³	1,97	\pm 0,0	2,12	\pm 0,1	2,05	\pm 0,1	1,99	\pm 0,2	2,01	\pm 0,1	2,24	\pm 0,1	2,15	\pm 0,1
SGR ⁴	1,70	\pm 0,1	1,68	\pm 0,1	1,56	\pm 0,2	1,57	\pm 0,1	1,53	\pm 0,2	1,73	\pm 0,1	1,66	\pm 0,1
FCR ⁵	1,16	\pm 0,1	1,26	\pm 0,1	1,32	\pm 0,1	1,27	\pm 0,1	1,32	\pm 0,2	1,30	\pm 0,1	1,29	\pm 0,1
PER ⁶	2,05	\pm 0,2	1,85	\pm 0,1	1,75	\pm 0,2	1,84	\pm 0,1	1,78	\pm 0,2	1,79	\pm 0,1	1,87	\pm 0,1
PPV ⁷	31,89	\pm 4,1	29,41	\pm 1,6	29,27	\pm 2,1	27,33	\pm 1,9	27,18	\pm 3,3	28,28	\pm 2,7	29,99	\pm 0,6
HSI ⁸	1,60	\pm 0,2	1,54	\pm 0,1	1,40	\pm 0,2	1,46	\pm 0,3	1,52	\pm 0,3	1,48	\pm 0,2	1,52	\pm 0,3
FCF ⁹	1,20	\pm 0,1	1,18	\pm 0,1	1,14	\pm 0,1	1,21	\pm 0,1	1,14	\pm 0,0	1,25	\pm 0,1	1,17	\pm 0,1

¹Anfangsgewicht; ²Endgewicht; ³tägliche Futteraufnahme (% Tag⁻¹); ⁴spezifische Wachstumsrate (% Tag) = [ln (FBW) - ln (IBW)] / Fütterungstage x 100; ⁵Futterquotient = Futter (g) / Zuwachs (g); ⁶Proteinwirkungsverhältnis = Gewichtszunahme (g) / Proteinaufnahme (g); ⁷Proteinretention = 100 x [(RP Fisch x Biomasse) - (RP Futter x Biomasse)] / (RP Futter x gesamte Futteraufnahme); ⁸Hepatosomatischer Index = (Lebergewicht / Körpergewicht) x 100; ⁹Fultons Konditionierungsfaktor = 100 x Körpergewicht x Körperlänge⁻³.

Die Gruppe W17 (137,3 ± 6,9 g) erreichte das höchste Endgewicht und ebenso die höchste spezifische Wachstumsrate von 1,73 ± 0,1 % BW d⁻¹. Die Wachstumsleistungen in allen anderen Gruppen waren im Gegensatz zu diesen Werten leicht reduziert, zeigten aber noch keine signifikanten Unterschiede und/oder klaren Tendenzen. Obwohl ein zunehmender Anteil an WG im Futtermittel zu einem leichten Abfall der SGR führt, (von 1,68 ± 0,1 % BW d⁻¹ in W6 auf 1,53 ± 0,2 % BW d⁻¹ in W14), kippte dieser Effekt in den höchsten WG Gruppen auf die Ursprungswerte zurück. Dieselben unspezifischen Veränderungen wurden auch bei der Futteraufnahme dokumentiert.

In der FM Gruppe zeigte sich der geringste FCR (1,16 ± 0,1). In allen Pflanzenproteinbasierten Futtergruppen zeigte der FCR leicht erhöhte Werte, obwohl auch in diesem Parameter kein signifikanter Unterschied feststellbar war. Die höchsten FCR wurden in den Gruppen W9 und W14 (1,32) ermittelt. Das PER und PPV aller Gruppen korrelierte mit dem jeweilig dokumentierten FCR. Die Kontrollgruppe wies dabei wiederum die höchsten PPV und PER Werte auf (31,89 ± 4,1; 2,05 ± 0,2). Der Austausch von Fischmehl durch pflanzlich Proteine resultierte in leicht reduzierten PPV und PER, was wiederum mit der spezifischen Wachstumsrate im Zusammenhang stand. Der hepatosomatische Index (HSI) lag zwischen 1,40 – 1,60 ohne, dass signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen feststellbar waren. Darüber hinaus lag der Fultons Konditionierungsfaktor (FCF) in allen Gruppen zwischen 1,14 und 1,21 und war ebenfalls ohne signifikante Unterschiede.

