

Aus dem Institut für  
Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Geschäftsführender Vorstand:

Univ.-Prof. Dr. H.-J. Gabius

Arbeit angefertigt unter der Leitung von

Prof. Dr. W. A. Rambeck

## **Alternative Fütterungsmethoden in der Mast von Regenbogenforellen**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von  
Simon Eimer  
aus Neuss

München 2006

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer

Referent: Prof. Dr. W. Rambeck

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. R. Hoffmann

Tag der Promotion: 10. Februar 2006

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>6</b>
<b>2. LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Bedeutung von Maca (Lepidium meyenii) in der Ernährung.....</b>	<b>8</b>
2.1.1 <i>Charakterisation von Maca (Lepidium meyenii).....</i>	<i>8</i>
2.1.2 <i>Wirkungen von Maca auf den tierischen Organismus .....</i>	<i>11</i>
2.1.3 <i>Wirkungen von Maca auf den menschlichen Organismus.....</i>	<i>14</i>
<b>2.2 Unterschiede zwischen Öko- und konventionellen Futtermitteln in der Forellenzucht.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Umweltbelastung durch Forellenfutter .....</b>	<b>17</b>
2.3.1 <i>Stickstoffverbindungen .....</i>	<i>18</i>
2.3.2 <i>Phosphate .....</i>	<i>19</i>
<b>2.4 Produktqualität von Fischen .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 <i>pH-Wert.....</i>	<i>20</i>
2.4.2 <i>Fleischfarbe und -helligkeit.....</i>	<i>21</i>
2.4.3 <i>Sensorik .....</i>	<i>24</i>
<b>3. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Fütterungsversuch mit Maca-Pulver bei Regenbogenforellenbrut.....</b>	<b>26</b>
3.1.1 <i>Versuchsaufbau .....</i>	<i>26</i>
3.1.2 <i>Versuchstiere .....</i>	<i>27</i>
3.1.3 <i>Versuchsfutter .....</i>	<i>27</i>
3.1.3.1 <i>Futterzusammensetzung .....</i>	<i>27</i>
3.1.3.2 <i>Fütterung .....</i>	<i>28</i>
3.1.4 <i>Untersuchung der Gewichtszunahme und Futtermittelverwertung.....</i>	<i>29</i>
3.1.5 <i>Bestimmung der Verluste .....</i>	<i>30</i>
<b>3.2 Fütterungsversuch zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz .....</b>	<b>30</b>
3.2.1 <i>Versuchsaufbau .....</i>	<i>30</i>
3.2.2 <i>Versuchstiere .....</i>	<i>31</i>
3.2.3 <i>Versuchsfutter .....</i>	<i>31</i>

3.2.3.1 Futterzusammensetzung .....	31
3.2.3.2 Fütterung .....	32
3.2.4 <i>Untersuchung der Gewichtszunahme und Futtermittelnutzung</i> .....	33
3.2.4.1 Bestimmung der Lebendgewichte .....	33
3.2.4.2 Bestimmung des Futtermittelverbrauchs und der Futtermittelnutzung .....	33
3.2.5 <i>Untersuchung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität</i> .....	33
3.2.5.1 Bestimmung der pH-Werte .....	34
3.2.5.2 Bestimmung von Fleischhelligkeit, Fleischfärbung und Leberfärbung	34
3.2.5.3 Sensorische Bewertung .....	35
3.2.5.4 Schlachtkörperqualität .....	36
<b>3.3 Bestimmung der Nährstoffzusammensetzung und der Trockensubstanz</b>	<b>37</b>
3.3.1 <i>Bestimmung der Rohstoffe</i> .....	37
3.3.2 <i>Bestimmung der Trockensubstanz</i> .....	38
<b>3.4 Statistische Methoden</b> .....	<b>39</b>
<b>4. ERGEBNISSE</b> .....	<b>40</b>
<b>4.1 Versuch1 (Maca-Pulver)</b> .....	<b>40</b>
4.1.1 <i>Gewichtsentwicklung und Futtermittelnutzung</i> .....	40
4.1.2 <i>Sterblichkeit</i> .....	43
<b>4.2 Versuch 2 (Ökofutter)</b> .....	<b>44</b>
4.2.1 <i>Gewichtsentwicklung und Futtermittelnutzung</i> .....	44
4.2.2 <i>Sterblichkeit</i> .....	46
4.2.3 <i>Umweltbelastung</i> .....	47
4.2.4 <i>Bestimmung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität</i> .....	48
4.2.3.1 pH-Wert-Verlauf .....	48
4.2.3.2 Leberfärbung, Fleischfärbung und Fleischhelligkeit .....	49
4.2.3.3 Sensorische Bewertung .....	51
4.2.3.4 Schlachtkörperqualität .....	52
<b>5. DISKUSSION</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1 Zum Versuchsaufbau und zur Versuchsdurchführung</b> .....	<b>54</b>
5.1.1 <i>Fütterungsversuch mit Maca-Pulver bei Regenbogenforellenbrut</i> .....	54
5.1.2 <i>Fütterungsversuch zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz</i> .....	56
<b>5.2 Einfluss von Maca</b> .....	<b>56</b>

5.2.1 Futtermittelverwertung .....	57
5.2.2 Gewichtsentwicklung.....	59
<b>5.3 Einfluss von Öko- und konventionellem Futtermittel .....</b>	<b>65</b>
5.3.1 Futtermittelverwertung und Gewichtsentwicklung .....	65
5.3.2 Sterblichkeit.....	67
5.3.3 Umweltbelastung.....	68
5.3.4 Fischqualität .....	70
5.3.3.1 pH-Wert .....	70
5.3.3.2 Fleischfarbe und –helligkeit.....	73
5.3.3.3 Sensorische Bewertung .....	74
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>77</b>
<b>6.1 Einsatz von Maca-Pulver (Lepidium meyenii) in Forellenbrutfutter zum Zweck der Leistungssteigerung .....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 Untersuchungen zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz .....</b>	<b>78</b>
<b>7. SUMMARY .....</b>	<b>79</b>
<b>7.1 Supplementation of maca meal (Lepidium meyenii) in diets of rainbow trout juveniles in purpose of growth and survival enhancement .....</b>	<b>79</b>
<b>7.2 Assay on optimization of ecologically produced diets for rainbow trouts in terms of water and environmental protection .....</b>	<b>80</b>
<b>8. LITERATURANGABEN.....</b>	<b>81</b>
<b>9. ANHANG.....</b>	<b>90</b>
<b>10. DANKSAGUNG .....</b>	<b>91</b>
<b>11. LEBENS LAUF .....</b>	<b>92</b>

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

In einer Landwirtschaft, in der die konkreten Wünsche des Verbrauchers hinsichtlich Aufzucht und Produktqualität immer mehr die Produktionsmethoden beeinflussen, liegt es nahe, neue Quellen für leistungsfördernde Futterzusätze zu erschließen. In der deutschen Teichwirtschaft stellt die Forelle mit jährlichen Produktionszahlen zwischen 22.000 und 25.000 Tonnen mit Abstand die am meisten produzierte Fischart dar, während in etwa die gleiche Menge zusätzlich importiert wird (Karl und Hilge, 2004; BMVL, 2002).

Daher war es interessant, Untersuchungsergebnissen (Lee et al., 2004) nachzugehen, die leistungsfördernde Eigenschaften der in Südamerika kultivierten Pflanze Maca (*Lepidium meyenii*) bei Brütlingen der Regenbogenforelle belegen. Maca ist eine in Peru regional angebaute Pflanze, die dem Menschen seit Jahrhunderten als Heil- und Nahrungsmittel bekannt ist und erst ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf ihre Zusammensetzung und Wirkungen hin wissenschaftlich untersucht wurde.

Steigernde Effekte von Maca auf Wachstum, Gesundheit und Sexualität sowie ein hoher ernährungswissenschaftlicher Wert wurden seitdem parallel bei Menschen und Tieren beschrieben (Zheng et al., 2000; Canales et al., 2000; Gonzales et al., 2001).

In der vorliegenden Arbeit sollte im ersten Versuch untersucht werden, ob der Zusatz von Maca in Brütlingsfutter für Regenbogenforellen im ersten Stadium der exogenen Futteraufnahme wachstumsfördernde Eigenschaften sowie bessere Futterverwertungen oder höhere Überlebensraten aufweist.

Zur Zeit werden in der deutschen Forellenzucht Ökofuttermittel eingesetzt, die den Ansprüchen der anerkannt ökologischen Produktionsweise, wie sie von den Richtlinien der Anbauverbände verlangt wird, nur bedingt genügen. Insbesondere die Umweltbelastungen durch Stickstoff- und Phosphor-Emissionen sind nicht zufriedenstellend, da sie laut früheren Untersuchungen (Karl et al., 2004; Wedekind, 2003) sogar höher liegen können als bei konventionellen Futtermitteln. Für diesen Umstand ist die Qualität der bisher verwendeten Fischmehle, die einen höheren

Anteil an Rohasche und einen niedrigeren Energiegehalt vorweisen, verantwortlich. Aufgrund der Ernährungsansprüche der Forelle als räuberischer Fisch ist ein Futtermittel ohne Zusatz von tierischem Protein praktisch undenkbar.

Da das Fischmehl für Ökofuttermittel hauptsächlich aus der Verarbeitung von Speisefischen stammt und dadurch einen höheren Anteil an Gräten aufweist, steigen Rohasche- und Phosphorgehalt, während die Verdaulichkeit sinkt. Eine mögliche Lösung für dieses Problem ist die Verwendung eines Ausgangsmaterials, das ein besseres Fleisch-Knochen-Verhältnis aufweist.

Deshalb basierte der zweite Versuch der vorliegenden Arbeit auf der Fragestellung, inwiefern Ökofuttermittel mit einem Fischmehlanteil aus Ganzfisch, wie z. B. aus der Binnenfischerei oder aus Beifängen, mit einem konventionellen Futtermittel hinsichtlich der Futtermittelverwertung und der Umweltbelastungen durch Stickstoff- und Phosphor-Emissionen konkurrieren können.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Bedeutung von Maca (*Lepidium meyenii*) in der Ernährung

#### 2.1.1 Charakterisation von Maca (*Lepidium meyenii*)

Die Pflanze *Lepidium meyenii*, die in ihrer südamerikanischen Heimat als Maca bekannt ist, findet man ausschließlich auf der Hochebene von Junín in Peru. Dort wächst sie in Höhen zwischen 3500 und 4500 m bei rauen klimatischen Verhältnissen, intensiver Sonneneinstrahlung, starkem Wind und Temperaturen um den Gefrierpunkt. Der Anbau anderer landwirtschaftlicher Pflanzen ist in dieser Region unmöglich.

Versuche, Maca in mitteleuropäischen Breiten zu kultivieren, scheiterten daran, daß die Pflanze in niedrigeren Lagen keine Wurzeln bildet. Dies ist ein Zeichen für ihre umfassende ökologische Anpassung an die Umgebung in den Anden.

#### Zur Geschichte von Maca

In archäologischen Ausgrabungsstätten fand man Beweise, nach denen Maca schon um 1600 vor Christus von den Ureinwohnern Perus als Nahrungsquelle und Tauschware genutzt wurde. Später in der Hochkultur der Inca sagte man der Pflanze heilende Fähigkeiten und Kraft, Ausdauer und Libido steigernde Wirkungen nach. Als die Spanier vor etwa 500 Jahren den südamerikanischen Kontinent zu erschließen begannen, bekamen ihre Lasten- und Reittiere in der Höhe der Anden zunehmend konditionelle Probleme und ihre Fertilität sank. Die Ureinwohner empfahlen den Spaniern daraufhin Maca als Heilmittel und der Zustand der Pferde verbesserte sich so sehr, daß die Spanier jährlich über 9 Tonnen an Maca-Wurzeln nur zur Fütterung der Tiere nach Spanien exportieren ließen. Dort benutzte man Maca auch für die menschliche Ernährung und schätzte die Verbesserung des Gedächtnisses, die Steigerung von Ausdauer und sexueller Aktivität und die Bekämpfung von Blutarmut und Depressionen.

Nach und nach geriet Maca in Europa in Vergessenheit. Zwar wurde die Pflanze im Laufe der botanischen Katalogisierung im Jahr 1843 von Gerhard Walpers als

*Lepidium meyenii* beschrieben, doch pflanzenkundliche Untersuchungen von Maca fanden erstmalig in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts statt.

### Botanische Beschreibung

Abb. 1: Schematische Darstellung von *Lepidium meyenii* (Quelle: [www.rain-tree.com](http://www.rain-tree.com))



Bei Maca handelt es sich um eine Pflanze aus der Familie der Kreuzblütler. Damit gehört sie in dieselbe Familie wie z. B. Rettich, Senf, Kohl, Rüben oder Raps. Ihre 12-20 cm langen Blätter wachsen kontinuierlich von einer zentralen Rosette, die vom flachen, fleischigen Stamm gebildet wird, strahlförmig am Boden nach außen und bilden dabei eine ungefähr kreisrunde Matte. Der Stamm wächst aus dem Wurzelhals (Hypocotyl), der mit den Wurzeln ein unterirdisch liegendes, birnenförmiges Gebilde formt, das einen Durchmesser zwischen 2 und 8 cm hat. Die gebrochenen weißen Blüten sind selbstbefruchtend und wachsen aus dem zentralen Strunk. Die eiförmigen Samen erreichen eine durchschnittliche Länge von 2 mm und sind bis zu 4 Jahre lebensfähig.

Es gibt 30 verschiedene Varianten von Maca (Toledo et al., 1998), die sich meist äußerlich in der Färbung der Wurzel unterscheiden. Knapp die Hälfte der geernteten Mengen gehört zu den gelben Maca. Außer dieser Art werden vornehmlich schwarze, rote und violette Wurzeln angepflanzt. Die Zusammensetzung der Nährstoffe zeigt allerdings keine großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Farbvarianten.

Den essbaren Teil stellt die aus den Wurzeln gebildete Knolle dar. Ihr Fleisch ist weiß und marmoriert. Für den Gebrauch werden in erster Linie kleine Wurzeln

genommen, da diese weniger faserig sind. Die großen Knollen verbleiben für die Gewinnung von Samen im Boden.

Die Pflanze wird immer nur einmal auf einem Acker angebaut, da der Boden nach der Ernte 5 bis 10 Jahre brach liegt bis er wieder für den Ackerbau verwendet werden kann.

### Durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung

Die prozentuale Zusammensetzung der Nährstoffe in Maca weist darauf hin, daß es sich hierbei um eine hochwertige Nahrungsquelle handelt.

Die Pflanze besteht zu 75 % der Trockenmasse aus Kohlenhydraten. In einem äußeren Mantel der Wurzel findet man in erster Linie verschiedene Zucker. Der Kernzylinder besteht vornehmlich aus Stärke.

Der Proteinanteil liegt zwischen 10 und 14 %. Neben vielen Polypeptiden ist Maca reich an fast allen essentiellen Aminosäuren, u. a. Histidin, Arginin, Phenylalanin, Tyrosin.

Der Anteil der Lipide beträgt 2 %. Maca beinhaltet eine beachtenswerte Menge an wichtigen Fettsäuren wie Linolein- (32,6 % der Fette), Palmitin- (23,8 % der Fette) oder Ölsäure (11,2 % der Fette).

Der Anteil der Fasern liegt bei 8,5 %.

Außerdem enthält Maca neben Spuren anderer Mineralien große Mengen an Kalzium (250 mg/100 g), Eisen (15 mg /100 g), Jod (520 mcg/100 g) und Kalium (2 g/100 g).

An Vitaminen enthält die Pflanze vornehmlich Vitamin C, B2, B6 und Niacin.

Maca ist zusätzlich reich an Sterolen (Sitosterol 45.5 %, Campesterol 27.3 %, Ergosterol 13.6 %, Brassicasterols 9.1 %, Ergostadienol 4.5 %) (Dini et al., 1994).

Es beinhaltet weiterhin als wichtige Bestandteile Glukosinolate (schweflige Kombinationen von Glykosiden) und biologisch aktive, aromatische Isothiocyanide (black mustard oils).

Tab. 1: Durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung von Maca (Quelle: www.rain-tree.com)

Bestandteile pro 10 g		Aminosäuren pro 10 g	
Kohlenhydrate	7,5 g	Alanin	63,1 mg
Proteine	1,0-1,4 g	Arginin*	99,4 mg
Lipide	220 mg	Asparaginsäure	91,7 mg
Fasern	850 mg	Glutaminsäure	156,5 mg
Asche	490 mg	Glycin	68,3 mg
Sterole	5-10 mg	Histidin*	41,9 mg
Vitamine pro 100 g		HO-Prolin	26,0 mg
B2	39 µg	Isoleucin*	47,4 mg
B6	114 µg	Leucin*	91,0 mg
C	28,6 mg	Lysin*	54,5 mg
Niacin	565 µg	Methionin*	28,0 mg
Mineralien pro 10 g		Phenylalanin*	55,3 mg
Kalzium	25 mg	Prolin	0,5 mg
Kupfer	0,6 mg	Sarcosin	0,7 mg
Eisen	1,5 mg	Serin	50,4 mg
Jod	52 µg	Threonin*	33,1 mg
Mangan	80 µg	Tryptophan*	4,9 mg
Kalium	205 mg	Tyrosin	30,6 mg
Sodium	1,9 mg	Valin*	79,3 mg
Zink	380 µg		

\* für Fische essentielle Aminosäuren

### 2.1.2 Wirkungen von Maca auf den tierischen Organismus

Die ersten Berichte über die Verwendung von Maca in der Fütterung von Tieren stammen aus der Zeit der Kolonialisierung Südamerikas durch die Spanier. Damals gaben die Ureinwohner den Spaniern den Hinweis, ihren Pferden Maca zu füttern, damit diese besser mit der Höhe in den Anden zurecht kämen. Es muss gewirkt

haben, denn die Spanier ließen daraufhin sogar ihre Tribute teilweise in Maca begleichen und exportierten Tonnen davon in ihr Heimatland.

Chacon (1961) fand bei der phytochemischen Erforschung von Maca heraus, daß es die Fruchtbarkeit von Ratten erhöht. Er entdeckte, daß sowohl mit Maca gefütterte Ratten als auch Tiere, die aus Maca isolierte Alkaloide bekommen, in gleicher Weise darauf reagieren. Weibliche Tiere zeigen eine vermehrte Reifung von Follikeln (Rea, 1994) und männliche eine Erhöhung der Spermatogenese und Steigerung der Motilität. Danach haben die Pflanze bzw. deren Alkaloide wahrscheinlich eine Wirkung auf die Hypothalamus-Hypophysen-Achse.

Seitdem wurden zahlreiche Studien über Effekte von Maca auf die sexuelle Aktivität bei Mäusen und Ratten veröffentlicht. Allerdings gibt es auch viele kritische Stimmen, die darauf hinweisen, daß die meisten Versuche von Vermarktungsfirmen finanziert wurden und so eine objektive Sichtweise der Ergebnisse zweifelhaft sei.

Es kann jedoch spekuliert werden, daß solche fruchtbarkeitsanregenden Eigenschaften durch den hohen Proteingehalt der Pflanze ermöglicht werden. Vor allem die Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Histidin, die als Bausteine für Peptidhormone wie Dopamin und Noradrenalin dienen, könnten hier eine Wirkung hervorrufen. Dopamin und Noradrenalin spielen eine große Rolle bei der sexuellen Erregung und der physischen Leistung während der Paarung.

Histidin ist außerdem essentiell für die Synthese von Histamin, welches im Corpus cavernosum einen wichtigen Part bei der Ejakulation übernimmt. Der Aminosäure Arginin, die ebenfalls in einer größeren Menge in Maca vorzufinden ist, wird, wie auch dem Histidin, eine vasodilatatorische Wirkung zugesprochen. Damit erleichtern diese Stoffe mit ihrer Anwesenheit im Sexualtrakt die Blutzufuhr und folglich sowohl die Erektion, als auch den Orgasmus.

Eine Studie von Zheng et al. (2000) bringt erstmals eine aphrodisierende Wirkung von Maca zum Vorschein. Diese belegt, daß über orale Verabreichung von *Lepidium meyenii* die Sexualfunktionen von Mäusen und Ratten verstärkt werden. Im Detail steigen die Anzahlen von kompletten Intromissionen und weiblichen Tieren, in denen Spermien nachgewiesen werden können. Zudem sinkt die Latenzzeit der Erektion bei männlichen Tieren mit erektilen Dysfunktionen, d.h. die durch einen elektrischen

Reiz ausgelöste Erektion vollzieht sich bei den Tieren schneller, die mit Maca gefüttert werden.

Bestätigt wird dieser Einfluss von Maca auf das Sexualverhalten von Ratten durch einen Versuch, der von Cicero et al. (2001) durchgeführt wurde. Dabei wurde die Aktivität von sexuell erfahrenen Tieren untersucht. Unabhängig von der Dosis verkürzen sich die Zeiten bis zum ersten Besteigen und bis zur ersten Intromission. Auch das interkopulatorische Intervall wird signifikant kleiner. Bei chronischer Gabe von Maca steigt zudem noch die lokomotorische Aktivität der Tiere.

Gonzales et al. (2001) fanden, daß *Lepidium meyenii* die Spermatogenese von Ratten verstärkt. Nach zweimaliger Gabe einer wässrigen Lösung der Wurzel an 14 aufeinanderfolgenden Tagen steigen die Gewichte von Hoden und Nebenhoden. Die Dauer und Frequenz der Schritte im mitotischen Teil der Samenproduktion steigen, während das Gewicht der Seminalbläschen gleich bleibt.

Ein ernährungswissenschaftlicher Wert von *Lepidium meyenii* ist laut Canales et al. (2000) besonders bei wärmebehandeltem Maca nachweisbar. In einem Versuch mit Albinomäusen entwickelte eine Kontrollgruppe ein besseres Wachstum als eine Gruppe, der rohes Maca-Pulver zugefüttert wurde. Eine dritte Versuchsgruppe, bei der gekochtes Maca verwendet wurde, zeigte die beste Wachstumskurve und wies zusätzlich höhere Serumwerte für Gesamtprotein und Albumin auf.

Nach Lee et al. (2004) steigt die Wachstumsrate bei Forellenbrütlingen durch den Zusatz von Maca zum Futter nach der achten Woche der Fütterung. Dabei verstärken höhere Prozentsätze von 10 bis 15 % den Effekt. Außerdem steigert der Zusatz von Maca die Überlebensrate der Brütlinge signifikant, wofür eine erhöhte Leukozytenzahl verantwortlich ist.

Lehtinen et al. (1999) beschreiben stimulierende Einflüsse von Sitosterol, einem in Maca enthaltenen Phytoöstrogen, auf die Ausschüttung von Wachstumshormon bei Seeforellen, die auch bei Regenbogenforellen und Goldfischen beobachtet wurden (Tremblay et al., 1998; MacLatchy et al., 1995).

### 2.1.3 Wirkungen von Maca auf den menschlichen Organismus

Das Meiste, was man bis heute über *Lepidium meyenii* und seine Einflüsse auf den Menschen in Erfahrung gebracht hat, stammt aus Überlieferungen und demnach in erster Linie aus dem Erfahrungsschatz von Menschen, die in der regional begrenzten Agrarkultur der Anden heimisch sind.

Neben dem hohen Gehalt an Aminosäuren stehen die in Maca enthaltenen Glukosinolate und Isothiocyanate im Verdacht, für die Einflüsse auf das Fortpflanzungssystem verantwortlich zu sein (Quiros et al., 1996; Dini et al., 1994). Vom p-Methoxybenzyl-Isothiocyanat wird angenommen, daß es aphrodisierende Wirkung besitzt (Johns, 1981).

Nach Kohlmunzer (1993) besitzen viele der Isothiocyanate bakteriostatische und/oder fungistatische Wirkungen, vereinzelt sogar sehr starke.

Bisher wurden sehr wenige klinische Studien über die Wirkung von *Lepidium meyenii* auf den menschlichen Organismus durchgeführt. Bei diesen stehen die Wirkungen auf die Sexualität im Mittelpunkt der Forschungen.

Nach Gonzales et al. (2001) bewirkt eine Behandlung von Männern mit Maca eine Erhöhung des Volumens der Seminalflüssigkeit, der Anzahl beweglicher Spermien und der Gesamtmotilität. Allerdings bleiben die Serumspiegel der Geschlechtshormone unverändert, so daß andere Mechanismen für die Effekte verantwortlich sein müssen.

Viele Humanmediziner berichten nach dem Einsatz von Maca in Tablettenform über positive Veränderungen bei Patienten mit altersbedingten Störungen der Sexualfunktionen.

Bei Männern soll es, abgesehen von der Steigerung der Samenqualität und –quantität, gegen Impotenz helfen.

Einige Ärzte ziehen Maca sogar den synthetischen Hormonen zur Regulierung des weiblichen Hormonhaushalts vor, nachdem sie damit bessere Resultate erzielt hatten. Im weiblichen Organismus bekämpft es menstruale Unregelmäßigkeiten und menopausale Probleme, wie Müdigkeit, Stimmungsschwankungen, Verringerung des Sexualtriebs und Osteoporose. Laut dem Dekan der humanmedizinischen Fakultät der National University of Federico Villareal in Lima, Dr. Jorge Aguila Calderon, liegt dem schützenden Effekt vor Osteoporose der hohe Gehalt an leicht absorbierbarem

Kalzium zugrunde, der zusätzlich noch durch Silizium und Magnesium unterstützt wird.

Maca soll auch antikarzinogen wirken. Die in der Pflanze enthaltenen Glukosinolate und Isothiocyanate blocken die Formation von endogenen und exogenen Karzinogenen. Dadurch wird Maca auch als eine Prophylaxe gegen Krebserkrankungen von Lunge, Leber, Dünndarm, Colon, Oesophagus und Blase angesehen.

Andere beschriebene Wirkungen, die *Lepidium meyenii* zugesprochen werden, sind Stimulation der Erythropoese und damit Bekämpfung von Anaemien, Stimulation des Immunsystems und Verbesserung des Gedächtnis (Leon, 1964). Belegte wissenschaftliche Forschung gibt es allerdings für diese Einflüsse noch nicht. Der Gehalt an Sterolen veranlasst Bodybuilder es als Alternative zu anabolen Steroiden zu benutzen.

### **2.2 Unterschiede zwischen Öko- und konventionellen Futtermitteln in der Forellenzucht**

Die Forelle ist nach Karl und Hilge (2004) mit Abstand das Hauptprodukt der deutschen Teichwirtschaft. Die Produktionszahlen der in Deutschland gezüchteten Forellen belaufen sich jährlich auf 22 – 25.000 Tonnen (BMVL, 2002), wobei in etwa die gleiche Menge zusätzlich importiert wird.

Die Produktion von Zuchtforellen findet fast ausschließlich in Erdteichen statt. Nur wenige Betriebe arbeiten mit Fließkanälen, Rinnenanlagen oder sonstigen Haltungsformen.

Im Gegensatz zu diesen schon lange existierenden, konventionellen Produktionsmethoden werden seit kurzem pro Jahr ca. 100 Tonnen ökologisch produzierter Forellen auf den Markt gebracht.

Die Nachfrage der Verbraucher nach ökologisch aufgezogenen Fischen stieg im Laufe der letzten Jahre im Zusammenhang mit diversen Diskussionen über die Herstellung von Lebensmitteln. Den ökologisch produzierten Lebensmitteln wird nachgesagt, daß sie von höherer Qualität, hoher Produktsicherheit und Umweltverträglichkeit seien (Bergleiter, 2001). Die Verbraucher legen laut Befragungen gerade auf solche Attribute wie Umweltfreundlichkeit, Gesundheit und

Qualität viel wert (Bruhn, 2001). Allerdings fehlen bisher vergleichende, wissenschaftliche Untersuchungen in Deutschland, die diese Verbraucheranforderungen an ökologisch produziertes Forellenfleisch belegen. Die Hersteller der Ökoforellen produzieren in Zuchtanlagen, die z. B. nach den Vorgaben des Naturlandverbandes für naturgemäßen Landbau e.V. für Forellen, Lachse und andere Salmoniden in Teichen und Netzgehegen zertifiziert sind (Naturland, 2002). Die Einhaltung dieser bestimmten Verfahrenstechniken während der Produktion und der Verarbeitung erlaubt den Betrieben, sich als „anerkannt ökologisch“ zu bezeichnen und das Logo des zertifizierenden Verbandes zu benutzen.

Wie bei allen ökologisch produzierten Futtermitteln werden besondere Anforderungen an deren Zusammensetzung gestellt. Die pflanzlichen Bestandteile müssen nach den Vorschriften von Ökoverbänden hergestellt worden sein. Die tierischen Komponenten unterliegen mehr oder weniger strengen Restriktionen. Fischmehl oder –öl darf nur aus der zertifizierten lokalen bzw. regionalen Fischerei stammen und aus Speisefischresten oder aus Beifang bestehen. Es dürfen keine Produkte aus der Gentechnik verwendet werden. Im Gegensatz zu synthetisch hergestellten Farbstoffen und Aminosäuren sind nur natürliche Farbstoffe zugelassen.

Die Haltbarkeit des Futters hängt davon ab, ob und in welchem Maß die Zertifizierer die Zugabe von Antioxidantien erlauben, wobei das Problem auftaucht, daß ungesättigte Fettsäuren leicht oxidieren.

Aufgrund der speziellen Anforderungen an Ökofutter ist dessen Herstellungsverfahren mit deutlich mehr Arbeitsaufwand verbunden. Für die wenigen Futtermittelhersteller, die die Produktion von ökologischem Forellenfutter neben den herkömmlichen Futtermitteln betreiben, bedeutet das bei jedem Produktionsgang eine Unterbrechung der Herstellung von konventionellen Futtermitteln, verbunden mit einer Reinigung der gesamten Produktionsstraße.

Der hohe Arbeitsaufwand und eine geringe Nachfrage führen dazu, daß die Preise für ökologisches Futter höher liegen als bei konventionell hergestelltem Futtermittel. Die Preise werden zusätzlich durch Transportkosten verteuert, da aufgrund der

geringen Anzahl von Ökofutterherstellern eine flächendeckende Belieferung sonst nicht zu bewerkstelligen ist (Karl und Hilge, 2004).

In zwei wissenschaftlich durchgeführten Fütterungsversuchen zur Differenzierung der Effekte von ökologisch produziertem und konventionell hergestelltem Forellenfutter waren diese jeweils überlegen. Karl und Hilge (2004) bestätigen die Forschungen von Wedekind (2003), daß Ökofutter im Vergleich zu den konventionellen Futtermitteln zu einer stärkeren Umweltbelastung und einem geringeren Wachstum bei schlechterer Futtermittelnutzung führt. Danach zeigen Ökofuttermittel im Vergleich ein schlechteres Verhältnis zwischen Protein und Energie, das sich in niedrigeren Rohfettgehalten widerspiegelt. Die stärkere Belastung der Umwelt wird in Form einer höheren Stickstoff- und Phosphorausscheidung deutlich, die durch einen hohen Anteil an Rohasche aus minderwertigem Fischmehl verursacht wird. Bei Ökofutter mit ähnlichem Stickstoffexkretionsmuster wie bei konventionellem Futter steigt die Umweltbelastung durch den erhöhten Futterbedarf, da bei schlechterer Futtermittelnutzung für das gleiche Wachstum die Futtermittelnutzung heraufgesetzt werden muss.

### **2.3 Umweltbelastung durch Forellenfutter**

Nach einer Veröffentlichung des Bundesministeriums für Umweltschutz (2003) sind Futtermittel der mit Abstand wichtigste Faktor in der Fischhaltung mit Auswirkungen auf die Umwelt. Im Vergleich zu Belastungen aus anderen Bereichen, wie Industrie, Kommunen und Verkehr, sind die aus der Fischhaltungen stammenden Stoffeinträge jedoch gering. Dabei geht man davon aus, daß schon aus Kostengründen der Produzent immer bemüht ist, einen möglichst hohen Anteil des Futters unmittelbar für den Fischzuwachs zu verwerten. Einflüsse von Futtermitteln auf das Produktionswasser und das Ablaufwasser bleiben deshalb relativ gering. Indirekte Futtereinflüsse sind entweder Exkrete, die aus dem Stoffwechsel der Fische entstehen, oder aus der Fütterung stammende Reststoffe. Besonders wichtig ist dabei die Qualität der Haltungs- und Fütterungsbedingungen sowie des Futters. Durch fachgerechte Fütterung (z.B. mit Futtermittelautomaten) können Futtermittelverluste fast vollständig vermieden werden. Allerdings kann man die physiologische Ausscheidung von Stoffwechselprodukten nicht beeinflussen. Dafür weisen moderne

Futtermittel eine hohe Verdaulichkeit und Umweltfreundlichkeit auf, so daß möglichst wenig Ausscheidungsprodukte das Abflusswasser belasten.

Die Wahl des Futtermittels hat einen entscheidenden Einfluss auf die Belastung des Ablaufwassers. Qualitativ hochwertige Alleinfuttermittel besitzen, wie bereits erwähnt, eine hohe Verdaulichkeit. Dadurch kann die von den Fischen nicht verwertete Menge an Nährstoffen deutlich reduziert und das Futter dementsprechend genau an die Nahrungsgewohnheiten und Bedürfnisse des Tieres angepasst werden. Der Einsatz von energiereichen Futtermitteln stellt dagegen hohe Anforderungen an die Wasserqualität und den Gesundheitszustand der Fische.

### *2.3.1 Stickstoffverbindungen*

Der im Wasser in Form von Nitraten vorhandene Stickstoff ist ein Schadstoff, da er die Eutrophierung der Gewässer fördert und die menschliche Gesundheit beeinträchtigen kann. Es gibt Grenzwerte für die zulässige Konzentration an Nitraten im Trinkwasser. In der Richtlinie 98/83/EG zur Qualität von Trinkwasser sind als obligatorischer Grenzwert 50 mg/l festgelegt, was der Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation entspricht. Die Belastung der Umwelt mit Stickstoffverbindungen wird nur zu einem sehr geringen Teil durch die Fischwirtschaft verursacht.

Der beim Abbau von Aminosäuren entstandene und von Fischen ausgeschiedene Stickstoff ist zu 75-90 % in Ammoniak und 5-15 % in Harnstoff (Schäperclaus und v. Lukowicz, 1998) enthalten. Nach Kaushik (1980) besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Rohproteinaufnahme und der Ausscheidung von Stickstoffverbindungen. Bei einer proteinfreien Ernährung liegt die Stickstoffexkretion bei 100-140 mg/kg (Ogino et al., 1980).

Aus den Ausscheidungsprodukten der Fische entsteht durch Nitrifikation der Bakteriengattung *Nitromonas* Nitrat. Die Belastung des Wassers durch Nitrate ist generell eines der Hauptprobleme im Zusammenhang mit den landwirtschaftlichen Tätigkeiten. Die Nitrate können denitrifiziert werden, wobei Nitrat als Sauerstoffquelle dient und elementarer Luftstickstoff das Wasser verlässt. Andererseits kann aus Nitrat durch Nitratammonifikation unter Mitwirkung des Fäulnisbakteriums *Vibrio desulfuricans* Ammonium entstehen. Dieses bildet bei hohem pH-Wert

undissoziiertes Ammoniak, welches bei Forellen schon in geringen Dosen tödlich wirkt (Schreckenbach et al., 1975).

Nitrate und Ammonium sind die am häufigsten in Gewässern vorhandenen Stickstoffverbindungen, wobei die Nitrate allein über 80 % des Gesamtstickstoffs ausmachen.

### *2.3.2 Phosphate*

Phosphor ist als Nährstoff notwendig für das Pflanzenwachstum, ist aber auch eine Hauptursache für Eutrophierung und damit für die Verschlechterung der Wasserqualität. Schon sehr geringe Phosphorkonzentrationen (einige zehn µg/l) können bereits beträchtliche Schäden verursachen. Auch hier sind die Einträge aus der Fischereiwirtschaft im Gegensatz zu anderen Quellen sehr gering.

Der Bedarf von Fischen an Phosphor wird mit 6 - 7 g/kg Futter gedeckt (Cho et al., 1991; Satoh, 1991; Schwarz, 1995). Allerdings reichen in Hinblick auf die Minimalisierung von Gewässerbelastungen auch geringere Mengen von 4 – 5 g/kg Futter aus (Pfeffer, 1993).

Phosphor wird in der Form löslicher Phosphate und als Gesamtphosphor erfasst. Er entwickelt sich rasch zu schwer löslichen Formen wie z.B. Apatiten. Ein beträchtlicher Teil des Phosphors wird von den Schwebepartikeln und -stoffen absorbiert, so daß der Boden die Rolle eines Phosphorspeichers übernimmt und die Auswirkungen von übermäßigen Eintragungen begrenzt.

Phosphor wird durch die Landwirtschaft in Form von Abwässern aus der Tierhaltung und von Mineraldüngern (Calcium- und Ammonphosphate) eingebracht. Die Verwendung von Phosphor in der Landwirtschaft im Zusammenhang mit der Düngung trägt in erster Linie zur Verschmutzung der Oberflächengewässer bei. Trotzdem ist in Europa die Hauptphosphorquelle nicht die Landwirtschaft, sondern das Siedlungs- und Industrieabwasser.

## 2.4 Produktqualität von Fischen

### 2.4.1 pH-Wert

Wie auch bei der Schlachtung anderer Tiere spielen die biochemischen Veränderungen in der Muskulatur post mortem eine große Rolle für die Fleischqualität und die Haltbarkeit des Fisches. Laut Paul und Palme (1972) haben die Größe und der körperlichen Zustand der Fische, das Futter, die Wassertemperatur, der Stress und die Lagerung post mortem Einfluss auf diese Veränderungen.

Der pH-Wert gibt dabei Einsicht in die Konzentrationsveränderungen von Adenosintriphosphat (ATP) und Glykogen. Post mortem sind diese beiden Stoffe laut Trautner und Bramstedt (1963) von besonderer Bedeutung für die Qualität und Haltbarkeit des Fischfleisches.

Nach dem Tod des Fisches findet in der Muskulatur eine Dephosphorylierung von ATP zu Adenosindiphosphat (ADP) statt. Im weiteren Verlauf wird ein Teil davon durch weitere Dephosphorylierung und Desaminierung zu Iminomonophosphat (IMP) abgebaut. Ein anderer Teil wird durch den anaeroben Abbau des im Muskel vorhandenen Glykogens wieder zu ATP synthetisiert. Der ATP-Gehalt sinkt stetig, bis das ADP vollständig zu IMP abgebaut worden ist und dadurch nicht mehr für die Resynthese von ATP zur Verfügung steht. Die Resynthese hört auch dann auf, wenn das Muskelglykogen vollständig in Milchsäure umgewandelt worden ist.

Folglich kommt es nach dem Tod des Fisches zu Konzentrationsanstiegen von IMP und Milchsäure während ATP- und Glykogengehalt sinken. Als Endresultat gehen die Muskeln des Fisches in die Totenstarre (Rigor mortis) über.

In der Muskulatur eines lebenden Tieres hat das ATP laut Kreuzig (1997) eine sogenannte „Weichmacherfunktion“, d. h. daß es für das Ablösen des Myosins vom Aktin und damit für die Beweglichkeit des Muskels verantwortlich ist. Im toten Tier kann die Verbindung zwischen den beiden Muskeleiweißen Myosin und Aktin aufgrund des Fehlens von ATP nicht mehr gelöst werden. Durch diesen als

Aktomyosin bezeichneten Komplex wird die Beweglichkeit des Muskels eingeschränkt.

Daraus resultiert, daß eine hohe Ausgangskonzentration von ATP eine längere Dauer bis zur Aktomyosinbildung bewirkt und damit die Totenstarre erst später auftritt als bei einer niedrigen ATP-Konzentration. Außerdem ermöglicht viel Glykogen im Muskel die Bildung von einer großen Menge Milchsäure, die dann durch eine stärkere Säuerung die Vermehrung von Bakterien hemmt. Dies wird durch einen niedrigen pH-Wert ausgedrückt und führt zu einer längeren Haltbarkeit des Fleisches (Trautner und Bramstedt, 1963).

Nazir und Magar (1962) fanden heraus, daß der direkt nach der Schlachtung gemessene pH-Wert bei Fischen normalerweise deutlich im alkalischen Bereich liegt. Im Gegensatz dazu ist der pH-Wert bei Säugetieren direkt nach Eintreten des Todes niedriger. Tomlinson et al. (1965) stellten fest, daß es bei niedrigen pH-Werten unter 6 beim Heilbutt zu einer verminderten Löslichkeit des myofibrillären und sarkoplasmatischen Proteins kommt. Dadurch erscheint das Fleisch weißlich-transparent. Wegen des kreide-ähnlichen Aussehens wird diese Erscheinung als „Chalkiness“ bezeichnet. Dabei kommt es auch zu einer erhöhten Wasserbindungsfähigkeit des Fleisches, die bei der Zubereitung große Kochverluste zur Folge hat und die Genusstauglichkeit stark herabsetzt.

Wenn der pH-Wert post mortem zu schnell abfällt, wird das Bindegewebe, das die Muskelfasern in regelmäßigen Abständen teilt, aufgeweicht. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn Fische nach einer Hungerperiode sehr viel Futter aufgenommen haben. Als Folge klafft das Fleisch bei der Zubereitung an diesen Stellen auseinander, was als „Gaping“ bezeichnet wird. Dabei sind sehr wässriges und weiches Fleisch die wertmindernden Ergebnisse (Love, 1979; Lavety, 1984).

### *2.4.2 Fleischfarbe und -helligkeit*

Das Aussehen von Fischerzeugnissen ist neben Geschmack, Geruch und Textur einer der Bewertungsparameter bei der sensorischen Untersuchung. Bei dieser übernehmen die Testpersonen die Rolle des Verbrauchers. Deshalb sind Farbe und

Helligkeit des Fleisches nach Schubring (1998) wichtige Qualitätsmerkmale bei der sensorischen Beurteilung.

Die Messung von Fleischfarbe und -helligkeit mittels Chromameter gewinnt in den Qualitätskontrollen der Lebensmittelindustrie laut Parkes (1994) zunehmend an Bedeutung. Wichtige Parameter wie z. B. die Frische des Fleisches können damit untersucht werden.

Fleischfarbe und -helligkeit werden von der Farbstoffmenge, der Struktur und der Lichtdurchlässigkeit des Fleisches beeinflusst.

Bei einer rötlichen Färbung handelt es sich nach Love (1975) um Einlagerungen von Häm-Pigmenten, die je nach Intensität mehr oder weniger im Fleisch vorhanden sind. Partmann (1960) fand heraus, daß die am häufigsten vorkommenden Häm-Pigmente Myoglobin, Cytochrom C und Cytochromoxidase sind.

Hauptsächlich werden Fleischfarbe und -helligkeit durch die Fütterung, bzw. die im Futter enthaltenen Farbstoffe geprägt. Der Ausblutungsgrad spielt laut Huss (1988) keine Rolle bei der Färbung von Fischfleisch.

Besonders die Salmoniden (Lachsartige), zu denen auch die Regenbogenforelle gehört, haben die Eigenschaft, Farbstoffe in ihre Muskulatur einzulagern.

Bei der rötlichen Färbung von Forellenfleisch handelt es sich um sichtbare Konzentrationen von sauerstoffhaltigen, roten  $\beta$ -Carotinoiden. Neben Echinenon sind nach Hoppe (1972) hauptsächlich Kanthaxanthin und Asthaxanthin im Fischmuskel vorhanden. Choubert und Luquet (1983) fanden heraus, daß diese Farbstoffe vor allem über die Aufnahme von Zooplankton und kleinen Crustaceen in den Fischmuskel gelangen.

Asthaxanthin wurde nach dem Bachflohkrebs *Astacus gammarus* benannt, der die Hauptnahrungsquelle von wildlebenden Forellen bildet. In industriell hergestellten Futtermitteln wird meist das Xanthophyll Kanthaxanthin für die gewünschte Rotfärbung von Forellenfilet verwendet, da es billiger ist. Laut Steffens (1999) sind im Endprodukt 80 mg/kg Kanthaxanthin und 100 mg/kg Asthaxanthin zugelassen.

Besonders auffällig ist die Rotfärbung bei den Lachsforellen, bei denen die Intensität der Farbe von der Konzentration der Farbstoffe im Futter und der Fütterungsdauer abhängig ist (Reiter, 1999).

Im Gegensatz zur erwünschten Rotfärbung kann es auch zu Fehlfärbungen kommen. Dabei steht vor allem die unerwünschte Gelbfleischigkeit im Vordergrund, die durch gelbe Carotinoide hervorgerufen wird. Diese stammen nach Deufel (1975) meistens von höheren Pflanzen und Algen, die von den Fischen aufgenommen werden.

Hoppe (1972) fand heraus, daß die Gelbfleischigkeit der Forellen nicht durch Erkrankungen der Leber hervorgerufen wird. Sie wird von den bei der Nahrungsaufnahme eingenommenen gelben Carotinoiden verursacht. Besonders das in Grünpflanzen vorkommende Lutein (Dihydroxy-Carotin) spielt dabei eine Rolle. Es gibt mehrere Möglichkeiten wie große Mengen an Lutein in die Muskulatur und das Fettgewebe des Fisches gelangen.

Ein wichtiger Grund für die Aufnahme des sogenannten Blattcarotinoids Lutein ist sicherlich das angeborene Fressverhalten der Forelle. Im Gegensatz zu anderen Fischen, wie z.B. dem Karpfen, der seine Nahrung vor der Aufnahme erst auf ihre Tauglichkeit hin prüft, schnappt die Forelle nach allem, was ihrer natürlichen Beute ähnlich sieht. Dadurch kommt es dazu, daß sie auch Blüten, kleine Zweige oder Blätter unkontrolliert frisst.

Man beobachtet die Gelbfleischigkeit häufig, wenn Forellen zusammen mit Karpfen gehalten werden. Das Karpfenfutter, das dann ebenfalls von den Forellen aufgenommen wird, enthält hohe Konzentrationen an Lutein. Außerdem besitzen einige Crustaceen, die in Naturteichen als Fischnährtiere vorkommen, im Gegensatz zu anderen Krebstier-Arten einen hohen Gehalt an Lutein in ihrem chitinösen Exoskelett (Goodwin, 1971). Grünalgen, die v.a. in den Sommermonaten wachsen, enthalten ebenfalls große Mengen an Lutein und werden häufig von den Fischen aufgenommen. Nach Savolainen und Gyllenberg (1970) kann eine weitere Ursache für die Gelbfleischigkeit die Fähigkeit der Forellen sein, Lutein aus den Carotinoiden der Futterhefen Torularhodin und Torulin zu synthetisieren.

Früher kam es durch die Verwendung von industriell hergestellten, carotinoidhaltigen Futtermehlen aus Pflanzen, wie z.B. Luzernen oder Gras, zum Auftreten von Gelbfleischigkeit. Diese Mehle wurden häufig zur Herstellung von Futtermitteln benutzt, um die Versorgung der Fische mit fettlöslichen Vitaminen ( $\beta$ -Carotin, Vitamin A und Vitamin K) sicher zu stellen. Laut Deufel (1975) und Hoppe (1972) werden u.a. auch Geflügelfleischmehl, Paprika, Sojaöl und Sojalezithin in Alleinfuttermitteln für Fische verwendet. Diese Komponenten besitzen ebenfalls hohe Konzentrationen an Lutein.

### 2.4.3 Sensorik

Die Sensorik ist die Wissenschaft vom Einsatz menschlicher Sinnesorgane zu Mess- und Prüfzwecken. Für die Beurteilung des sensorischen Wertes von Lebensmitteln ist der Mensch mit seinen Sinnesorganen das wichtigste Instrument.