Körperzusammensetzung

Die unterschiedlichen Anteile an Fischmehl, WG und/oder PPC in den Futtermitteln hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ganzkörperzusammensetzung der einzelnen Gruppen (Tabelle 16).

Tabelle 16: Körperzusammensetzung (g kg⁻¹ Originalsubstanz; MJ kg⁻¹ TS) von Regenbogenforellen die mit den jeweiligen Versuchsfuttermitteln ernährt wurden (FM – Fischmehlkontrolle, PPC Gruppen – Supplementierung von Kartoffelprotein durch Weizenkleber bei einem festgelegtem Gesamtaustausch des Fischmehls von 56% im Futtermittel). Die Ganzkörperzusammensetzung am Versuchsanfang auf Originalsubstanzbasis stellte sich wie folgt dar: Trockensubstanz 264 g kg⁻¹; Rohasche 24 g kg⁻¹; Rohprotein 163 g kg⁻¹; Rohfett 86 g kg⁻¹; Energie 27,1 MJ kg⁻¹. Mittelwerte (Mittelwert ± SD, n=3) mit gleichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (P<0,05).

Nährstoff	FM	W6	W9	W11	W14	W17	W19
Trockensubstanz	287 ± 9,1	294 ± 6,2	287 ± 15,2	286 ± 13,6	283 ± 2,3	291 ± 1,4	291 ± 5,4
Rohprotein	157 ± 6,9	159 ± 1,7	164 ± 1,4	154 ± 9,3	155 ± 1,6	158 ± 5,2	160 ± 6,9
Rohfett	103 ± 5,5	106 ± 9,0	96 ± 15,4	106 ± 12,0	102 ± 4,2	103 ± 3,4	103 ± 3,2
Rohasche	28 ± 4,6	29 ± 4,0	28 ± 2,3	26 ± 3,6	26 ± 3,3	30 ± 1,0	28 ± 1,4
Bruttoenergie	27,3 ± 0,7	27,3 ± 0,7	26,8 ± 0,9	27,6 ± 0,8	27,4 ± 0,5	27,1 ± 0,2	27,2 ± 0,1

Der Trockensubstanzgehalt (TS) aller Gruppe lag im Mittel bei 288 g kg⁻¹ und hatte den höchsten Wert in der Gruppe W6 (294 ± 6,2 g kg⁻¹). Keinerlei Effekt wurde auch bei den Rohproteingehalten aller Gruppen dokumentiert. Der höchste Rohproteingehalt wies die Gruppe W9 (164 ± 1,4 g kg⁻¹) auf, wohingegen die höchsten Rohfettgehalte in den Gruppen W6 (106 ± 9,0 g kg⁻¹) und W11 (106 ± 12,0 g kg⁻¹) ermittelt wurden. Darüber hinaus lag der Gehalt an Rohasche bei 27,9 g kg⁻¹ ohne das ein statistischer Einfluss zwischen den Gruppen ermittelt wurde. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch bei den Bruttoenergiegehalten dokumentiert. Dieser Parameter korreliert mit den verschiedenen Rohfettgehalten in der Ganzkörperzusammensetzung.

Blutparameter

Die gemessenen Blutparameter zeigten leichte Unterschiede zwischen den Gruppen, aber aufgrund der hohen individuellen Abweichungen innerhalb der Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 17). Der höchste Haematokritwert wurde in der Gruppe W17 (34,1 ± 4,4%) gemessen. Die anderen Gruppen zeigten nur geringe Unterschiede (30,2 – 34,1%). Gleiche Tendenzen wurden auch in den anderen Blutparametern beobachtet, sowohl im Plasmaprotein (33,14 – 37,24 mg ml⁻¹), als auch in den Plasmatriglyceriden (2,36 – 4,20 mg ml⁻¹) oder der Plasmaglukose (0,71 – 1,01 mg ml⁻¹).