Die sensorische Untersuchung ist innerhalb der Lebensmitteluntersuchung eine analytische Methode, die als eigenständige Untersuchungsrichtung zu sehen ist. Sie entspricht in ihrer Bedeutung anderen analytischen Untersuchungsmethoden und ist in ihrer Wertstellung gleichbedeutend.

In der Regel werden alle Lebensmittelproben einer sensorischen Untersuchung unterzogen, deren Art und Umfang sich u. a. aus dem Untersuchungsauftrag und der Beschaffenheit des Probenmaterials ergibt.

Die Ziele einer sensorischen Untersuchung enthalten die Erfassung von Produkteigenschaften mit den Sinnen, die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die Beurteilung von Waren. Die Voraussetzungen dafür sind definierte Bedingungen, geeignete Methoden und Prüfer (Fliedner et al., 1993).

Wenn die sensorische Prüfung einen analytischen Aussagewert besitzen soll und demnach nach entsprechenden Vorgaben geprüft wird, müssen die Prüfer in den 5 Sinneseindrücken olfaktorisch, gustatorisch, haptisch, optisch und akustisch ausgebildet sein und zusätzlich noch über Prüfungserfahrung und fundierte Kenntnisse im Lebensmittelrecht verfügen.

Bei einer hedonischen (Beliebtheits-) Prüfung können dagegen auch Laien als Prüfer herangezogen werden. Bei dieser Art der sensorischen Untersuchung wird die Akzeptanz des Prüfers gegenüber der Probe ermittelt, wobei die subjektive Einstellung erfragt wird.

Generell werden sensorische Prüfverfahren nach deren Problemstellung eingeteilt. Bei Unterschiedsprüfungen werden Differenzen zwischen den Proben ermittelt. Die bewertende Prüfung umfasst Untersuchung und Bewertung von Proben hinsichtlich einzelner Merkmale. Und bei der beschreibenden Prüfung geht es um die Erzielung einer genauen, wertneutralen, verbalen oder graphischen Aufgliederung der Merkmale von Proben.

Das am häufigsten verwendete Prüfverfahren basiert auf der "einfach beschreibenden Prüfung", welche als DIN-Norm herausgegeben und in die Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 des LMBG aufgenommen wurde. Diese Prüfung umfasst grundsätzlich eine Beschreibung der äußeren Beschaffenheit zur späteren Identifizierung und eine Beschreibung des Geruchs. Bei nahezu allen Proben erfolgt außerdem eine Beschreibung des Geschmacks.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in der Regel ausschlaggebend dafür, ob sich eine weitergehende sensorische Untersuchung anschließen muss, deren Art und Umfang sich aus der Beschaffenheit des Probenmaterials und der Fragestellung ergibt.

### **3. Material und Methoden**

Die experimentellen Grundlagen der vorliegenden Dissertation bilden zwei Fütterungsversuche. Der Erste behandelt den Einsatz von Maca-Pulver (*Lepidium meyenii*) in Forellenbrutfutter zum Zweck der Leistungssteigerung. Der Zweite umfasst Untersuchungen zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz. Dabei wurden neben den leistungsbezogenen Eigenschaften auch die Umweltbelastungen durch Phosphate und Stickstoffverbindungen analysiert.

#### **3.1 Fütterungsversuch mit Maca-Pulver bei Regenbogenforellenbrut**

##### *3.1.1 Versuchsaufbau*

Die vom Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellten Fische wurden in 12 Gruppen zu je 4000 Tieren separiert. Es wurden 4 Futtermittelvarianten (FM1, FM2, FM3, FM4) eingesetzt, so daß von den 12 Gruppen jeweils 3 dasselbe Futter erhielten. Die Gruppen wurden in 2 Durchflußrinnen zu je 6 Unterstromkästen hintereinander gehalten.

In regelmäßigen Abständen wurden die Gruppen auf deren Gewichtsentwicklungen, Futtermittelverwertungen und Verlustraten untersucht.

Die Versuchsdauer war auf 12 Wochen angesetzt. Nach 6 Wochen wurde die Fischzahl pro Unterstromkasten auf 500 reduziert und nur noch 2 Futtermittelvarianten (FM1, FM2) gefüttert. Fische, deren Futter vorher Maca beinhaltet hatte, bekamen dann Futter ohne Maca-Pulver und umgekehrt, um eventuelle Effekte zu verifizieren.

Im Abstand von 2 Wochen wurde das Gesamtgewicht jeder Gruppe ermittelt und die Berechnung der neuen Futtermittelrationen durchgeführt.

Aufgrund einer Kiemeninfektion in Woche 6 und der damit verbundenen hohen Verlustraten in den Folgewochen, wurde die 1. Versuchsreihe 4 Tage vor dem geplanten Ende abgebrochen und den Tieren so eine Ruhephase mit reduzierter Futtermittelration für diese Zeit ermöglicht. Wegen der schlechteren Startbedingungen für

die 2. Versuchsreihe wurde diese um 2 Wochen verlängert, so daß der Gesamtversuch, statt über 12 Wochen, über 14 Wochen durchgeführt wurde. Die Kästen wurden täglich auf Verluste kontrolliert und diese anschließend gezählt und gewogen.

Alle 2 Tage wurden die Rinnen und Kästen von Kot und Futterrückständen manuell gereinigt.

Temperatur, Sauerstoffsättigung und pH-Wert des Wassers wurden kontinuierlich überwacht.

Die Lichtperiode pro Tag wurde mit Leuchtstoffröhren per Zeitschaltuhr von 7.30 h bis 18.30 h festgelegt.

Die Reihenfolge der Unterstromkästen wurde in Abständen von 2 Wochen so verändert, daß alle Gruppen in etwa mit den gleichen Bedingungen konfrontiert wurden.

### *3.1.2 Versuchstiere*

Der Fütterungsversuch wurde an Regenbogenforellenbrütlingen (*Onchorhynchus mykiss* Walbaum) durchgeführt. Das durchschnittliche Anfangsgewicht betrug 0,15 g. Bis 4 Tage vor Beginn des Versuches wurden die Fische in Durchflussrinnen gehalten. Von den 12 Gruppen wurden drei zu je 4000 abgezählt und das durchschnittliche Gruppengewicht von 560 g ermittelt. Die restlichen 9 Gruppen wurden nach diesem Gewicht zusammengestellt. Anschließend wurden alle Gruppen in die Versuchsbecken gesetzt.

### *3.1.3 Versuchsfutter*

#### *3.1.3.1 Futterzusammensetzung*

Es wurden 4 verschiedenen Futtermittelvarianten (FM1, FM2, FM3, FM4) gefüttert. Die Varianten FM1 und FM2 enthielten als Grundmischung Brutfutter der Marke „BioMar®“, wobei FM1 als Kontrollgruppe mit Weizenquellmehl versetzt war und FM2 als Versuchsgruppe Maca-Pulver beinhaltete. Die Grundmasse für die Varianten FM3 und FM4 bildete eine Futtermischung der Firma "Gründleinsmühle". In FM3 befand sich zusätzlich Weizenquellmehl und in FM4 Maca-Pulver.

Das verwendete Maca-Pulver stammte von dem kommerziellen Anbieter „Geovis GmbH“ aus Fulda.

Die Futtermischung und Pelletierung erfolgte in der Mischanlage des Instituts für Tierernährung der LMU. Da der Pelletdurchmesser von 3 mm anfangs zu groß war, wurde das Futter manuell zerkleinert. Mit Sieben der Größe 0,8 mm und 0,5 mm wurde die Fraktion mit einer durchschnittlichen Dicke von 0,6 mm separiert und als Futter verwendet.

Tab. 2: Futtermittelnvarianten der Gruppen FM1 bis FM4

	FM1	FM2	FM3	FM4
Grundfutter	BioMar®	BioMar®	Gründleinsmühle	Gründleinsmühle
Zusatz	Weizenquellmehl	Maca-Pulver	Weizenquellmehl	Maca-Pulver

Zusatz entspricht jeweils 10 % der Trockenmasse

In Tabelle 3 ist beispielsweise die Nährstoffzusammensetzung der Grundfuttermischung von „BioMar®“ aufgelistet.

Tab. 3: Nährstoffzusammensetzung (% TS) von „BioMar®“ (lt. Hersteller)

Rohprotein (XP)	Rohfett (XL)	Rohasch (XA)	Rohfaser (XF)
50	16	10	1

Zusätzlich enthält die Mischung noch 1,4 % Phosphor, 9000 IE Vitamin A, 3 mg/kg Kupfersulfat und 250 mg/kg Vitamin E.

### 3.1.3.2 Fütterung

Die Fische wurden vor dem Versuchsanfang 4 Tage lang mit langsam steigenden Futtermitteln von Hand angefütert.

Das Futter wurde vor jedem Fütterungsvorgang für jede Gruppe abgewogen und mehrmals über den Tag verteilt von Hand gefüttert.

Am Tag vor einer Wiegung wurde eine Nüchternung durchgeführt. Nach jeder Wiegung wurden die neuen Futtermitteln für die nächsten 2 Wochen berechnet.

Diese 2 Wochen wurden in 4 Fütterungsperioden zu 2 x 3 Tagen und 2 x 4 Tagen unterteilt, in denen die Futterrationen stetig erhöht wurden.

### *3.1.4 Untersuchung der Gewichtszunahme und Futterverwertung*

#### 3.1.4.1 Bestimmung der Lebendgewichte

Im Abstand von 2 Wochen wurden alle Gruppen vor der Fütterung gewogen. Am Tag zuvor wurde nicht gefüttert, da bei der Verdauung ausscheidungspflichtiges Ammoniak als Stoffwechselprodukt entsteht, das die Stressempfindlichkeit der Tiere steigert. Die Fische wurden mit einem Kescher in ein großes Teesieb überführt und mit der Hand überschüssiges Wasser abgestrichen. Die Brütlinge wurden dann in eine mit Wasser gefüllte und zuvor austarierte Plastikwanne gesetzt. Für die Gewichtsbestimmung stand eine digitale Waage zur Verfügung.

#### 3.1.4.2 Bestimmung des Futterverbrauchs und der Futterverwertung

Die Berechnung der Futtermengen basierte jeweils bei Beginn eines Fütterungsintervalls auf dem Anfangsgewicht der Gruppen und dem geschätzten Futterbedarf von 4% des Lebendgewichts:

$$\text{Anfangsgewicht pro Becken} \times 4 / 100$$

Die Berechnungen der Futterration bezogen sich jeweils auf die nächsten 2 Wochen und wurden nach jeder Wiegung neu kalkuliert. Dabei wurden die zu verfütternden Rationen nach einem Rhythmus von 3 bzw. 4 Tagen nach folgender Rechnung erhöht:

$$(\text{Anfangsgewicht je Becken (g)} + \text{Futterverbrauch bisher (g)} \times \text{Tage} / \text{geschätzter FQ}) \\ \times 4 / 100$$

Ab der 3. Woche nach Versuchsbeginn wurden die Anzahl der Verluste und deren Gewicht in die Berechnungen einbezogen.

Die Futterverwertung wurde ebenfalls alle 2 Wochen überprüft, indem der Futterquotient bestimmt wurde. Dieser gibt an, wie viel Futter ein Tier aufnehmen muss, um eine Zunahme von einem Gramm Körpergewicht zu erreichen. Er errechnet sich aus der Differenz zwischen Anfangs- und Endgewicht (Zuwachs) sowie dem Futterverbrauch:

$$FQ = \text{Futterverbrauch (g)} / \text{Zuwachs (g)}$$

### *3.1.5 Bestimmung der Verluste*

Jeden Tag wurden die Becken vor Beginn der Fütterung auf verendete Fische kontrolliert. Die Anzahl der Verluste wurde ebenso wie das Gesamtgewicht anschließend dokumentiert.

## **3.2 Fütterungsversuch zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz**

### *3.2.1 Versuchsaufbau*

Aus einem Anfangsbestand wurden 1800 Fische mittels eines Sortiergitters separiert. Diese wurden in 9 Gruppen zu je 200 Tieren unterteilt, wobei darauf geachtet wurde, daß die Gruppen dasselbe Anfangsgewicht hatten. Die Gruppen wurden in Rundstrombecken mit einem Volumen von jeweils 2,5 m<sup>3</sup> untergebracht. Es wurden 3 Futtermittelvarianten eingesetzt (Ökosalm Ex, Rainbow 22 Green und F-2P Select). Jeweils 3 Gruppen bekamen dasselbe Futter. Die Versuchsdauer betrug 8 Wochen. Am ersten Tag wurde eine Ausgangsschlachtung (S0) von 20 Fischen, die aus dem Anfangsbestand stammten, durchgeführt. Dabei wurden die Werte für pH, Fleisch-, Leberfärbung, Korpulenzfaktor, Ausschlachtung und Filetausbeute (mit Haut) direkt ermittelt und Filets, Innereien und Knochenanteile für analytische und sensorische Untersuchungen vakuumiert tiefgefroren. Nach 4 Wochen wurden die Gruppen einzeln zwischengewogen und anschließend die Futterrationen berechnet. Am

letzten Tag des Versuchs nach 8 Wochen wurden 6 Fische aus jedem Becken geschlachtet (S8) und wie bei der Ausgangsschlachtung behandelt.

Die Becken wurden täglich auf Verluste kontrolliert. Tote Fische wurden entfernt, gewogen und in einer wöchentlichen Korrektur der Futterrationen berücksichtigt.

Die Kotgruben dieser Becken wurden jeden Tag gereinigt, indem das Wasser abgelassen wurde.

Der Wasserzulauf betrug 0,5 Liter pro Sekunde und die Temperatur lag gleichmäßig bei 9-10 °C.

Die Versorgung mit Sauerstoff erfolgte kontinuierlich über eine Druckbelüftung mit einem porösen Ausströmern, um einen konstanten Wert von 8-10 mg Sauerstoff zu erreichen.

Über den Becken waren mechanisch funktionierende Bandfutterautomaten positioniert. Diese befanden sich auf einem Gitter, das zum Schutz der Fische vor Raubtieren diente.

### *3.2.2 Versuchstiere*

Der Versuch wurde an einsömmrigen Regenbogenforellen durchgeführt. Das durchschnittliche Anfangsgewicht betrug 144,1 g . Die Fische stammten aus dem Bestand des Instituts für Fischerei in Starnberg und wurden vorher in einem Erdteich gehalten. Aus diesem wurden 1800 Fische entnommen, nach Größe und Gewicht in die 9 Gruppen eingeteilt und in die Versuchsbecken gesetzt.

### *3.2.3 Versuchsfutter*

#### *3.2.3.1 Futterzusammensetzung*

Es wurden 3 verschiedene Futtermittelvarianten gefüttert. Die erste Variante war Bio-Heringsmehlfutter "Ökosalm-Ex" in Form von 4 mm großem Extrudat von dem Futtermischbetrieb „Gründleinsmühle“. Es war zusammengesetzt aus Fischmehl, Bioweizennachmehl, Fischöl, Bioweizenmehl und einer Zusatzvormischung.

Das zweite Futtermittel war das Bio-Futter "Rainbow 22 Green" von der Firma „Skretting®“ und stammte aus Irland. Es war 4,5 mm großes Extrudat. Die

Zusammensetzung beinhaltete Fischmehl, Bio-Sojabohnen, Bioweizen, Fischöl, Mineralien und Vitamine.

Beim dritten Futtermittel handelte es sich um das konventionelle Forellenfutter "F-2P Select" als 4 mm großes Extrudat von der Firma „Skretting®" und stammte aus Frankreich. Es bestand aus Fischmehl, Fischöl, Weizen, Sojaextraktionsschrot, Weizenkleber, Maiskleberfutter, Weizengriesskleie, Rapsöl, Vitaminen und Mineralien.

Tab. 4: Futterinhaltsstoffe lt. Herstellerangaben

	Ökosalm-Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
Rohprotein (%TS)	48,00	47,00	44,00
Rohfett (%TS)	18,00	22,00	22,00
Rohasche (%TS)	9,80	10,00	9,00
Rohfaser (%TS)	0,90	1,00	1,10
Phosphor (%TS)	1,50	1,50	1,30
Vit. A (IE)	30.000	12.000	10.000
Vit. D3 (IE)	3.000	1.500	1.500
Vit. E (mg)	300	270	150
Kupfer (mg)	9	-	3,5

### 3.2.3.2 Fütterung

Das Futter wurde an jedem Morgen vor dem Fütterungsvorgang für jede Gruppe abgewogen. Anschließend wurden die Bandfutterautomaten auf ihre Funktionalität überprüft und mit den jeweiligen Futterrationen bestückt. Damit war sichergestellt, daß die Fische über den ganzen Tag verteilt gleichmäßig gefüttert wurden.

Bei Verlusten wurde deren Gewicht pro Becken ermittelt und wöchentlich mit den Futterrationen für das jeweilige Becken verrechnet.

Vor den Wiegungen in der Mitte und am Ende des Versuchs wurden die Fische für einen Tag genüchert.

### 3.2.4 Untersuchung der Gewichtszunahme und Futterverwertung

#### 3.2.4.1 Bestimmung der Lebendgewichte

Nach 4 Wochen und am Ende des Versuchs nach 8 Wochen wurden die Gruppen einzeln gewogen. Am vorherigen Tag bekamen die Fische kein Futter. Für die Wiegunen wurden die Gruppen mit Hilfe eines Einhängenetzes aus den Becken gefischt und in eine austarierte Wanne überführt.

#### 3.2.4.2 Bestimmung des Futterverbrauchs und der Futterverwertung

Die Berechnung der Futtermengen beruhte bei Versuchsbeginn auf dem Durchschnittsgewicht der Fische, der Anzahl pro Gruppe und dem geschätzten Futterbedarf von 1,1 % des Lebendgewichts:

$$\text{Durchschnittsgewicht pro Fisch} \times \text{Anzahl pro Becken} \times 1,1 / 100$$

Nach der ersten Woche wurde die Futtermenge folgendermaßen bestimmt:

$$(\text{verbrauchte Futtermenge bisher} / \text{geschätzter FQ} + \text{Durchschnittsgewicht pro Fisch} \\ \times \text{Anzahl pro Becken}) \times 1,1 / 100$$

In der zweiten Hälfte des Versuches wurden die Futterprozentage auf 1,0 gesenkt. Nach jeder Woche wurden Gewicht und Anzahl der Verluste in die Rationsberechnungen pro Gruppe einbezogen, um auf diese Weise den Futterbedarf aller Gruppen aneinander anzugleichen.

Die Futterquotienten und damit die Futterverwertung wurden bei Zwischen- und Endwiegun bestimmt.

### 3.2.5 Untersuchung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität

Die hierfür notwendigen Schlachtungen (S0, S8) erfolgten zu Beginn und am Ende des Versuches nach 8 Wochen. Die Fische wurden mit einem Schlag auf den Kopf getötet und anschließend vermessen und gewogen. Die Bauchhöhle wurde mit

einem Schnitt vom Kiemendeckel bis zur Urogenitalöffnung geöffnet und die Innereien entnommen. Dann wurden die Fische filetiert und die Filets, die Innereien und der Restkörper einzeln gewogen.

Folgende Qualitätsmerkmale wurden untersucht:

- Physikalische Parameter: pH-Wert, Fleischhelligkeit, Fleischfärbung, Leberfärbung
- Chemische Parameter: Nährstoffanalyse nach Weender
- Sensorische Bewertung

### 3.2.5.1 Bestimmung der pH-Werte

Der pH-Wert veranschaulicht die biochemischen Veränderungen in der Muskulatur post mortem. Nach anfänglich hohem pH-Wert sinkt dieser in der Regel durch anaerobe Umwandlungsprozesse von Glykogen zu Milchsäure. Je nachdem wie diese Säuerung verläuft werden Haltbarkeit und sensorische Eigenschaften beeinflusst. Dadurch kann man Rückschlüsse auf die Qualität des Fleisches ziehen.

Die Messungen wurden mit dem pH-Meter "TA 197-pH" mit Meßelektrode "SenTix Sp" und dem Temperaturfühler "TFK 150-E" durchgeführt. Die Messpunkte befanden sich jeweils dorsal am cranialen und caudalen Rand des linken Fischfilets sowie unterhalb der Rückenflosse.

Der Verlauf des pH-Wertes wurde direkt nach der Tötung, 3 Stunden und 24 Stunden post mortem gemessen und dokumentiert.

### 3.2.5.2 Bestimmung von Fleischhelligkeit, Fleischfärbung und Leberfärbung

Die Qualität des Fleisches wird auch über das äußere Erscheinungsbild, wie es der Verbraucher aufnimmt, definiert. Abweichungen von normalen Werten in puncto Helligkeit oder Farbe beeinflussen das Kaufverhalten in negativem Sinne. Solche Veränderungen sind meistens die Folge von im Futter enthaltenen Substanzen. Die Messung von Helligkeit und Färbung der Leber dient der Feststellung von Fetteinlagerungen, um die Fettbelastung der Leber zu illustrieren, die mit dem Fettgehalt des Futters korreliert.

Bei diesen Untersuchungen wurde der Chromameter „CR 300“ der Firma „Minolta“ verwendet. Grundlage der Messungen ist ein von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE; Commission Internationale de l'Eclairage) im Jahre 1976 entwickeltes System zur Farbmessung, das die menschliche Wahrnehmung imitiert. Es wird L\*a\*b-Farbraum genannt.

Der L-Wert bezeichnet die Helligkeit des Fleisches. Je höher er ist, desto heller ist das Fleisch. Umgekehrt ist das Fleisch dunkler, wenn der Wert niedrig ist.

Der a-Wert gibt das Farbintervall zwischen Grün und Rot an. Ein negativer Wert deutet auf eine Grünfärbung und ein positiver Wert auf eine Rotfärbung des Fleisches hin. Je mehr sich die Werte gegen Null bewegen, desto weniger ist die jeweilige Farbintensität ausgeprägt.

Der b-Wert spiegelt den Farbbereich zwischen Blau und Gelb wieder. Ein negativer Wert dokumentiert eine Blaufärbung und ein positiver weist auf eine Gelbfärbung hin. Je niedriger oder höher ein b-Wert ist, desto intensiver ist die farbliche Ausprägung von Blau oder Gelb.

### 3.2.5.3 Sensorische Bewertung

Als Prüfverfahren für die sensorische Untersuchung wurden für die verschiedenen Parameter Bewertungsskalen gewählt, die auf der DIN- Norm 10952 "Bewertende Prüfung mit Skale" beruhen. Es handelt sich dabei um eine subjektive Qualitätsbeurteilung.

Die Forellenfilets wurden bei 100°C in 6 Minuten gedünstet und anschließend sofort den Testern auf vorgewärmten Tellern serviert. In 6 Durchgängen bekamen 5 Tester jeweils 3 verschiedene Fische vorgesetzt. Jeder Prüfer bekam immer den gleichen Teil des Filets. Zur Spülung der Geschmackspapillen standen Mineralwasser und ungesalzene Weißbrot zur Verfügung.

Bei der Bewertung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Geruch
- Geschmack
- Festigkeit
- Saftigkeit
- Farbe

Ein Bewertungsbogen für die sensorische Prüfung der Forellen befindet sich im Anhang.

#### 3.2.5.4 Schlachtkörperqualität

Der Korpulenzfaktor (k) errechnet sich aus dem Gewicht des Fisches (W, in g) und dessen Körperlänge (L, in cm) nach der Fultonschen Formel:

$$k = \frac{W}{L^3} \times 100$$

Jeder Fische wurde für die Bestimmung des Korpulenzfaktors nach seiner Schlachtung gewogen und gemessen. Anschließend wurden die Werte in die Formel eingesetzt.

Die Ausschlachtung bezeichnet den Anteil des Schlachtkörpers (in %), der für den menschlichen Genuss geeignet ist, d. h. den Schlachtkörper ohne Innereien.

Nach der Entnahme der Bauchhöhlenorgane wurde jeder Fisch erneut gewogen und das ermittelte Gewicht ins Verhältnis zum Gewicht des gesamten Schlachtkörpers gestellt.

Um die Filetausbeute zu bestimmen, wurden jedem Fisch die Filets inklusive der darüber liegenden Haut entfernt und gewogen. Danach wurde der gemessene Wert ins Verhältnis zum Gewicht des gesamten Schlachtkörpers gestellt.

### 3.3 Bestimmung der Nährstoffzusammensetzung und der Trockensubstanz

Die Bestimmung der Rohnährstoffe wurde mithilfe der Weender-Analyse, beschrieben von Naumann und Bassler (1988), durchgeführt.

Die Trockensubstanzbestimmung erfolgte anhand von frisch homogenisiertem Fischfilet.

#### 3.3.1 Bestimmung der Rohnährstoffe

##### Rohasche (XA)

Zunächst wurden 2 g Futter- bzw. Fischprobe in einen vorgewogenen Porzellantiegel gegeben. Anschließend wurde die Probe bei 550 °C für 24 Stunden im Muffelofen verascht. Nach Abkühlung im Exsikkator wurde der verbleibende Rest zurückgewogen.

$$XA = \frac{\text{Gewicht der Rückwaage (g)} - \text{Tiegelgewicht (g)}}{\text{Tiegelgewicht mit Probe (g)} - \text{Tiegelgewicht (g)}} \times 100 \text{ (\% d. TS)}$$

##### Rohprotein (XP)

Bei dieser Bestimmung wurde das Verfahren nach Kjeldahl angewendet. Dazu wurden je 0,5-0,75 g der Proben mit 10 ml konzentrierter Schwefelsäure und jeweils zwei Kjeldahl-Tabletten aufgeschlossen. Anschließend wurde die Mischung mit destilliertem Wasser auf 75 ml aufgefüllt. Die Stickstoffbestimmung wurde im AutoAnalyzer®II von Braun und Luebbe durchgeführt. Dabei wurde die Extinktionszunahme der gebildeten Ammonium-Salicylat-Komplexe bei 660 nm gemessen. Da der Stickstoffgehalt der meisten Eiweißkörper 16-17 % beträgt, wurde dieser mit 6,25 (100 : 16) multipliziert, um den prozentualen Anteil an Rohprotein zu erhalten.

$$XP = \frac{\text{Peakhöhe}}{\text{Einwaage}} \times 6,25 \times 75$$

### Rohfett (XL)

Zuerst wurden 5 g Probe mit 150 ml Salzsäure 4 N hydrolysiert. Dann wurde sie mit einem Faltenfilter (Schleicher & Schüll 595,5) filtriert und mit 800 ml heißem Wasser gespült, so daß sie keine Säure mehr enthielt. Der Probenrückstand wurde samt Filter für 6 Stunden im Trockenschrank bei einer Temperatur von 105 °C getrocknet. Die Extraktion des Fettes wurde dann in einem Soxhlet-Apparat (FSEU/1/6, Isopad, Siegen, Germany) mit 150 ml Petroleumbenzin durchgeführt.

$$XL = \frac{\text{Rückwaage (g)} - \text{Gewicht des Analysenglases (g)}}{\text{Einwaage (g)}} \times 100 (\% \text{ d. TS})$$

### Rohfaser (XF)

Vom Probenmaterial wurde 1 g in einem Glasfiltertiegel eingewogen. Die Probe wurde zunächst 30 Minuten mit 0,5 molarer Salzsäure und anschließend 30 Minuten mit 0,23 molarer Kalilauge in einem Fibertec®-Heiß-Extraktor gekocht. Zwischen diesen beiden Vorgängen und danach wurde sie mit heißem Wasser gereinigt und mit Azeton gespült. Die Probe wurde getrocknet und gewogen.

Am Ende wurde sie nach der Veraschung im Muffelofen bei 500 °C über eine Stunde erneut gewogen.

$$XF = \text{Trockengewicht des Filterguts (g)} - \text{Aschewert (g)}$$

### 3.3.2 Bestimmung der Trockensubstanz

Es wurden 5 g homogenisierten Fischfleisches bzw. Futters in einer Glaspetrischale eingewogen. Vorher war die Glaspetrischale bei 105 °C im Trockenschrank für 2 Stunden aufbewahrt und anschließend deren Leergewicht erfaßt worden. Die Probe

wurde dann für wenigstens 24 Stunden im Trockenschrank getrocknet. Nach dem Abkühlen im Exsikkator wurde sie zurückgewogen. Die Gewichts­differenz entspricht dem Rohwasser­gehalt (XW) der Probe.

$$XW = \frac{\text{Einwaage (g)} - \text{Rückwaage (g)} - \text{Leergewicht (g)}}{\text{Einwaage (g)}} \times 100 \text{ (\% d. FS)}$$

$$\text{Trockensubstanz (TS)} = 100 - XW \text{ (\% d. FS)}$$

### 3.4 Statistische Methoden

- Student-Newman-Keuls-Test (Keuls, 1952) zur Überprüfung der Variabilität
- PC-Version des Statistical Analysis System SAS (Release 6.04, SAS-Institute inc., Cary; North Carolina, USA) zur statistischen Auswertung des Datenmaterials

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Versuch1 (Maca-Pulver)

#### 4.1.1 Gewichtsentwicklung und Futtermittelverwertung

An 12 Gruppen zu je 4000 Regenbogenforellenbrütlings wurde 6 Wochen lang ein Fütterungsversuch durchgeführt. Dabei erhielten 2 Kontrollgruppen (FM1, FM3) in jeweils 3 Becken Futter ohne Zusatz von Maca-Pulver. Diese Kontrollgruppen unterschieden sich dadurch voneinander, daß die Grundmischungen des Futters, wie schon im Kapitel "Material und Methoden" beschrieben ist, unterschiedlich waren. Die übrigen 6 Gruppen wurden mit maca-haltigem Futter gefüttert. Von diesen 6 Gruppen bekam die eine Hälfte FM2 und die andere Hälfte FM4.

Nach den 6 Wochen wurde die Anzahl der Fische pro Becken auf 500 Tiere reduziert und der Versuch über 8 weitere Wochen fortgeführt. Hierbei wurde das Futter auf 2 Varianten begrenzt (FM1, FM2).

Alle 2 Wochen wurde eine Wiegung vorgenommen, um mit dem Gruppengewicht und der Anzahl der Fische das durchschnittliche Fischgewicht zu errechnen. Das Durchschnittsgewicht pro Fisch lag bei Beginn des Versuchs bei 0,15 g und nach 6 Wochen bei 0,5 g.

Tab. 5: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 0 bis 6

Woche	Gruppe (Durchschnittsgewicht g/Fisch)			
	FM1	FM2	FM3	FM4
0	0,15	0,15	0,15	0,15
2	0,26	0,25	0,26	0,25
4	0,43	0,41	0,45	0,39
6	0,52	0,49	0,53	0,47

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

FM3: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Weizenquellmehl

FM4: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Maca

Man erkennt sowohl an den End- als auch an den Zwischengewichten ab der 2. Versuchswoche, daß die Gruppen FM1 und FM3 ein höheres durchschnittliches Gewicht pro Fisch haben als die Gruppen FM2 und FM4. Laut den statistischen Auswertungen ist nur der Unterschied zwischen FM4 und den übrigen Futtermitteln signifikant niedriger.

Für die 2. Versuchsreihe wurde die Anzahl der Fische pro Becken auf 500 reduziert. Den Gruppen, die in den ersten 6 Versuchswochen Futter mit Maca-Pulver bekommen hatten, wurde jetzt die Variante mit Weizenquellmehl verabreicht. Umgekehrt wurde den Gruppen mit Weizenquellmehl als Futterzusatz im ersten Versuchsteil nun Futter mit Maca-Pulver angeboten.

Tab. 6: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 8 bis 14

Woche	Gruppe (Durchschnittsgewicht g/Fisch)	
	FM1	FM2
8	0,83	0,77
10	1,42	1,37
12	2,39	2,28
14	3,44	3,37

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

Die Gruppen starten mit einem signifikant unterschiedlichen Anfangsgewicht. Es zeigt sich, daß die Gruppe FM1 bei den Zwischenmessungen und beim Endgewicht eine höheres Durchschnittsgewicht hat. Die Unterschiede sind aber zu gering, um als signifikant eingestuft zu werden.

Die Futtermittelverwertung wird durch den Futterquotient repräsentiert. Dieser drückt aus, wie viel Gramm Futter ein Fisch aufnehmen muss, damit er einen Massezuwachs von einem Gramm erzielt. Er errechnet sich aus dem Quotient der Differenz zwischen Anfangs- und Endgewicht (Zuwachs) und dem Futterverbrauch.

Tab. 7: Futterverwertung in der 1. Versuchsreihe (Wochen 1 bis 6)

Woche	Zuwachs (g)				Futterverbrauch (g)				Futterverwertung (FQ)			
	FM1	FM2	FM3	FM4	FM1	FM2	FM3	FM4	FM1	FM2	FM3	FM4
2	1372	1331	1441	1289	1287	1287	1287	1287	0,94	0,97	0,89	1,00
4	1956	1835	2238	1718	2128	2102	2185	2078	1,09	1,15	0,98	1,21
6	951	946	744	727	1998	1936	2143	1872	2,10	2,05	2,88	2,57
Gesamt	4279	4112	4423	3734	5413	5325	5615	5237	1,38	1,39	1,58	1,59

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

FM3: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Weizenquellmehl

FM4: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Maca

Am Ende der 1. Versuchsreihe verschlechtert sich der Futterquotient erheblich, nachdem er in den ersten 2 bzw. 4 Wochen bei FM1 und FM3 mit 0,94 bzw. 1,09 und 0,89 bzw. 0,98 niedriger war als bei FM2 und FM4 mit 0,97 bzw. 1,15 und 1,00 bzw. 1,21. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen sind zwar nicht signifikant, aber der Futterquotient der Gruppen, die mit maca-haltigem Futter versorgt wurden, ist signifikant schlechter als der FQ der Gruppen ohne Macazusatz im Futter.

Tab. 8: Futterverwertung in der 2. Versuchsreihe (Wochen 8 bis 14)

Woche	Zuwachs (g)		Futterverbrauch (g)		Futterverwertung (FQ)	
	FM1	FM2	FM1	FM2	FM1	FM2
(8)	(764,5)	(553,2)	(1037,2)	(1057,1)	(1,38)	(2,37)
10	1481,1	1429,8	1572,5	1340,8	1,08	0,95
12	2290,1	2015,3	2495	2278,4	1,11	1,12
14	2264,6	2149,6	3968,6	3604,7	1,81	1,66
Gesamt	6800,3	6147,9	9073,3	8281	1,33 (1,35)	1,24 (1,52)

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

Während der 2. Versuchsreihe startete die Gruppe FM1 deutlich besser als FM2. Der um 211,3 g niedrigere Zuwachs trotz ähnlicher Futtermenge wirkt sich natürlich auf den FQ dieser Gruppe aus, der mit 2,37 sehr hoch liegt.

In den Folgewochen passt sich das Niveau der beiden Gruppen deutlich an. Die Gruppe FM2 zeigt sogar in den Wochen 10 und 14 eine bessere Futtermittelverwertung. Klammert man die Ergebnisse der 8. Woche (Tab. 8) aufgrund der Kiemenentzündung aus, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in der Futtermittelverwertung.

#### 4.1.2 Sterblichkeit

Die Versuchsgruppen wurden während der gesamten 14 Wochen täglich auf Verluste hin kontrolliert. Diese wurden gezählt und gewogen. Während der 6. Woche wurden stark erhöhte Verlustzahlen beobachtet, die wahrscheinlich mit einer bakteriellen Kiemeninfektion zusammenhängen. Die Kiemen zahlreicher Fische waren in diesem Zeitraum stark geschwollen. Daher wurde die 1. Versuchsreihe an diesem Punkt abgebrochen und 4 Tage später die 2. Versuchsreihe mit 12, auf je 500 Tiere reduzierte Gruppen gestartet.

Tab. 9: Verluste in der 1. Versuchsreihe [Anzahl, Gewicht (g)]

Woche	FM1		FM2		FM3		FM4	
	Anzahl	Gewicht	Anzahl	Gewicht	Anzahl	Gewicht	Anzahl	Gewicht
2	196	27,4	157	22,7	97	15,1	104	16,0
4	140	24,6	119	21,3	134	27,5	134	27,5
6	199	49,2	125	29,8	227	62,3	340	72,7
Gesamt	535	101,2	401	73,8	458	104,9	578	116,2

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

FM3: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Weizenquellmehl

FM4: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Maca

Werte, die bei den Verlusten der 1. Versuchsreihe vor allem auffallen, sind die hohen Verlustzahlen von FM1, FM3 und FM4. Die hohen Endergebnisse von FM3 und FM4 kommen durch den starken Anstieg von Verlusten in den Wochen 5 und 6 zustande. Die Gruppe FM1 startete mit einer relativ hohen Verlustzahl von 196. Nachdem sich diese Zahl in den Wochen 3 und 4 wieder auf ein, verglichen mit den anderen Gruppen, normales Niveau gesenkt hatte, gab es am Ende ebenfalls einen Anstieg.

Die einzige Gruppe, die konstante Verlustzahlen aufwies, war FM2. Diese hatte dadurch auch im Gesamtergebnis mit 401 Toten den niedrigsten Wert.

Trotz der Differenzen zwischen den Ergebnissen der Verluste, sind diese in der Statistik als nicht signifikant gewertet.

Die Gewichte der Verluste sind nur der Vollständigkeit halber aufgeführt und werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Versehrtheit vieler Toten bestand. Der Grund hierfür war Kannibalismus.

Tab. 10: Verluste in der 2. Versuchsreihe [Anzahl, Gewicht (g)]

Woche	FM1		FM2	
	Anzahl	Gewicht	Anzahl	Gewicht
8	241	98,0	506	254,2
10	196	140,1	114	66,8
12	152	148,1	108	87,3
14	135	166,5	129	168,5
Gesamt	724	552,7	857	576,8

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

Die Verlustzahlen der 2. Versuchsreihe fallen bei beiden übriggebliebenen Gruppen bis zur 14. Woche auf ein konstantes Maß ab. Die anfänglich hohen Werte gehen besonders bei FM2 von 506 auf 114 drastisch zurück und bleiben dann konstant bei 108 bzw. 129. Auch die Anzahl der Verluste von FM1 fällt von 241 gleichmäßig über 196 und 152 auf 135. Die unterschiedlichen Gesamtzahlen sind ein Ergebnis der unterschiedlichen Ausgangswerte nach der 8. Versuchswoche.

Laut Statistik sind die Unterschiede zwischen den Verlustzahlen nicht signifikant.

## 4.2 Versuch 2 (Ökofutter)

### 4.2.1 Gewichtsentwicklung und Futterverwertung

An 9 Gruppen zu je 200 Regenbogenforellen wurde 8 Wochen lang ein Fütterungsversuch mit 3 verschiedenen Futtermitteln durchgeführt. Davon stammten

2 Futtermittelvarianten aus ökologischer Produktion und eine aus konventioneller Produktion. Die Fische waren in 3 x 3 Versuchsgruppen unterteilt. Jede Gruppe wurde zu Beginn des Versuches, nach 4 Wochen und am Ende des Versuches nach 8 Wochen gewogen.

Das Durchschnittsgewicht pro Fisch betrug am Anfang 144 g und nach 8 Wochen 257 g.

Tab. 11: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung (g/Fisch)

Woche	Futtermittel		
	Ökosalm-Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
0	144	144	144
4	193	193	194
8	261	254	255

Die auffällig geringen Unterschiede im Verlauf der Gewichtsentwicklung reichen nicht für eine Signifikanz hinsichtlich eines qualitativ unterschiedlichen Einflusses der Futtermittel.

Tab. 12: Futtermittelverwertung Ökosalm Ex (Messungen nach Wochen 4 und 8)

Woche	Zuwachs (g)	Futtermittelverbrauch (g)	Futterquotient (FQ)
4	10346	9240	0,89
8	12871	12183	0,95
Gesamt	23217	21423	0,92

Die Futtermittelverwertung bzw. der Futterquotient der mit Ökosalm-Ex gefütterten Gruppe ließ in der zweiten Hälfte des Versuches von 0,89 um 0,06 auf 0,95 leicht nach und liegt insgesamt bei 0,92.

Tab. 13: Futtermittelverwertung Rainbow 22 Green (Messungen nach Wochen 4 und 8)

Woche	Zuwachs (g)	Futtermittelverbrauch (g)	Futtermittelquotient (FQ)
4	9369	9266	0,99
8	12586	12230	0,97
Gesamt	21955	21496	0,98

Die Futtermittelverwertung (FQ) der mit Rainbow 22 Green gefütterten Gruppe stieg in der zweiten Hälfte des Versuches von 0,99 um 0,02 auf 0,97 leicht an und liegt insgesamt bei durchschnittlich 0,98.

Tab. 14: Futtermittelverwertung F-2P Select (Messungen nach Wochen 4 und 8)

Woche	Zuwachs (g)	Futtermittelverbrauch (g)	Futtermittelquotient (FQ)
4	9517	9262	0,97
8	12700	12235	0,97
Gesamt	22217	21497	0,97

Die Futtermittelverwertung (FQ) der mit F-2P Select gefütterten Gruppe blieb während des gesamten Versuches konstant bei 0,97.

Die errechneten Werte für die durchschnittlichen Futtermittelquotienten und damit die Futtermittelverwertung zeigen aufgrund der sehr geringen Unterschiede keine Signifikanz.

#### 4.2.2 Sterblichkeit

Die Versuchsgruppen wurden während der Versuchsdauer täglich auf Verluste hin kontrolliert. Diese wurden gezählt.

Tab. 15: Anzahl der Verluste

	Futtermittel		
	Ökosalm Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
Anzahl / %	5 / 0,8	3 / 0,5	2 / 0,3

Die Verluste machen im Laufe der 8 Wochen bei Ökosalm Ex 0,8 %, bei Rainbow 22 Green 0,5 % und bei F-2P 0,3 % der Gesamtzahl der jeweiligen Fütterungsgruppen aus. Die Unterschiede sind aufgrund der geringen Anzahl von Verlusten in Fütterungsgruppen von je 600 Fischen nicht signifikant.

#### 4.2.3 Umweltbelastung

Die Stickstoff- und Phosphorgehalte im Fischfilet wurden nach der Schlachtung S0 mithilfe analytischer Verfahren bestimmt. Von jeder Gruppe wurde jeweils ein Fischfilet verwendet.

Tab. 16: Stickstoff- und Phosphorgehalte im Filet nach der Schlachtung S8 (% TS)

	Stickstoff	Phosphor
Ökosalm Ex	3,2	0,33
Rainbow 22 Green	2,9	0,34
F-2P Select	2,9	0,33

Die Ergebnisse aus der Analyse von Stickstoff- und Phosphorgehalt im Filet zeigen geringe Unterschiede zwischen den 3 Futtermitteln. Weitere Analysen zur Umweltbelastung durch Ökofuttermittel sind Gegenstand von folgenden Doktorarbeiten.

4.2.4 Bestimmung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität

4.2.3.1 pH-Wert-Verlauf

Die Bestimmung des pH-Wertes wurde nach der Schlachtung S0 zu Beginn und nach der 8. Woche am Ende des Versuches durchgeführt. Dabei wurden Messelektrode und Temperaturfühler an 3 verschiedenen Stellen des linken Filets direkt nach der Schlachtung (pH0), 3 Stunden post mortem (pH3) und 24 Stunden nach der Schlachtung (pH24) gemessen.

Bei der Schlachtung S0 wurden aus dem Anfangsbestand 20 Fische und bei der Schlachtung S8 pro Gruppe 6 Fische entnommen und der pH-Wert bestimmt.

Tab. 17: Durchschnittliche pH-Werte direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24)

Gruppe	pH0	pH3	pH24
Anfangsbestand	7,13	7,00	6,86
Ökosalm Ex	7,17	7,01	6,61
Rainbow 22 Green	7,17	7,03	6,58
F-2P Select	7,15	7,02	6,58

Anhand der Messungen zeigt sich sowohl bei den Tieren aus dem Anfangsbestand, als auch bei den 3 Gruppen eine kontinuierliche Senkung des pH-Wertes in Abhängigkeit von der Zeit. Die Werte der Versuchsgruppen sind nahezu identisch. Mit einem durchschnittlichen Anfangswert pH0 von 7,16 und einer dazugehörigen Schwankung von 0,01, einem durchschnittlichen Mittelwert pH3 von 7,02 und ebenfalls einer Schwankung von 0,01 und einem durchschnittlichen Endwert pH24 von 6,59 mit einer Schwankung von 0,01 sind die Werte fast gleich. Die höchste Abweichung zwischen 2 Werten liegt bei 0,03. Insgesamt war durchschnittlich ein Abfall des pH-Wertes um 0,57 zu beobachten.

Bei den Werten des Anfangsbestandes ist ein Abfall um 0,27 zu sehen, bei dem der pH0 mit 7,13 um 0,03 niedriger anfängt als bei den Versuchsgruppen und bei einem

pH24 von 6,86 um 0,27 höher aufhört. Die pH-Senkung erfolgte hier ab der Messung pH3 langsamer. Dies gilt allerdings nicht als signifikanter Unterschied.

#### 4.2.3.2 Leberfärbung, Fleischfärbung und Fleischhelligkeit

Die Untersuchungen wurden, ebenso wie die Messungen der pH-Werte, an den bei der Ausgangsschlachtung S0 getöteten 20 Tieren aus dem Anfangsbestand und den bei der Endschlachtung S8 geschlachteten 6 Fischen jeder Gruppe durchgeführt.

##### Leberfärbung und -helligkeit

Bei der Bestimmung der Leberfärbung über den Gelb-Blau-Faktor (b-Wert), bzw. den Rot-Grün-Faktor (a-Wert) und der Leberhelligkeit über den L-Wert wurde der Chromameter im zentralen Bereich der Leber angesetzt. Anschließend wurden die Mittelwerte errechnet.

Tab. 18: Farb- und Helligkeitswerte der Leber (Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8)

Gruppe	L-Wert	a-Wert	b-Wert
Anfangsbestand	33,5	14,2	6,2
Ökosalm Ex	35,9	16,2	7,0
Rainbow 22 Green	36,2	15,9	6,4
F-2P Select	36,9	15,1	6,9

Bei der Anfangsschlachtung S0 wurde bei der Messung ein durchschnittlicher L-Wert von 33,5 ermittelt. Im Durchschnitt lagen der a-Wert bei 14,2 und der b-Wert bei 6,2. Im Gegensatz dazu waren die gemessenen Werte der Versuchsgruppen, wie man in Tab. 21 sieht, geringfügig höher. Es ergaben sich Schwankungen vom Mittelwert von  $\pm 0,7$  beim L-Wert, von  $\pm 0,6$  beim a-Wert und von  $\pm 0,4$  beim b-Wert.

Die Differenzen erreichen jedoch nicht das für eine Signifikanz erforderliche Maß.

### Fleischfärbung und -helligkeit

Zur Bestimmung der Fleischfärbung und der Fleischhelligkeit wurde jeder Fisch an 3 Stellen des Filets mit dem Chromameter untersucht und der Mittelwert einer jeden Gruppe berechnet.

Tab. 19: Farb- und Helligkeitswerte der Filets (Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8)

Gruppe	L-Wert	a-Wert	b-Wert
Anfangsbestand	43,9	1,5	2,0
Ökosalm Ex	45,0	0,9	1,8
Rainbow 22 Green	45,7	1,3	2,4
F-2P Select	44,7	1,2	2,8

Bei der Schlachtung S0 zu Beginn des Versuches wurde an den Filets ein durchschnittlicher Helligkeitswert von 43,9, für den a-Wert durchschnittlich 3,6 und den b-Wert 2,0 ermittelt.

Zwischen den Durchschnittsergebnissen der Versuchsgruppen kam es zu geringen Unterschieden beim L-Wert von  $\pm 0,6$ , beim a-Wert von  $\pm 0,2$  und beim b-Wert von  $\pm 0,5$ .

Bei den einzelnen Werten wird deutlich, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den beprobten Filets der Versuchsgruppen entstanden sind. Auch die Unterschiede zwischen dem Anfangsbestand und den Versuchsgruppen sind nicht signifikant.