Tabelle 17: Blutparameter (Haematokrit in %; Protein, Triglyceride, Glucose in mg ml⁻¹) von Regenbogenforellen die mit den verschiedenen Versuchsfuttermitteln gefüttert wurden (FM – Fischmehlkontrolle, PPC Gruppen – Supplementierung von Kartoffelprotein durch Weizenkleber bei einem festgelegtem Gesamtaustausch des Fischmehls von 56% im Futtermittel). Daten sind als Mittelwert ± Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (P<0,05).

Blutparameter	Versuchsfuttermittel						
	FM	W6	W9	W11	W14	W17	W19
Haematokrit	30,8 ± 2,6	33,1 ± 3,3	33,0 ± 4,6	30,2 ± 2,8	33,5 ± 5,5	34,1 ± 5,0	31,8 ± 4,4
Protein	35,95 ± 4,3	33,14 ± 3,3	34,27 ± 2,3	34,47 ± 2,9	33,19 ± 3,5	37,24 ± 4,4	36,66 ± 2,6
Triglyceride	2,36 ± 1,1	2,90 ± 1,2	3,21 ± 1,4	3,41 ± 0,9	4,20 ± 2,6	2,83 ± 1,0	3,19 ± 1,5
Glucose	1,00 ± 0,5	0,84 ± 0,2	0,76 ± 0,1	0,71 ± 0,0	1,01 ± 0,3	0,73 ± 0,1	0,78 ± 0,1

Diskussion - Schlussfolgerung

Die aktuelle Studie zeigte, dass es zu keinerlei signifikanten Leistungsunterschieden kommt, wenn verschiedene Kombinationen von PPC und WG als Fischmehlsubstitut (Austausch von 56% des Fischmehlproteins) in der Regenbogenforellenernährung zum Einsatz kommen. Vor allem, wenn man die Fischmehlkontrolle zum Vergleich heranzieht, gab es keinerlei Einbruch bei den Wachstumsleistungen der einzelnen Pflanzenproteinvarianten. Dies steht im positiven Gegensatz zu früheren Untersuchungen, vor allem wenn PPC als alleinige pflanzliche Proteinquelle verwendet wurde (Tusche et al., 2011 a, b). Dies und die Tatsachen, dass keinerlei Mortalität und eine gruppenübergreifende Verdopplung des Gewichtes dokumentiert wurde, lassen sich als erste Indikatoren für eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen und gute Lebensbedingungen für die Versuchstiere werten.

Obwohl PPC und WG bereits erfolgreich als Fischmehlsubstitut in Forellenfuttermitteln verwendet wurden (Rodehutschord et al., 2000; Storebakken et al., 2000; Refstie und Tiekstra, 2003; Tusche et al., 2011b), so wurde doch auch aufgezeigt, dass diese beide Futtereinsatzstoffe schlechte Ergebnisse erbrachten, wenn sie in sehr hohen Konzentrationen bis hin zum Totalaustausch verwendet wurden. Gründe dafür wurden im abnehmenden Geschmack und dem unzulänglichen Nährstoffangebot gefunden (Xie und Jokumsen, 1997b; Helland und Grisdale-Helland, 2006; Tusche et al., 2011a). Gerade der Anteil an Glykoalkaloiden, deren Metabolite u.a. antinutritive Substanzen aus den Nachtschattengewächsen in PPC-Futtermitteln verringern den Geschmack und damit die Futteraufnahme und Wachstum (Xie und Jokumsen, 1997a). Eine technische Reduktion dieser Pflanzenmetabolite ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$ PPC) führte zu einer gesteigerten Futteraufnahme und Wachstumsleistung, wenn bis zu 210 g kg^{-1} hochgereinigte PPC in Lachsfuttermitteln verwendet wurden (Refstie und Tiekstra, 2003). Auch höhere Einsatzmengen von bis zu 268 g kg^{-1} Futtermittel konnten ohne Einschränkungen des Ernährungszustandes und der Gesundheit von Regenbogenforellen verwendet werden (Tusche et al., 2011b). Bei darüber hinaus gesteigerten PPC-Mengen von mehr als 400 g kg^{-1} Futtermittel kam es jedoch wieder zu einem starken Abfall der Wachstumsleistungen (Tusche et al., 2011a). Der genaue Wirkmechanismus dieser sehr geringen Glykoalkaloidkonzentrationen und anderer pflanzenbürtiger Substanzen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung ist nicht abschließen geklärt. Dennoch zeigte sich doch deutlich, dass auch technisch stark bearbeitete Rohstoffe weiterhin hohe Variationen in ihrer Qualität aufzeigten und damit einen hohen, zum Teil unkalkulierbaren Einfluss auf die Wachstumsleistungen ausüben. Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung zeigte erneut auf, dass bis zu einer Einsatzmenge von 267 g kg^{-1}

hochgereinigtem PPC im Futtermittel (Austausch von 56% des Fischmehls) kein messbarer Einfluss auf die Futteraufnahme und Verwertung auftritt. Hierbei muss klar hervorgehoben werden, dass im Verlaufe der einzelnen Versuchsansätze eine stetige Verbesserung der Futtermittelherstellung (Pelletverarbeitung, Wasserstabilität, Futteraufnahme, Futtermittelverwertung, Wasser bzw. Abwasserqualität) realisiert werden konnte. Deshalb soll klar das gute Potential von Kartoffelproteinen als Fischmehlersatz in der organisch-biologischen Aquakultur hervorgehoben werden, auch wenn neben den biologischen Maximalvorgaben, vor allem der hohe Marktpreis des Rohstoffs eine exzessive Nutzung ausschließt – eher sogar auf eine weitgehende Reduktion auf ein Mindestmaß hindeutet.

Bei der Verwendung von Weizenkleber als Fischmehlersatz wurden keine direkten antinutritiven Substanzen identifiziert. Im Gegensatz zu PPC zeigten sich beim Weizenklebereinsatz dagegen anderweitige ernährungsphysiologische Probleme, vor allem wenn WG als alleiniges Fischmehlsubstitut verwendet wurde. Die AS-Zusammensetzung ist durch einen geringen Lysin-Gehalt gekennzeichnet, welcher nicht ausreicht, um den Bedarf von Forellen und auch anderen Arten zu decken (Helland und Grisdale-Helland, 2006). Diese verringerte Nährstoffdicht führte in der Vergangenheit dazu, dass dieser Rohstoff verwendet wurde, um den Lysinbedarf von Forellen und Steinbutt zu ermitteln (Pfeffer et al., 1992; Rodehutschord et al., 2000; Helland und Grisdale-Helland, 2006). Für organisch-biologische Futtermittel hat dies zur Folge, dass WG lediglich bis zu solchen Mengen eingesetzt werden kann, in denen noch keine Mangelzustände vorhanden sind. Ein zusätzlicher Einsatz von freiem L-Lysin wäre nicht gestattet. Der Lysin-Bedarf von Regenbogenforellen wurde mit $27,7 \text{ g kg}^{-1}$ TS Futtermittel bestimmt (Rodehutschord et al., 1997). Dieser Bedarf wurde in allen Futtermitteln bis zu einem WG Gehalt von 167 g kg^{-1} (W17) gewährleistet und lag in der Gruppe W19 leicht unterhalb dieser Grenze.

In der aktuellen Untersuchung wird mit einem Blick auf die Futteraufnahme und Wachstumsleistung der einzelnen Gruppen deutlich, dass die pflanzlichen Proteingemische keinerlei negativen Einfluss ausübten. In allen Gruppen (einschließlich der Kontrolle) lag die Futteraufnahme auf einem gleichen Niveau, was im Gegensatz zu den Vorgängeruntersuchungen steht (Tusche et al., 2011a, b). In diesem abschließenden Versuchsvorhaben zeigt die Fischmehl-Kontrollgruppe keine erhöhte Futteraufnahme ($1,97 \text{ \% BW d}^{-1}$). Außerdem waren die spezifische Wachstumsrate ($1,53 - 1,73 \text{ \% BW d}^{-1}$) und auch die Futtermittelverwertung ($1,16 - 1,32$) auf einem gleichen Niveau, ohne dass statistische Unterschiede feststellbar waren. Darüber hinaus zeigen die Daten der Proteinverwertung einen sehr guten Ernährungszustand aller Gruppen. Das PER aller Gruppen lag zwischen 2,05