#### 4.2.3.3 Sensorische Bewertung

Bei der sensorischen Bewertung wurden die Forellenfilets bei 100 °C über 6 Minuten gedünstet und anschließend sofort den Testern auf vorgewärmten Tellern serviert. In 6 Durchgängen bekamen 5 Prüfer jeweils 3 verschiedene Fische vorgesetzt, wobei die Parameter Geruch, Geschmack, Festigkeit, Saftigkeit und Farbe bewertet wurden. Die Summe der durchschnittlich ermittelten Werte ergibt die Gesamtnote.

Tab. 20: Bewertungsergebnisse der sensorischen Untersuchung

	Ökosalm Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
Geruch	4,9	5,0	4,8
Geschmack	4,9	5,0	4,6
Festigkeit	2,1	2,1	2,1
Saftigkeit	2,2	2,2	2,1
Farbe	2,0	2,1	2,0
Gesamtnote	16,1	16,3	15,7

Der einzige signifikante Unterschied besteht zwischen den Bewertungen des Geschmacks. Die Prüfer empfanden die Filets der mit Ökosalm Ex und Rainbow 22 Green gefütterten Fische gustatorisch besser als die mit F-2P Select gefütterten Forellen. Trotz dieser Ausnahme und wegen der vielen Übereinstimmungen bei den anderen Parametern sind zwischen den Gesamtnoten keine signifikanten Unterschiede zu erkennen.

#### 4.2.3.4 Schlachtkörperqualität

Nach dem Wiegen und Messen der Körperlänge wurden die ermittelten Werte in die Fultonsche Formel eingesetzt. Der daraus resultierende Korpulenzfaktor ist ein Merkmal für die gegenwärtige Futterkondition des Tieres. Er liegt tierartspezifisch bei Forellen zwischen 1,0 und 1,2.

Tab. 21: Korpulenzfaktoren

Schlachtung S0	Schlachtung S8		
Anfangsbestand	Ökosalm Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
0,96	1,14	1,14	1,11

Die ermittelten Werte zeigen, daß die Tiere des Anfangsbestandes im Durchschnitt knapp unter dem Referenzintervall liegen und einen schlechteren Ernährungszustand hatten als die bei S8 geschlachteten Tiere der Versuchsgruppen,

die alle im Referenzbereich zwischen 1,0 und 1,2 liegen und untereinander nur geringfügig abweichen.

Die ermittelten Korpulenzfaktoren der einzelnen Futtermittel weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

Der Anteil des Gewichts des Schlachtkörpers nach der Entnahme der Innereien vom Gewicht des Gesamtschlachtkörpers ist der Grad der Ausschachtung.

Tab. 22: Ausschachtung (in %)

Schlachtung S0	Schlachtung S8		
Anfangsbestand	Ökosalm Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
87,9	84,8	85,1	85,3

Die in Tab. 22 aufgeführten Ergebnisse zeigen minimale Unterschiede voneinander und sind demnach nicht signifikant für einen unterschiedlichen Einfluss der Futtermittelvarianten auf die Ausschachtung.

Die Filetausbeute bezeichnet das anteilige Gewicht des linken und des rechten Filets am Gewicht des Gesamtschlachtkörpers.

Tab. 23: Filetausbeute (mit Haut, in %)

Schlachtung S0	Schlachtung S8		
Anfangsbestand	Ökosalm Ex	Rainbow 22 Green	F-2P Select
46,7	46,4	47,0	47,0

Die errechneten Werte weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen auf. Demnach haben die verschiedenen Futtermittel keinen Einfluss auf die Filetausbeute.

## 5. Diskussion

Die Fragestellung des ersten Versuches lautete, ob Maca mögliche leistungsfördernde Eigenschaften hinsichtlich der Gewichtsentwicklung und der Mortalität auf die Brut von Regenbogenforellen besitzt.

Das Ziel des zweiten Versuches war es herauszufinden, inwiefern ökologisch produziertes Futter die Gewichtsentwicklung und die Sterblichkeitsrate von Regenbogenforellen beeinflusst und in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz optimiert werden kann. Neben den leistungsbezogenen Eigenschaften wurden die Umweltbelastungen durch Phosphate und Stickstoffverbindungen analysiert. Es wurden 3 unterschiedliche Futtermittel eingesetzt, 2 aus ökologischer Herstellung und eines aus konventioneller Herstellung, von denen jeweils eines an 3 Gruppen verfüttert wurde. Der Versuch lief über einen Zeitraum von 8 Wochen.

Beide Fütterungsversuche wurden am Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Starnberg durchgeführt.

### 5.1 Zum Versuchsaufbau und zur Versuchsdurchführung

#### *5.1.1 Fütterungsversuch mit Maca-Pulver bei Regenbogenforellenbrut*

Bei dem Fütterungsversuch mit 12 Becken zu je 4000 Forellenbrütlingen handelte es sich um das erste Forschungsprojekt am Institut für Fischerei in Starnberg, bei dem ein Futtermittel an Regenbogenforellenbrütlingen getestet wurde. Mit der Erfahrung aus der üblichen Aufzucht von Forellenbrut gelang dennoch ein reibungsloser Ablauf der Arbeiten. Nur der Abbruch der ersten Versuchsreihe in der 6. Woche aufgrund einer Kiemeninfektion und deren Nachwirkungen stellten kurzzeitig ein Problem dar. Dadurch, daß alle Gruppen betroffen waren, konnten die Ergebnisse dennoch verwendet werden.

### Versuchsfutter

Dem Versuch ging eine Anfütterungszeit von 4 Tagen voraus, in der die Brütlinge, die bereits freischwimmend waren, mit kleinen Mengen Brutfutter versorgt wurden bis nahezu alle Fische in der Lage waren das Futter aufzunehmen.

Die Zusätze von 10% Weizenquellmehl für die Kontroll- und 10% Maca-Pulver für die Versuchsgruppen erschienen angesichts der Ergebnisse anderer Fütterungsversuche mit Maca (Lee et al., 2004) ausreichend für die Feststellung möglicher unterschiedlicher Effekte.

Das Futter wurde aus den erwähnten Grundfuttermischungen mit den Zusätzen in der Mischanlage der veterinärmedizinischen Fakultät der Universität München hergestellt. Die Fraktionen wurden zunächst zerkleinert und anschließend zu Pellets mit einer Körnung von 3 mm verarbeitet. Da dieser Pelletdurchmesser für die Verwendung bei Regenbogenforellenbrütlingen zu groß ist, wurden die Pellets manuell gebrochen und mit Hilfe von Sieben auf die erforderliche Größe von ca. 0,6 mm gebracht.

Aufgrund der fehlenden technologischen Einrichtungen konnten nur Pellets hergestellt werden und kein Extrudat, welches laut Chezzi (1998) einige Vorteile, insbesondere hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften, besitzt. Bei der Herstellung von Extrudat werden die fein gemahlene Bestandteile des Futters durch heißen Wasserdampf stark erhitzt und dadurch gleichzeitig der Wassergehalt des Futters erhöht. Durch diese Produktionstechnik steigen sowohl die Haltbarkeit als auch die Verdaulichkeit des Futters, da die enthaltene Stärke durch den mit Feuchtigkeit verbundenen Erhitzungsvorgang aufgeschlossen wird. Durch das Herstellungsverfahren erhält Extrudat eine poröse Konsistenz, die eine höhere Stabilität des Futters gegenüber dem Wasser und einen größeren Auftrieb ermöglicht. Daraus folgt eine längere Schwimmphase der Futterpartikel und hieraus eine längere Zeitspanne, in der die Fische die Nahrung aufnehmen können. Bei der Produktion von Futtermittel ist deshalb die Extrusion das Mittel der Wahl.

### *5.1.2 Fütterungsversuch zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz*

Am Institut für Fischerei in Starnberg wurden bereits Versuche mit gleichem Aufbau durchgeführt. Aufgrund der daraus resultierenden Erfahrung, verliefen die Arbeiten ohne Probleme.

#### Versuchsfutter

Es wurden ein konventionelles und 2 ökologisch hergestellte und von Naturland e. V. als solche zertifizierte Futtermittel zu einem internen Vergleich verwendet.

Inhaltlich waren sich die Futtermischungen v. a. im Phosphorgehalt ähnlich. Der Gehalt an Rohprotein variierte zwischen 48 % bei Ökosalm Ex und 44 % bei F-2P Select, dem konventionellen Futter. Dafür lag der Prozentsatz von Rohfett bei Rainbow 22 Green und F-2P Select bei 22 % im Gegensatz zu dem Anteil von Rohfett in Ökosalm Ex mit 18 %.

Ein höherer Gehalt an Rohfett wird in erster Linie bei älteren Fischen als Energiequelle eingesetzt, damit der Prozentsatz an Rohprotein und dadurch die Umweltbelastung gesenkt werden können.

Die vorliegenden Futtermittel sind Extrudate. Durch den besonderen und oben bereits kurz beschriebenen Herstellungsprozess von Extrudat sind nachträgliche Öleinlagerungen in die Poren der Futterpartikel und somit höhere Rohfettgehalte von mehr als 20 % möglich (Reichle, 1992; Steffens, 1993).

### **5.2 Einfluss von Maca**

Die Analysen der Futtermittelverwertung und der Gewichtszunahme wurden jeweils bei den Fischgruppen FM1, FM2, FM3 und FM4 vorgenommen. Die Gruppen FM1 und FM3 waren die Kontrollgruppen, deren Futter 10 % Weizenquellmehl zugefügt worden war, während bei FM2 und FM4 das Weizenquellmehl durch Maca-Pulver ersetzt wurde.

### 5.2.1 Futterverwertung

Als Maß für die Futterverwertung wird der Futterquotient (FQ) verwendet, der ausdrückt, welche Futtermenge ein Tier zu sich nehmen muss, um einen Gewichtszuwachs von einem Gramm zu erreichen. Er errechnet sich aus der Differenz zwischen Anfangs- und Endgewicht (Zuwachs) sowie dem Futterverbrauch.

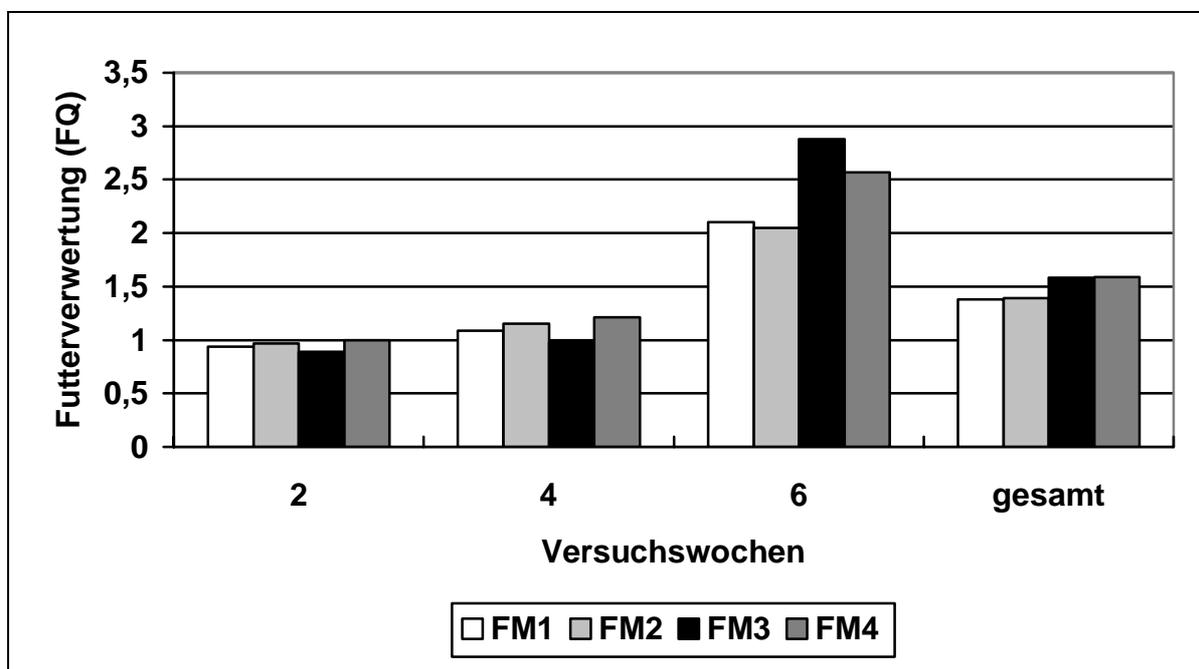
Abb. 2: Futterverwertung in der 1. Versuchsreihe (Wochen 1 bis 6)

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

FM3: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Weizenquellmehl

FM4: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Maca

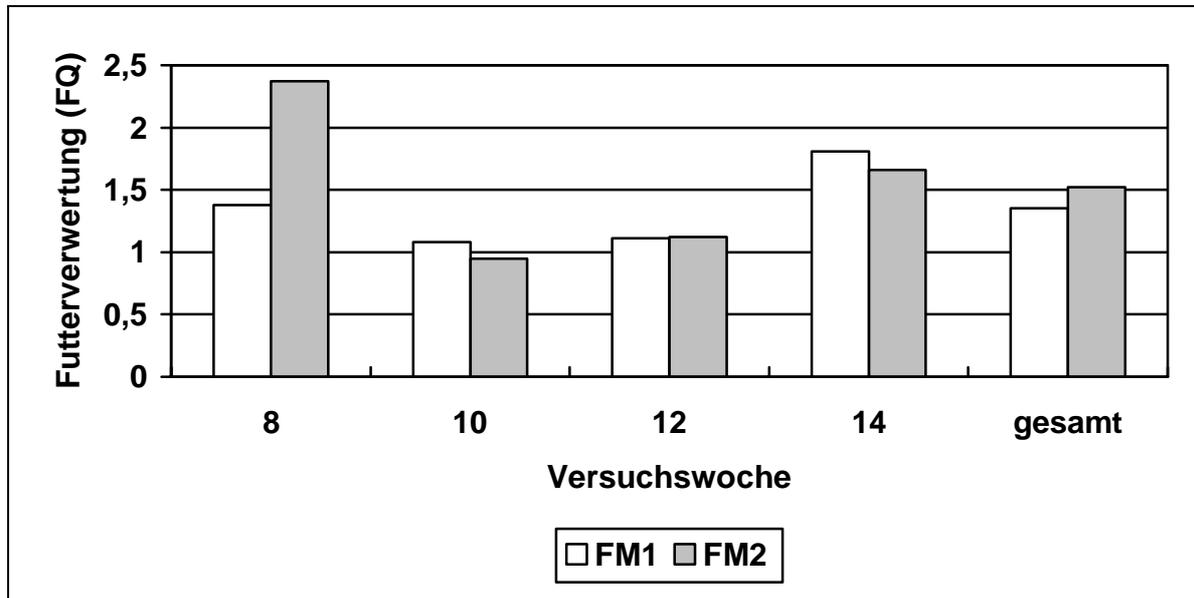


Anhand der Abb. 2 erkennt man einen deutlichen Anstieg des FQ nach der 4. Versuchswoche. Besonders die Werte der Gruppen FM3 und FM4 steigen stark an und lagen am Ende sogar über einem Wert von 2,5. Diese Entwicklung ist das Resultat einer Kiemenentzündung, die unabhängig vom Futtermittelzusatz in der 5. Woche auftrat und die Futteraufnahme der Fische stark herabsetzte. Das Gesamtergebnis zeigt ausgeglichene Werte, wobei die Gruppen FM3 und FM4 aufgrund der letzten 2 Wochen leicht höhere Futterquotienten haben als die anderen. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Abb. 3: Futterverwertung in der 2. Versuchsreihe (Wochen 8 bis 14)

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca



In der 2. Versuchsreihe fällt der anfangs noch hohe Futterquotient der Gruppe FM2 auf, der als eine Folge der Kiemenentzündung gewertet werden kann. In den nachfolgenden Wochen liegen die Futterquotienten konstant um 1 und steigen bei beiden Futtermittelgruppen am Ende der 2. Versuchsreihe über 1,5 an.

Das Gesamtergebnis der 2. Versuchsreihe zeigt keine signifikanten Unterschiede, obwohl der FQ von FM2 nach der 8. Woche durch die anfänglich noch herabgesetzte Futteraufnahme im Laufe der Kiemenentzündung stark erhöht ist.

Die durchschnittlichen Futterquotienten für Forellen bei der Verfütterung von Trockenmischfutter liegen zwischen  $<1$  und 1,5 (Schäperclaus und v. Lukowicz, 1998). Abgesehen von der Periode, in der die Futteraufnahme infolge einer Kiemenentzündung stark gesunken ist, liegen die FQ-Werte im vorliegenden Versuch meistens noch im Normbereich unter 1,5.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß dieser Versuch an Forellenbrütlings durchgeführt wurde, sind die durchschnittlichen Werte allerdings hoch, denn bei Fischen jüngerer Altersstufen ist die Futterverwertung in der Regel aufgrund der höheren Stoffwechselaktivität besser ( $<1$ ) als bei älteren.

Ein Grund für die mäßige Futterverwertung könnte die Verwendung von Pellets sein. Die Beschaffenheit des Futters spielt laut Rösch (1999) eine große Rolle bei dessen Verwertbarkeit. Im Gegensatz zu pelletiertem Futter weist z. B. Extrudat neben einer

besseren Verdaulichkeit auch andere vorteilhafte Eigenschaften auf. Hohe Temperaturen durch erhitzten Wasserdampf ermöglichen bei der Herstellung eine längere Haltbarkeit. Der Wasserdampf verursacht eine poröse Konsistenz der Futterpartikel, wodurch sowohl höhere Wasserstabilität als auch länger andauernder Auftrieb im Wasser gewährleistet sind. Im vorliegenden Versuch wurde wegen der geringen Futtermengen und der fehlenden Technologie kein Extrudat sondern Pellets verwendet. Diese wiesen z. T. eine starke Wasserlöslichkeit auf und sanken relativ schnell zu Boden, wodurch die Partikel für die Brütlinge nicht mehr als Nahrung zur Verfügung standen.

In zukünftigen Fütterungsversuchen sollte man deshalb wenn möglich Extrudat verfüttern, um auf diese Weise eine höhere Verdaulichkeit und damit einen besseren Futterquotienten zu erzielen.

#### *5.2.2 Gewichtsentwicklung*

Das Durchschnittsgewicht je Fisch wurde seit Versuchsbeginn im Abstand von 2 Wochen gemessen, indem das Gesamtgewicht einer Gruppe durch die Anzahl der Tiere geteilt wurde.

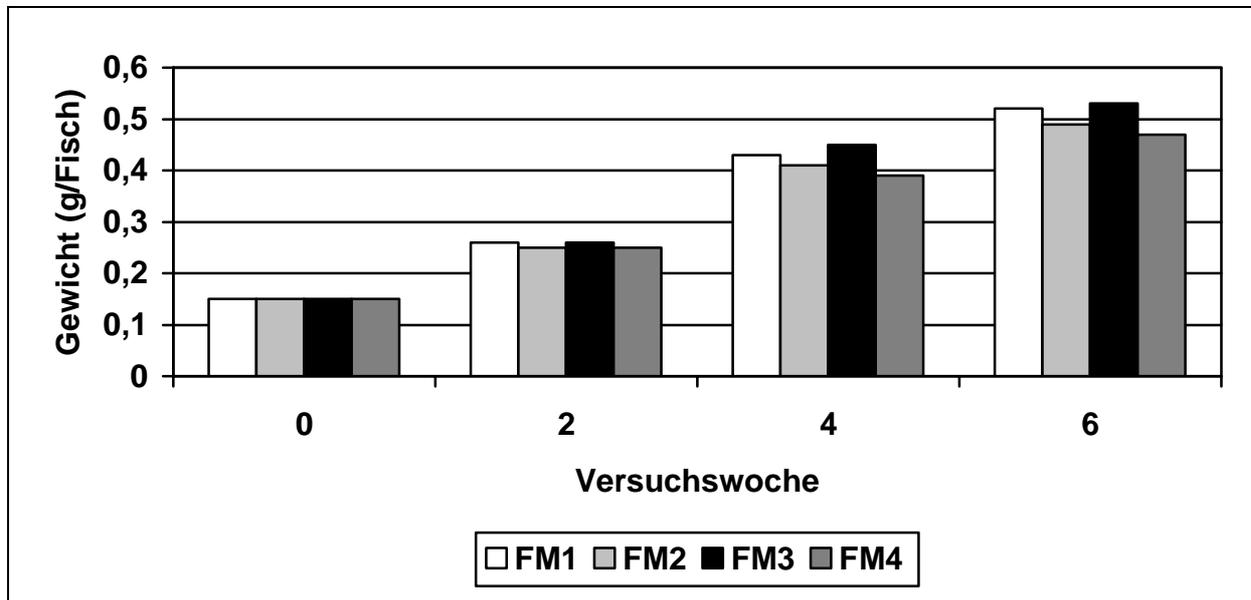
Abb. 4: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 0 bis 6

FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl

FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca

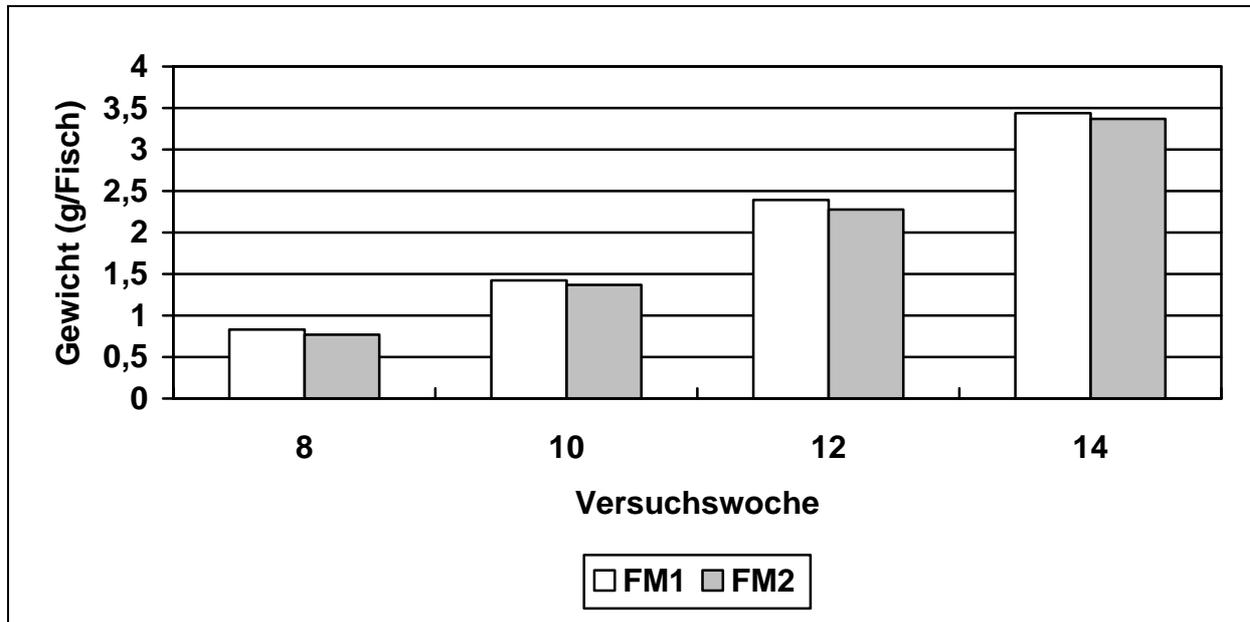
FM3: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Weizenquellmehl

FM4: Grundfutter Gründleinsmühle + 10% Maca



Im Verlauf der 1. Versuchsreihe zeichnet sich ein besseres Wachstum bei den Gruppen FM1 und FM3 ab. Die Unterschiede im Zuwachs zwischen diesen Gruppen und FM2 und FM4 sind signifikant und lassen darauf schließen, daß der Zusatz von Maca-Pulver im Trockenmischfutter das Wachstum von Forellenbrütlings nicht so effektiv fördert wie herkömmliches Brutfutter. Somit treffen die in früheren Berichten (Lee et al., 2004) erwähnten positiven Einflüsse von Maca auf das Wachstum nicht auf Regenbogenforellen im Brutstadium unter vorliegenden Bedingungen zu.