und 1,75 und damit oberhalb der von Moyano et al. (1992) proklamierten Werte. Von deren Seite wurde dokumentiert, dass Futtermittel mit hohen pflanzlichen Proteinanteilen (Lupinensaat, Maiskleber, PPC) gute PER im Bereich 1,64 – 1,74 einzuordnen sind. Auch im Bereich des PPV lagen alle Fütterungsgruppen des aktuellen Versuchs auf einem sehr guten Niveau (27,18 – 31,89). Diese Daten verdeutlichen bzw. bestätigen die gute Nahrungsversorgung und den guten Ernährungszustand der Versuchstiere im Vergleich zu den vorhergehenden Untersuchungen mit hohen PPC Einsatzmengen. Tusche et al. (2011a) konnte lediglich stark reduzierte PER (0,72 – 1,14) und PPV (13,4 – 19,7) mit hochgereinigten PPC Futtermitteln erzielen. Auch die Futterraufnahme (1,32 – 1,45 % BW d⁻¹) und die Futtermittelverwertung (1,91 – 3,05) waren negativ beeinflusst. Damit lässt sich für die aktuellen Futtermischungen ein positives Urteil bilden. Auch im Hinblick auf die Verarbeitungseigenschaften lässt sich festhalten, dass höherer Weizenkleberanteil in den Mischungen zu härteren und stabileren Futterpellets führte. Dieser positive Nebeneffekt führt passiv zu einer besseren Wasserqualität durch reduzierte Auswaschungsprozesse und einer höheren Kotpartikelstabilität.

Mit Blick auf die Ganzkörperzusammensetzung der einzelnen Futtergruppen, gab es keine Anzeichen dafür, dass die Pflanzenprotein-basierten Futtermittel und damit ansteigende WG Gehalte einen Einfluss auf die Gehalte an Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfett, Rohasche und Bruttoenergie der Versuchstiere hatten. Wohingegen in vorangegangenen Untersuchungen ein gesteigerter Pflanzenproteinanteil in den Futtermitteln zu einer reduzierten Futterraufnahmen, damit Unterversorgung und einer unausgewogenen Körperzusammensetzung führte. Dabei sind vor allem reduzierte Gehalte an Rohfett und Rohprotein zu nennen (Xie und Jokumsen, 1997a, b; Glencross et al., 2006; Tusche et al., 2011a). Alle aktuellen Futtergruppen zeigen eine ausgewogene Körperzusammensetzung, die vergleichbar mit einer Forelle ist, welche mit einem Fischmehl-basierten Futtermittel gefüttert wurde (Tusche et al., 2011b).

Auch bei den Blutuntersuchungen zeigten sich keinerlei Auffälligkeiten zwischen den einzelnen Gruppen. In der statistischen Betrachtung lagen alle Futtermittel in ein und derselben Untergruppe, auch wenn hohe individuelle Abweichungen festgestellt wurden. Es konnte festgehalten werden, dass alle untersuchten Individuen einen guten haematologischen Ernährungszustand aufwiesen. Der optimale Haematokrit von ca. 30 % der Vollblutprobe (Wells und Weber, 1991) wurde in allen Futtergruppen festgestellt. Auch die gemessenen Plasmaproteine (33,14 – 37,24 mg ml⁻¹), Plasmatriglyceride (2,36 – 4,20 mg ml⁻¹) und Plasmaglukose (0,71 – 1,01 mg ml⁻¹) lagen in vergleichbaren Blutparameter-Bereichen von

gut ernährten Forellen (Congleton und Wagner, 2006). Daraus lässt sich ableiten, dass alle aktuell verwendeten Futtermittel in der Lage waren die artspezifischen Ernährungsanforderungen von Forellen zu realisieren, Wachstum zu gewährleisten und Mangelzustände zu verhindern, wie sie in vorangegangenen Untersuchungen festgestellt wurden (Tusche et al., 2011a).

Als abschließende Beurteilung lässt sich festhalten, dass alle verwendeten Kombinationen von Weizenkleber und konzentrierten Kartoffelproteinen in der Lage waren 56% des eingesetzten Fischmehls (auf der Proteinebene) in Futtermitteln für Regenbogenforellen problemlos zu ersetzen. Dabei wurde keinerlei negativer Einfluss auf die Futteraufnahme, Verwertung, Wachstum und die Tiergesundheit festgestellt. Darüber hinaus zeigte auch die Ganzkörperzusammensetzung und Blutparameteranalyse, dass alle angebotenen Futtermittel eine ausreichende Versorgung sicherstellen können. Beide verwendeten Rohstoffe können nicht nur aus zertifizierungs-rechtlicher Sicht, sondern auch aus ernährungsphysiologischer Sicht für den Einsatz in organisch-biologischen Fischfuttermitteln empfohlen werden. Die Einsatzmengen eines jeden Rohstoffs werden gerade bei Weizenkleber durch den ernährungsphysiologischen Bedarf der jeweiligen Art bestimmt und liegen nach aktuellen Erkenntnissen bei ca. 190 g kg⁻¹ Futtermittel. Bei höheren Konzentrationen treten beim Weizenkleber Mangelsituationen (v.a. Lysin) und beim Kartoffelprotein (>300 g kg⁻¹ Futtermittel) Geschmacksprobleme auf.

Die Kombination beider Rohstoffe nutzt die Vorteile des günstigen, jedoch zum Teil minderwertigen Weizenkleberproteins, welches durch lediglich geringe Mengen eines hochgereinigten Kartoffelproteinkonzentrates aufgewertet werden kann. Dadurch entsteht ein nachhaltiges und zertifizierungsfähiges Fischfuttermittel mit einem hohen nutritiven Wert und hoher Stabilität im Wasser.

6. Abschließende Zusammenfassung der Projektbearbeitung

Im ersten Versuch wurde aufgezeigt, dass der Einsatz von Kartoffelproteinen als Fischmehlersatz in der ökologischen Ernährung von Regenbogenforellen im höchsten Maße von der Qualität des Rohstoffs abhängig ist. Vor allem der Gehalt an Glykoalkaloiden und anderen möglichen antinutritiven Inhaltsstoffen spielt eine Rolle, was wiederum durch die Substitutionshöhe beeinflusst werden kann. Der Geschmack, die Verdauung und Verwertung

werden durch hohe Substitutionsraten stark (negativ) beeinflusst. Als Abschlussempfehlung für diesen ersten Versuch werden als maximale Proteinaustauschhöhe 50% mit einem LG-PPC angegeben, wobei das Futter weiterhin einen hohen nutritiven Wert aufweist. Gerade die Akzeptanz der Futterpartikel sollte in zukünftigen Forschungsvorhaben verbessert werden, um zu gewährleisten, dass Nährstoffe dieses neuen Einsatzstoffes in ausreichenden Mengen in den Organismus gelangen. Dies könnte über den Einsatz von Geschmackstoffen erfolgen.

Generell haben gereinigte Kartoffelproteine das Potential als alternative Proteinquelle in ökologischen Fischfuttermitteln verwendet zu werden. Es lässt sich nach den Vorgaben der EU Gesetzgebung verwenden und bietet aus ernährungsphysiologischer Sicht alle benötigten Aminosäuren, ohne das eine Supplementierung mit freien AS erfolgen müsste. Dennoch müssen weitere Erkenntnisse für eine bessere Verwendung und Ausnutzung in der Ernährung von Forellen gefunden werden.