Abb. 5: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 8 bis 14  
 FM1: Grundfutter BioMar® + 10% Weizenquellmehl  
 FM2: Grundfutter BioMar® + 10% Maca



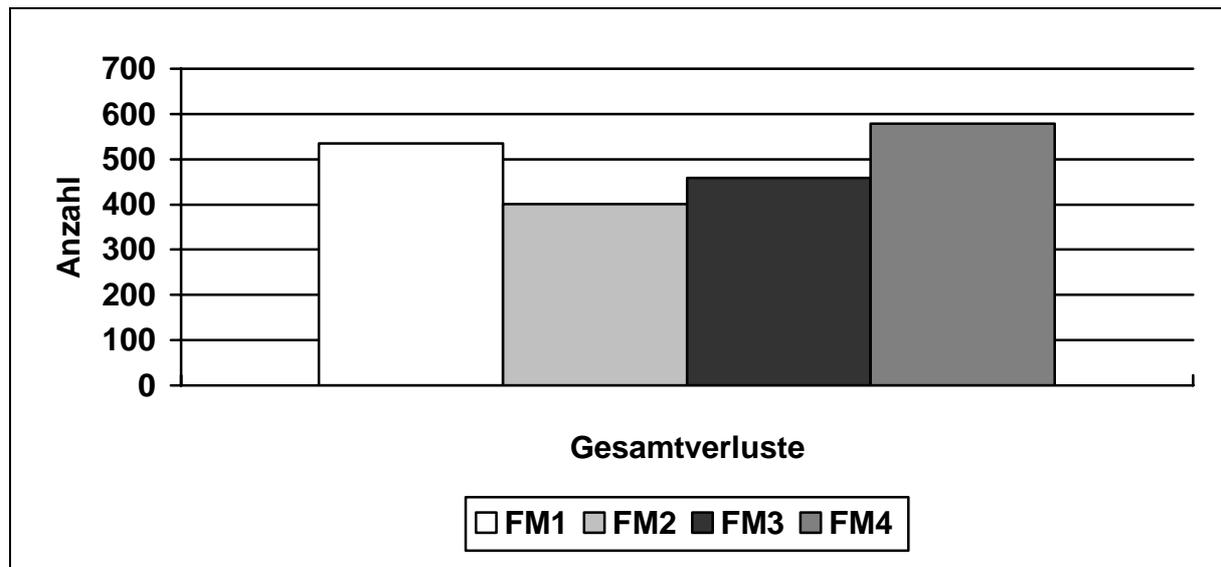
Die durchschnittlichen Gewichtsentwicklungen in den Versuchswochen 8 bis 14 zeigen sowohl bei der mit Maca-Pulver als auch bei der mit Weizenquellmehl gefütterten Gruppe eine konstante Zunahme mit nur geringen, nicht signifikanten Unterschieden.

### 5.2.3 Sterblichkeit

Während des gesamten Versuches wurden die Becken täglich auf verendete Tiere hin überprüft und diese dann abgesammelt.

Jede Gruppe bestand in den ersten 6 Versuchswochen aus 3 Versuchsbecken mit anfangs jeweils 4000 Brütlingen.

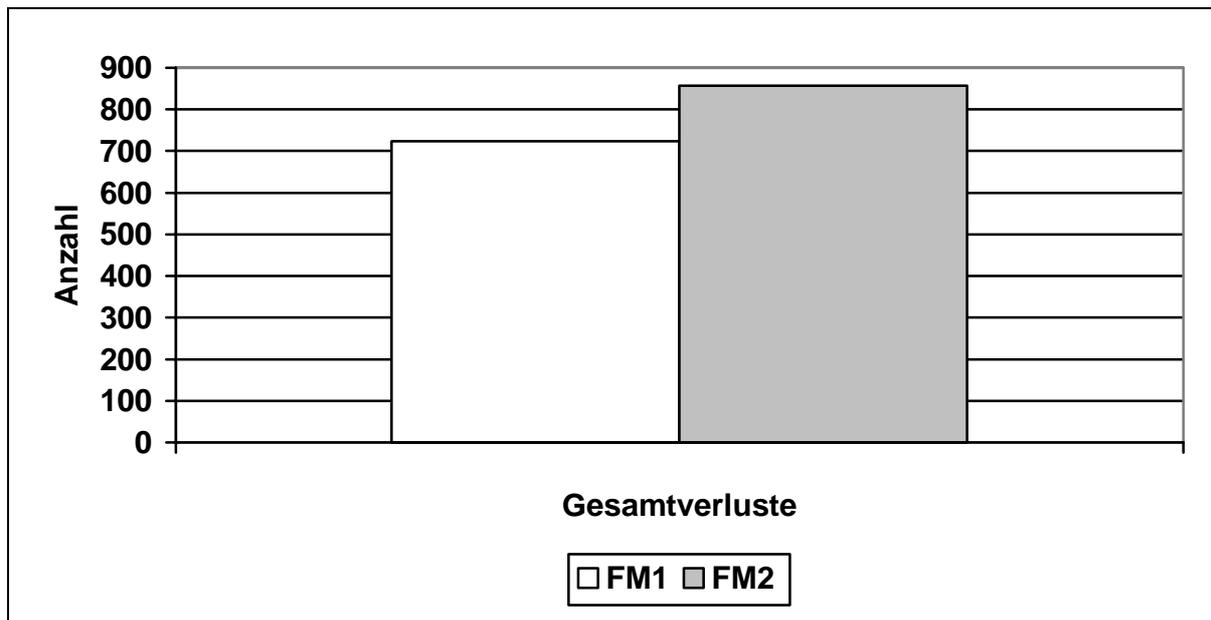
Abb. 6: Gesamtverluste in der 1. Versuchsreihe (Anzahl)



Insgesamt verendeten in der 1. Versuchsreihe in der Gruppe FM1 4,5 % (535 Fische), in FM2 3,3 % (401 Fische), in FM3 3,8 % (458 Fische) und in FM4 4,8 % (578 Fische) der Tiere. Die Unterschiede zwischen diesen Ergebnissen sind nicht signifikant.

Nach der 6. Versuchswoche wurde die Zahl der Fische pro Becken auf 500 reduziert und damit die Besatzdichte verringert. Die Gruppen wurden neu eingeteilt in FM1 und FM2, von denen jede 6 Unterstromkästen belegte.

Abb. 7: Gesamtverluste in der 2. Versuchsreihe (Anzahl)



Im Ganzen verendeten in der 2. Versuchsreihe in der Gruppe FM1 24,1 % (724 Fische) und in FM2 28,6 % (857 Fische) der Tiere. Die Unterschiede zwischen diesen Ergebnissen sind nicht signifikant.

Trotz dem durch die Kiemenentzündung bedingten Anstieg der Sterblichkeitsraten aller Gruppen im letzten Drittel der 1. Versuchsreihe bleiben diese in den ersten 6 Versuchswochen insgesamt unter den durchschnittlichen Verlusten bei Forellenbrütlingen von 5-10 % in kommerziellen Betrieben (Schäperclaus und v. Lukowicz, 1998).

In der 2. Versuchsreihe liegen die Verlustzahlen deutlich über der Norm, wobei davon ausgegangen werden kann, daß die Kiemeninfektion dafür verantwortlich war. An ihrem Höhepunkt verendeten alleine in der Gruppe FM2 zwischen der 6. und 8. Versuchswoche 506 Tiere.

Als erstes Symptom der Kiemenentzündung trat in der 5. Versuchswoche vermehrt Kiemenschwellung in einigen Gruppen auf, der anschließend höhere Verlustzahlen vor allem in der 2. Versuchsreihe folgten.

Ein Grund für die Erkrankung könnte eine zu große Futterbelastung durch Schwebeteilchen, die aus dem Auflösungsprozess der Pellets im Wasser stammten, gewesen sein. Wegen der besonderen Empfindlichkeit von Forellenbrütlingen gegenüber den Umwelteinflüssen wurden regelmäßige Reinigungen der Becken von

Futterresten und Exkrementen und tägliche Überprüfungen des Sauerstoffgehalts im Wasser (>7 mg/l) durchgeführt.

Ein anderer Grund für die Kiemenentzündung könnte die zu hohe Besatzdichte am Ende der 1. Versuchsreihe gewesen sein. Durch das geringere Platzangebot, verbunden mit den wachsenden Futtermengen, verschlechterte sich die Aufnahme des angebotenen Futters und daraus resultierte wiederum eine höhere Belastung durch die bereits erwähnten Schwebepartikel. Nach der Ausdünnung der einzelnen Versuchsbecken sank die Verlustrate wieder in den Normbereich.

Lee et al. (2004) beschreiben in ihren Versuchsergebnissen anfänglich hohe Verlustzahlen, die sie auf die Umstellung vom Dottersackstadium auf die exogene Nahrungsaufnahme beziehen. Im weiteren Verlauf zeigen sich bessere Überlebensraten der mit Maca gefütterten Gruppen verglichen mit den Kontrollgruppen. Da in dem vorliegenden Versuch alle Gruppen von der zwischenzeitlichen Kiemenschwellung und damit von Schwankungen in der Sterblichkeit betroffen waren, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Lee et al. (2004) beschreiben in ihren Ergebnissen eine wachstumssteigernde Wirkung von Maca auf Regenbogenforellenbrütlinge. In vorliegendem Versuch konnten diese Resultate nicht belegt werden.

Der Grund dafür könnte eventuell bei der Zusammensetzung des Grundfuttermittels liegen. Während für den vorliegenden Versuch kommerzielle Futtermittel als Basis für das Versuchsfutter herangezogen wurden, benutzten Lee et al. (2004) ein auf Kasein basierendes, extra für ihren Versuch zusammengestelltes Futter, das zu 40 % aus Kasein bestand und neben den entsprechenden Anteilen an Maca bzw. Weizenquellmehl mit diversen Aminosäuren und Vitaminen ergänzt war.

Im Gegensatz zu diesem Versuch, in dem die Körnung der Pellets ca. 0,6 mm betrug, wurde das kalt pelletierte Futter in dem Versuch von Lee et al. (2004) für die Fütterung auf einen Durchmesser von 0,4 mm gebrochen. Dieser Unterschied könnte ebenfalls eine Rolle in der Aufnahme der Futterpartikel spielen.

Zudem war die Besatzdichte im vorliegenden Versuch mit 4000 Fischen je Becken bei weitem größer als in dem Versuch von Lee et al. (2004), bei denen 40 Brütlinge pro Becken eingesetzt wurden. Die Besatzdichte spielt insofern eine Rolle, daß sie mit höheren Fischzahlen auch eine größere Stressbelastung für die Fische darstellt. Je mehr Brütlinge in einem Becken gehalten werden, desto mehr Futter wird angeboten und demzufolge kann der Sauerstoffgehalt zu Fütterungszeiten durch Belastungen mit Schwebeteilchen erheblich schwanken. Sinkt dieser dann zu tief, sind die Tiere anfälliger für Erkrankungen und zusätzlich gestresst. Im vorliegenden Versuch könnte die hohe Besatzdichte demnach eine stressbedingte Kiemenentzündung und eine schlechtere Futtermittelverwertung bewirkt haben.

Ein weiterer Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den Untersuchungen von Lee et al. (2004) und dem vorliegenden Versuch könnten Qualitätsunterschiede in den verwendeten Maca-Pulvern gewesen sein. Während das Maca-Pulver für diesen Versuch von einem kommerziellen Anbieter stammte, bezogen Lee et al. ihr Maca-Pulver von einer Versuchsanlage der National Agriculture University von Lima in Peru und direkt von Bauern aus den Anden.

Die Unterschiede im Gewichtszuwachs zwischen den Kontrollgruppen und den Versuchsgruppen sind signifikant. Daher kann man darauf schließen, daß der Zusatz von Maca-Pulver in Trockenmischfutter das Wachstum von Forellenbrütlingen nicht so effektiv fördert wie herkömmliches Brutfutter. Somit treffen die in früheren Berichten (Lee et al., 2004) erwähnten positiven Einflüsse von Maca nicht auf das Wachstum von Regenbogenforellen im Brutstadium unter vorliegenden Bedingungen zu.

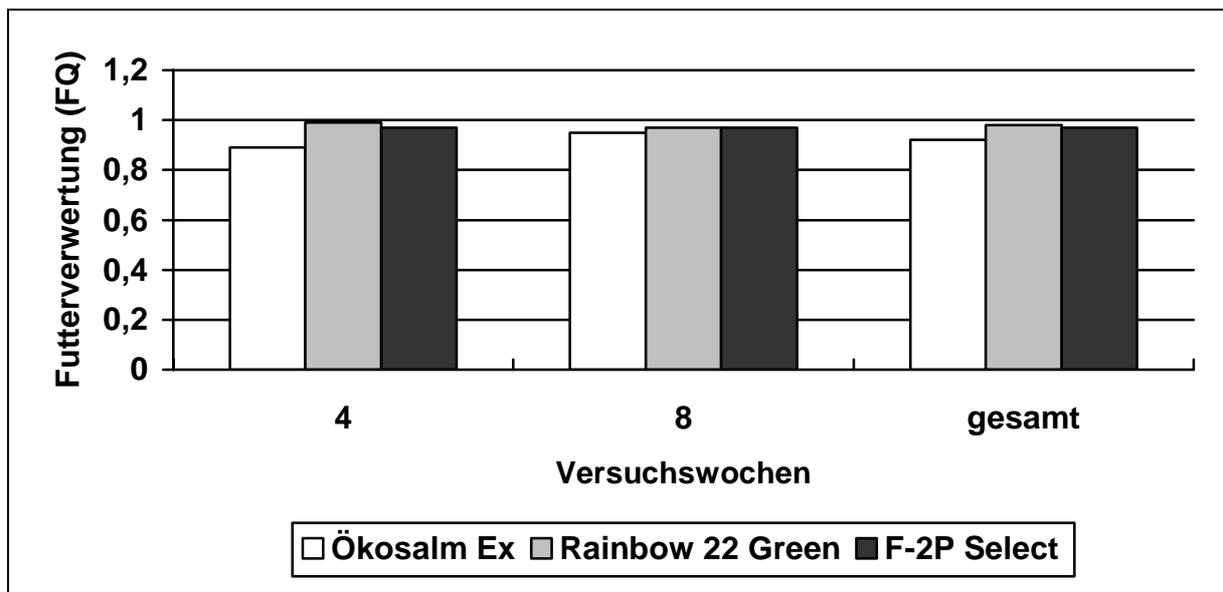
### **5.3 Einfluss von Öko- und konventionellem Futtermittel**

#### *5.3.1 Futtermittelverwertung und Gewichtsentwicklung*

Die Bestimmungen der Futtermittelverwertung und der Gewichtsentwicklung wurden bei allen Versuchsgruppen bei der Zwischenwiegung nach 4 Wochen und bei der Endwiegung nach 8 Wochen vorgenommen.

Als Maß für die Futterverwertung wird der Futterquotient (FQ) verwendet, der Auskunft darüber gibt, wie viel Gramm Futter ein Fisch aufnehmen muss, damit sein Gewicht um ein Gramm steigt.

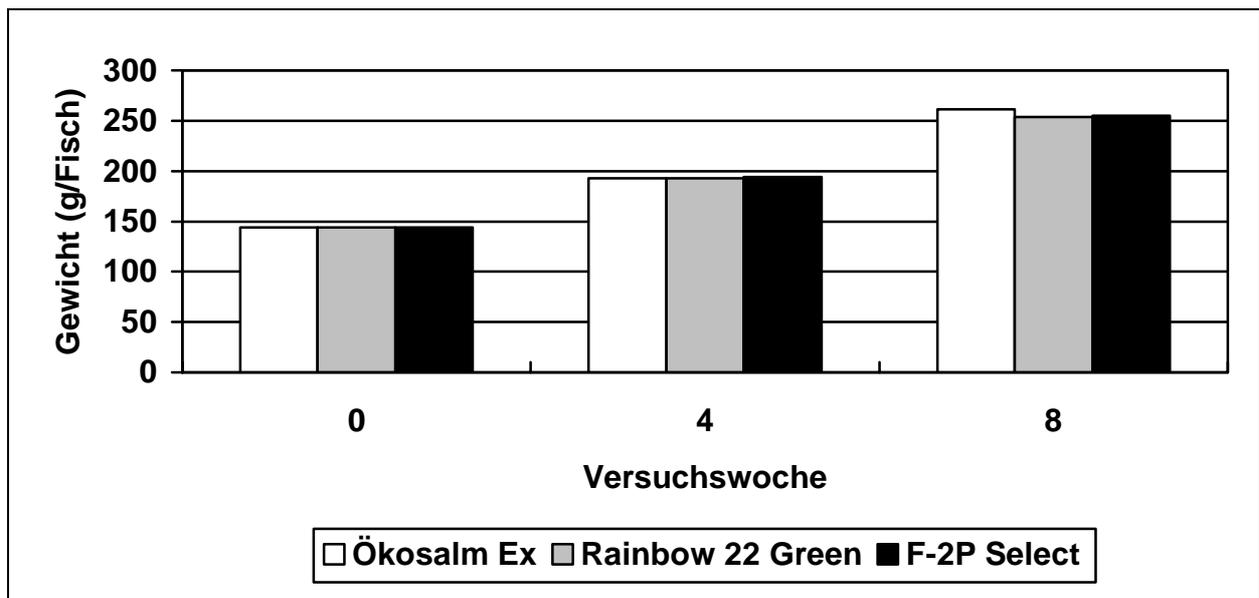
Abb. 8: Futterverwertung



Bei den Futterquotienten der 3 verschiedenen Futtermittel zum Zeitpunkt der Zwischenwiegung nach 4 Wochen fällt eine bessere Futterverwertung von Ökosalm Ex (0,89) auf. Die Gruppen Rainbow 22 Green (0,99) und F-2P Select (0,97) sind hinsichtlich der Futterverwertung sehr ähnlich und weisen im Gegensatz zur erstgenannten Gruppe etwas schlechtere Werte auf. Da die FQ-Werte bei der Endwiegung nach 8 Wochen fast auf dem gleichen Niveau liegen, gibt der Unterschied aus der Zwischenwiegung den Ausschlag für die insgesamt niedrigere Futterverwertung von Ökosalm Ex. Die Unterschiede sind jedoch so gering, daß sie nicht als signifikant angesehen werden können.

Mit diesen Werten für den Futterquotient liegen alle 3 Futtermittel deutlich in dem bei der Forellenzucht erwünschten Normbereich für den FQ von <1 bis 1,5.

Abb. 9: Durchschnittliche Gewichtsentwicklung (g/Fisch)



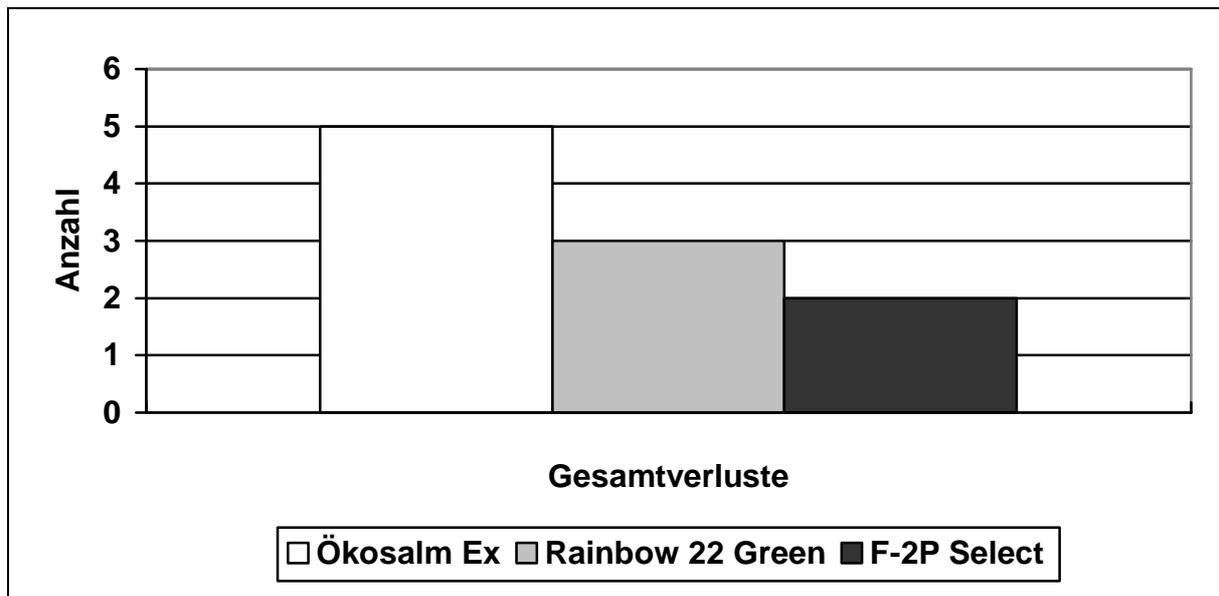
Die Gewichtsentwicklungen der einzelnen Gruppen verlaufen zu jedem Zeitpunkt des Versuches sehr ähnlich. Die Differenz zwischen den durchschnittlichen Fischgewichten ist sowohl bei der Zwischenwiegung nach 4 Wochen, als auch bei der Endwiegung minimal. Die Unterschiede sind daher nicht signifikant.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Karl et al. (2004) und Wedekind (2003), die eine Überlegenheit konventioneller Futtermittel gegenüber ökologisch produziertem Futter hinsichtlich Wachstum und Futterverwertung belegen, erscheinen die Futtermittel des vorliegenden Versuches ebenbürtig.

### 5.3.2 Sterblichkeit

Während des gesamten Versuches wurden die Versuchsbecken täglich auf verendete Tiere überprüft und diese dann abgesammelt.

Abb. 10: Gesamtverluste (Anzahl)



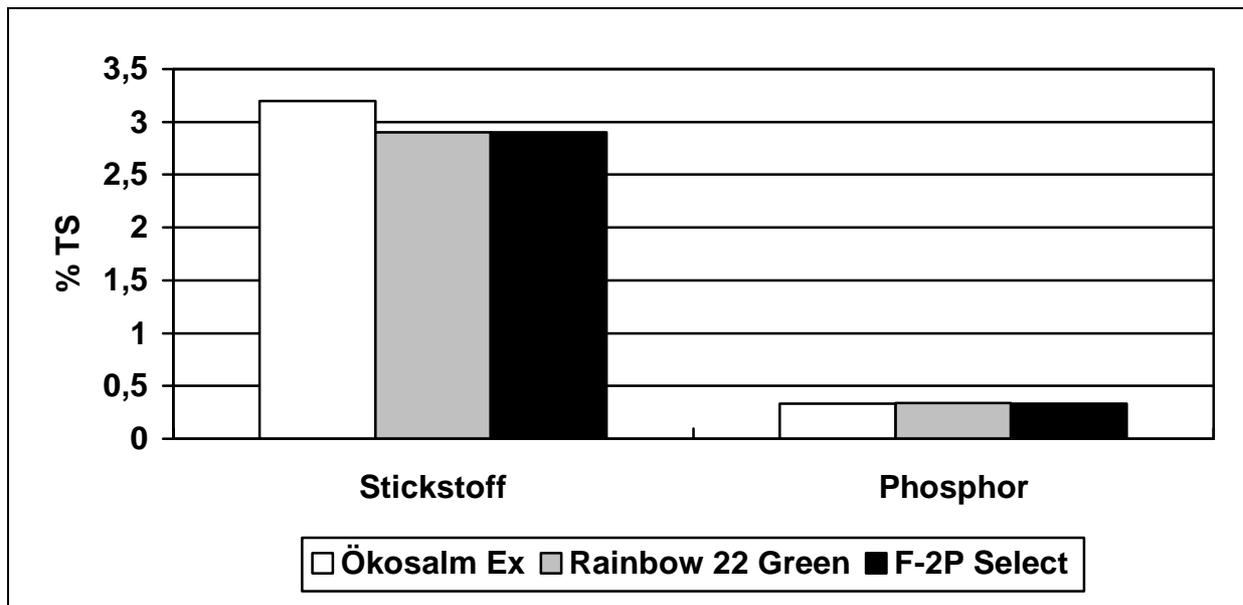
Bezogen auf die Gruppengröße von 600 Fischen weisen die Verluste bei Ökosalm Ex mit 0,8% (5 Tote), bei Rainbow 22 Green mit 0,5 (3 Tote) und bei F-2P Select mit 0,3 (2 Tote) geringe Sterblichkeitsraten auf. Untereinander verglichen sind die Verluste bei Ökosalm Ex zwar mehr als doppelt so hoch wie bei F-2P Select, doch bezogen auf die Besatzgröße sind die Unterschiede nicht signifikant und bedeutungslos.