Für den Einsatz von geschmacksverstärkenden Futtereinsatzstoffen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass alle Kartoffelproteingruppen eine reduzierte Futteraufnahme und Wachstum aufwiesen, wenn sie mit den Fischmehl-Futtergruppen verglichen werden. Weiterhin muss festgehalten werden, dass alle PPC Gruppen auch, oder gerade im Vergleich mit der GFM Gruppe ebenfalls geringere Wachstumsleistungen aufwies. Dies könnte zum einen darauf hindeuten, dass über die Glykoalkaloide hinaus weitere antinutritive Effekte von den PPC ausgehen, welche aber an dieser Stelle nicht erfasst wurden und zum anderen könnte die Wirkung von Solanin und Chaconin durch die hohe Attraktivität von Fischmehl kompensiert worden sein. Dennoch lag das PER in allen Fütterungsgruppen über 2, was auf eine gute Proteinverwertung hindeutet. Unterstützt wird diese Aussage durch die guten Futterquotienten zwischen 0,91 – 1,15. Die höchsten täglichen Fütterungsraten wurden in den Fischmehlgruppen (FM und GFM) ermittelt. Der Effekt von Fischmehl auf den Geschmack war deutlich intensiver als jeglicher verwendeter Geschmacksverstärker im Versuch. Unter diesen geschmacksverstärkenden Substanzen wies Blutmehl die höchsten Futteraufnahmen auf. Neben diesem Effekt zeigte sich zusätzlich ein positiver Einfluss auf die Bindeeigenschaften im Futterpartikel. Dies ist für die Zukunft ein weiterer wichtiger Punkt für den Einsatz von Kartoffelproteinen in biologisch-organischen Fischfuttermitteln. Neben der hohen biologischen Wertigkeit des Proteins, verhindert die Feinkörnigkeit des Rohstoffs PPC eine stabile Verarbeitung.

Als abschließende Beurteilung lässt sich festhalten, dass alle verwendeten Kombinationen von Weizenkleber und konzentrierten Kartoffelproteinen in der Lage waren 56% des eingesetzten Fischmehls (auf der Proteinebene) in Futtermitteln für Regenbogenforellen problemlos zu ersetzen. Dabei wurde keinerlei negativer Einfluss auf die Futtermittelaufnahme, Verwertung, Wachstum und die Tiergesundheit festgestellt. Darüber hinaus zeigte auch die Ganzkörperzusammensetzung und Blutparameteranalyse, dass alle angebotenen Futtermittel eine ausreichende Versorgung sicherstellen können. Beide verwendeten Rohstoffe können nicht nur aus zertifizierungs-rechtlicher Sicht, sondern auch aus ernährungsphysiologischer Sicht für den Einsatz in organisch-biologischen Fischfuttermitteln empfohlen werden. Die Einsatzmenge eines jeden Rohstoffs wird gerade beim Weizenkleber durch den ernährungsphysiologischen Bedarf einer jeweiligen Art bestimmt und liegt nach aktuellen Erkenntnissen bei ca. 190 g kg⁻¹ Futtermittel. Bei höheren Konzentrationen treten beim Weizenkleber Mangelsituationen (v.a. Lysin) und beim Kartoffelprotein (>300 g kg⁻¹ Futtermittel) Geschmacksprobleme auf.

Die Kombination beider Rohstoffe nutzt die Vorteile des günstigen jedoch zum Teil minderwertigen Weizenkleberproteins, welches durch lediglich geringe Mengen eines hochgereinigten Kartoffelproteinkonzentrates aufgewertet werden kann. Dadurch entsteht ein nachhaltiges und zertifizierungsfähiges Fischfuttermittel mit einem hohen nutritiven Wert und hoher Stabilität im Wasser.

7. Literatur

Alle im Abschlussbericht verwendeten Quellen können beim Autor erfragt werden.

8. Liste der Präsentationen und Veröffentlichungen

Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien. Vortrag im Rahmen der Vortragsveranstaltung Leuchtturmprojekte Schleswig-Holstein, Büsum, Juni 2009.

Anforderungen und Vorschriften zu ökologischen Futtermitteln in der Aquakultur: Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien. Vortrag beim Marine Aquaculture Systeme Treffen, Kiel, Februar 2010.

Nutzung von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien. Vortrag im Rahmen des Büsumer Fischtages, Büsum, Juni 2011.

Alternative protein sources in organic aquaculture: influence of potato protein concentrates in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on health and nutritional status. Fachtagung European aquaculture society, Rhodos, Oktober 2011.

Tusche, K., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2011a. Feeding fish according to organic aquaculture guidelines EC 710/2009: Influence of potato protein concentrates containing various glycoalkaloid levels on health status and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 319 (1-4), 122–131.

Tusche, K., Berends, K., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2011b. Evaluation of feed attractants in potato protein concentrate based diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 321 (1-4), 54–60.

Tusche, K., Arning, S., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2011c. Wheat gluten and potato protein concentrate - Promising protein sources for organic farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. Submitted.