Laut Schäperclaus und v. Lukowicz (1998) sind bei der Aufzucht von Forellen in diesem Wachstumsstadium Verluste von bis zu 5 % zu erwarten. Die ermittelten Werte liegen somit im Normbereich.

### 5.3.3 Umweltbelastung

Im vorliegenden Versuch wurden die Werte für den Gehalt an Stickstoff bzw. Phosphor im Fischfilet der Versuchsgruppen ermittelt, um eventuelle Unterschiede zwischen den Futtermitteln zu belegen.

Abb. 11: Stickstoff- und Phosphorgehalte im Filet nach der Schlachtung S0 (% TS)



Die Ergebnisse aus der Analyse von Stickstoff- und Phosphorgehalt im Filet zeigen geringe Unterschiede zwischen den 3 Futtermitteln.

Der Grund für die Verbesserung der Umweltfreundlichkeit könnte darin liegen, daß der Fischmehlanteil von Ökosalm Ex aus Abfällen der Schlachtung von Heringen stammt. Heringe haben durch ihr relativ kleines Skelett ein besseres Fleisch-Knochen-Verhältnis. Das Fischmehl in Rainbow 22 Green wurde aus nachhaltigem Fischfang hergestellt, d. h. es wurden ganze Fische verarbeitet, was ein gutes Fleisch-Knochen-Verhältnis ermöglicht.

Durch die Verwendung von Heringsmehl bzw. Ganzfisch wurde der Anteil an Rohasche im Futter gesenkt, was wiederum einen geringeren Gehalt an Phosphor zur Folge hatte.

Ein hoher Gehalt an Rohasche senkt außerdem die Verdaulichkeit des Futters und dementsprechend auch die Futtermittelverwertung. Durch eine Reduzierung des Rohascheanteils kann Rohprotein besser verdaut werden und folglich sinken die Stickstoff-Emissionen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Versuches belegen, daß die Versuchsgruppen gleiche Mengen an Stickstoff und Protein aufgenommen haben. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Karl et al. (2004) und Wedekind (2003), die eine höhere Umweltbelastung von Ökofutter feststellen, ist daher keine höhere Belastung der

Umwelt durch die Ökofuttermittel zu erwarten. Weitere Analysen zur Umweltbelastung durch Ökofuttermittel sind Gegenstand nachfolgender Doktorarbeiten.

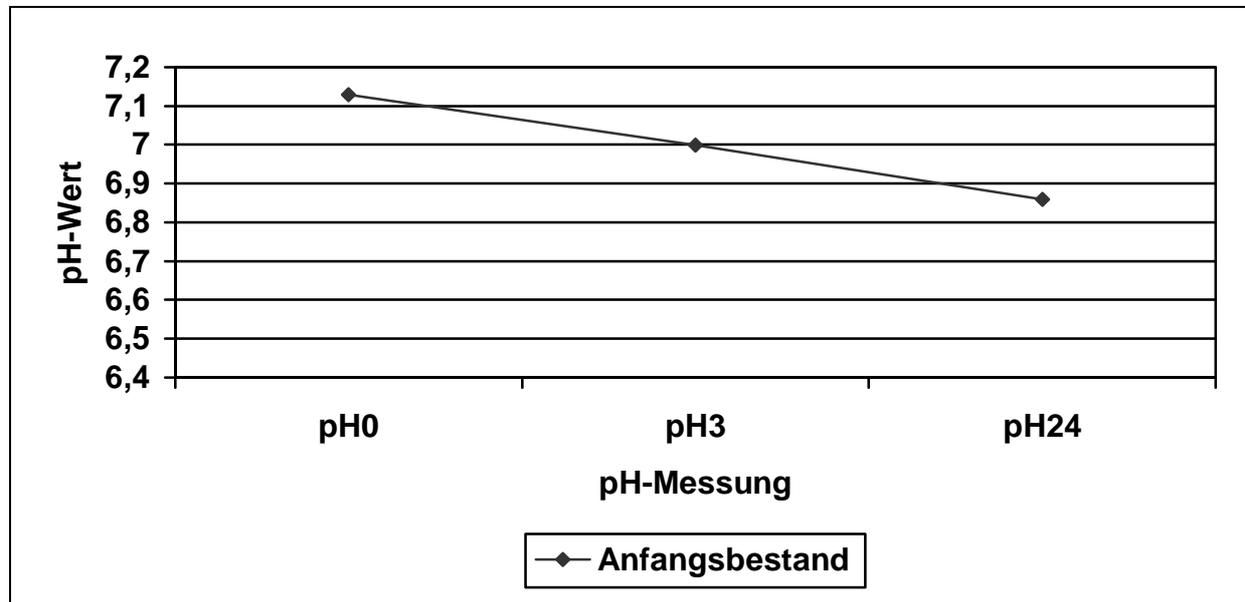
#### *5.3.4 Fischqualität*

##### 5.3.3.1 pH-Wert

Mit Eintritt des Todes bei der Schlachtung beginnen die anaeroben Abbauprozesse von Glykogen zu Milchsäure in der Muskulatur. Folglich wird das Bakterienwachstum durch die Säuerung gehemmt und dadurch eine längere Haltbarkeit des Fleisches erzielt. Insofern ist der pH-Wert für die Fleischqualität von großer Bedeutung. Die pH-Werte wurden nach der Ausgangsschlachtung (S0) und nach der Endschlachtung (S8) bestimmt. Die Messungen erfolgten unmittelbar post mortem (pH0), 3 Stunden (pH3) und 24 Stunden (pH24) nach der Schlachtung.

Bei der Ausgangsschlachtung wurden aus dem Anfangsbestand 20 Forellen entnommen und der pH-Wert in der Muskulatur gemessen.

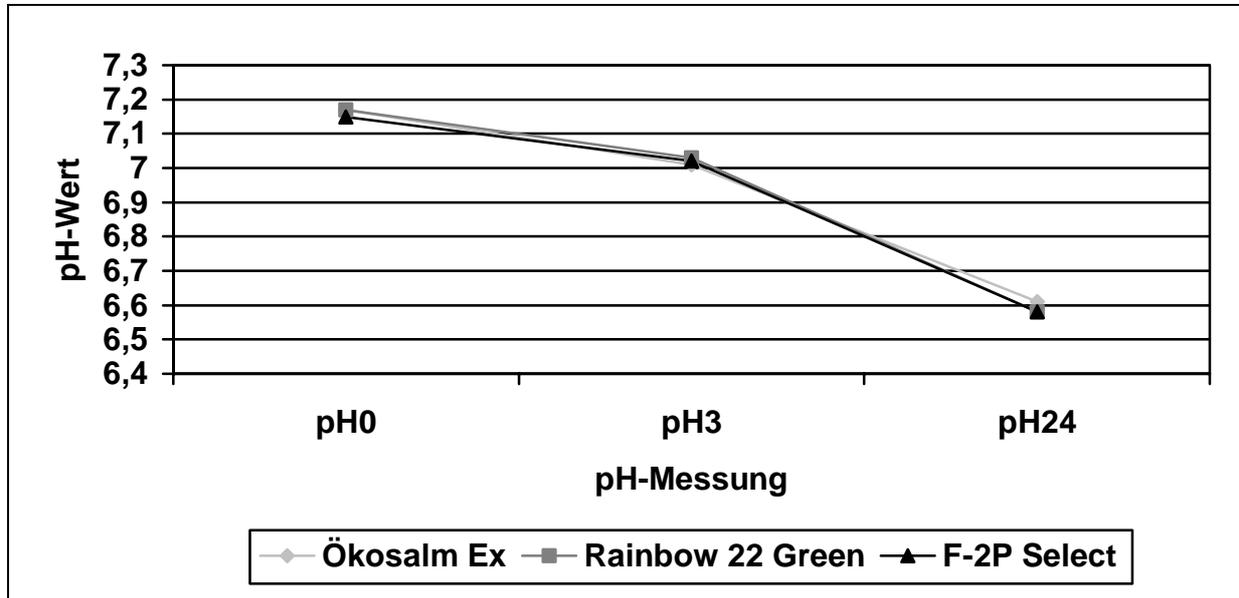
Abb. 12: Verlauf des pH-Wertes im Muskel bei der Ausgangsschlachtung (S0) direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24); n = 20



Direkt nach der Schlachtung wurde im Muskel ein durchschnittlicher pH-Wert (pH0) von 7,13 bestimmt, der nach 3 Stunden (pH3) auf 7,00 und nach 24 Stunden (pH24) auf 6,86 sank.

Bei der Endschlachtung wurden jeder der 9 Versuchsgruppen 6 Forellen entnommen und hinsichtlich ihrer pH-Werte untersucht.

Abb. 13: Verlauf des durchschnittlichen pH-Wertes bei der Endschlachtung (S8) direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24); n = 54



Bei pH0 wurde für Ökosalm Ex und Rainbow 22 Green ein Wert von 7,17 bestimmt, während der von F-2P Select bei 7,15 lag. Zum Zeitpunkt pH3 wurden bei Ökosalm Ex 7,01, bei Rainbow 22 Green 7,03 und bei F-2P Select 7,02 gemessen. Die Bestimmung bei pH24 ergab für Ökosalm Ex einen Wert von 6,61 und für die beiden anderen Futtermittel 6,58. Die Ergebnisse zeigen demnach durchschnittliche pH-Wert-Verläufe, die bei allen drei Gruppen zu jedem Zeitpunkt der Messung sehr ähnlich sind.

Es ist zu erkennen, daß der pH-Wert zwischen pH3 und pH24 bei den Messungen des Anfangsbestands nicht in dem Maß absinkt wie bei den Versuchsgruppen bei der Endschlachtung. Der Unterschied könnte, wie Nakayama et al. (1992) beschreiben, stressbedingt sein, da die Fische vor der Anfangsschlachtung durch die Überführung in kleinere Becken und über den Zeitraum der Sortierung gestresst wurden. Dadurch wurde schon vor der Schlachtung eine große Menge des Glykogens verbraucht, die für die postmortale Säuerung anschließend nicht mehr zur Verfügung stand.

Es wurde kein pH-Wert unter 6 gemessen. Somit ist kein Qualitätsverlust infolge der von Tomlinson et al. (1965) und Kim (1984) beschriebenen „Chalkiness“ zu erwarten,

bei dem eine verminderte Löslichkeit des myofibrillären und sarkoplasmatischen Proteins ein kreide-ähnliches, transparentes Filet und hohe Kochverluste durch eine erhöhte Wasserbindungsfähigkeit bedingt.

Da die pH-Werte demnach nicht mit einer hohen Geschwindigkeit sanken, kam es auch nicht zu dem von Lavety (1984) und Love (1975) beschriebenen „Gaping“, bei dem das Fleisch durch die Aufweichung des intermuskulären Gewebes brüchig wird und auseinander klafft.

Die Unterschiede in den Verlaufskurven der pH-Werte waren sowohl zwischen dem Anfangsbestand und den Versuchsgruppen, als auch zwischen den Versuchsgruppen untereinander nicht signifikant. Folglich haben die verschiedenen Futtermittel keinen Einfluss auf den pH-Wert-Verlauf post mortem und damit auf die Fleischqualität.

#### 5.3.3.2 Fleischfarbe und –helligkeit

Der Verbraucher hat bestimmte Vorstellungen davon, wie ein Nahrungsmittel auszusehen hat. Nach diesen Vorstellungen richtet er sein Kaufverhalten aus und deshalb sind Fleischfarbe und –helligkeit sehr wichtige Qualitätsparameter. Beim Forellenfilet wird darauf Wert gelegt, daß das Fleisch eine leicht rötliche Färbung besitzt. Produkte, die zu dunkel oder zu hell sind und eine abweichende Farbe aufweisen, werden vom Konsumenten als minderwertig angesehen und nicht erworben.

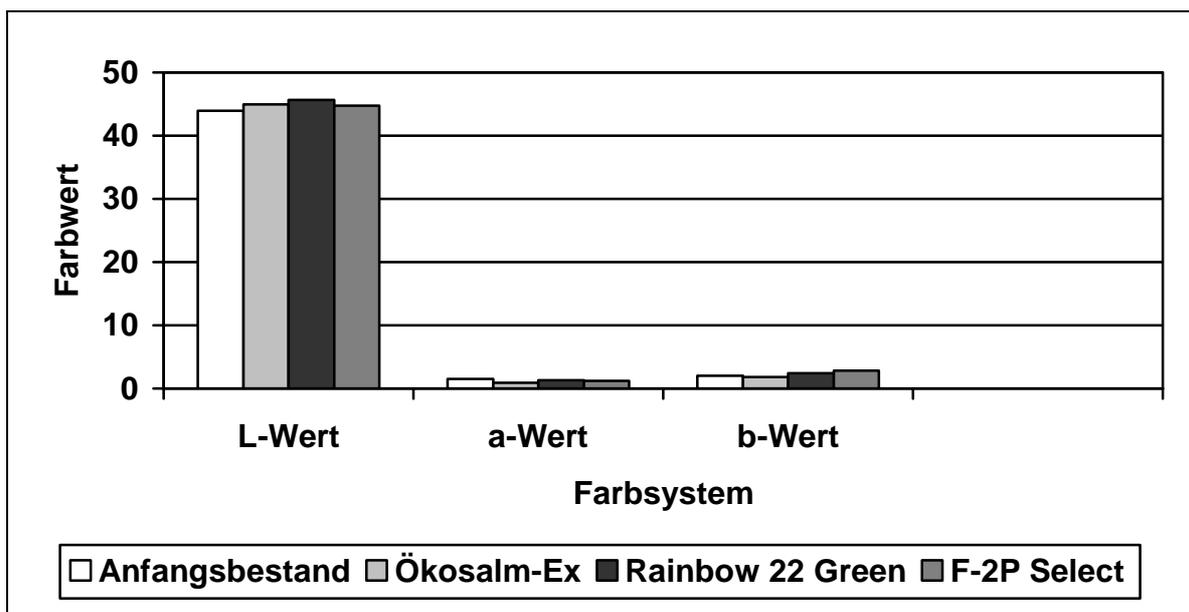
Die Qualitätsparameter Fleischfarbe und –helligkeit werden unmittelbar durch die Fütterung beeinflusst. Dabei spielen die Salmoniden, zu denen die Forellen auch gehören, eine Sonderrolle, da sie in der Lage sind Farbstoffe in ihren Muskeln einzulagern. Die Farbe und deren Intensität im späteren Filet hängen von der Konzentration der Farbstoffe im Futter und der Dauer der Fütterung ab. Mittlerweile ist es üblich rote Carotinoide wie Asthaxanthin und Canthaxanthin dem Forellenfutter beizumengen, um den erwähnten Effekt, z. B. bei Lachsforellen, zu erreichen (Storebakken und Choubert, 1991).

Unerwünschte Farbänderungen entstehen durch die Einlagerung anderer Farbstoffe in die Muskulatur. Besonders Lutein, ein pflanzliches, gelbes Carotinoid, spielt dabei

eine Rolle. Normalerweise wird es dem Forellenfutter nicht beigemischt, kann aber durch die Aufnahme von Pflanzenteilen oder einigen Crustaceen-Arten eine Gelbfleischigkeit verursachen (Deufel, 1975; Hoppe, 1972).

Zur Untersuchung der Einflüsse der Futtermittel auf Helligkeit und Farbe des Fleisches wurden die L-, a- und b-Werte gemessen. Der L-Wert bezeichnet den Grad der Helligkeit und liegt auf einer Skala zwischen 0 (schwarz) und 100 (weiß). Der a-Wert zeigt die Intensität der Rotfärbung des Filets an. Je höher er liegt, desto mehr roter Farbstoff wurde in die Muskulatur eingelagert. Der b-Wert beschreibt den Grad der Gelbfärbung. Je höher er liegt, desto intensiver ist die Gelbfärbung.

Abb. 14: Farb- und Helligkeitsergebnisse bei der Messung der Filets  
(Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8);  
n = 20



Die in Abb. 13 dargestellten Unterschiede sind gering und demnach nicht signifikant. Folglich hatte die Verwendung der 3 Futtermittel keinen Einfluss auf Farbe und Helligkeit des Fischfilets.

### 5.3.3.3 Sensorische Bewertung

Die sensorische Bewertung der Fleischqualität wurde nach Fliedner et al. (1993) von einem Sensorik-Team, das aus 5 Prüfern bestand, am Institut für Fischerei der

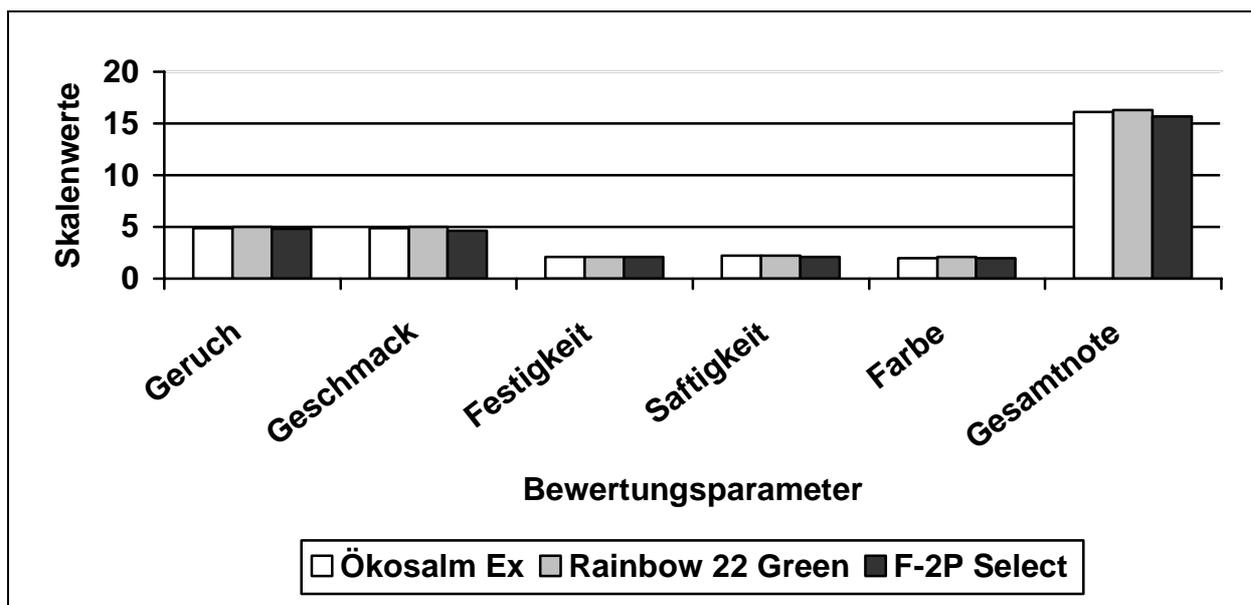
Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Starnberg durchgeführt. Als Prüfungsform wurde eine hedonische (Beliebtheits-) Prüfung verwendet, bei der die Prüfer die Rolle des Verbrauchers übernehmen und über subjektive Eindrücke die Akzeptanz des Verbrauchers gegenüber dem Filet darstellen.

Von den 3 Versuchsgruppen wurden den Prüfern jeweils 2 Filets aus der Schlachtung S8 in zufälliger Reihenfolge vorgesetzt.

Von den dampfgegart und ungewürzten Filets bekam jeder Prüfer immer den selben Teil und bewertete ihn hinsichtlich des Geruchs, des Geschmacks, der Festigkeit, der Saftigkeit und der Farbe.

Es wurde überprüft, ob die eingesetzten Futtermittel einen Einfluss auf die Produktqualität bei Forellen haben.

Abb. 15: Durchschnittliche Ergebnisse der sensorischen Bewertung



Anhand der Ergebnisse erkennt man die Ausgeglichenheit in der Bewertung der einzelnen Parameter. Vom statistischen Standpunkt waren nur die Unterschiede zwischen Ökosalm Ex auf der einen Seite und Rainbow 22 Green und F-2P Select auf der anderen Seite hinsichtlich des Geschmacks signifikant. Im Hinblick auf die Übereinstimmungen bei den anderen geprüften Eigenschaften und die nicht-signifikanten Unterschiede im Gesamtergebnis zeigt die sensorische Untersuchung, daß die verwendeten Futtermittel keinen Einfluss auf die Produktqualität haben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Karl et al. (2004) und Wedekind (2003) belegen eine Überlegenheit konventioneller Futtermittel gegenüber ökologisch produziertem Futter hinsichtlich Wachstum und Futtermittelverwertung. Im Gegensatz dazu erscheinen die Ökofuttermittel in dem vorliegenden Versuch dem herkömmlichen Futter ebenbürtig. Die bessere Futtermittelverwertung der Ökofuttermittel im Vergleich zu früher bedingt gleichzeitig eine geringere Belastung der Umwelt durch niedrigere Stickstoff- und Phosphor-Emissionen.

Allerdings besteht laut den Herstellern ein großer Unterschied zwischen den Preisen für die Ökofutter (1,53 bzw. 1,31 €/kg) und dem konventionell hergestellte Futtermittel (1,07 €/kg).

## 6. Zusammenfassung

### Alternative Fütterungsmethoden in der Mast von Regenbogenforellen

#### 6.1 Einsatz von Maca-Pulver (*Lepidium meyenii*) in Forellenbrutfutter zum Zweck der Leistungssteigerung

Die in der Literatur beschriebenen leistungssteigernden Effekte der südamerikanischen Knolle Maca (*Lepidium meyenii*) bei Forellenbrütlingen waren die Grundlage für den vorliegenden Versuch. Das Wachstum und die Überlebensrate der Fische sollen sich danach unter dem Zusatz von Maca zum Futter verbessern.

In einem Fütterungsversuch sollten die Befunde über angeblich leistungsfördernde Wirkungen von Maca auf Brütlinge der Regenbogenforelle überprüft werden. Dazu wurden 12 Gruppen zu je 4000 Fischen gebildet, die über 14 Wochen im Institut für Fischerei in Starnberg gehalten wurden. Aus zwei verschiedenen Grundfuttermischungen, „BioMar®“ bzw. einer Mischung des Futtermischbetriebes „Gründleinsmühle“, wurden insgesamt 4 Futtermittelvarianten gebildet, in die 10 % Maca-Pulver bzw. Weizenquellmehl (Kontrolle) zugemischt wurden. Nach der Hälfte der Versuchszeit wurde die Anzahl der Brütlinge jeder Gruppe auf 500 und die Anzahl der Futtermittel auf zwei, nämlich „BioMar®“ mit oder ohne Maca-Zusatz, reduziert.

In der ersten Hälfte des Versuches entwickelte sich das Gewicht der mit Maca supplementierten Fische signifikant schlechter als das der Kontrollgruppen. Die Futtermittelnutzung dieser Gruppen verschlechterte sich ebenfalls, aber nicht signifikant.

In der zweiten Versuchshälfte traten weder in der Gewichtsentwicklung, noch in der Futtermittelnutzung, noch in der Sterblichkeit signifikante Unterschiede zur Kontrolle auf.

Damit konnte gezeigt werden, daß der Zusatz von Maca-Pulver keine leistungsfördernden Eigenschaften unter den in diesem Versuch vorliegenden

Bedingungen besitzt und die Gewichtsentwicklung, die Futtermittelverwertung und die Sterblichkeit der Regenbogenforellenbrut nicht positiv beeinflusst.

## **6.2 Untersuchungen zur Optimierung ökologischen Forellenfutters in Bezug auf Wasser- und Umweltschutz**

Im zweiten Teil der Arbeit sollte ökologisch produziertes Futtermittel mit konventionellem Futter verglichen werden. In der Literatur finden sich Hinweise, daß die Rückstände aus Ökofutter die Umwelt mit Phosphat- und Nitrat-Emissionen oft stärker belasten. Eng mit diesem Thema sind auch Futtermittelverwertung und Gewichtszuwachs verbunden, da die Umweltbelastung mit der Menge an eingesetztem Futter steigt. Deshalb wurden in diesem Versuch sowohl die leistungsbezogenen als auch die ökologischen Eigenschaften der verwendeten Futtermittel miteinander verglichen.

Aus einem Anfangsbestand wurden 1800 Regenbogenforellen in 9 Gruppen mit jeweils 200 Tieren aufgeteilt und für 8 Wochen in Rundstrombecken des Instituts für Fischerei in Starnberg gesetzt. Es wurden 2 ökologisch produzierte und ein konventionelles Futtermittel miteinander verglichen. Nach 4 und nach 8 Wochen erfolgten Wiegungen, denen am Ende des Versuchs Probeschlachtungen zur Bestimmung der Produktqualität und für laboranalytische Untersuchungen folgten.

Keiner der untersuchten Parameter weist signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Futtermitteln auf. Weder die leistungsbezogenen Eigenschaften wie Futtermittelverwertung, Zuwachs oder Sterblichkeit, noch die lebensmitteltechnischen Bewertungen zeigten Vor- oder Nachteile des ein oder anderen Probefutters.

Aufgrund der in diesem Versuch erzielten Ergebnisse wurde festgestellt, daß die verwendeten Ökofuttermittel im Gegensatz zu Hinweisen aus der Literatur hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Umweltverträglichkeit auf dem gleichen Niveau wie das konventionelle Futter liegen.

## **7. Summary**

**Simon Eimer**

### **Alternative feeding methods in production of rainbow trout**

#### **7.1 Supplementation of maca meal (*Lepidium meyenii*) in diets of rainbow trout juveniles in purpose of growth and survival enhancement**

Literature of efficiency improving effects of the south-american tuberous plant Maca (*Lepidium meyenii*) in diets of rainbow trout juveniles were the basis for this feeding study. According to these reports growth and survival of trout juveniles increase with addition of maca (*Lepidium meyenii*) to the diet.

In this feeding experiment these reports about efficiency improving effects of maca were tested in rainbow trout juveniles. For that 12 groups with 4000 fishes each were established, which were then kept in flumes for 14 weeks in the Institute for Fishery in Starnberg. Out of two basic food mixtures, „BioMar®“ and one mixture of the fodder mixing factory „Gründleinsmühle“, 4 different variations of feeding stuff were produced by supplementation of 10 % Maca meal or rather wheat flour (control). After half of the experimental time the number of trout juveniles of each group was declined to 500 and the number of dietary variations were reduced to two, namely „BioMar®“ with or without Maca.

In the experiment's first half the average weight of fishes receiving Maca developed significantly worse than that of the control groups. Thereby feed conversion ratio of the experimental groups also declined but not significantly.

In the second half of the experiment no significant differences could be detected neither in growth rate nor in feed conversion ratio nor in mortality loss in comparison with the control group.

Therefore it can be concluded, that the use of Maca as an additive in diets for rainbow trout juveniles does not contain efficiency enhancing features under present conditions and that growth rate, feed conversion ratio and mortality are not influenced in a positive way.

## **7.2 Assay on optimization of ecologically produced diets for rainbow trouts in terms of water and environmental protection**

In the second part ecologically produced diet for fish should be compared with conventional fodder. In literature evidence is found, that often residues of eco fodder pollute the environment more in terms of phosphatic and nitrate emissions. Feed conversion ratio and weight gain are also closely related with this problem, since the environmental impact increases with the amount of fodder applied. Thus in this experiment the efficiency improving effects as well as ecological features of the applied diets were compared.

At the beginning 1800 rainbow trouts were separated into 9 groups with 200 fishes each and kept in basins with circular flow for 8 weeks. Two ecologically produced fish diets and one conventional fodder were compared with each other. After 4 and 8 weeks the average weight of each fish was measured and at the end of the experiment sample slaughters took place in order to determine the product quality. Additionally laboratory analysis was carried out.

None of the examined parameters showed significant differences between the tested feeding stuff. Neither efficiency-related features as feed conversion ratio, growth rate or mortality nor the valuation of food quality brought up any assets or drawbacks of one or the other diet sample.

Due to the results achieved in this experiment it was found out, that the applied ecological diets are comparable to conventional fodder, when effectiveness and environmental compatibility are compared.

## 8. Literaturangaben

Bergleiter, S. (2001):

Organic products as high quality niche products: background and prospects for organic freshwater aquaculture in Europe,  
Report of the ad hoc EIFAC/EC Working Party on Market Perspectives for European Freshwater Aquaculture, Brussels, Belgium, 14 – 16 May 2001: 84-94

BMVEL (2002):

Jahresbericht über die deutsche Fischwirtschaft 2002,  
Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.),  
Postfach 14 02 70, 53107 Bonn

Bruhn, M. (2001):

Die Nachfrage nach Bioprodukten – Eine Langzeitstudie unter besonderer Berücksichtigung von Verbrauchereinstellungen,  
Dissertation, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Christians-Albrecht-Universität, Kiel

Canales, M., Aguilar, J., Prada, A., Marcelo, A., Huaman, C., Carbajal, L. (2000) :  
Nutritional evaluation of *Lepidium meyenii* (Maca) in albino mice and their descendants,  
Arch Latinoam Nutr. 50 (2): 126-133

Chacon, R. C. (1961) :

Estudio fitoquímico de *Lepidium meyenii*,  
Dissertation, Univ., Nac. Mayo de San Marcos, Peru

Chezzi, G. (1998) :

Erfahrungen mit extrudiertem Fischfutter,  
Krafftutter Feed Magazine 7-8: 288-291

Cho, C. Y., Cowey, C. B. (1991):

Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*,

Wilson R. P. (Hrsg.),

Handbook of Nutrient Requirements of Finfish : 131-143,

CRC Press, Boston, London

Choubert, G., Luquet, P. (1983):

Utilization of shrimp meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) pigmentation,

influence of fat content of diet,

Aquaculture 32: 19-26

Cicero, A. F., Bandieri, E., Arletti, R. (2001):

*Lepidium meyenii* walp. improves sexual behaviour in male rats independently from its action on spontaneous locomotor activity,

J. Ethnopharmacol. 75 (2-3): 225-229

Deufel, J. (1975):

Gelbfleischigkeit bei Forellen und Möglichkeiten ihrer Beseitigung oder Verhinderung,

Fischerei und Teichwirtschaft 26: 5

Dini, A., Magliuolo, G., Rastrelli, L., Saturnino, P., Schettino, O. (1994):

Chemical composition of *Lepidium meyenii*,

Food Chemistry 49: 347-349.

Fliedner, I., Wilhelmi, F. (1993):

Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik,

Behr's Verlag, Hamburg

Gonzales, G. F., Cordova, A., Gonzales, C., Chung, A., Vega, K., Villena, A. (2001)

*Lepidium meyenii* (Maca) improved semen parameters in adult men,

Asian Journal of Andrology 3: 301-303

Gonzales, G. F., Ruiz, A., Gonzales, C., Villegas, L., Cordova, A. (2001):  
Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) roots on spermatogenesis of male rats,  
*Asian Journal of Andrology* 3: 231-233

Goodwin, T. W. (1971):  
Pigments of arthropoda,  
Florkin und Scheer (Hrsg.)  
*Chemical Zoology*, Vol. VI, Chapter 8: 279  
Academic Press New York and London

Hoppe, P. (1972):  
Über die Gelbfleischigkeit der Speiseforelle,  
*Münchener Beiträge* 23: 79-85

Huss, H. H. (1988):  
Fish quality and quality changes,  
FAO Fisheries Series 29

Johns, T. (1981):  
The anu and the maca,  
*Journal of Ethnobiology* 1: 208-211

Karl, H., Hilge, V. (2004):  
Qualitätsvergleich von Regenbogenforellen aus konventioneller und ökologisch  
zertifizierter Aufzucht als Voraussetzung für eine Verbesserung der  
Wettbewerbsfähigkeit von Bioforellen,  
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Bundesanstalt für  
Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), 53168 Bonn

Kaushik, S. J. (1980):  
Influence of nutritional status of the daily patterns of nitrogen excretion in the carp  
(*Cyprinus carpio* L.) and the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.),  
*Reprod. Nutr. Dévelop.* 20: 1751-1765

Keuls, M. (1952):

The use of studentized range in connection with analysis of variance,  
Euphytica 1: 112-122

Kim, B. C. (1984):

Der Schlachtkörperwert und die Fleischqualität bei Regenbogenforellen,  
Dissertation, Göttingen

Kohlmunzer, S. (1993):

Farmakognozja,  
PZWL (Hrsg.),  
Warschau

Kreuzig, T. (1997):

Biochemie: Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog 1,  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Lavety, J. (1984):

Closing in on fillet gape,  
Fish Farming International 5: 6-7

Lee, K.-J., Dabrowski, K., Rinchar, J., Gomez, C., Guz, L., Vilchez, C. (2004):

Supplementation of maca (*Lepidium meyenii*) tuber meal in diets improves growth rate and survival of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) alevins and juveniles,

Aqua. Res. 35 (3): 215-310

Lehtinen, K.-J., Mattson, K., Tana, J., Engström, C., Lerche, O., Hemming, J. (1999):

Effects of wood related sterols on the reproduction, egg survival, and offspring of brown trout (*Salmo trutta lacustris* L.),

Ecotoxicol. Environ. Safe. 42: 40-49

Leon, J. (1964):

The "Maca" (*Lepidium meyenii*): a little known food plant of Peru,  
Economic Botany 18: 122-127

Love, R. M. (1975):

Variability in atlantic cod (*Gadus morhua*) from northeast Atlantic: a review of  
seasonal and environmental influences of various attributes of the flesh,  
J. Fish. Res. Bd. Can. 32: 2333-2342

Love, R. M. (1979):

The post-mortem pH of cod and haddock muscle and its seasonal variation,  
J. Sci. Food Agric. 30: 433-438

MacLatchy, D. L., Van Der Kraak, G. J. (1995):

The phytoestrogen  $\beta$ -sitosterol alters the reproductive endocrine status of goldfish,  
Toxicol. Appl. Pharmacol. 134: 305-312

Nakayama, T., Liu, D. J., Ooi, A. (1992):

Tension changes of stressed and unstressed carp muscle in isometric rigor  
contraction and resolution,  
Nippon Suisan Gakkaishi 58: 1517-1522

Naturland (2002):

Naturland Richtlinien für die Ökologische Aquakultur,  
Naturland-Verband für naturgemäßen Landbau e.V.,  
Kleinhaderner Weg 1, 82166 Gräfelfing

Naumann, C., Bassler, R. (1988):

Die chemische Untersuchung von Futtermitteln,  
Methodenbuch, Band III,  
Verlag J. Naumann, Neudamm

Nazir, D. J., Magar, N.G. (1962):

Biochemical changes in fish muscle during rigor mortis,  
J. Food Science 28: 1-7

NN (2003):

Hinweise zur Verringerung der Belastung der  
Gewässer durch die Fischhaltung,  
Manuskript, Gesprächskreis 61, BMU

Ogino, C., Kawasaki, H., Nanri, H. (1980):

Method for the determination of nitrogen retained in the fish body by the carcass  
analysis,  
Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46: 105-108

Parkes, R. W. (1994):

Measurement of colour in food,  
Food Technol. Internat. Europe: 175-176

Partmann, W. (1960):

Rigor- und Gefrieränderungen bei Süßwasserfischen in Abhängigkeit von der Zeit  
post mortem,  
Arch. Fischereiwissenschaft: 81-105

Paul, P. C., Palme, H. H. (1972):

Food theory and applications, poultry and fish,  
Wiley, J. (Hrsg.),  
Finfish Nutrition New York 8: 526

Pfeffer, E. (1993):

Ernährungsphysiologische und ökologische Anforderungen an Alleinfutter für  
Regenbogenforellen,  
Übers. Tierernährg. 21: 31-54

Quiros, C., Epperson, A., Hu, J., Holle, M. (1996):  
Physiological studies and determination of chromosome number in Maca, *Lepidium meyenii*,  
*Economic Botany* 50: 216-223

Rea, J. (1994):  
Maca (*Lepidium meyenii*),  
Bermejo und León (Hrsg.),  
Neglected crops: 1492 from a different perspective,  
*Plant Production and Protection Series* 26, FAO Rome : 165-179

Reichle, G. (1992):  
Neue Futtermittel auf dem Prüfstand der Praxis,  
*Fischer & Teichwirt* 43: 328-330

Reiter, R. (1999):  
Optimale Anwendungsdauer carotinangereicherter Futtermittel zur Erzeugung  
rotfleischiger Regenbogenforellen (Lachsforellen),  
*Fischer & Teichwirt* 50: 5-7

Rösch, R. (1999):  
Bringt die Intensivhaltung der Forellenproduktion eine Steigerung der  
Ablaufwasserbelastung?,  
*Aquakultur und Fischereiinformation, Rundbrief* 4

Satoh, S. (1991):  
Common carp, *Cyprinus Carpio*,  
Wilson R. P. (Hrsg.),  
*Handbook of Nutrient Requirements of Finfish* 55-67,  
CRC Press, Boston London

Savolainen, J. E. T., Gyllenberg, H. G. (1970) :  
Feeding of rainbow trouts with *Rhodotorula sannei* preparations. III. Amounts and  
qualities of caratinoids,  
Lebensmittel-Wiss. und Technologie 3:18

Schäperclaus, W., v. Lukowicz, M. (1998):  
Lehrbuch der Teichwirtschaft,  
Parey-Verlag, Berlin

Schreckenbach, K., Spangenberg, R., Krug, S. (1975):  
Die Ursache der Kiemennekrose,  
Z. Binnenfischerei DDR 22: 257-288

Schubring, R. (1998):  
Instrumentelle Farbmessung zur Bestimmung der Frische von Fisch,  
Fleischwirtschaft 78: 1296-1298

Schwarz, F. J. (1995):  
Determination of mineral requirements of fish,  
J. Appl. Ichthyol. 11: 164-174

Steffens, W. (1993):  
Die extrudierten Futtermittel für Forellenernährung und Gewässerschutz,  
Arch. Anim. Nutr. 45: 189-210

Steffens, W. (1999):  
Fütterung und Fischqualität,  
Fischer & Teichwirt 11: 440-443

Storebakken, T., Choubert, G. (1991):  
Flesh pigmentation of rainbow trout fed asthaxanthin or canthaxanthin at different  
feeding rates in freshwater and saltwater,  
Aquaculture 95: 289-295

Toledo, J., Dehal, P., Jarrin, F., Hu, J., Hermanns, M., Al-Shehbaz, I., Quiros, C. F. (1998):

Genetic variability of *Lepidium meyenii* and other andean *Lepidium* species (Brassicaceae) assessed by molecular markers,

Annals of Botany 82: 523-530

Tomlinson, N., Geiger, S. E., Dollinger, E. (1965):

Chalkiness in halibut in relation to muscle pH and protein denaturation,

J. Fish. Res. Board Can. 22: 653-663

Trautner und Bramstedt (1963):

Einfluß von Fang-, Tötungsmethoden auf ATP- und Glykogengehalt im Forellenmuskel,

Arch. für Fischereiwiss. 13: 130-138

Tremblay, L., Van Der Kraak, G. (1998):

Use of a series of homologous in vitro and in vivo assays to evaluate the endocrine modulating actions of  $\beta$ -sitosterol in rainbow trout,

Aquat. Toxicol. 43: 149-162

Wedekind, H. (2003):

Vergleich eines konventionellen mit einem „ökologischen“ Forellenfuttermittel,

Fischer & Teichwirt 54: 443-444

Zheng, B. L., He, K., Kim, C. H., Rogers, L., Shao, Y., Huang, Z. Y., Lu, Y., Yan, S. J., Qien, L. C., Zheng, Q. Y. (2000):

Effects of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behaviour in mice and rats,

Journal of Urology, Volume 55: 598-602

## 9. Anhang

**Sensorische Prüfung – Bewertungsbogen -**

am 06.10.2005

Prüfer Nr.:

Name:

Verkostung von gedämpften Filets der Fischart Regenbogenforelle

Bewertende Prüfung mit Skale

Durchgang 1 2 3 4 5 6

**Geruch**

sehr gut,  
angenehm      gut      eher gut      eher  
nicht gut      nicht gut      abstoßend

6	5	4	3	2	1	A
6	5	4	3	2	1	B
6	5	4	3	2	1	C

**Geschmack**

sehr gut,  
angenehm      gut      eher gut      eher  
nicht gut      nicht gut      abstoßend

6	5	4	3	2	1	A
6	5	4	3	2	1	B
6	5	4	3	2	1	C

**Festigkeit**

Muskelsegmente      Muskelsegmente      Muskelsegmente  
halten fest zusammen      sind leicht zu trennen      zerfallen leicht, breiig

3	2	1	A
3	2	1	B
3	2	1	C

**Saftigkeit**

saftig      weder sehr saftig  
noch sehr trocken      trocken

3	2	1	A
3	2	1	B
3	2	1	C

**Farbe**

kräftige,  
ansprechende Farbe      unauffällige  
Färbung      unerwünschter Farbton,  
untypisch blass oder grau

3	2	1	A
3	2	1	B
3	2	1	C

## 10. Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. W. A. Rambeck danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas und die stets freundliche und verständnisvolle Unterstützung während der Arbeit.

Bei Herrn Dr. Ulrich Wehr, meinem Betreuer, bedanke ich mich sehr für die nette und kompromisslose Unterstützung bei der Anfertigung der Dissertation.

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. Wedekind, Leiter der Landesanstalt für Fischerei in Starnberg, für die freundliche Aufnahme als „Gast-Doktorand“ und für die Unterstützung bei der Durchführung des Fütterungsversuches.

Herrn Reiter von der Landesanstalt für Fischerei in Starnberg danke ich sehr für die immer freundliche und entgegenkommende Betreuung und fachliche Unterstützung.

Ich bedanke mich herzlich bei den Mitarbeitern der Landesanstalt für Fischerei in Starnberg, insbesondere bei Herrn Strohmeier, Andi, Kurti, Martin, Ludwig und dem Sensorik-Team, für die vielen praktischen Hilfen, die verständnisvolle Unterstützung und die freundliche Atmosphäre.

Frau Stadler, Herrn Hesselbach und den anderen Mitarbeitern des Instituts für Tierernährung danke ich für die stets freundliche Kooperation beim Mischen der Futtermittel und die Unterstützung bei den Nährstoffanalysen.

Mein Dank gebührt auch Herrn Dr. Stamer von Naturland e.V. für die Unterstützung und fachliche Hilfe.

Ich danke meinen Freunden Jan, Julien und Alexander für deren Unterstützung und Ratschläge.

Meiner Familie schulde ich größten Dank für Geduld, Verständnis und Unterstützung.

## 11. Lebenslauf

Simon Eimer

11.07.1978	Geboren in Neuss als Sohn von Christa Eimer, geb. Mühlenbrock und Dr. Eberhard Eimer
1984-1988	Besuch der Grundschule in Neuss
1988-1997	Besuch des Quirinus-Gymnasiums in Neuss
04.06.1997	Allgemeine Hochschulreife
1998-2000	Studium der Tiermedizin an der Szent-István-Universität in Budapest/Ungarn
2000-2004	Studium der Tiermedizin an der Justus-Liebig-Universität in Giessen
30.06.2004	III. Staatsexamen
27.07.2004	Approbation als Tierarzt
September 2004	Beginn der Arbeiten an der vorliegenden Dissertation

## Abbildungen

- Abb. 1            Schematische Darstellung von *Lepidium meyenii* (Quelle: [www.rain-tree.com](http://www.rain-tree.com))
- Abb. 2            Futtermittelverwertung in der 1. Versuchsreihe (Wochen 1 bis 6)
- Abb. 3            Futtermittelverwertung in der 2. Versuchsreihe (Wochen 8 bis 14)
- Abb. 4            Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 0 bis 6
- Abb. 5            Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 8 bis 14
- Abb. 6            Gesamtverluste in der 1. Versuchsreihe (Anzahl)
- Abb. 7            Gesamtverluste in der 2. Versuchsreihe (Anzahl)
- Abb. 8            Futtermittelverwertung
- Abb. 9            Durchschnittliche Gewichtsentwicklung (g/Fisch)
- Abb. 10           Gesamtverluste (Anzahl)
- Abb. 11           Stickstoff- und Phosphorgehalte im Filet nach der Schlachtung S0 (% TS)

Abb. 12 Verlauf des pH-Wertes im Muskel bei der Ausgangsschlachtung (S0) direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24); n = 20

Abb. 13 Verlauf des durchschnittlichen pH-Wertes bei der Endschlachtung (S8) direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24); n = 54

Abb. 14 Farb- und Helligkeitsergebnisse bei der Messung der Filets (Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8); n = 20

Abb. 15 Durchschnittliche Ergebnisse der sensorischen Bewertung

## Tabellen

- Tab. 1 Durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung von Maca (Quelle: [www.rain-tree.com](http://www.rain-tree.com))
- Tab. 2 Futtervarianten der Gruppen FM1 bis FM4
- Tab. 3 Nährstoffzusammensetzung (% TS) von „BioMar®“ (lt. Hersteller)
- Tab. 4 Futterinhaltsstoffe lt. Herstellerangaben
- Tab. 5 Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 0 bis 6
- Tab. 6 Durchschnittliche Gewichtsentwicklung der Gruppen in den Wochen 8 bis 14
- Tab. 7 Futterverwertung in der 1. Versuchsreihe (Wochen 1 bis 6)
- Tab. 8 Futterverwertung in der 2. Versuchsreihe (Wochen 8 bis 14)
- Tab. 9 Verluste in der 1. Versuchsreihe [Anzahl, Gewicht (g)]
- Tab. 10 Verluste in der 2. Versuchsreihe [Anzahl, Gewicht (g)]
- Tab. 11 Durchschnittliche Gewichtsentwicklung (g/Fisch)
- Tab. 12 Futterverwertung Ökosalm-Ex (Messungen nach Wochen 4 und 8)
- Tab. 13 Futterverwertung Rainbow 22 Green (Messungen nach Wochen 4 und 8)
- Tab. 14 Futterverwertung F-2P Select (Messungen nach Wochen 4 und 8)

---

Tab. 15	Anzahl der Verluste
Tab. 16	Stickstoff- und Phosphorgehalte im Filet nach der Schlachtung S8 (% TS)
Tab. 17	Durchschnittliche pH-Werte direkt nach der Schlachtung (pH 0), 3 Stunden (pH 3) und 24 Stunden danach (pH 24)
Tab. 18	Farb- und Helligkeitswerte der Leber (Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8)
Tab. 19	Farb- und Helligkeitswerte der Filets (Anfangsbestand gemessen bei S0, Versuchsgruppen gemessen bei S8)
Tab. 20	Bewertungsergebnisse der sensorischen Untersuchung
Tab. 21	Korpulenzfaktoren
Tab. 22	Ausschlachtung (in %)
Tab. 23	Filetausbeute (mit Haut, in %)

## Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	circa
cm	Zentimeter
d. h.	das heißt
et al.	und Mitarbeiter
e. V.	eingetragener Verein
g	Gramm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	Uhrzeit
IE	Internationale Einheiten
l	Liter
lt.	Laut
kg	Kilogramm
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
ml	Milliliter
n	Anzahl
nm	Nanometer
Tab.	Tabelle
TS	Trockensubstanz
u. a.	unter anderem
v. a.	vor allem
Vit.	Vitamin
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil