

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

Geschäftsführender Vorstand:

Prof. Dr. H.-J. Gabius

Arbeit angefertigt unter der Leitung von

Prof. Dr. W.A. Rambeck

**Seltene Erden als Leistungsförderer
in der Fischzucht
Untersuchungen an Regenbogenforellen und Karpfen**

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

von

Renard Bernd

aus

Temeschburg

München 2005

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

Dekan: Univ.-Prof Dr. A. Stolle

Referent: Prof. Dr. W. Rambeck

Korreferent: Prof. Dr. M. El-Matbouli

Tag der Promotion: 15. Juli 2005

Für Karoline

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literaturübersicht.....	2
2.1. Nutzfischernährung, Fütterung von Karpfen und Forellen.....	2
2.1.1. Herkunft und natürlicher Lebensraum.....	2
2.1.2. Verdauungstrakt	3
2.1.3. Haltungssysteme und Bewirtschaftungsformen.....	3
2.1.4. Entwicklung zur modernen Fütterung	5
2.2. Nährstoffversorgung von Fischen	8
2.2.1. Energie	8
2.2.2. Proteine und Aminosäuren	10
2.2.3. Fette	14
2.2.4. Kohlenhydrate	16
2.2.5. Mineralstoffe	18
2.2.6. Vitamine.....	23
2.2.7. Andere Futterbestandteile	26
2.3. Leistungsförderer	31
2.3.1. Leistungsförderer mit antimikrobieller Wirkung.....	31
2.3.2. Stoffe mit Wirkungen auf den Intermediärstoffwechsel.....	32
2.3.3. Alternative Leistungsförderer.....	33
2.3.3.1. Probiotika.....	33
2.3.3.2. Prebiotika.....	34
2.3.3.3. Organische Säuren und ihre Salze.....	34
2.3.3.4. Enzyme.....	35
2.3.3.5. Ätherische Öle und Kräuter	36
2.3.4. Resümée und Ausblick	36
2.4. Seltene Erden.....	37
2.4.1. Elemente und Zuordnung der Seltenen Erden	37
2.4.2. Chemische und physikalische Eigenschaften.....	38
2.4.3. Biochemische Eigenschaften.....	38
2.4.4. Anwendungsgebiete der Seltenen Erden	40
2.4.4.1. Industrielle Anwendungsgebiete.....	40
2.4.4.2. Einsatz in der Agrarwirtschaft	40
2.4.4.3. Einsatz in der Tierproduktion	41
2.4.4.4. Einsatz in der Fischzucht.....	44
2.4.5. Mögliche Wirkmechanismen.....	45

3. Material und Methoden	47
3.1. Fütterungsversuch mit Karpfen und Regenbogenforellen	47
3.1.1. Versuchsaufbau.....	47
3.1.2. Tierhaltung.....	48
3.1.3. Futterzusammensetzung	49
3.1.4. Fütterung	51
3.2. Versuchsablauf.....	52
3.2.1. Bestimmung der Durchschnittsgewichte und der Futtermittelverwertung.....	52
3.2.2. Schlachtung.....	52
3.2.3. Untersuchung der Fleischqualität	53
3.2.3.1. pH-Wert Messung.....	53
3.2.3.2. Bestimmung der Fleischhelligkeit und Fleischfarbe	54
3.2.3.3. Bestimmung der Fleischfestigkeit	55
3.2.3.4. Weender Analyse → Bestimmung der Nährstoffzusammensetzung und Trockensubstanz.....	56
3.2.4. Verluste und Verhaltensänderungen	57
4. Ergebnisse	58
4.1. Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen	58
4.1.1. Gesundheitszustand und Verluste.....	58
4.1.2. Gewichtsentwicklung	58
4.1.3. Futterquotient	59
4.1.4. Fleischparameter	59
4.1.4.1 Schlachtgewichte.....	59
4.1.4.2. Filetgewichte.....	60
4.1.4.3. Restkörpergewichte	60
4.1.4.4. Innereingewichte	61
4.1.4.5. pH-Werte	61
4.1.4.6. Fleischfarbe	62
4.1.4.7. Fleischfestigkeit	63
4.1.4.8. Weender Analyse der Forellenfilets	63
4.2. Fütterungsversuch mit Karpfen	64
4.2.1. Gesundheitszustand und Verluste.....	64
4.2.2. Gewichtsentwicklung	64
4.2.3. Futterquotient	66
4.2.4. Fleischparameter	67
4.2.4.1. Weender Analyse der Karpfenfilets	67

<u>5. Diskussion</u>	<u>68</u>
5.1. Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen	68
5.1.1. Gewichte.....	68
5.1.2. Futterquotient	70
5.1.3. Fleischparameter	72
5.1.3.1. pH-Wert	72
5.1.3.2. Fleischfarbe und Fleischhelligkeit.....	73
5.1.3.3. Fleischfestigkeit	75
5.1.4. Weender Analyse	76
5.2. Fütterungsversuch mit Karpfen	77
5.2.1. Gewichtsentwicklung	78
5.2.2. Futterquotient	80
5.2.3. Weender Analyse der Karpfenfilets	81
<u>6. Zusammenfassung.....</u>	<u>82</u>
<u>7. Summary</u>	<u>83</u>
<u>8. Literaturverzeichnis</u>	<u>84</u>
<u>9. Danksagung</u>	<u>109</u>
<u>10. Lebenslauf</u>	<u>110</u>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der Zusammensetzung von Forellenfutter von 1950-1990 (Jensen, 1991).....	5
Tabelle 2: Vergleichende Zusammensetzung Brut- und Mastfutter von Regenbogenforellen mit prozentualer Anwendungsspanne (Reiter, 2001).....	6
Tabelle 3: Futterquotienten (FQ) verschiedener Nassfuttermittel bei Regenbogenforellen	6
Tabelle 4: Bedarfszahlen und Mangelkrankungen bei Karpfen und Forellen	25
Tabelle 5: Eigenschaften von Calcium und Lanthanoiden (nach EVANS, 1990); * abhängig von der Ordnungszahl	38
Tabelle 6: Effekte von REE bei der Produktion verschiedener Anbauprodukte	41
Tabelle 7: Ergebnisse von REE-Fütterungsversuchen aus Deutschland, GZ= Gewichtszunahme, FV= Futterverwertung	43
Tabelle 8: Forellenversuch mit Versuchsdaten aus dem Chinesischen übersetzt (Tang et al., 1997), FQ= Futterquotient	44
Tabelle 9: Karpfenversuch mit Versuchsdaten aus dem Chinesischen übersetzt (Tang et al., 1997), FQ= Futterquotient	44
Tabelle 10: Flächenverteilung und Besatz der Versuchsteiche	49
Tabelle 11: Zusammensetzung des Forellenfutters.....	50
Tabelle 12: Zusammensetzung des Karpfenfutters	50
Tabelle 13: Ergebnisse der REE-Gehaltanalysen	51
Tabelle 14: Verlustrate im Forellenversuch in %	58
Tabelle 15 : Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppen in g.....	58
Tabelle 16: Futterverbrauch in g und Futterverwertung (FQ) bei den Wägungen.....	59
Tabelle 17: Futterverbrauch, Futterquotient und prozentuale Abweichung zur Kontrollgruppe über die gesamte Versuchsdauer.....	59
Tabelle 18: Durchschnittliches Schlachtgewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung	60
Tabelle 19: Durchschnittliches Filetgewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung	60

Tabelle 20: Durchschnittliches Restkörpergewicht und Standardabweichung von je 10 Tieren.....	61
Tabelle 21: Durchschnittliches Innereingewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$).....	61
Tabelle 22: Durchschnittlicher pH zu den angegebenen Messpunkten von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)	62
Tabelle 23: Durchschnitt von L-, a-, b-Werten von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$).....	62
Tabelle 24: Durchschnitt der Festigkeitswerte von je 10 Filethälften und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$).....	63
Tabelle 25: Trockensubstanz (TS) in % der ursprünglichen Substanz; $R_p + R_{fe}$ in % der TS; jeweils Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung σ (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)	63
Tabelle 26: Verlustraten in den einzelnen Teichen nach 14 Wochen	64
Tabelle 27: Durchschnittsgewichte bei den Wägungen in g und Standardabweichungen (Zwischenwägungen 1-3 mit Signifikanztest Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$).....	65
Tabelle 28: zeigt die Gewichtszunahme, den Futterverbrauch und den Futterquotienten pro Versuchsteich und im Gruppendurchschnitt, BBB= Blaubandbärbling.....	66
Tabelle 29: Trockensubstanz (TS) in % der ursprünglichen Substanz ; $R_p + R_{fe}$ in % der TS; jeweils Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung σ	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Periodensystem, Seltene Erden mit Pfeilen gekennzeichnet.....	37
Abbildung 2: Kontrollgruppe R 8, Versuchsgruppen R 9-R 11 mit REE-Zusatz (in ppm Angaben) im Futter.....	47
Abbildung 3.: Versuchsaufbau in Höchststadt; paarweise gleiche Teiche, je vier pro Versuchsgruppe	48
Abbildung 4: 10 kg Lanthanoid–Citrat der Firma Zehentmayer	49
Abbildung 5: Restkörper, Innereien, Filets einer Regenbogenforelle.....	53
Abbildung 6: pH–Wert-Messung.....	54
Abbildung 7: Fleischhelligkeitsbestimmung	54
Abbildung 8: Dreidimensionales Farbbewertungsschema des Chromameter CR 100 (Minolta)	55
Abbildung 9: Gerät zur Fleischfestigkeitsmessung	56
Abbildung 10: ca. 4000 Blaubandbärblinge aus Teich 3.....	66
Abbildung 11: Grössendifferenz zu Versuchsende in Teich 5; 149g zu 590g.....	66
Abbildung 12: Gesamtgewichte der jeweiligen ganzen Versuchsgruppen zu den Wägungszeitpunkten im Abstand von 4 Wochen	69
Abbildung 13: Durchschnittliche Schlachtgewichte der vier Versuchsgruppen.....	70
Abbildung 14: Futterquotienten der verschiedenen Versuchsgruppen zu den vier Wägezeitpunkten	71
Abbildung 15: pH-Verlauf in den Forellenfilets der einzelnen Versuchsgruppen in den ersten 24 Stunden nach der Schlachtung	73
Abbildung 16: L-Wert (Fleischhelligkeit) der 4 Versuchsgruppen im Vergleich direkt nach der Schlachtung	74
Abbildungen 17 + 18: a-Wert (rot bis grün- Färbung) und b-Wert (gelb bis blau Färbung) der Versuchsgruppen mit Standardabweichung	75
Abbildung 19: Durchschnitt der Fleischfestigkeit von je 10 Filets der 4 Versuchsgruppen 24Stunden nach der Schlachtung	76
Abbildung 20: Trockensubstanz in % der ursprünglichen Substanz, Rohprotein und Rohfett in % der Trockensubstanz (TS)	77

Abbildung 21: Gewichtsentwicklung der Fische in den jeweiligen Teichen (n=8), REE-Futter mit 400ppm REE/kg Futter	78
Abbildung 22: Entwicklung der Durchschnittsgewichte der beiden gesamten Versuchsgruppen errechnet aus je vier Teichen	79
Abbildung 23: Futterquotienten der 8 Fischgruppen über den gesamten Versuchszeitraum gegenübergestellt, identische Teiche mit derselben Farbe gekennzeichnet	80
Abbildung 24: Trockensubstanz in % der ursprünglichen Substanz (uS), Rohprotein und Rohfett in % der Trockensubstanz (TS)	81

1. Einleitung und Problemstellung

Das gesteigerte Verbraucherbewusstsein verlangt seit Jahren nach einer besseren Aufklärung über die Herkunft, die Haltungsbedingungen und die Versorgung von landwirtschaftlichen Nutztieren. Ein besonderes Augenmerk wird auf eine verbesserte Qualität der Fleischprodukte gelegt. Dabei tauchen immer wieder die Schlagwörter „biologisch“ und „natürlich“ als Kaufkriterium auf. In Folge zahlreicher Tierproduktskandale und einer immer besser werdenden Aufklärung, kamen auch die klassischen Leistungsförderer unter Beschuss. Das Bekanntwerden der Entstehungsmöglichkeiten von Antibiotikaresistenzen, aber auch die Rückstandsproblematik beim Einsatz antibiotisch wirksamer Leistungsförderer, führte zum Erlass von Höchstmengenregelungen und Verboten vieler leistungsfördernder Substanzen. Nach Beschluss der EU-Kommission, laufen die Zulassungen der letzten vier antibiotischen Leistungsförderer für alle Nutztierarten zum 01.01.2006 aus.

Auf der Suche nach alternativen Leistungsförderern in der Schweinemast wurde man auf die bisher in der Tierernährung unbekanntes Stoffgruppe der sogenannten Seltenen Erden aufmerksam. Sie entsprechen im Periodensystem den Elementen der 3. Nebengruppe, die auch als Lanthanoide bezeichnet werden.

Diese werden seit über 30 Jahren mit angeblich grossem Erfolg in der chinesischen Landwirtschaft und Tierproduktion eingesetzt. In der chinesischen Fachliteratur werden neben Ertragssteigerungen in der Pflanzenproduktion, beachtliche leistungssteigernde Effekte bei fast allen Tierarten beschrieben.

In diesem Zuge werden seit 1999 am Lehrstuhl für Tierernährung der Tierärztlichen Fakultät München die Einsatzmöglichkeiten der Seltenen Erden in der Tierproduktion unter westlichen Bedingungen geprüft (Rambeck und Wehr, 2005). Dabei zeigte sich, dass tatsächlich verschiedene Seltenen Erden-Mischungen bzw. Zusätze positive Effekte auf das Wachstum und die Futterraufnahme von Schweinen auslösen können. Als Folge dieser Untersuchungen wurden die ersten Seltenen Erden-Verbindungen in der Schweiz als Zusatzstoff in der Schweinefütterung zugelassen.

Über die möglichen Mechanismen gibt es verschiedene Theorien, die genaue Wirkungsweise ist aber bisher unbekannt. Die Höhe der Effekte scheint aber mit suboptimalen Haltungs-, Fütterungs- und Hygienebedingungen zu korrelieren.

Die Fütterungsreihen zur Untersuchung der in China erzielten Ergebnisse wurden auch auf andere Tierarten erweitert. Die Resultate beim Einsatz Seltener Erden bei Broilern, Wachteln und Mastkälbern zeigten in den in unserer Arbeitsgruppe durchgeführten Versuchen keine positive Tendenz, während Untersuchungen anderer Einrichtungen z.B. auch beim Geflügel durchaus leistungssteigernde Effekte feststellen konnten (Halle et. al., 2002).

In der vorliegenden Arbeit sollte nun die Wirkung eines Seltenen Erden-Citrat-Gemisches auf die Leistungs- und Qualitätsparameter von Fischen überprüft werden. Die beiden Hauptfischarten in der deutschen Süßwasserfischproduktion bzw. Teichwirtschaft sind die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) und der Karpfen (*Cyprinus carpio* L.). Bislang gibt es wenige Erfahrungen beim Einsatz von alternativen Leistungsförderern in der Fischzucht. Klassische Stoffgruppen wie Hormone und Antibiotika sind dort, wie auch bei anderen Tierarten, zur Leistungssteigerung verboten.

Von primärem Interesse war bei den geplanten Untersuchungen der mögliche Einfluss von Seltenen Erden auf die Gewichtsentwicklung, die Futtermittelverwertung und auf charakteristische Parameter der Fleischqualität.

2. Literaturübersicht

2.1. Nutzfischernährung, Fütterung von Karpfen und Regenbogenforellen

2.1.1. Herkunft und natürlicher Lebensraum

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*)

Von allen Salmonidenarten (Forellenartige Fische) ist die Regenbogenforelle, eine entstandene Mischform aus mehreren Genotypen, die weitaus bedeutendste Art in der Forellenteichwirtschaft. 1881 aus dem westlichen Nordamerika in Europa eingeführt, hat sie heute eine führende Rolle in der intensiven teichwirtschaftlichen Produktion eingenommen (Schäperclaus, 1961; Lukowicz, 1997). Sie ist naturgemäss ein Bewohner von klaren, kühlen und sauerstoffreichen Gewässern. Im Naturschutzsinn eigentlich ein Faunenverfälscher, bietet die Regenbogenforelle züchterische und ökonomische Vorteile gegenüber der einheimischen Bachforelle (*Salmo trutta fario* L.). Sie zeichnet sich durch eine bessere Futterverwertung und damit zugleich schnelleres Wachstum, sowie eine grössere Anpassungsfähigkeit an Teichbedingungen aus (Schmidt, 1997).

Die Regenbogenforelle ernährt sich als rein carnivores Tier räuberisch. Dabei nimmt sie kaum Nahrung vom Boden auf, sondern frisst zumeist Kleintiere des Wassers wie Flohkrebse, Schnecken, Insektenlarven, Plankton, Fische und Anflugnahrung von der Wasseroberfläche.

Karpfen (*Cyprinus Carpio*)

Die ursprüngliche Heimat des Karpfens reicht von den Zuflüssen des Schwarzen Meeres über Kleinasien, Mittelasien bis nach Südjapan. Erst mit den Römern und anschliessend Karl dem Grossen fand die Weiterverbreitung bis nach Mittel- und Nordeuropa statt. Der Karpfen findet sich in Seen, Teichen und langsam fliessenden Gewässern, ist aber nur in wärmeren Überschwemmungsgebieten zur Fortpflanzung befähigt (Steffens, 1969). Da er ursprünglich aus wärmeren Gewässern stammte, ist das Wachstum des Karpfens an die warme Monate von Frühjahr bis Herbst gebunden, im Winter hält er eine Winterruhe und legt kaum an Gewicht zu. Die Eigentümlichkeit des Körperbaus und der Beschuppung teilt die Karpfenart nochmals in Unterarten wie Leder-, Spiegel-, Schuppen- oder Wildkarpfen ein.

Die im Gegensatz zur Forelle niederen Ansprüche an die Betreuung und die Gewässerqualität machten ihn zu einem beliebten Zuchtfisch seit dem Mittelalter.

Der Karpfen ist ein Allesfresser (omnivor). In der Natur besteht seine Nahrung vorwiegend aus Schwebetierchen (Plankton), Insekten und deren Entwicklungsstadien, Bodentiere, pflanzliche Stoffe und auch Kleinwirbeltiere. Den Hauptteil seines Bedarfs nimmt der Karpfen während des Durchwühlens („Gründeln“) des Gewässerbodens auf (Hofmann, 1979).

2.1.2. Verdauungstrakt

Die Forelle besitzt ein endständiges bezahntes Maul, so dass sie nur „geradeaus“ fressen kann. Bei der Nahrungsaufnahme vom Boden ist sie eher ungeschickt.

Demgegenüber besitzt der Karpfen ein zahnloses, unterständiges Maul, das zu einer röhrenförmigen Verlängerung nach vorn gestülpt werden kann. Der Vorderdarm ist sehr kurz und endet als „magenähnliche Erweiterung“, die nur bedingt die Funktion eines eigentlichen Magens einnimmt. Der Darm ist mit etwa dem 2-3 fachen der Körperlänge beim erwachsenen Karpfen relativ kurz im Vergleich zum Säugetier.

Bei der Forelle mündet die Speiseröhre in den U- förmigen, relativ grossen Magen. Hier wird ähnlich wie beim Säugetier die Nahrung gesammelt und die ersten Schritte der Verdauung eingeleitet. Die Forelle besitzt im Gegensatz zum Karpfen einen Pylorus. Unmittelbar an den Magen folgen büschelartige, warzen- bis schlauchförmige Ausstülpungen, die Pylorusanhänge oder –blindsäcke, welche darmähnliche Funktionen erfüllen. Der eigentliche Mitteldarm der Forellen ist ein einfaches, gerades Rohr mit einer Länge des 0,8 bis 1,2 -fachen der Körperlänge. Im Mitteldarm findet die eigentliche enzymatische Verdauung statt. Anschliessend geht der Mitteldarm ohne besondere Merkmale in den sehr kurzen Enddarm über (Schwarz, 1997).

Die Verdauung von Proteinen und Fetten ist sehr effizient, wohingegen die Verdaulichkeit von Kohlenhydraten sehr gering ist. Omnivore Fische können nur bestimmte Kohlenhydrate besser verdauen.

2.1.3. Haltungssysteme und Bewirtschaftungsformen

Es unterscheiden sich prinzipiell drei Formen der Bewirtschaftung von Fischen, die extensive, semi- extensive und intensive Teichwirtschaft.

Bei der Extensiven Form, ist der Zuwachs der Tiere abhängig von der vorhandenen Naturnahrung im Gewässer, d.h. Phytoplankton, Zooplankton, bodenbewohnende Kleinlebewesen, Insekten und Kleinfische. Die Produktion von Monokulturen, insbesondere Karpfen, oder auch Mischkulturen, d.h. mehreren Fischarten, ist u. a. durch die Nahrungskettenbildung möglich. Die extensive Bewirtschaftung beschränkt sich zumeist auf Teiche von Hobbyzüchter bzw. Nebenerwerbsbetriebe und den Bereich der Biofischproduktion.

Die Semi- extensive Teichwirtschaft betrifft in unseren Regionen den Hauptteil der Karpfenzucht und im Asiatischen Raum die Shrimpproduktion. Charakteristisch ist neben der Naturnahrung, die Auswahl von kostengünstiger Zufütterung, meist landwirtschaftliche Produkte, Nebenprodukte oder Fischereinebenprodukte. Genutzt werden besonders die leicht erhältlichen regionalen Produkte wie verschiedene Getreidesorten, Mais und Hülsenfrüchte. Ihre Funktion ist es, die Tiere mit zusätzlichen energiereichen Nährstoffen zu versorgen und dadurch höhere Gewichtsausbeuten bei den Abfischungen zu erhalten. Etwas intensiviert kann die semi-extensive Karpfenzucht mit dem Einsatz kostengünstiger, pelletierter Mischfuttermitteln werden.

Der Hauptanteil an Karpfen wird in unterschiedlich grossen Naturteichen (1-2m Tiefe) in weitgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufen herangezogen. Sie werden häufig in gleichaltrigen Gruppen, gelegentlich auch in gemischten Altersgruppen oder zusammen mit Nebenfischen, wie Hecht, Zander und Wels, in die Teiche besetzt. Im Gegensatz zur Forelle beschränkt sich das Wachstum des Karpfens auf die warmen Monate von Frühling bis Herbst. Als unterste Temperaturgrenze für eine Gewichtszunahme gelten 13- 15 ° C, was zu einer saisonalen Teichwirtschaft führt

(Proske, 1997). Der Karpfen laicht in den Monaten Mai, Juni und Juli. Jungtiere werden nach dem ersten Sommer als Einsömmrige (K1), nach dem zweiten als Zweisömmrige (K2) usw. bezeichnet. Der dreisömmrige Karpfen ist im Herbst mit ca. 1200- 1500g speisereif.

Bis Ende der sechziger Jahre hielt man ein zufriedenstellendes Wachstum von Karpfen ohne Naturnahrung für ganz unmöglich. Sengbusch (1967) konnte nachweisen, dass der Karpfen durchaus allein mit Mischfutter aufgezogen werden kann. Trotz der neuen Erkenntnisse zur Intensivbewirtschaftung, aber vor allem auch wegen der mangelnden Rentabilität des alleinigen Einsatzes von Mischfuttermitteln, konnte sich die klassische Karpfenteichwirtschaft als führende Methode der Fischproduktion in Warmwasserteichen behaupten (Proske, 1997).

Könnte man die Wassertemperatur über das Gesamtjahr hochhalten, wäre eine Verdopplung des Gewichts nach einem Jahr möglich. So wuchsen bei Schwarz et. al. (1983) die Karpfen in Aquarierversuchen innerhalb von 135 Tagen von 170g auf knapp 2000g, bei konstanter Hochhaltung der Wassertemperatur.

Über die Hälfte der im Zuchtbetrieb produzierten Fische weltweit sind Karpfenarten, davon je ein Drittel normaler Karpfen, Silberkarpfen und Graskarpfen. Ca. 5% der Fischzuchtproduktion weltweit sind Regenbogenforellen. Der Rest entfällt auf Tilapiaarten, andere Salmoniden und Shrimps (Goddard, 1996).

Salmoniden werden fast ausschliesslich in Intensivzuchten produziert. Hier dient die reine Zufütterung von Mischfuttermitteln als Nahrungsquelle, die Naturnahrung spielt so gut wie keine Rolle. Um optimale Bedingungen zu schaffen, werden sie in nährstoffarmen, kühlen (10-18 °C) und sauerstoffreichen Wasser bzw. Teichanlagen gehalten (Goddard, 1996). Grundvoraussetzung für solche Anlagen ist die Anbindung an eine Quelle oder ein fließendes Gewässer mit konstanter Wasserschüttung. In seltenen Fällen wird auch gepumptes Grundwasser, v. a. zur Ergänzung in heissen, wasserarmen Sommermonaten, verwendet.

Im Gegensatz zur Karpfenteichwirtschaft können Forellen durch ihr ganzjähriges Wachstum unabhängig von der Jahreszeit produziert werden.

Für die intensive Produktion von Forellen ist die optimale Steuerung von Sauerstoffgehalt, pH, Wasserzufluss und Besatzdichte essentiell. Der Sauerstoffgehalt korreliert direkt mit der Wassertemperatur, ist er zu niedrig kann über Kaskaden, Belüfter oder über die Verwendung von flüssigem Sauerstoff die Zufuhr optimiert werden. Er gilt als erstlimitierender Faktor in der Forellenteichwirtschaft (Schmidt, 1997).

Die Produktion von Forellen erfordert stets eine relativ grosse Anzahl von Haltungseinheiten, da Forellen zum einen stark dazu neigen „auseinander zu wachsen“, d.h. die Notwendigkeit gegeben ist laufend Nach- und Vorwüchser auszusortieren, und zum anderen meist verschiedene Altersklassen in einem Produktionszyklus vorhanden sind.

Anwendung finden zumeist parallel geschaltete Teiche in einer Grösse von 100-500 m², längliche, stark durchströmte Fließkanäle und Rinnen, Rundbecken –oder Teiche und Rundstrom- oder Langstrombecken. Je nach Produktionszweig gibt es zusätzlich Bruthäuser oder separate Teiche für Laichfische.

Ein neuartiger Produktionszweig, die sogenannte Kreislaufanlage, in der das ablaufende Wasser gereinigt und dem Produktionszyklus wieder zugeführt wird, hat sich wegen der Kostenintensivität in der deutschen Forellenproduktion nicht durchgesetzt.

Die Intensivierung der Fischzucht wird immer notwendiger, wenn man bedenkt, dass die Forellenproduktion in 25 Jahren, von 1975 bis 2000, um das 5 fache gestiegen ist.

2.1.4. Entwicklung zur modernen Fütterung

Erste Lehrbücher zur Teichwirtschaft findet man Ende des 19. Jahrhunderts. Bereits 1933 erschien die erste Auflage des Ausbildungslehrbuchs „Der Teichwirt“ für den Berufsstand der Binnenfischer/ Teichwirte (Schäperclaus, Hrsg.). Sehr früh war den Lehrmeistern klar, dass sich die Forelle mit ihrer rein carnivoren Lebensweise massiv von der Ernährung des Karpfens unterschied und deshalb auch die Fütterung aus einem hohen Anteil an Proteinen bestehen musste. Verwendung fanden aber vorerst sehr wasserhaltige Substrate. Den Tieren wurden lebende Fische oder Fisch- und Schlachtabfälle als Nahrungsquelle angeboten (Lukowicz, 1997), so bestand z.B. 1933 eine Rationsempfehlung für Forellen aus 67% Schlachtabfällen und 33% Fisch- und Roggenmehl.

Fischmehl wurde damals höchstens als Beifutter oder nur in Notfällen als Futter für die Forellenzucht beschrieben, hingegen in der Karpfenzucht als 25-30%iger Zusatz schon sinnvoll und erfolgversprechend erschien (Schäperclaus, 1933).

Erst während der 60er Jahre, als sich eine intensivere Nutzung verschiedener Fischarten entwickelte, begann man auch den Bedarf einzelner Nutzfische genau zu ergründen. Das Verständnis und die Forschung bezüglich des Bedarfs einzelner Fischarten verursachten starke Veränderungen im Ernährungssektor. Die beginnende Industrialisierung und Intensivierung der Fischproduktion, allen voran die Forellen und Lachszucht, forderten bessere und ausgeglichene Futterprodukte (Goddard, 1996). In diesem Zug begann die Entwicklung von pelletiertem Trockenfutter welches nun auch mit Vitaminen und Mineralstoffen versehen werden konnte (Rumsey, 1994). Die Vorteile von Trockenfutter liegen auf der Hand. Durch geringe Wassergehalte zwischen 8-12% schaffen sie die Möglichkeit deutlich geringere Mengen als vergleichsweise vom Nassfutter (Wassergehalt ca. 70%) zu verfüttern. Ausserdem ermöglicht die Industrielle Produktion eine Festlegung und spezifische Auswahl der Nährstoffkomponenten und keine gegebene Zusammensetzung wie bei Nassprodukten.

In der Zwischenzeit werden mehr als 100 Fisch- und Shrimparten in Aquakulturen gezüchtet und vermehrt. Tabelle 1 gibt Aufschluss über die Veränderung der durchschnittlichen Futterzusammensetzung seit 1950 in der Forellenzucht.

Tabelle 1: Darstellung der Zusammensetzung von Forellenfutter von 1950-1990 (Jensen, 1991)

	Rohprotein %	Rohfett %	Kohlenhydrate %	Phosphor %	Energie Kcal
Nassfutter					
1950	55	26	1,6	1,6	4300
Trockenfutter					
1950-59	35	5	30	2,5	2230
1960- 69	40	7	23	2,0	2600
1970-79	53	11	12	1,5	3100
1980-89	56	20	10	1,1	3800
1989-90	42	24	19	0,9	4300

Durch die stetige Veränderung der Nährstoffzusammensetzung kann man den Weg zur Futteroptimierung verfolgen. Die Darstellung verdeutlicht v. a. den Rückgang des schädlichen Phosphoraustrags in die Umwelt und die steigende Verwendung von Rohfett als Energiequelle.

Reiter (2001) liefert einen aktuellen Überblick der Zusammensetzung der im Augenblick eingesetzten Forelleneinfutter (Tabelle 2).

Tabelle 2: Vergleichende Zusammensetzung Brut- und Mastfutter von Regenbogenforellen mit prozentualer Anwendungsspanne (Reiter, 2001)

Inhaltsstoffe in % der Frischmasse	Brutfutter	Mastfutter
Rohprotein	50-60	40-50
Rohfett	10-20	15-30
Kohlenhydrate	10-20	15-25
Rohasche	7-10	6-9
Wasser	8	8

Auch wenn in Tabelle 1 der Energiegehalt von Nassfutter 1950 und Trockenfutter 1990 gleich scheint, haben sich doch im Besonderen die Qualität und die Verwertbarkeit der Einzelnährstoffe enorm verbessert. Speziell die Kombination essentieller Aminosäuren, die Verwendung verbesserter Fischmehle, die hohen Auswahlkriterien von Ölen und die weiterentwickelten Herstellungsverfahren lassen keinen Vergleich mit den Futtermitteln der 50er mehr zu.

Verdeutlicht werden die grossen Fortschritte, wenn man die Futtermittelverwertung zu einzelnen Zeitpunkten betrachtet. Bei den Rationsempfehlungen 1933 mit vorwiegend Warmblutfleisch oder lebenden bzw. toten Fischen wurde ein Futterquotient (Zuwachs in kg Körpergewicht/ kg Futter) von max. 2,9 bei optimalen Bedingungen und im Durchschnitt zwischen 3 und 6 erzielt werden (Schäperclaus, 1933). Die schlechten Futterquotienten kommen durch den geringen Proteinanteil und die zum Teil suboptimale Aminosäurezusammensetzung in den Rationen zustande. In der Tabelle 3 findet sich eine Auflistung von Futterquotienten verschiedener Futtermittel (Lukowicz, 1997).

Tabelle 3: Futterquotienten (FQ) verschiedener Nassfuttermittel bei Regenbogenforellen

Futter	FQ
Rindfleisch, roh	3,0- 4,4
Rindfleisch, gekocht	7,2
Weissfisch, roh	2,9
Seefisch, roh	~ 5
Naturnahrung (Flohkrebse u. Zuckmückenlarven)	3,9- 4,4

In Mastversuchen mit Forellen erreichte Abel (1982) bereits einen Futterquotienten zwischen 1,4 und 1,7. Moderne Trockenfutter für Forellen erreichen je nach Wasserqualität und Tieralter Futterquotienten zwischen 0,8-1,5 (Reiter, 2001; Lukowicz, 1997).

Ein FQ unter 1 scheint nicht möglich, ist aber erklärlich, wenn man die Tatsache in Betracht zieht, dass der Fisch bei der Zunahme von 1kg Lebendmasse, davon 70% an Wasser anteilig zunimmt, d.h. nur etwa 30% an Trockenmasse. Da viele Trockenfuttermittel aus mehr als 90% Trockensubstanz bestehen ist dies physiologisch erklärbar.

In der semi- extensiven Karpfenhaltung mit Mischfutterzufütterung schwanken die Futterquotienten zwischen 1,3 und 2,2. Da die Karpfenteichwirtschaft wenig mechanisiert ist, können kurzzeitige Schwankungen in pH, Sauerstoffgehalt und vor allem an Naturnahrung zu drastischen Unterschieden im FQ einzelner Teiche führen.

2.2. Nährstoffversorgung von Fischen

Innerhalb einer Fischart differieren die Bedarfszahlen für die einzelnen Nährstoffe nicht extrem. Sie variieren vor allem, wenn man Warm- und Kaltwasserfische, carnivore und omnivore und Süß- und Salzwasserfische vergleicht.

Fischfutter muss spezielle physikalische Eigenschaften besitzen, um die Fütterung im Wasser zu erleichtern. Die verschiedenen Verhaltensweisen der Fischarten bei der Futteraufnahme stellen weitere Anforderungen an das Futter und die Fütterungstechnik.

2.2.1. Energie

Fische benötigen Energie zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensfunktionen, die beider der biochemischen Umsetzung von Kohlenhydraten, Fetten und Aminosäuren entsteht. Der absolute Energiebedarf von Tieren kann entweder über den Sauerstoffverbrauch oder über die Wärmeproduktion bestimmt werden. Die ungefähre Futterzuteilung muss unter der Voraussetzung geschehen, dass die Leistung des Tieres mit dem bekannten Energieinhalt des Futters gleichgesetzt wird.

Einteilung des Energiestoffwechsels

Die aufgenommene Energie (Bruttoenergie= GE) unterscheidet sich wesentlich von dem am Ende verwertbaren Energieanteil. An vielen Stellen im Stoffwechsel geht Energie verloren oder wird in anderer Form verstoffwechselt. Verluste treten in Form von Kot, Urin, Ausscheidungen über die Kiemen und als Wärmeverluste in Erscheinung. Der Hauptanteil dieser Verluste hängt primär von den Charakteristika des Futtermittels und der Futtermenge ab. Um ein Optimum an Ertrag zu erhalten muss der Fischzüchter versuchen diese Energieverluste so niedrig wie möglich zu halten.

Die Differenz zwischen Bruttoenergie (GE) und Verdaulicher Energie (DE) geht als Kotenergie verloren. Hohe Anteile an schwerverdaulicher Rohfaser erhöhen diesen Verlust.

Die Umsetzbare Energie (ME) bildet die DE abzüglich der Verluste an Urin und Kiemenausscheidungen. Die Differenz zwischen ME und der Nettoenergie (NE) für Leistung, Erhaltung, Wachstum und Fortpflanzung geht in Form von Wärmeenergie verloren. Diese teilt sich nochmals in die Wärmeverluste für Fütterung und für die Erhaltung auf. Die Wärmeverluste durch die Fütterung splitten sich wiederum in den Anteil der Verdauungs- und Absorptionsprozesse, die Umwandlung und Aufnahme der Substrate ins Gewebe und die Bildung und Ausscheidung von Exkreten auf. In Rationen mit hohem Proteinanteil sind diese Verluste noch höher (Cho, 1982). Wird im Futter von Vögeln und Säugern der Proteingehalt ähnlich erhöht, so ergeben sich deutlich höhere Wärmeverluste als bei Fischen. Dies ist begründet durch den höheren Energieverbrauch bei der Bildung von Harnstoff und Harnsäure durch das zusätzliche Protein. Fische hingegen, produzieren ihre Proteinabbauprodukte auf Ammoniakbasis, dessen Bildung deutlich weniger Energie benötigt (Goldstein und Foster, 1970). Dadurch ist auch die Nettoenergie (NE) für Erhaltung und Wachstum in Futtermitteln höher als bei Warmblütlern.

Die Erhaltungsenergie wird zur Erhaltung der wichtigen Körperfunktionen benötigt. Der Grossteil geht für den Grundmetabolismus, wie Atmung, Blutzirkulation etc. verloren. Der kleinere Anteil wird für Körperhaltung und Thermoregulation verbraucht. Da Fische aber kaum Energie brauchen um ihre Position im Wasser zu halten und

weitaus weniger Energie benötigen um ihre Körpertemperatur zu regulieren als homeotherme Tiere, ist dieser Anteil des Erhaltungsbedarfs sehr gering. Der Erhaltungsbedarf bei optimaler Wassertemperatur bezogen auf die metabolische Körpermasse liegt bei Forellen bei etwa 30-60 kJ/ kg^{0,8} (Cho und Slinger, 1980) und für Karpfen bei etwa 35-65 kJ/ kg^{0,8} (Schwarz und Kirchgessner, 1984). Damit liegt der Erhaltungsbedarf je nach Produktionsniveau mit 20-25% der zugeführten Energie sehr niedrig, während vergleichsweise wachsende Säuger 40-60% der aufgenommenen Energie für die Erhaltung verwenden (Kirchgessner et al., 1984). Folglich kann die Energie effizienter für das Wachstum oder andere Leistungen genutzt werden. Bei einem mittleren Produktionsniveau sind etwa 62% der zugeführten Nahrungsenergie als Nettoenergie messbar.

Energieinhalt von Fischfuttermitteln

Der energetische Gehalt eines Futters hängt von der chemischen Zusammensetzung ab. Der mittlere Energiegehalt von Protein, Fett und Kohlenhydrat beträgt 17kJ/g, 39kJ/g bzw. 17kJ/g. Trotz allem beeinflusst die chemische Komposition nur den Aussagewert für die Energie im Bombenkalorimeter, nicht aber wie die Nährstoffenergie im Fisch während des Verdauungsprozesses verfügbar ist. Deshalb ist es notwendig die Bioverfügbarkeit einzelner Nährstoffe für den Fisch zu bestimmen.

Die verfügbare Energie von Futtermitteln für Fische wurde auf DE und auf ME Basis bestimmt. Während ME die exakteren Energieangaben liefert, zeigt DE kaum Nachteile gegenüber der ME- Bewertung. Da Fische sehr geringe Urin und Kiemenausscheidungen besitzen und der Wert abhängig von der Fütterung wenig variiert, kann auch DE zur Energiebewertung herangezogen werden. Auch fällt die Bestimmung von ME deutlich schwieriger aus, weil die Fische in einer Stoffwechsellammer forciert gefüttert und gleichzeitig Kot, Kiemen und Urinexkretionen gesammelt werden müssen (Smith, 1976).

Obwohl alle drei Nährstoffgruppen energetisch genutzt werden können, sollte aus ökologischen und ökonomischen Gründen Protein bei gezielter Nahrungszufuhr möglichst nicht zur Energieversorgung eingesetzt werden. Besonders wertvoll als Energiequelle sind daher Fette und je nach Fischart Kohlenhydrate (Schwarz, 1997). Niltilapia (Pompa, 1982) und Kanalwelse (Wilson and Poe, 1985), beides Warmwasserfische, verdauen über 70% der Bruttoenergie von nichtgekochter Stärke, während Regenbogenforellen als Kaltwasserfisch weniger als 50% davon verdauen können (Cho und Slinger, 1979). Durch Einwirkung von Hitze und Druck (Extrudieren), können Kohlenhydrate, die sonst schlecht von Salmoniden verwertet werden können, aufgeschlossen und besser verdaulich werden. Mit extrudiertem Getreide hatten Kanalwelse eine 38% höhere DE als mit unbehandeltem Getreide (Wilson und Poe, 1985). Technisch behandelte Stärke hatte bei Regenbogenforellen eine 75% höhere DE als rohe Stärke (Cho und Slinger, 1979). Karpfen hingegen verdauen Kartoffel und Getreidestärke mit 85-90% fast unabhängig von ihrem Anteil in der Gesamtration (Pfeffer, 1995).

Energiebedarf von Fischen

Die Energieaufnahme ist wegen der sich abspielenden Lebensprozesse ein grundlegendes Bedürfnis. In einer Rationsgestaltung sollte der Energieinhalt zuallererst berücksichtigt werden. In der Praxis wird zuerst dem Protein Augenmerk geschenkt, da es der teuerste Nährstoff ist. Ein Mangel oder ein Überschuss an DE

kann die Wachstumsrate verringern, deshalb sollte ein ausgeglichenes Protein-Energieverhältnis herrschen. Ein Mangel an Energie im Verhältnis zum Protein bedeutet, dass es zuerst zur Erhaltung und zuletzt als Wachstumsbedarf genutzt wird. Demgegenüber kann ein Überschuss an Energie die Futtermittelverzehr reduzieren und damit die notwendige Aufnahme von Proteinen oder anderer wichtiger Nährstoffe verringern. Extrem energiereiche Rationen können ausserdem zu einer unerwünschten Verfettung des Fischkörpers führen.

Pokniak et. al. (1996) stellten fest, dass sich mit steigendem Energieinhalt des Futters die Gewichtsentwicklung bei Regenbogenforellen verschlechterte.

Bei einem Futterproteingehalt von 33% bzw. 42% hatten Regenbogenforellen ein Protein/ Energieverhältnis (DP/DE) von 22 bzw. 25mg/kJ. Beim Karpfen sind es 28,8mg/kJ.

Vergleichbare Rationen bei Schweinen besitzen in etwa ein halb so grosses Verhältnis. Wie bereits erwähnt brauchen Fische nicht mehr Protein als Landsäuger, sondern verbrauchen weniger Energie für Erhaltung und die Synthese von Harnstoff und -Säure (Smith, 1989). Hochrechnungen des Energiebedarfs von Fischen, basierend auf den Energieverlusten und zu erwartenden Energieaufnahmen, sind unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen möglich. Für Regenbogenforellen wurden unter Laborbedingungen Daten zu Energiebilanzen geprüft und berechnet. Cho und Kaushik (1990) errechneten einen Energieumsatzquotienten der nutzbaren Energie für Wachstum/ verdaulichen Energie (DE) von 0,54. Schwarz und Kirchgessner (1995) beziffern die Energie für den Körperansatz beim Karpfen zwischen 45-65% im Verhältnis zur umsetzbaren Energie ME. Als mittleren Energieansatz pro kg Zuwachs geben sie bei der Forelle 6-8MJ und beim Karpfen 7-10MJ an.

Die Ansätze, Energiebedürfnisse von Fischen zu berechnen zu können, müssen noch mit Vorsicht behandelt werden, bis wirklich genügend Versuche und Informationen zusammengetragen wurden, um gesicherte Angaben über den Energiebedarf tätigen zu dürfen.

2.2.2. Proteine und Aminosäuren

Proteine bestehen aus bis zu 20 verschiedenen Aminosäuren (AS) die durch Peptidbrücken verbunden sein können. Die Peptidketten sind wiederum zueinander über Sulfid-, Hydrogenbrücken oder van der Waals Kräfte verbunden. Der AS- Gehalt und die Zusammensetzung in den Proteinen variiert beträchtlich, besonders auch bei den Futterproteinen. Manche bilden riesige Verkettungen, wie z.B. Gelatine, oder ihnen fehlen eine oder mehrere AS. Andere wie Fischmehl besitzen eine Aminosäurekomposition, die ziemlich stark dem Bedarf von Fischen ähnelt.

Aufgenommenes Protein wird zu freien Aminosäuren, Dipeptiden und Tripeptiden durch die Verdauungsenzyme hydrolysiert. Danach erfolgt der weitere Aufschluss in den Mukosazellen des Verdauungstrakts zu Einzelaminosäuren, die in der Portalvene dann abtransportiert werden (Murai et al., 1987).

Im Bezug auf Tierernährung, wird Protein meist als Rohprotein (Rp) bezeichnet, welches definitionsgemäss $N \times 6,25$ ist. Dies beruht auf dem Faktum, dass Protein durchschnittlich 16% Stickstoff (N) enthält. Der Bedarf an Protein in der Ernährung teilt sich in zwei Komponenten:

1. Ein Bedarf für unentbehrliche / essentielle bzw. semi-essentielle Aminosäuren, die der Fisch nicht oder nur ungenügend synthetisieren kann, die wiederum zum Neuaufbau anderer Proteine oder metabolisch wichtiger Strukturen dienen und

2. die Versorgung mit entbehrlichen/ nicht- essentiellen Aminosäuren oder genügend Stickstoff, um dem Fisch die Möglichkeit zu bieten sie zu synthetisieren.

Da der Aufbau von nicht- essentiellen AS einen Energieaufwand bedeutet, ist ein Fischfuttermittel, welches ausreichend mit essentiellen und nicht- essentiellen AS versehen ist, das Effektivste um optimales Wachstum zu erreichen. Ein Konzept einer ausgeglichen Balance von Aminosäuren ist Grundvoraussetzung für den Proteinbedarf.

Proteinbedarf

Der optimale Proteinbedarf ist die Grösse, um den Bedarf an AS zu decken und gleichzeitig das maximale Wachstum des Fisches zu erreichen. Die Zahlen wurden für eine Reihe von juvenilen Tieren verschiedener Fischarten mit Hilfe von Dosis-Wirkungs- Kurven auf die Gabe von hochqualitativen rationierten Proteinen bestimmt. Die Proteinhöchstmengen in Fischrationen sind beträchtlich höher, als die in terrestrischen Wärmblütlerrationen. Die Methoden zur Bestimmung des Proteinbedarfs überschätzen wahrscheinlich den wahren Bedarf. Bei einem Überschuss an nicht speicherbaren AS oder Proteinen, werden diese von einigen Fischen noch vor den Kohlenhydraten und Fetten zur Energiegewinnung abgebaut (Wilson, 1989). Zusätzlich wurden wichtigen Faktoren wie der Konzentration von DE in Rationen, der AS- Zusammensetzung und der Verdaulichkeit von Nahrungsproteinen zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt (Wilson und Halver, 1986; Wilson, 1986). Das Verständnis für die ernährungsphysiologische Limitation und die engen Grenzen des Proteinbedarfs ist wichtig für eine richtige Zuteilung.

Der Proteinbedarf sinkt mit zunehmendem Alter des Fisches. So waren 25% Proteingehalt in der Ration von 114- auf 500g wachsenden Kanalwelsen adäquat, wohingegen wachsende Tiere von 14 auf 100g mit einem Futterproteingehalt von 35% deutlich schneller wuchsen als mit nur 25% (Page und Andrews, 1973). Carnivore Fische benötigen im Mittel einen Proteingehalt von 40-50%, omnivore von 30- 40% Protein im Futter. Brutfische und Juvenile Tiere haben in etwa einen um 5-10% gesteigerten Bedarf (Schwarz, 1997).

Es gibt wenige Untersuchungen darüber, ob der Proteinbedarf abhängig von der Wassertemperatur ist. Im Allgemeinen steigen die Futteraufnahme und das Wachstum mit steigender Wassertemperatur, wobei die Wachstumsrate wahrscheinlich eher wegen einer erhöhte Futteraufnahme und einer verbesserten Futtermittelverwertung schneller steigt.

Der Proteinbedarf bei Regenbogenforellen blieb im Temperaturbereich von 9-18 °C unverändert. Die hohen Proteinbedarfszahlen für das bestmögliche Wachstum von Fischen bedeuten nicht, dass sie mehr Protein als Energiequelle nutzen wie wechselwarme Tiere. Für beide Vertebratentypen gelten Grössenordnungen von 20-50% für die Nettoproteinaufnahme. Bowen (1987) fasste verschiedene Angaben zusammen und stellte fest, dass der Mittelwert bei Fischen ca. 31% und bei anderen Vertebraten ca. 29% beträgt. Die fast gleichen Prozentangaben widersprechen nicht der Tatsache, dass der Energiebedarf bei Fische als niedriger gilt wie bei wärmblütigen Tieren. Mehrere Versuche wurden zum Vergleich der absoluten Proteinaufnahme (mg aufgenommenes Protein/g Körpergewicht/ Tag) durchgeführt. Dies erwies sich als schwieriges Unterfangen, da zum einen die genaue aufgenommene Futtermenge schwer zu messen ist, und zum anderen die Daten für Fische verschiedenen Alters und unter verschiedenen äusseren Haltungsbedingungen beträchtlich voneinander abweichen.

Bis zu 30% des tierischen Eiweisses kann durch v. a. preisgünstige, technisch behandelte pflanzliche Proteinlieferanten wie Soja, Lupinen und Ackerbohnen ersetzt werden (Becker, 1986). Ein ausschliesslicher Ersatz durch pflanzliche Stoffe ist aber bei den Salmoniden aufgrund unzureichender essentieller Aminosäuren nicht möglich (Reiter, 2001). Ersetzt man bei Regenbogenforellen 50% des Gesamtproteins mit Baumwollsaamen hemmen diese u.a. die Spermafertilität und die Vitalfunktionen der Nachkommen (Rinhard et. al., 2003). Auch bei Forellen, die mit einem Gemisch aus pflanzlichen Proteinen und zusätzlichen freien Aminosäuren gefüttert wurden, war ein negativer Effekt auf die Wachstumsleistung und ein höherer Fettgehalt im Filet zu beobachten (Francesco et. al., 2003).

Aminosäurebedarf

Von den zwanzig Aminosäuren sind die Hälfte für Fisch essentiell, d.h. sie können nicht oder nur unzureichend vom Körper synthetisiert werden. Diese sind Arginin, Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Tyrosin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin. Cystein und Tyrosin werden als halbessentiell bezeichnet, da ihre Synthese über die Aminosäuren Methionin bzw. Phenylalanin funktioniert. Die Quantifizierung des Bedarfs an essentiellen AS erfolgte über Dosis- Wirkungs- Kurven, wobei als Antwort der Gewichtszuwachs diente.

Der Gewichtszuwachs durch Rationen mit einem hohen Anteil freier Aminosäuren war bei vielen Fischarten schlechter, als mit Rationen, die eine ähnliche AS-Komposition hatten, aber in denen der Hauptstickstoffanteil in Proteinen gebunden war (Wilson et al., 1978; Walton et al., 1982, 1986). Der so gewonnene Aminosäurebedarf basiert auf Wachstumsraten unter dem Optimum.

Ogino (1980) bestimmte den Anteil von essentiellen Aminosäuren ausgehend vom Ganzkörperprotein von Karpfen und Regenbogenforellen. Als Grundlage nutzte er die zuvor über 14- 28 Tage gemessene, zunehmende Zahl an essentiellen Aminosäuren, um schliesslich den Gesamtbedarf zu ermitteln. Diese Methode setzt jedoch voraus, dass der Erhaltungsbedarf von jungen Fischen gering ist, so dass der Anteil der Aminosäuren, die dem Gewichtszuwachs dienen, den Hauptanteil des Aminosäurebedarfs ausmacht.

Durch den Einsatz synthetisch erzeugter Aminosäuren können einzelne Mängel im Forellenfutter, wie z.B. der limitierenden Aminosäuren Lysin und Methionin noch ausgebessert werden, nicht aber für Karpfen, die synthetischen Aminosäuren nur schlecht verwerten (Becker, 1986).

Das Verhältnis von Aminosäurebedarf zu Proteinaufnahme

Bei homeothermen Tieren wurde für ein maximales Wachstumsergebnis ein konstantes Verhältnis zwischen essentiellen AS und der Proteinaufnahme beschrieben (Almquist, 1972). Für mehrere essentielle Aminosäuren wurde eine lineare Beziehung zwischen der Aufnahme und dem Gewichtszuwachs in Zusammenhang gebracht, und diese Feststellung auch auf andere AS umgemünzt. Auf dieser Basis wurden AS- Bedarfswerte als prozentualer Anteil des Gesamtproteins angegeben (National Research Council, 1981, 1982).

Spätere Studien widerlegten die lineare Theorie der Bedarfswerte und definierten sie als exponentielle Funktion (Finke et. al., 1987). Die Aussage dieser Studien ist, dass der Bedarf an essentiellen AS nicht als Prozentsatz des Nahrungsproteins festgelegt werden kann. Da die Dosis- Wirkungs- Kurve während des Grossteils ihrer Länge linear ist, wird in der Praxis der Aminosäurebedarf immer noch als Prozentzahl

verhältnismässig zum Nahrungsprotein in der Trockensubstanz angegeben. (Gahl et al., 1991).

Rationen aus Naturnährstoffen beinhalten Fischmehl, Sojamehl, Blutmehl und diverse Weizenprodukte als Proteinquelle. Viele Untersuchungen zeigen grosse Unterschiede im AS- Bedarf verschiedener Fischarten. Bei der Regenbogenforelle z.B. erscheinen mehrere voneinander abweichende Schätzungen für einzelne AS. Diese Angaben differieren auch in der Wachstumsrate, im AS- Ursprungs und in anderen methodischen Aspekten.

Pathologie in Mangelsituationen

Eine Mangelsituation an essentiellen Aminosäuren manifestiert sich zumeist in einem reduzierten Wachstum der Tiere. Bei manchen Fischarten führt der Mangel an bestimmten AS wie Methionin oder Tryptophan zu pathologischen Befunden. Speziell diese beiden AS werden nicht nur in Proteine eingebaut, sondern auch für die Synthese anderer physiologisch wichtiger Substanzen benötigt.

Besonders Salmoniden leiden bei Mangel an ausreichend Methionin häufig an Katarakt (grauer Star) (Poston et al., 1977). Die Linse beginnt sich nach 2-3 Monaten zu trüben und die Lichtdurchlässigkeit reduziert sich sehr stark. Speziell bei Regenbogenforellen wird die gleiche Symptomatik auch bei Tryptophanmangel beschrieben (Poston und Rumsey, 1983). Die Tryptophanmangelsituation führt auch zur Skoliose und zu einer Verschiebung des Mineralstoffhaushalts verschiedener Salmonidenarten. Wird die Mangelsituation wieder behoben, können die Schäden rückgängig gemacht werden. Dies wird in Verbindung mit dem Neurotransmitter Serotonin gebracht, der aus Tryptophan entsteht. Ein Zusatz von Serotonin zu tryptophanarmen Rationen reduziert die Inzidenz von Skoliosefällen (Akiyama et al., 1986). Bei Regenbogenforellen in einer Tryptophanmangelsituation wurden signifikant höhere Calcium-, Natrium - und Kaliumkonzentrationen in den Lebern und Nieren nachgewiesen (Walton et al., 1984).

Interaktionen von Aminosäuren

Cystein kann von Fischen in ausreichendem Masse aus vorhandenem Methionin synthetisiert werden um den Bedarf zu decken. Der Syntheseweg ist irreversibel, weshalb Fische für Methionin einen absoluten Bedarf besitzen. Methionin kann weiterhin den gesamten Bedarf an Sulfonamidsäuren im Fisch decken.

Regenbogenforellen vermögen D- Methionin mittels der D- Aminooxidase äquimolar in L- Methionin umzuwandeln (Kim et al., 1992). Diese metabolische Fähigkeit ist wahrscheinlich auch für andere Fischarten charakteristisch.

Eine ähnliche Verbindung besteht zwischen aromatischen Aminosäuren. Fische können Phenylalanin in Tyrosin umwandeln, so dass der Bedarf an aromatischen Aminosäuren allein durch Phenylalanin gedeckt werden kann.

Nachteilige Effekte können zwischen strukturell verwandten Aminosäuren auftreten, wenn ihre Konzentrationen in einem starken Ungleichgewicht stehen. Bekannte Antagonismen treten bei Lysin- Arginin und Leucin- Valin in wärmblütigen Tieren auf. Robinson et al. (1981) konnten bei Kanalwelsen keinen nachteiligen Effekt bei den beschriebenen AS- Inbalancen feststellen. Auch ein mehrfach erhöhtes Lysin zu Arginin- Verhältnis hatte bei Regenbogenforellen keine Auswirkungen auf das Wachstum (Kim et al., 1983).

Antagonismen zwischen verzweigt- kettigen AS sind bei Säugern bei Überschuss an Leucin gegenüber Isoleucin und Valin bekannt. Die ersten beiden Schritte des

physiologischen Abbaus der drei Aminosäuren werden von den gleichen Enzymen katalysiert. Die Daten über antagonistische Interaktionen sind bei Fischen nicht ganz einheitlich und variieren auch unter den Fischarten. Hughes et al. (1983) beobachtete beim Zusatz steigender Mengen an Valin Veränderungen in den Konzentrationen verzweigter-AS von Seeforellen. Das Plasma- Isoleucin und -Leucin war bei den Tieren mit einem Mangel an Valin deutlich erhöht, während bei steigender Zugabe von Valin die Konzentrationen der anderen beiden AS wieder sanken. Im Gegensatz dazu zeigten Regenbogenforellen eine sehr hohe Leucintoleranz. In Konzentrationen bis 9,2% war keine Wachstumsverlangsamung zu sehen und beim deutlichen Überschuss von 13,2% waren nicht einmal die Konzentrationen von Isoleucin und Valin im Blutplasma, im Muskel und in der Leber erhöht (Choo, 1990).

Werden Rationen vorwiegend mit der zweitlimitierenden Aminosäure oder mit allen essentiellen AS ausser der Erstlimitierenden versehen, führt dies zur Inbalance der Aminosäuren. Dies führt zu einem Abfall der Blutkonzentration der erstlimitierenden Aminosäure und dadurch zu verschlechterter Futteraufnahme. Diese mögliche Interaktion ist für warmblütige Tiere beschrieben, während für Fische dazu keine Daten vorliegen. Trotzdem sollte auf eine Überversorgung mit den zweitlimitierenden AS vermieden werden, um keinen primären Mangel zu erhalten.

2.2.3. Fette

Nahrungsfette bilden eine wichtige Quelle für Energie und essentielle Fettsäuren, die zur normalen Entwicklung und zum Wachstum notwendig sind. Sie unterstützen zudem die Absorption fettlöslicher Vitamine. Die Nahrungsfette findet man vorwiegend in Form von Triglyceriden, die dann von körpereigenen Enzymen hydrolysiert werden und anschliessend als Mischung von freien Fettsäuren und Monoglyceriden vorliegen. Die Bestandteile werden im Darm absorbiert und entweder zur Synthese verschiedener Zellkomponenten oder zur Energiegewinnung genutzt.

Fette enthalten gesättigte und ungesättigte Fettsäuren, die nach der Anzahl der Kohlenstoffatome benannt werden. Die Zählweise erfolgt vom Ende des Methylendes her. Die erste Zahl benennt die Anzahl der C- Atome, die Zweite die Anzahl der Doppelbindungen und die dritte Zahl in Klammern die Anzahl der C- Atome zwischen dem Methylende und der ersten Doppelbindung. Der Begriff der mehrfach ungesättigten Fettsäuren bezieht sich auf Kettenlängen ab 18 C- Atomen und mindestens zwei Doppelbindungen.

Essentielle Fettsäuren

Wie auch andere Wirbeltiere können Fische die Fettsäuren Linolsäure 18:2 (n-6) und Linolensäure 18:3 (n-3) nicht selbst synthetisieren. Daher müssen eine oder beide dieser Fettsäuren in den Rationen, abhängig von dem Bedarf, zugesetzt werden. Zudem variiert die Fähigkeit von Fischen 18- C-atomige, ungesättigte Fettsäuren in längerkettige mehrfach ungesättigte Fettsäuren umwandeln zu können (Owen et. al., 1975). Der Bedarf an essentiellen Fettsäuren bei Fischen hängt zu gewissem Masse von deren Fähigkeit ab, diese Fettsäuren modifizieren zu können.

Im Allgemeinen benötigen Süßwasserfische entweder Linolsäure oder Linolensäure, oder beide, während Stenohaline Fische Eicosapentaensäure (EPA), 20:5 (n-3), und/ oder Docosahexansäure (DHA), 22:6 (n-3), in ihrer Nahrung brauchen.

Von den Süßwasserspezies ist für die Regenbogenforelle 18:3 (n-3) oder EPA und/oder DHA essentiell. Der Karpfen benötigt ein gleiches Verhältnis von Linolsäure und Linolensäure zur optimalen Futterverwertung und Wachstum (Webster, 1989).

Die Anzeichen eines Mangels an essentiellen Fettsäuren bei verschiedenen Fischarten sind Hautveränderungen, Schock, Myokarditis, reduziertes Wachstum, eine reduzierte Futterverwertung und eine erhöhte Mortalität (Castell et. al., 1972; Takeuchi et al., 1980; Satoh et. al., 1989). Zudem wurden Rückgänge in der Vermehrungsfähigkeit von Karpfen und Regenbogenforelle dokumentiert (Shimma et. al., 1977; Leray et. al., 1985).

Bei Fischarten, welche die Fähigkeit haben die C- Ketten von Fettsäuren zu verlängern und sättigen zu können, führt ein Fehlen von Linolsäure und Linolensäure zur Verlängerung und Sättigung von Fettsäuren der Länge 18:1 (n-9) zu 20:3 (n-9), die wiederum typisch sind für einen Mangel an essentiellen Fettsäuren bei landlebenden Tieren. Im Falle fehlender essentieller Fettsäuren, werden Fette der Länge 20:3 (n-9) anstelle von Fetten der Längen 20:4 (n-6); 20:5 (n-3), oder 22:6 (n-3) eingelagert. Castell et. al. (1972) schlugen vor, das Verhältnis von 20:3 (n-9)/ 20:5 (n-3) in Leberfetten als aussagekräftigen Index für den Status der vorhandenen essentiellen Fettsäuren zu nutzen. Analog zu den Säugetieren wird eine Ration bei einem beschriebenen Verhältnis von kleiner als 0,4 als zufrieden stellend bewertet.

Ein Mangel an EPA und DHA korreliert bei einigen Salzwasserspezies mit erhöhter Mortalität, vermehrten Auftreten von Skoliose und unterentwickelten Schwimmblasen (Watanabe et. al., 1983). Der Einsatz von verschiedener konjugierter Linolensäuren in 2%-iger Konzentration hatten keine Effekte auf die Leistungsparameter von Regenbogenforellen, wohingegen 4% an konjugierten Linolensäuren zu einer erhöhten Mortalität und zu schwächeren Gewichtsentwicklungen führten (Yasmin et. al., 2004).

Die essentiellen Fettsäuren dienen als Bestandteile von Phospholipiden in allen Biomembranen und als Vorstufe für Eicosanoide, die eine Vielzahl metabolischer Funktionen erfüllen. Die Fluidität und Funktion von Biomembranen hängt von einem richtigen Verhältnis von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren als Bestandteil der Membranphospholipide zueinander ab (Bell et al., 1986). Hazel (1984) demonstrierte die Rolle von n-3 mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Zusammensetzung von Phospholipiden der Biomembran abhängig von den Veränderungen der Wassertemperatur. Während der Aklimatisierung an Kaltwassertemperaturen verändert sich die Gesamtsumme an Phospholipiden in den Biomembranen nicht. Jedoch verändert sich die Zusammensetzung der Phospholipide in Bezug auf die Fettsäuren. Bei Regenbogenforellen, die von 20 °C nach 5 °C umgesetzt werden, steigt der Anteil an Phosphatidylethanolamin mit gleichzeitig abnehmendem Anteil von Phosphatidylcholin in der Leber und den Kiemen (Hazel, 1985). Genau entgegengesetzt ändern sich die Anteile wieder bei der Adaptation ans warme Wasser (Hazel und Carpenter, 1985). Die Veränderungen der beiden wichtigsten Membranphospholipide kann bei Fischen als Index für die Adaptation an wechselnde Umwelttemperaturen gesehen werden.

Während der Kaltadaptation steigt der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren in den Membranphospholipiden, wohingegen die Menge an gesättigten Fettsäuren sinkt. Besonders der Anteil an Docosahexaensäure, 22:6 (n-3), steigt im Phosphatidylcholin stark an. Demgegenüber steigt der Anteil an Eicosa-pentaensäure, 20:5 (n-3), im Phosphatidylethanolamin der Membranen als Reaktion auf die Temperatursenkung (Hazel, 1979).

Einsatz von Fetten in Futtermitteln

Fette dienen als wichtige Nahrungsenergiequelle für alle Fischarten. Für Kaltwasser- und Meeresfische spielen sie eine wichtigere Rolle als Energieträger als für Warmwasserfische, da sie nur begrenzt Kohlenhydrate zur Energiegewinnung verstoffwechseln können. Takeuchi et. al. (1978) fanden heraus, dass eine Erhöhung des Fettgehalts im Futter von 15 auf 20% proteinsparend wirkt, so dass man den Proteingehalt von 48 auf 35% reduzieren konnte ohne Gewichtsverluste zu erleiden. Die Schlussfolgerung war, den Energiebedarf nicht so weit wie nur möglich mit Hilfe des Nahrungsproteins zu decken, sondern adäquate Mengen an Fetten zur Energiegewinnung zuzumischen.

Man kann keine genauen Angaben zum optimalen Fettgehalt einer Ration machen, ohne die genaue Fettsäurezusammensetzung und den Gehalt an Proteinen und Kohlenhydraten zu betrachten. Moderne extrudierte Forellenalleinfutter zeichnen sich durch einen Fettgehalt zwischen 20 und 30% aus. Beim Karpfen ist der positive Einfluss auf Wachstum und Futtermittelverwertung weniger ausgeprägt als bei der Forelle, so dass Fettanteile von 6-12 % in den Rationen als ausreichend angesehen werden (Schwarz, 1997).

Von allen Nährstoffen ändern sich der Fettgehalt und die Fettsäurezusammensetzung im Fischkörper durch die Fütterung am stärksten. Darüberhinaus steigt die Gefahr der Verfettung von Körperhöhle und Muskelgewebe bei zu hohem Fettgehalt oder zu intensiver Fütterung (Fettgehalt im Körper Karpfen 7-17%; Forelle nur 5-8%).

Erhöht man den Fettgehalt im Futter von 9 auf 17% steigert sich der Fettgehalt in Forellen gleichzeitig von 8 auf 11% (Kochseder, 1990). Da der Fettgehalt im essbaren Anteil des Fisches für dessen Nährwert, Geschmack und auch für technologische Eigenschaften wie die Lagerung verantwortlich ist, ist er ein wichtiges Qualitätskriterium (Watanabe, 1982; Sargent et al., 1989).

Die Verwendung grosser Mengen Fett im Futter, bedarf gleichzeitig des Einsatzes geeigneter Antioxidantien.

2.2.4. Kohlenhydrate

Der ernährungsphysiologische Wert von Kohlenhydraten unterscheidet sich z. T. extrem bei den verschiedenen Fischarten. Warmwasserfische können einen viel grösseren Anteil an Kohlenhydraten verstoffwechseln als Kaltwasser- oder Salzwasserfische. Für Fische existieren keine genauen Bedarfszahlen für Kohlenhydrate, dennoch ist eine geeignete Substitution notwendig, da sonst Proteine und Fette für den gesamten Energiebedarf und für die Biosynthese von bestimmten physiologisch wichtigen Elementen herangezogen werden, die normalerweise aus Kohlenhydraten gewonnen werden. Die Enzyme für die Kohlenhydratverdauung sind offensichtlich im Verdauungstrakt der Fische vorhanden. Das Vorhandensein der Enzyme für die Hauptabbauwege der Kohlenhydrate, die Glykolyse, der Pentosephosphatweg, die Glukoneogenese und der Glykogenabbau wurde von Shimeno (1974) nachgewiesen. Obwohl verschiedene Enzyme und Abbauwege für den Glukosemetabolismus entdeckt wurden, bleibt die genaue Rolle der Kohlenhydrate für den Gesamtenergiebedarf der Fische etwas unklar. Studien deuten darauf hin, dass die hormonelle und physiologische Regulation des Kohlenhydrat- und Energiestoffwechsels bei den verschiedenen Fischarten stark variiert und gleichzeitig unterschiedlich ist zu dem der Säugetiere (Shimeno, 1974; Cowey und Walton, 1989).

Verwertung von Kohlenhydraten

Die relative Verwertbarkeit von Kohlenhydraten bei Fischen hängt von deren Komplexität ab. Glukose, Saccharose und Maltose zeigten die besten Wachstumsraten, gefolgt von Dextrin und Fruktose, Galaktose und Kartoffelstärke bei Rationen mit 10 prozentiger Konzentration bei Seelachsen (Buhler und Halver, 1961). Regenbogenforellen nutzen problemlos einen 30 % Anteil an Glukose kombiniert mit 45% Rohprotein in der Ration, wohingegen 30% Glukose kombiniert mit 30% Rohprotein einen negativen Effekt auf die Wachstumsrate hatte (Bergot, 1979). Ein gleicher Trend wurde auch für andere Monosaccharide beobachtet. Regenbogenforellen nutzten 57 bzw. 64% der Bruttoenergie von Glukose in Rationen mit gleichzeitig 30 bzw. 48% Protein (Pieper und Pfeffer, 1979). In einem anderen Versuch wurde der Fettanteil einer Ration mit Kohlenhydraten steigender Konzentration von 2,5–18,3% ersetzt. Obwohl der Proteingehalt bei 40% und der Energieinhalt konstant blieben, zeigte sich mit steigendem Kohlenhydratanteil ein linearer Abfall der Gewichtszunahme (Hilton und Atkinson, 1982).

Hohe Konzentrationen an verdaulichen Kohlenhydraten führten bei Salmoniden zu Lebervergrößerung und erhöhten Glykogeneinlagerungen (Pieper und Pfeffer, 1979). Die relative Verdaulichkeit von Glukose, Dextrin und Stärke wurde bei Karpfen und Meeresbrassen verglichen. Beim Karpfen waren die Wachstumsrate und die Futtermittelverwertung von Stärke gefolgt von Dextrin und Glukose am besten, wohingegen bei der Meeresbrasse sich keine signifikanten Unterschiede der Zucker ergaben (Furuichi und Yone, 1982). Lachsbrut verwertete Glukose, Maltose, Stärke und Dextrin sehr gut, während Fruktose, Galaktose und Laktose schlecht verwertet wurden (Akiyama et. al., 1982).

Die Fähigkeit Kohlenhydrate zu verwerten unterscheidet sich stark bei den einzelnen Fischarten. Studien zeigten, dass Karpfen, Tilapia und Meeresbrassen eine deutliche bessere Verwertung besaßen als salmonidenartige Fische (Shimeno et. al., 1977; Atkinson und Hilton, 1981). Durch Einwirkung von Hitze und Druck (Extrudieren), können Kohlenhydrate, die sonst schlecht von Salmoniden verwertet werden können, aufgeschlossen und besser verdaulich werden. Im Allgemeinen können technisch aufgeschlossene Stärkeprodukte wie Weizen, Mastrationen von 40% beim Karpfen und 25% bei der Forelle ausmachen (Reiter, 2001; Goddard, 1996).

Bei mehreren Fischarten, wie Karpfen, Meeresbrassen etc. wurden orale Glukosetoleranztests durchgeführt (Wilson und Poe, 1987; Furuichi und Yone, 1979). In allen Fällen resultierte die Verabreichung von Glukose in einer persistierenden Hyperglykämie. Ein ähnliches Ergebnis wurde beobachtet als Regenbogenforellen Rationen mit 15 bzw. 30% Glukose verabreicht wurden (Bergot, 1979). Daraufhin massen Furuichi and Yone (1981) die Änderungen im Plasmainsulinspiegel während der Glukosetoleranztests. Der Insulinspiegel erreichte parallel mit dem Glukosespiegel nach ca. zwei Stunden nach Glukoseaufnahme sein Maximum. Der Zeitraum bis zum Erreichen des Höchstlevels und die maximale Aktivität des Insulins entsprechen den Daten beim Diabeteskranken Menschen. Die verlängerte Hyperglykämie nach Glukosetoleranztests und die geringe Fähigkeit von Fischen Kohlenhydrate abzubauen, wurde auf ein geringes Vorhandensein von endogenem Insulin zurückgeführt (Wilson und Poe, 1987). Durch die Entwicklung der RIA - Methode konnte jedoch gezeigt werden, dass der Insulinlevel in Fischen genauso hoch ist wie bei Säugetieren (Plisetskaya, 1990). Die relative Intoleranz von Fischen gegenüber hohen Dosen exogener Glukose ähnelt, trotz hohem Insulinspiegel, dem Zustand des insulinunabhängigem Diabetes mellitus (Hertz et. al., 1989). Gutierrez et. al. (1991) wiesen nach, dass der Muskel von Regenbogenforellen nur 3-10% an

Insulinrezeptoren enthält wie der vergleichbare Muskel von Ratten und dass die Bindungskapazität der Insulinrezeptoren deutlich geringer ist als die von Säugetieren. Sie konnten aber keinen Unterschied in der Bindungsfähigkeit von Insulinrezeptoren bei Forellen, die mit unterschiedlich hohem Gehalt an Kohlenhydraten gefüttert wurden, feststellen. Aus neusten Erkenntnissen geht hervor, dass die Hyperglykämie durch kohlenhydratreiche Nahrung nicht ausschliesslich durch die schwache Insulinfreisetzung und die begrenzte Rezeptorkapazität verschuldet wird, wie ursprünglich vermutet.

Kohlenhydratanteil in der Fischernährung

Obwohl bislang keine essentiellen Bedarfszahlen für Kohlenhydrate bei Fischen festgestellt wurden, sollte ein bestimmter Anteil in den Rationen enthalten sein. Kanalwelsbrut wuchs mit Kohlenhydratanteilen im Futter besser als mit Futter, welches nur Fette als nichtproteinogene Energiequelle hatte (Garling und Wilson, 1977). Sie dienen als Energiequellen und Bauteile verschiedener biologischer Verbindungen, wie z.B. der Nukleinsäuren. Da Kohlenhydrate die billigste Energiequelle in der Fischernahrung darstellen, sollte je nach Fischart der höchstmögliche Anteil beigemischt werden. Warmwasserspezies besitzen in der Regel eine bessere Fähigkeit Kohlenhydrate abzubauen als Kaltwasserbewohner (Lall, 1991). Besonders wachsende Karpfen können Kohlenhydrate energetisch ähnlich effektiv wie Fette verstoffwechseln. Gerne werden sie als günstiger Energieträger in der Karpfenteichwirtschaft in Form von Getreideprodukten/ Stärke, meist gewonnen vom Endosperm des Getreidekorns, verwendet. Stärke wirkt zudem als Bindemittel in pelletiertem oder extrudiertem Futter.

2.2.5. Mineralstoffe

Fische können im Gegensatz zu den landlebenden Tierarten, ihren Mineralstoffhaushalt nicht nur über das Futter decken, sondern auch über ihre Lebensumwelt, das Wasser. Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Eisen, Zink, Kupfer und Selen werden zur Bedarfsdeckung im Normalfall teilweise aus dem Wasser resorbiert. Phosphate und Sulfate werden effektiver aus anderen Nahrungsquellen aufgenommen. Der Fisch braucht diese anorganischen Elemente zur Funktionsfähigkeit der normalen Lebensabläufe. Sie sind Baustoffe für die Skelettstruktur und steuern den Säure- Base Haushalt und die Osmoregulation. Mineralstoffe bilden ausserdem wichtige Bestandteile von Hormonen und Enzymen. Komplexe biochemische Mechanismen steuern die Aufnahme, Speicherung und Exkretion verschiedener anorganischer Elemente. Die Elektrolyte Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- und HCO_3^- spielen die elementare Rolle im Osmosehaushalt und bei der Regulation des intra- und extrazellulären Ionenflusses.

Der Ionenaustausch der Kiemen und der Haut mit dem umgebenden Wasser gestalten die Messung der Mineralstoffbedarfszahlen als sehr schwierig. Obwohl viele für Säugetiere essentielle Elemente auch für Fische als wichtig angesehen werden, gibt es nur für neun davon definierte Bedarfszahlen bei bestimmten Fischarten (Calcium, Phosphor, Magnesium, Eisen, Kupfer, Mangan, Selen und Iod). Die Mineralstoffe teilen sich auf in die Mengenelemente Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium, Kalium und Chlorid und in die Spurenelemente Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Selen, Iod, Fluor und Chrom.

Calcium und Phosphor

Die beiden Elemente sind an der Entwicklung und der Erhaltung des Skelettsystems direkt beteiligt, und nehmen an vielen physiologischen Prozessen teil. Die Fischschuppen bilden einen wichtigen Ort der Calciumspeicherung und des Calciummetabolismus. Neben seiner strukturbildenden Funktion, spielt Calcium eine wichtige Rolle bei der Muskelkontraktion, der Blutgerinnung, beim Säure-Base Haushalt und bei der Aktivierung verschiedener Enzyme.

Fische nehmen Calcium direkt aus ihrer Umwelt auf und können in Calciummangelsituationen den gesamten Bedarf über das Wasser decken. Neben der Aufnahme über die Darmepithelien spielte die Calciumresorption über die Kiemen die wichtigste Rolle im Calciumstoffwechsel (Simkiss, 1974). Die Calciumhomeostase im Knochen ist bei den meisten Fischen sehr gering, da ihre Knochen azellulär sind (Moss, 1963). Trotzdem kann in Mangelsituationen Calcium aus den Knochen und den Schuppen mobilisiert werden (Ichii und Mugiya, 1983). Dabei ist die Austauschrate von Calcium in Schuppen dreimal höher als im Knochen (Berg, 1968).

Der Calciumbedarf wird zum Grossteil über die Kiemen und die Haut im Süßwasser und im Salzwasser über die orale Absorption gedeckt. Für Salmoniden gibt es keine konkreten Bedarfszahlen, da es in der Nahrung so gut wie keine Unterversorgung an Calcium gibt. Für Karpfen und Aale sind 0,34% Calcium, für Welse und Tilapia 0,45% bzw. 0,7% Calcium in der Nahrung für das optimale Wachstum bereits völlig ausreichend (Robinson et. al. 1987).

Bei den meisten Zuchtfischen konnten keine Calciummangelzustände entdeckt werden. Solange natürliche Bestandteile in den Futtermitteln enthalten sind Fische ausreichend mit Calcium versorgt.

Phosphor ist ein wichtiger Bestandteil von Nukleinsäuren und Zellmembranen und ist an allen energieproduzierenden Zellreaktionen beteiligt. Weiterhin übernimmt er eine tragende Rolle im Kohlenhydrat-, Fett-, und Aminosäurestoffwechsel, sowie als Puffer in Körperflüssigkeiten.

Die Konzentration von Phosphaten im Wasser ist relativ gering, weshalb der Bedarf vorwiegend über das Futter gedeckt werden muss. Die Versorgung über das Futter ist beim Phosphor wichtiger als beim Calcium, da Fische es effektiver aufnehmen, speichern und mobilisieren müssen. Ein Phosphormangel zeichnet sich bei den meisten Fischen durch ein geringeres Wachstum, eine schlechtere Futterverwertung und durch Knochenmineralisierungen aus. Weitere Zeichen bei Karpfen sind deformierte Köpfe und Wirbelsäulen, steigende Aktivitäten von Leberenzymen und ein steigender Gesamtfettgehalt des Fischkörpers (Takeuchi und Nakazoe, 1981).

Bei den meisten Salmonidenarten, bei Karpfen und Meeresbrassen liegen die Bedarfszahlen zwischen 0,5- 0,8% Phosphor in den Rationen (Ogino und Takeda, 1978; 1976; Sakamoto und Yone, 1978). Mehrere Autoren berichten darüber, dass die Calciumkonzentration in der Nahrung keinen Einfluss auf den Phosphorbedarf von Welsen, Karpfen und Regenbogenforellen hat (Lall und Bishop, 1977; Lovell, 1978; Ogino und Takeda, 1978). Trotzdem ist ein richtiges Calcium-Phosphor-Verhältnis in Rationen wichtig. Für Meeresbrassen wird ein Verhältnis von 1:2 und für Aale eines von 1:1 angegeben (Nose und Arai, 1979). Der Karpfen und die Regenbogenforelle besitzen ein sehr enges Ca:P -Verhältnis von 0,9-1,3:1 (Schwarz, 1997).

Es gibt sehr unterschiedliche Berichte über die Bioverfügbarkeit von Phosphor verschiedenen Ursprungs. Im Allgemeinen gilt: je löslicher das Salz desto höher ist die Verfügbarkeit von Phosphor. Die Bioverfügbarkeit von Phosphor in Fischmehl ist

z.B. für Tilapia schlechter als für Karpfen und für diesen im Vergleich zur Regenbogenforelle nochmals geringer (Wantanabe et. al., 1980). Diese Unterschiede ergeben sich wegen der verminderten Magensaftsekretion bei Warmwasserfischen (Yone und Toshima, 1979). Futtermittel aus Körnern enthalten Phosphor primär gebunden als Calcium- Magnesiumsalze der Phytinsäure. Phytinphosphor ist für Tiere mit einfachem Magen wegen des Mangels an Phytase im Gastrointestinaltrakt nicht verwertbar. Phytinsäure bildet ausserdem mit freiem Calcium im Verdauungstrakt unlösliche Salze. Daher ist die Bioverfügbarkeit von Phosphor in den meisten Pflanzen gering; z.B. beträgt sie für Sojamehl zwischen 29 und 54% (Lovell, 1978).

Magnesium

Magnesium ist ein essentieller Kofaktor bei vielen enzymatischen Reaktionen des intermediären Stoffwechsels und wird bei der Osmoregulation und neuromuskulären Übertragung benötigt. Diese Enzyme sind z.B. die Phosphokinase, Thiokinase, Phosphatasen und Aminoacylsynthetase. Magnesium spielt ebenso eine wichtige Rolle bei der Anpassung der Atmung an unterschiedliche Wassertypen (Houston, 1985). Der Bedarf liegt je nach Fischart zwischen 0,04 und 0,08% der Nahrung (Shearer, 1989). Er kann über das Wasser oder die Nahrung gedeckt werden. Hohe Konzentrationen an Calcium und Phosphor beeinträchtigen den Bedarf an Magnesium nicht. Anorganische Magnesiumsalze werden von Regenbogenforellen mit 76% sehr effizient verstoffwechselt, wohingegen Magnesium aus dem Knochenanteil des Fischmehls nur zu 54% genutzt werden kann (Shearer und Asgard, 1990).

Ein Mangel bedingt reduziertes Wachstum, Nierenverkalkung, Skelettdeformationen und Missbildungen bei Karpfen und Forellen (Ogino et. al., 1978; Ogino und Chiou, 1976). Bei Tilapia ist eine Interaktion von Magnesium mit Proteingehalt der Nahrung nachgewiesen worden. Ein Magnesiumüberschuss (0,32%) einer proteinarmen (24%) Ration verursachte Vergiftungserscheinungen, während ein Magnesiummangel in einer proteinreichen Ration (44%) zur Hypercalzinose des gesamten Körpers führte (Dabrowska et. al., 1989).

Natrium, Kalium und Chlorid

Diese drei Elemente sind die am häufigsten vorkommenden Elektrolyte im Körper. Natrium und Chlorid sind die wichtigsten Anionen bzw. Kationen im extrazellulären Raum, wohingegen Kalium das wichtigste Kation des intrazellulären Raums bildet. Chlorid ist das Hauptanion im Magensaft und im Blut. Mangelsyndrome dieser Elektrolyte sind kaum bekannt, da ihr Bedarf über das Wasser oder das Futter gedeckt wird. Die Fülle dieser Stoffe in der normalen Nahrung erspart eine zusätzliche Supplementierung zum Futter. Der Zusatz von 1-4% NaCl zum Forellenfutter hatte keinen positiven Effekt auf das Wachstum von Salmoniden (Salman und Eddy, 1988). Eher zeigte sich ein nachteiliger Effekt im Falle von hohen Salzkonzentrationen. Die Na^+ und K^+ -abhängige ATPase- Aktivität in den Keimen konnte durch Salzsupplementierung gesteigert werden, so dass die Adaptation von Atlantiklachsen an Salzwasser erleichtert wird (Zaugg und McLain, 1969).

Eisen

Eisen spielt eine tragende Rolle in der Zellatmung durch seine oxidativ-reduzierenden chemischen Eigenschaften. Im Körper liegt es meist an Proteine gebunden in Komplexform vor (Hämoglobin, Cytochrom etc.). Der Hauptbedarf an Eisen muss über das Futter gedeckt werden, da im Wasser nur ungenügende Gehalte an Eisen zu finden sind. Eisenbedarf beträgt für Karpfen und Forellen zwischen 30 und 60mg/ kg Futter und für z.B. Aale mit 170 mg/ kg Futter fast das Dreifache (Nose und Arai, 1979; Schwarz, 1997). Ein Mangel verursacht eine microzytäre Anämie und einen erniedrigten Hämatokrit bei den meisten Fischarten. Sakamoto und Yone (1979) fanden heraus, dass Eisenchlorid und Eisensulfat einer Eisenmangelanämie bei Meeresbrassen gleichgut vorbeugen konnten. Das Wachstum war bei Mangelsituationen nicht betroffen, während ein Eisenüberschuss im toxischen Bereich (> 1,38mg Fe/kg Futter) das Wachstum verlangsamt und die Sterberate ansteigen lässt (Desjardins et. al., 1987).

Kupfer

Kupfer ist Bestandteil vieler Enzyme (z.B. Superoxiddismutase, Tyrosinase etc.) und ist wichtig für deren Aktivität. Es wird zudem für den Elektronentransport im Zellkern mit der Cytochromoxidase c benötigt. Über den genauen Kupfermetabolismus in Fischen ist wenig bekannt. Der Bedarf liegt beim Karpfen und der Forelle bei 3-5mg/kg Futter (Ogino und Yang; 1980). Karpfen, die mit kupferarmen Fischmehl gefüttert wurden, zeigten geringeres Wachstum und gehäuft Katarakt (Satoh et. al., 1983). Gatlin und Wilson (1986) dokumentierten bei kupferarm gefütterten Welsen eine verminderte Cytochrom c- Oxidase und Superoxiddismutaseaktivität. Fische scheinen im Allgemeinen mehr Toleranz gegenüber Kupfer in der Nahrung als im Wasser zu haben. Für die meisten Fischarten sind Konzentrationen von 0,8-1,0mg Kupfersulfat/ Liter Wasser bereits toxisch. Keinen nachteiligen Effekt konnte man bei Regenbogenforellen feststellen, die über 20 Wochen mit 150mg/ kg Kupfer in der Nahrung gefüttert worden sind (Knox et. al., 1982). Bei Konzentrationen von 1000 mg/kg Futter blieben Cohoforellen schliesslich in ihrem Wachstum zurück, zeigten aber keine Vergiftungssymptome. Bei Regenbogenforellen sind ab ca. 700mg/ kg Futter toxische Effekte des Kupfers sichtbar. Dies sind vermindertes Wachstum und Futtermittelverwertung, sowie eine erhöhte Akkumulation von Kupfer in der Leber (Knox et. al., 1982).

Zink

Die wichtige Rolle von Zink im lebenden Organismus basiert auf dem Mitwirken als elementarer Bestandteil von Metalloenzymen, wie die Dehydrogenasen, Peptidasen und Phosphatasen. Zink wird etwas besser aus der Nahrung als aus dem Wasser absorbiert. Bei der Exkretion spielen die Kiemen eine tragende Rolle (Hardy et. al., 1987).

Der Zinkbedarf bei Karpfen und Forellen liegt etwa bei 30mg/kg Futter (Schwarz, 1997). Die Calcium- und Phosphorkonzentration, die Phytinsäure, der Ursprung des Proteins und die Zinkform im Futter, beeinträchtigen die Zinkabsorption und die Verfügbarkeit für den Fisch. Phytat bildet mit Zink, Eisen und Mangan Komplexe im Verdauungstrakt und verhindert dadurch ihre Absorption. Die Bioverfügbarkeit von Zink ist invers zum Gehalt an Tricalciumphosphor in der Nahrung (Satoh et. al., 1989). Um die hemmenden Effekte auszugleichen, wird empfohlen, grössere

Mengen an Zink in die Rationen zu mischen, als es die reinen Bedarfszahlen verlangen.

Regenbogenforellen und Karpfen tolerieren Zinkkonzentrationen bis 1900mg/kg Futter ohne Beeinträchtigung des Wachstums oder der Überlebensrate. Trotzdem beobachtete Knox et. al. (1984) einen reduzierten Hämatokrit und verringerte Hämoglobin- und Kupferkonzentrationen, bei Zinkgehalten ab 1000mg/kg.

Ein Zinkmangel verursacht geringeres Wachstum, Linsenkatarakt, Hauterosionen und eine erhöhte Mortalität (Sato et. al., 1983). Die Zinkausscheidung über den Kot gilt als ein guter Indikator für den Zinkhaushalt bei Forellen (Wekell et. al., 1983).

Mangan

Mangan dient einerseits als aktivierender Kofaktor für Metall- Enzyme oder als Teil von Metalloenzymen im Fett-, Protein- und Kohlenhydratstoffwechsel. Zwei wichtige dieser Enzyme sind die Pyruvatcarboxylase und die Superoxiddismutase. Mangan wird vorwiegend aus dem Futter resorbiert (Miller et. al., 1980). Die Bedarfszahlen liegen bei Karpfen und Forelle bei etwa 13mg/ kg Futter (Ogino und Yang, 1980). Manganmangel verursacht Skelettmissbildungen und reduziertes Wachstum bei Forellen, Karpfen und Tilapia. Bei Regenbogenforellen sank die Aktivität der beiden oben genannten Enzyme bei verminderter Manganaufnahme. Bei laichreifen Forellen kam es durch manganarme Nahrung zu verminderten Schlupfraten und Konzentrationen von Mangan in den Fischeiern (Yamamoto et. al., 1983).

Selen

Selen ist Hauptbestandteil der Glutathionperoxidase, deren Aktivität ein aussagekräftiger Indikator für die Selenversorgung ist (Bell et. al., 1987). Dieses Enzym reduziert Hydrogenperoxide und Fettacylhydroperoxide und schützt somit die Zellen gegen Schädigung durch Peroxide. Selenmangel manifestiert sich v.a. in Form von Wachstumsdepression, jedoch tritt meist ein kombinierter Mangel mit Vitamin E auf (Hilton et. al., 1980). Beide Substanzen sind dazu notwendig um eine Muskeldystrophie und eine exudative Diathesis zu verhindern. Der Selenbedarf hängt von der Form des aufgenommenen Selen, den mehrfach ungesättigten Fettsäuren und dem Vitamin E- Gehalt der Ration ab. So ergibt sich eine Spanne von 0,1-0,3mg/kg Futter für Karpfen und Forelle (Hilton et. al., 1980; Schwarz, 1997). Bell und Cowey (1989) berichten, dass elementares Selen in Fischmehl gegenüber Selenmethionin eine geringe Verdaulichkeit aufweist.

Toxische Effekte treten ab Konzentrationen von 13mg/kg in Form von erhöhter Mortalität, Nierenverkalkung und vermindertem Wachstum auf (Gatlin und Wilson, 1984).

Jod

Jod ist unersetzbar für die Biosynthese der Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin. Fische nehmen etwa 80% des Jodbedarfs über das Wasser und die restlichen 20% über das Futter auf (Hunt und Eales, 1979). Die mengenmässige Aufnahme von Jod hängt von dessen Gehalt im Wasser ab. Jodmangel verursacht eine Schilddrüsenhyperplasie. Ein Schilddrüsenhormondefizit kann auch durch Glucosinolate bedingt sein. Genaue Bedarfszahlen für Jod existieren bei den meisten Fischen nicht. Schwarz (1997) beziffert den Bedarf für Karpfen und Forellen zwischen 0,1 und 1 mg Jod/kg Futter.

Lall et. al. (1985) entdeckte einen positiven Effekt hoher Jodkonzentrationen von 4,5mg/kg zum Schutz vor bakteriellen Niereninfektionen bei Lachsen.

Andere Spurenelemente

Informationen über den Bedarf an anderen Spurenelementen liegen nur begrenzt vor. Hohe Flouridgehalte erhöhten die Konzentration von Flour im Skelett von Regenbogenforellen. Ebenso beobachtete man eine geringere Prävalenz von bakteriellen Nierenerkrankungen bei hoher Floursupplementation (Browser et. al., 1988). Andere Spurenelemente wie Chrom werden wie beim Menschen auch als essentiell angesehen, obwohl für sie keine Mangelercheinungen beschrieben sind.

2.2.6.Vitamine

Vitamine sind organische Verbindungen, die in der Grössenordnung von Spurenelementen exogenen Ursprungs für Wachstum, Reproduktion und Gesundheit wichtig sind. Sie werden in wasser- und fettlösliche Vitamine unterteilt. Die Funktionen der fettlöslichen Vitamine A, D, K und E sind unabhängig von dem Vorhandensein anderer Enzyme, während die meisten wasserlöslichen Vitamine als Coenzyme im Stoffwechsel dienen. Bei Säugetieren führt ein Mangelzustand einzelner Vitamine zu spezifischen Krankheitsbildern, die bei den Fischen noch immer nicht genau identifiziert worden sind.

Gastrointestinale Mikroorganismen können eine beschränkte Quelle exogener wasserlöslicher Vitamine für bestimmte Warmwasserfische darstellen. Bei carnivoren Kaltwasserfischen sind Mikroorganismen keine ergiebigen Quellen von Vitaminen (Hepher, 1988). Für die meisten Vitamine gibt es eindeutige Bedarfszahlen für die verschiedenen Fischarten. Die Höhe des Bedarfs hängt von Fischart, Leistung des Fisches, Umweltbedingungen und Nahrungszusammensetzung ab. Deshalb geben die meisten Autoren eine Bedarfsspanne für den Bedarf an Vitaminen an (Leith et. al., 1990). Zumeist sind die Bedarfszahlen deutlich höher, als sie für das normale Wachstum notwendig wären.

Fettlösliche Vitamine

Die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K werden im Verdauungskanal zusammen mit anderen Fettstoffen resorbiert. Sie können von Tieren gespeichert werden, falls die Aufnahme den Bedarf übersteigt. Daher besteht die Gefahr einer Hypervitaminose falls zu viele fettlösliche Vitamine akkumuliert werden. Solche Situationen treten in der Natur im Normalfall nicht auf und können nur unter Laborbedingungen erzeugt werden (Poston und Livingston, 1969). Der Zeitraum in der sich die Konzentration der gespeicherten Fette wieder verringert ist bei den Fischarten sehr unterschiedlich.

VITAMIN A

Vitamin A kommt ausschliesslich in tierischen Organismen vor. Jedoch enthalten pflanzlich Produkte Carotinoide, die Vorstufen des Vitamin A, die von Tieren wiederum in Vit. A umgesetzt werden können (siehe auch Pigmentstoffe). Ein Mangelzustand zeichnet sich durch schlechtes Wachstum, Anämie, Kiemen- und Epithelschäden, und Blutungsneigung aus (Kitamura et. al., 1967; Halver, 1985). Zur Bedarfsdeckung werden für Fischbrut- und Setzlinge 3000- 5000 IE/kg Futter, bei Regenbogenforellen 2000-3000 IE/kg und bei Karpfen 1000-2000 IE/kg empfohlen.

Ein übermässiger Gehalt von 2,2 Mio IE/ kg führt bei Forellen zu ähnlichen Symptomen wie bei Mangelversorgung.

VITAMIN D

Es gibt zwei wichtige Quellen für Vitamin D, das ist das Vit. D₂ pflanzlichen Ursprungs und das Vit. D₃ tierischen Ursprungs, welches nach der Biotransformation in Leber und Nieren zur aktiven, hormonähnlichen Form umgewandelt wird. Diese ist dann u.a. für den Calcium- und Phosphorstoffwechsel im Körper verantwortlich. Vitamin D₃ führt in Konzentrationen von 20000-50000IE/kg zu vermindertem Wachstum, während noch höhere Konzentrationen ($3,75 \times 10^6$ IU) zu Hypercalcämie und erhöhtem Hämatokrit führten (Andrews et. al., 1980). Ein Vitamin D-Defizit bei Regenbogenforellen machte sich in vermindertem Wachstum, herabgesetzter Calciumhomöostase und Veränderungen am weissen Muskelanteil bemerkbar (George et. al., 1981). Halver (1985) empfiehlt unter Berücksichtigung eines erheblichen Sicherheitszuschlages eine Zugabe von 2000IE Vit. D₃/kg, wobei bei Fischölannteilen diese Menge deutlich zu verringern ist. Für praktische Forellen- und Karpfenrationen dürften Zulagen von 500-1000IE Vit. D₃/kg Futter als ausreichend gelten.

VITAMIN E

Die biologisch wirksame Form von Vitamin E wird als α - Tocopherol bezeichnet. In vivo arbeiten Tocopherol und Selen als Teile eines „antioxidativen Abwehrsystems“. Dieses System schützt Zellen vor unerwünschten oxidativen Reaktionen oder aggressiven freien Radikalen. Eine Folge von Vitamin E-Mangel sind eine allgemein erhöhte Kapillarpermeabilität, Muskelatrophie und Nekrosen, Depigmentation, sowie Ödeme in verschiedenen Geweben (Hung et. al., 1981). Blazer und Wolke (1984) berichten über eine reduzierte Immunabwehr bei Regenbogenforellen gegen Infektionen bei Vitamin E-Mangelsituationen. Die meisten Angaben zur Versorgung von Karpfen und Forellen mit Vitamin E liegen zwischen 50-120mg/kg; bei hohen Zulagen besonders verderblicher Fette werden sogar Zulagen bis 500mg/kg als notwendig ersehen (Schwarz et. al., 1988).

Hohe Konzentrationen an α -Tocopherol (5000mg/kg) senken die Erythrozytenkonzentration im Blut von Forellen (Poston und Livingston, 1969).

VITAMIN K

Die wichtigste Aufgabe von Vitamin K im Körper ist die Stimulierung der Prothrombinaktivität im Plasma und der Synthese von Blutgerinnungsfaktoren. Eine Unterversorgung führt daher zu erhöhter Blutungsneigung, niedrigem Hämatokrit und einer erhöhter Blutgerinnungszeit (Dupree, 1966). Da ein Teil des Bedarfs durch die Darmmikroorganismen bereitgestellt wird, reicht eine Ergänzung von 10mg/kg inkl. Sicherheitszuschlag im Futter. Hohe Konzentrationen von 2400mg/kg hatten keine nachteiligen Auswirkungen auf Fische (Poston, 1971).

Wasserlösliche Vitamine

Ausser Cholin und Ascorbinsäure besitzen alle anderen wasserlöslichen Vitamine unersetzliche Koenzymfunktionen im Zellstoffwechsel. Es ist aber immer noch nicht möglich einzelne Mangelsymptome genau dem Fehlen eines Vitamins zuzuschreiben. Der Bedarf mancher Warmwasserfische wird allein mit Hilfe der Mikroorganismenvitaminsynthese im Verdauungstrakt ausreichend gedeckt. In diesen Fällen treten nur Mangelercheinungen bei verstärktem Antibiotikaeinsatz ein. Da wasserlösliche Vitamine nicht speicherbar sind, müssen sie ausreichend mit der Nahrung zugeführt werden, um Mangelercheinungen sicher auszuschliessen.

B- VITAMINE

Bei Mangelercheinungen der B- Vitamine treten im Allgemeinen reduziertes Wachstum und eine verminderte Futtermittelverwertung auf. Charakteristische Mangelsymptome bei Salmoniden und Karpfen der einzelnen Vitamine und die Bedarfswerte sind in Tabelle 4 dargestellt. Eine Überversorgung ist bei wasserlöslichen Vitaminen kaum möglich, da sie mit Wasser leicht wieder ausgeschieden werden können.

Tabelle 4: Bedarfswerte und Mangelerkrankungen bei Karpfen und Forellen

Vitamin	Bedarf in mg/kg Futter	Typische Mangelercheinungen
Thiamin- B1	3-10	Neurologische Störungen, subkutane Blutungen
Riboflavin –B2	5-12	Augenschäden, verminderte Koordinationsfähigkeit
Pyridoxin- B6	3-10	Nervöse Störungen, erhöhte Reizbarkeit, Krämpfe
Pantothensäure	20-30	Anämie, hohe Mortalität, Anorexie
Nikotinsäure	30-80	Darm- und Hautläsionen, Hautblutungen
Biotin	0,2-2	Histopathologische Kiemenveränderungen
Folsäure	2-5	Anämie, abnorme Erythrozyten
Cobalamin- B12	0,01-0,02	Microzytäre Anämie, fragmentierte Erythrozyten

CHOLIN

Cholin kann im Stoffwechsel unter Beteiligung von Serin und Methionin aufgebaut werden. Hohe Cholinmengen wirken daher methioninsparend. Cholin ist am Aufbau von Phospholipiden, Lipoproteinen und dem Acetylcholin beteiligt. Im Mangelzustand kann es zu Fettanreicherungen in der Leber kommen. Der Bedarf ist vom Methioninanteil in der Nahrung sowie vom Kohlenhydrat- und Fettanteil abhängig, liegt aber im Bereich von 500-4000mg/kg Futter (Schwarz, 1997).

VITAMIN C

Die meisten Tiere können Vitamin C aus D-Glukose synthetisieren, wohingegen vielen Fischen diese Fähigkeit fehlt (Dabrowski, 1990). Unter den Substanzen mit Vitamin C- Wirkung ist die Ascorbinsäure von grösster Bedeutung. Sie ist ein stark reduzierendes Agent und ist als Cofaktor bei der Bildung von Kollagen beteiligt. Weiterhin ist sie an der Biosynthese von steroidal Hormonen und von Aminosäuren beteiligt.

Bei Salmoniden zeigt sich ein Vit. C- Mangel durch strukturelle Deformationen (Skoliose, Lordose etc.), innere Blutungen und unspezifisch Zeichen wie Anorexie, Aszites und Lethargie aus (Sato et. al., 1983). Auch bei diversen anderen Fischarten liegen Berichte ähnlicher Symptome bei Vit. C-Mangel vor. Vitamin C hat ausserdem einen stimulierenden Effekt auf die Immunabwehr und kann zudem Phagozytosezellen vor oxidativen Schäden bewahren (Navarre und Halver, 1989).

Versorgungsempfehlungen schwanken von 40mg/kg Futter beim Karpfen und 50-1000mg bei Forellen je nach Haltungsbedingungen (Halver, 1985). Umweltbelastungen durch Schwermetalle oder Pestizide erhöhen ebenso den Bedarf an Vit. C von Fischen. Der Kollagengehalt in Wirbeln wird als ein sensitiver Parameter den Vitamin C Status im Fisch angesehen (Sato et. al., 1978).

Da die Ascorbinsäure sehr labil ist und oftmals grosse Teile davon bereits bei der Herstellung von Futtermittel zerstört werden, wird zu den Fischfuttermitteln ein Überschuss an Vitamin C beigemischt um eine adäquate Versorgung zu garantieren.

2.2.7. Andere Futterbestandteile

Rationen enthält auch Materie ohne Nährstoffcharakter, die den Stoffwechsel positiv oder negativ beeinflussen kann. Diese Komponenten kommen entweder natürlich in den Futterstoffen vor oder werden supplementiert, um den physiologischen Bedarf zu decken oder die Qualität des Futters zu steigern. Diese Substanzen sind z.B. Wasser, Hormone, Antibiotika, Rohfaser, Bindemittel, synthetische Antioxidantien und appetitanregende Stoffe.

Wasser

Die Futtermittel enthalten Wasser entweder als gewollte Zutat, als natürlichen Nahrungsbestandteil oder als adsorbierter Stoff aus der Atmosphäre. Die Feuchtigkeit aus der Atmosphäre ist im Normalfall sehr gering und beträgt max. 6-8% des Gewichts. Ein niedriger Feuchtigkeitsgehalt erleichtert die Lagerung und die Hanghabung von Futtermitteln. Ab 12% Feuchtigkeitsgehalt sind sie im Regelfall anfälliger gegenüber mikroorganellen Verderbniserregern.

Zu Beginn der Lachszuchten wurde sehr wasserhaltiges Futter (10-40% Wasseranteil) an die Fische verabreicht (Hublou, 1963; Lukowicz, 1997). Später wurden Halb- Feucht Futter (15-20% Wasseranteil), die man nicht mehr einfrieren musste, eingeführt. Um die Feuchtigkeit während des Herstellungsverfahrens und der Lagerung zu reduzieren wurden polyhydrierte Alkohole zugesetzt. Zusätze die Schimmel verhindern sind bei der Lagerung ebenso notwendig. Studien an allen Salmonidenarten zeigten keinen offensichtlichen Vorteil von Wasserzugaben bei Trockenfuttermitteln (Hughes, 1989).

Rohfaser

Rohfaser sind unverdauliche Pflanzenbestandteile wie Zellulose, Hemizellulose, Lignin und andere komplexe Kohlenhydratverbindungen. Diese Substanzen sind verdaulich, wenn die bakterielle Flora im Verdauungstrakt dazu im Stande ist. Fische besitzen aber keine Zellulase (Bergot, 1981), daher spielt die Verdauung von Zellulose keine wichtige Rolle in ihrer Ernährung.

Die meisten Fischarten tolerieren einen Rohfasergehalt bis 8%, wird er weiter erhöht macht sich das in vermindertem Wachstum bemerkbar. Geringere Gehalte sollen die Magenentleerung bei Regenbogenforellen beschleunigen (Hilton et. al., 1983). Die schlechten Leistungen von Salmoniden, die mit bestimmten Rohfaserarten gefüttert wurden, lassen sich durch die schlechte Verdaulichkeit und die schnellen Magenleerungszeiten erklären (Davies, 1988). In der Naturnahrung beträgt der Rohfasergehalt zwischen 3 und 5%. Der Zusatz von mehr Rohfaser zu den Rationen bringt keinen Vorteil, sondern bedingt eher höhere Futteraufnahmen und einen grösseren Austrag in die Umwelt.

Hormone (siehe auch Kapitel Leistungsförderer)

Verschiedenste natürliche und künstliche Hormonpräparate, inklusive Wachstumshormone, Schilddrüsenhormone, Insulin und verschiedene Steroidhormone wurden in Wachstumsexperimenten bei Fischen getestet.

Vor allem bei Salmoniden wirkten synthetische Androgene wachstumsfördernd. Etwa 20 Fischarten zeigten positive Reaktionen auf anabole Stoffe (Matty, 1986). Manche Warmwasserfische wie der Kanalwels reagierten nicht auf die Fütterung von anabolen Hormonen. Zeitlich verlängerte Fütterungsversuche mit Steroiden wiesen Nebeneffekte wie z.B. eine verfrühte Geschlechtsreife, Skelettschäden, eine höhere Anfälligkeit gegenüber Infektionen und pathologische Veränderungen innerer Organe auf (Zohar, 1989).

Hormone wurden zudem erfolgreich zur Ovulationsinduktion bei fast allen Fischarten eingesetzt (Donaldson und Hunter, 1983).

Sexualhormone wurden ausserdem dazu genutzt, um das Geschlecht von Karpfen, Salmoniden und Tilapia umzukehren und zu vereinheitlichen. Der Zweck ist, gleichgeschlechtliche, sterile Tiere des besserwachsenden Geschlechts zu produzieren und die Geschlechtsreife bzw. Anbildung von Rogen (Fischeier) oder Sperma zu verhindern.

Antibiotika (siehe auch Kapitel Leistungsförderer)

Eine Grosse Bandbreite von Antibiotika wird für therapeutische Zwecke in der Tierproduktion eingesetzt. Produktionsprozesse der Futtermittelherstellung, z.B. das Extrudieren, können einen Teil der Wirksamkeit aufheben. Die Menge der Futterantibiotika und der Zeitraum der Verabreichung sollten dringend reguliert sein, um die Rückstände in Fischen und der Umwelt möglichst gering zu halten.

Subtherapeutische Dosierungen in Rationen verschiedener landwirtschaftlicher Nutztiere beeinflussen die mikrobielle Zusammensetzung im Verdauungstrakt und können sich positiv auf Wachstum und Futtermittelverwertung auswirken. Oxytetracycline und Chlortetracycline hatten bei Salmonidenartigen Fischen keine leistungssteigernden Effekte (Hermann, 1969). Ein subtherapeutischer Zusatz (0,01%) von Furazolidone, einem Nitrofuranderivat, bei Meeresbrassen verbesserte den Gewichtszuwachs und den Futterquotienten (Yone, 1968). Chemotherapeutisch

Wirkstoffe können auch toxisch wirken, wenn sie über einen längeren Zeitraum oder in hohen Dosen verabreicht werden. Hicks und Geraci (1984) fanden heraus, dass eine 10-wöchige Verfütterung therapeutischer Konzentrationen an Erythromycin (110mg/kg/Tag) gefässschädigend auf die proximalen renalen Tubuli von Regenbogenforellen wirkte. Eine langandauernde Therapie mit Sulfonamiden bei Salmoniden verursacht Wachstumsdepression, Lebernekrosen und viszerale Arteriosklerose (Wood et. al., 1957).

Antioxidantien

Antioxidantien werden normalerweise in Fischfuttern genutzt, die hohe Konzentrationen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren besitzen, um deren Oxidation zu verhindern. Die Oxidation (Ranzigwerden) und Peroxidation von Fetten mindert den nutritiven Wert von Fetten, Vitaminen und anderer Futterkomponenten. Natürliche Tocopherole (Vitamin E) besitzen antioxidative Eigenschaften. Trotzdem besitzen sie eine relativ geringe antioxidative Aktivität, selbst bei Nutzung synthetischer Produkte. In Kombination mit anderen Antioxidantien wird weniger Vitamin E benötigt als bei alleiniger Nutzung in Futtermitteln. Bei Vitamin E- Mangel oder Verfütterung von ranzigen Fetten treten Fettdegenerationen der Leber und andere pathologische Anzeichen auf.

Synthetische Antioxidantien in der Fischernährung sind z.B. Ethoxyquin, BHT (3,5-Di-tert-butyl-4-hydroxytoluen), BHA (2/3- tert-butyl-4-hydroxyanisol) und Propylgalat.

Pigmentstoffe

Viele Pflanzen und Tiere beinhalten eine Vielzahl von natürlichen Pigmenten, welche die Gelb-, Orange- und Rotfärbung des Fleisches, der Haut und des Fischrogens bedingen. Eine der wichtigsten Gruppen von natürlichen Pigmenten in Pflanzen und Tieren sind die Carotinoide. Fische und Vögel nutzen die oxidierte Form der Carotinoide (Xantophylle) zur Pigmentation der Haut, des Fleisches und des Gefieders. Fische können diese Pigmente nicht synthetisieren; deshalb müssen sie in der Nahrung vorhanden sein. Für die rotorange Fleisch- und Hautfärbung der Salmoniden sind die Oxy-Carotinoide Astaxanthin und Canthaxanthin verantwortlich. Astaxanthin ist der wesentliche Pigmentstoff von freilebenden Salmoniden und stammt hauptsächlich aus dem Zooplankton. Futterstoffe pflanzlichen Ursprungs enthalten nicht die für die gewünschte Fleischfarbe bei Salmoniden wichtigen Pigmente. Die Pflanzencarotinoide sind Lutein und Zeaxanthin, welche in Alfalfa und Algen vorkommen. Lutein bedingt eine Gelbfärbung, während Zeaxanthin eher ins gelb-orange zielt.

Die Anreicherung von Carotinoiden im Gewebe hängt von Absorption, Transport, Metabolismus und Ausscheidung dieser Komponenten ab (Torrissen et. al., 1989). Die Verdaulichkeit von Astaxanthin aus Shrimp- oder Hefemehl ist sehr gering. Wird der Chitin- Calcium- Protein- Astaxanthin- Komplex der Shrimpschale gespalten, steigt die Verdaulichkeit des Astaxanthins. Freies Astaxanthin wird effizienter absorbiert als Astaxanthin-Ester (Schiedt et. al., 1985). Ungefähr 90% wird in freier Form im Fischfleisch gespeichert, während die Esterform in der Haut dominiert. Salmoniden können Carotinoide nicht oxygenieren, aber sie ohne weitere Modifikation speichern. Durch die Einbindung von Hydroxylgruppen ins Carotingerüst wird offensichtlich die Absorption erhöht, da Astaxanthin in signifikant höheren Konzentrationen als Canthaxanthin von Regenbogenforellen gespeichert wird (Choubert und Storebakken, 1989). Bei Salmoniden ist die Absorption von

Astaxanthin und Canthaxanthin 10- bis 20-mal höher als von Lutein und Zeaxanthin. Demgegenüber absorbieren Hühner Zeaxanthin 3-mal besser als Astaxanthin (Schiedt et. al., 1985).

Eine Gelbfärbung des Fischfleisches bedingt durch Zeaxanthin und Luteinfütterung ist nicht erwünscht. Bereits eine Konzentration von 0,6g Carotenoid/g im Fischfleisch erzeugt eine erkennbare Gelbfärbung des Fleisches (Lee, 1987).

Obwohl die Mobilisation der Carotinoide vom Fleisch zur Haut und zu den Ovarien bei Salmoniden ausreichend erforscht ist, ist ihre Rolle in der Reproduktion noch unklar. Schiedt et. al. (1985) berichtet über eine biologische Funktion der Xanthine als Vitamin A –Vorstufe bei Vit. A- armer Nahrung von Regenbogenforellen.

Christiansen et al. (1995) erreichten bei der Fütterung von Atlantischer Lachsbrut mit Astaxanthin (Carotinoid- Pigmentstoff) eine signifikante Reduzierung der Sterberate und eine signifikante Gewichtsteigerung nach 135 Tagen um über 300%.

Pelletbindemittel

Bindemittel werden in Fischfuttermittel eingearbeitet um die Stabilität des Futters im Wasser zu erhöhen und die Staub und Feinpartikelentwicklung während des Produktionsprozesses zu minimieren. Die weitverbreitetsten Bindemittel sind Bentonite, Lignosulfonate, Hemizellulose, Methylzellulose und Alginate. Bestimmte Futterstoffe wie Molke, Weizenkleiber und Melassen fördern die Produktion von qualitativ hochwertigen Pellets. Die meisten Bindemittel werden als chemisch neutral ohne und nur mit begrenztem Nährwert angesehen. Aufgenommene Alginate als Rationsbestandteil zeigten bei Regenbogenforellen eine verminderte Futteraufnahme und eine verringerte Verdaulichkeit von Fetten und Proteinen (Storebakken, 1985)

Futterstimulantien

Die primären Vorgänge bei der Wahrnehmung von Futter bei Fischen sind durch Geruch oder durch Sicht. Der Schlüsselreiz ob ein Partikel geschluckt oder wieder ausgespuckt wird ist der Geschmack (Adron und Mackie, 1978). Anscheinend gibt es hochsensible und speziesspezifische Geschmacksrezeptoren für bestimmte Reize in den Futterbestandteilen (Goh und Tamura, 1980). Viele Futtermittelproduzenten versuchen dem Futter Substanzen beizumengen, welche die Futterakzeptanz und Schmackhaftigkeit steigern.

Einige generelle Charakteristika von Futterstimulantien für Fische definiert Carr (1982): Sie enthalten Stickstoff, sind wasserlöslich, kommen häufig in pflanzlichen und tierischen Geweben vor und besitzen zugleich Basen- und Säureeigenschaften. Gleichzeitig zeichnet sie ein niedriges Molekulargewicht (<1000) aus.

Einige Substanzen, wie Aminosäuren, Betaine und Inosine erfüllen diese Anforderungen und verbesserten das Fressverhalten von carnivoren und omnivoren Arten (Rumsey, 1986). Harada (1989) stellte fest, dass einige Dipeptide ein noch besseres Fressverhalten hervorrufen konnten, als jegliche Aminosäure alleine. Über Futterstimulantien bei herbivoren Fischarten gab es bisher wenige Informationen. Adams und Johnsen (1986) fanden heraus, dass organische Säuren zusammen mit Aminosäuren stimulatorisch wirkten. Bei

Karpfen, Goldfischen und Tilapia konnte die Futteraufnahme mit Hilfe von Dimethyl- β - propiothetin gesteigert werden (Nakajima et. al., 1989).

Vergleicht man die stimulierende Wirkung verschiedener Stoffe, deutet sich an, dass carnivore Fische besser auf alkalische und neutrale Stoffe wie Glycin, Prolin, Taurin, Valin und Betain reagieren und herbivore Arten eher auf Säuren wie Aspartat oder

Glutamat reagieren. Diese Reaktion ist auf das natürliche Nahrungssuchverhalten der Fische in der Natur zurückzuführen (Adams und Johnson, 1986).

Die Anwesenheit gewisser Stoffe kann auch zur Nahrungsabschreckung dienen. Trimethylamine oder ihre oxidativen Produkte, wie sie in faulem Fischfleisch vorkommen, zeigen eine reduzierte Futteraufnahme bei verschiedenen Fischarten (Hughes, 1991). Salmoniden und Gelbschwänze zeigen eine Aversion gegenüber hochoxidierten Fetten und Fischmehlen (Murai et. al., 1988).

2.3. Leistungsförderer

Leistungsförderer sind Stoffe, die bei leistungsgerechter Nährstoffversorgung bei Tieren zu einer Verbesserung der Gewichtszunahmen bzw. zu einer Minderung des Futterbedarfs führen (Greife und Berschauer, 1988). Es handelt sich dabei um Verbindungen, die entweder natürlicher Basis sind, chemisch- synthetisch oder fermentativ hergestellt werden und sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise unterscheiden. Zum einen gibt es die Substanzen mit überwiegend antimikrobieller Wirkungsweise, wie Antibiotika und Kupfer, zum anderen Präparate mit Wirkung auf den Intermediärstoffwechsel, wie bestimmte Hormone. Eine stetig wachsende Gruppe bilden die alternativen Leistungsförderer, zu der Pre- und Probiotika, Enzyme und andere Wirkstoffe. Abhängig von der Art des Wirkstoffes und der potentiellen Gefahr für die Gesundheit von Tier und Mensch, gibt es für alle Leistungsförderer Zulassungseinschränkungen, Höchstmengenregelungen oder gar Verbote.

2.3.1. Leistungsförderer mit antimikrobieller Wirkung

Antibiotika

Im Jahr 1946 zufällig entdeckt, entwickelte sich der Markt für antibiotische Leistungsförderer für Tiere rasant. Eine Vielzahl von Wirkstoffen und Präparaten wurde getestet und fanden schliesslich auch erfolgreich Anwendung in der Tierproduktion. Dabei wurden anfänglich die gleichen Antibiotika als Leistungsförderer eingesetzt, die auch für die Therapie von Tier und Mensch vorgesehen waren (Wanner, 1999). Obwohl nur in 1/10 bis 1/100 der therapeutischen Dosis eingesetzt, entstand bald eine deutliche Zunahme resistenter Bakterienstämme, besonders gefördert durch den Einsatz subtherapeutischer Dosen (Helmuth, 1989). Diese Problematik und die Erkenntnis, dass Antibiotikaresistenzen übertragen werden können, führten zu den Empfehlungen des Swann- Reports (1969). Danach sollten nur Antibiotika für den nutritiven Einsatz zugelassen werden, die kaum therapeutische Bedeutung haben und damit nicht zu Kreuzresistenzen führen. Im Jahr 1976 wurde Tetracycline als Futterzusätze verboten, 1996 folgte das Verbot für Avoparcin, schliesslich kam es 1999 zum Widerruf der EU- Zulassung für sechs weitere antimikrobiell wirksame Leistungsförderer. Die steigende Gefahr welche von multiresistenten human- und tierpathogenen Bakterienstämmen ausgeht und die Diskussion um die Notwendigkeit antibiotischer Leistungsförderer, bewegte die 15 Agrarminister der EU- Mitgliedsstaaten den Einsatz dieser Leistungsförderer ab 01.01.2006 gänzlich zu verbieten.

Im Augenblick existieren noch vier zugelassene antibiotische Leistungsförderer: Avilamycin und Flavophospholipol (Schwein und Geflügel), Salinomycin- Na (Schwein) und Monensin- Na (Rind). Andere Europäische Länder wie Schweden und die Schweiz verzichteten bereits seit 1986 bzw. 1999 völlig auf antibiotische Leistungsförderer.

Das Ausmass des leistungsfördernden Effekts, ist vor allem abhängig von Tierart und Alter der Tiere. Aber auch die äusseren Rahmenbedingungen wie Haltung, Hygiene und physikalische Umweltfaktoren beeinflussen die Höhe dieser Effekte. Bei Schweinen werden abhängig zum Alter Steigerungen der Tageszunahmen von 3,5% bis 16% und eine verbesserte Futterverwertung von 3 bis 9% beschrieben (Birzer und Gropp, 1991). Die Wirkung tritt über die Beeinflussung der mikrobiellen Besiedlung und Aktivität des Magen- Darmtrakts ein. Durch eine Begünstigung nützlicher Keime kommt es zu einer verbesserten Nährstoffausnutzung, durch die

Hemmung schädlicher Keime wird die Toxinbildung beim Abbau von Proteinen und biogenen Aminen reduziert und damit der Gesamtstoffwechsel entlastet (Henderickx, 1981).

Müller (1956) überprüfte bei heranwachsenden Forellen die Wirkung von mehreren Antibiotikawirkstoffen über die Fütterung. Zur Auswahl standen Aureomycin, Terramycin, Chloramphenicol, Penicillin und eine Kombination von Penicillin+ B₁₂. Bei keiner der getesteten Substanzen konnten alleine noch in Kombination Erfolge erzielt werden. Mittels intraperitonealer Injektion von Streptomycin konnte Schäpperclaus (1961) bei Karpfen einen Gewichtszuwachs von 14% erzielen, warnte damals gleichzeitig schon vor dauerhafter Anwendung und der drohenden Resistenzgefahr. Er erklärte sich die positive Wirkung durch die Unterdrückung unerwünschter Keime, besonders des Bauchwassersucherreger *Pseudomonas punctata*, und dadurch der Schaffung gesünderer Tiere.

Chloramphenicol (CP) und Oxytetracyclin (OT) zeigten in zwei getesteten Konzentrationen (0,1% und 0,5%) keinerlei Effekt auf die Verdaulichkeit von Fetten und Fettsäuren in einem Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen (Cravedi et al., 1987). Jedoch waren die Unterschiede in der Absorptionfähigkeit der beiden Antibiotika beträchtliche. Während CP zu fast 100% aufgenommen wurde, lag der Absorptionslevel von OT bei nur 7-9%. Vermutlich wirken beim Fisch nur eine geringe Anzahl, ausgewählter antibiotischer Wirkstoffe in Kombination mit bestimmten Nährstoffgehalten leistungssteigernd. In Futterrationen mit 40 % Rohprotein konnten Ahmad und Matty (1989) mit den Wirkstoffen Virginamycin und Terramycin Gewichtszunahmen bis zu 30% bei Karpfen erreichen. Hingegen fehlte der Effekt bei Futterrationen mit nur 25% Rohprotein. In einem Fütterungsversuch mit Tilapia und Karpfen überprüften Viola und Arieli (1987) die Auswirkungen von Monensin, Nitrovin, Avoparcin und Virginiamycin auf das Wachstum der Fische. Keiner der getesteten Substanzen zeigte signifikante Effekt bei den Tilapia, wohingegen beim Karpfen alle Substanzen positive, jedoch nur Virginiamycin signifikante Gewichtszuwächse verzeichneten. (siehe auch Nährstoffbedarf von Fischen- andere Futterbestandteile- Antibiotika)

Kupfer

Die empfohlene Tagesmenge an dem essentiellen Spurenelement Kupfer für Schweine liegt im Bereich von 4-10mg/kg Futter (Kamphues et. al., 1999). In höheren Dosen wirkt es ähnlich wie Antibiotika leistungsfördernd.

Die Futtermittelverordnung (Anlage 3 zu FMVO) erlaubt einen Höchstgehalt von 170mg/kg Futter bei Schweinen bis zu einem Alter von 16 Wochen und bei älteren Tieren bis zu 25mg/kg Futter. Abhängig vom Alter, der Futterzusammensetzung und der Kupfersupplementierung ergeben sich Verbesserungen der Gewichtszunahme von 5-28% (Meyer und Kröger, 1973).

Die Wirkungsweise ist noch nicht zufrieden stellend geklärt, wird aber einer antibakteriellen Aktivität zugeschrieben (Gedek, 1981).

2.3.2. Stoffe mit Wirkungen auf den Intermediärstoffwechsel

Da der Einsatz von Hormonen zu Mastzwecken EU weit verboten ist, soll auf dieses Kapitel nur kurz eingegangen werden (detaillierte Beschreibung: Eisele, 2003). Verschiedene Hormone steuern über den intermediären Stoffwechsel das Wachstum. Durch externe Zufuhr über das Futter, durch Implantationen oder

regelmässigen Injektionen können natürlich und synthetisch hergestellte Hormone mit anabolem Charakter zur Leistungsförderung verwendet werden.

Anabole Steroide entsprechen den männlichen bzw. weiblichen Sexualhormonen und können als natürliche Produkte in Form von Östrogen, Progesteron und Testosteron und als synthetische Produkte wie Zeranol, Trenbolonacetat und Melengestrolacetat zugeführt werden. Mit diesen Präparaten werden in den USA und anderen Ländern erhöhte Tageszunahmen um bis zu 15% bei verschiedenen Tierarten erzielt (Muir et al., 1983; Lauderdale, 1983).

Das Wachstumshormon Somatotropin und synthetisch hergestellte β - Agonisten wie Cimaterol, Ractopamin und Clenbuterol sind weitere Stoffe, die über den intermediären Stoffwechsel erhöhte Gewichtszunahmen und eine verbesserte Futtermittelverwertung erzielen können.

Obwohl ursprünglich nur zur Vereinheitlichung des Geschlechts und zur Ovulationsinduktion in der Fischzucht eingesetzt, berichten zahlreiche Autoren über leistungssteigernde Effekte diverser Hormonpräparate auf das Wachstum bestimmter Fischarten. Die beiden synthetischen, androgenen Hormone Dimethazin und Norethandrolon bewirkten bei Regenbogenforellen in einer Konzentration von 2,5 bzw. 5mg/ kg Futter einen Gewichtszuwachs von 60% bzw. 27%, während in Konzentrationen ab 10mg/ kg kein Effekt mehr zu sehen war (Matty und Cheema, 1978). Versuche mit dem anabolen Hormon 17α - Methyltestosteron mit Regenbogenforellen ergaben Wachstumssteigerungen um 18%. Jedoch war die Relation des Muskelwachstums geringer als der Zuwachs des Gesamtkörpers. Ebenso schienen die hormonbehandelten Tiere aufgrund verlangsamten Knochenwachstums gedrungenere (Ostrowski et al., 1988). Hirose und Hibiya (1968) beschrieben bei hohen 4- Chlortestosteronkonzentrationen eine Unterdrückung der Gonadenaktivität, sowie eine Hypertrophie von Leber und Niere. Der Einsatz weiblicher Hormone erbrachte vorwiegend negative Wachstumsergebnisse. Regenbogenforellen, die mit 5 bzw. 50mg/kg Diethylstilboöstril (DES) gefüttert wurden, zeigten eine reduzierte Wachstumsleistung (Ghittino, 1970). Matty und Cheema (1978) wiederholten dieses Experiment mit 1,2 mg DES/kg und hatten Gewichtseinbussen von 18% im Vergleich zur Kontrollgruppe.

(siehe auch Nährstoffbedarf- von Fischen- andere Futterbestandteile- Hormone)

2.3.3. Alternative Leistungsförderer

2.3.3.1. Probiotika

Unter dem Begriff Probiotika versteht man lebende mikrobielle Zusatzstoffe, die eine positive Wirkung auf das Wirtstier haben, indem sie die Darmflora des Tieres günstig beeinflussen (Fuller, 1992). Im Gegensatz zu den Antibiotika, sind Probiotika keine mikrobiellen Stoffwechselprodukte, sondern Mikroorganismen, die aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften bioregulativ in die Besiedlung des Verdauungstrakts eingreifen (Gedek, 1993, 1994). Zurzeit werden in der Tierernährung Milchsäurebakterien der Gattungen *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* und *Enterococcus*, Sporen der Gattung *Bacillus* und Hefen eingesetzt. Im Augenblick sind 25 mikrobiologische Produkte zugelassen, deren Einsatz durch die EU-Richtlinie 70/524/EEC über Zusatzstoffe in der Tierernährung geregelt wird.

Die Wirkungsweise von Probiotika beruht auf einer Keimkonkurrenz zu unerwünschten Bakterienstämmen, indem erwünschte Keime der Darmflora gefördert und unerwünschte gehemmt werden. Dies geschieht durch die Besiedlung der Darmwand und Bildung eines „Biofilms“ (Gedek, 1993), welcher das Anheften,

Eindringen und Vermehren von pathogenen Keimen verhindern soll. Durch die Abgabe bestimmter antibakteriell wirkender Stoffwechselprodukte (Milchsäure, Fettsäuren, Enzyme, etc.) können probiotische Mikroorganismen einen antagonistischen Effekt auf die Vermehrung anderer Keime ausüben (Fuller und Gibson, 1997). Probiotika verursachen auch eine Immunstimulation (Fuller, 1989; Roth, 1997), so steigt beim Einsatz von *Bacillus cereus* der IgA- Antikörpergehalt im Chymus um das Vierfache (Roth, 1997). Mit *Lactobacillus rhamnosus* gefütterte Forellen zeigten nach 30 Tagen signifikant höhere Serumlysozym- Aktivitäten und eine erhöhte Phagozytoseaktivität von Leukozyten. Die Anzahl der Probiotika stieg im Versuchszeitraum im Darm, aber nicht im Magen der Tiere an (Panigrahi et al., 2004).

Untersuchungen bei Kälbern und Ferkeln zeigten eine darmflorastabilisierende Wirkung und eine deutliche Senkung der Durchfallrate (Gedek, 1990; Zani et al., 1998).

Die Höhe der Effekte von Probiotika gestaltet sich sehr variabel. In verschiedenen Versuchen konnten im Schnitt 3%-6% mehr Gewichtszunahme bei Ferkeln erzielt werden (Freitag et al., 1999). Jedoch sind die Schwankungen der Einzelversuche sehr gross und reichen von Leistungssteigerungen von +24% bis hin zu negativen ergotropen Effekten. Besonders in ungünstigen Situationen, wie bei Stress durch Futterwechsel oder Umgruppierungen bei Jungtieren helfen die zugeführten Mikroorganismen die Darmflora zu stabilisieren (Fuller, 1989; Roth, 1997).

2.3.3.2. Prebiotika

Prebiotika sind unverdauliche Nahrungsbestandteile, welche das Wachstum und die Aktivität einer oder einer begrenzten Anzahl von Bakterienarten im Verdauungstrakt stimulieren (Gibson und Roberfroid, 1995). Verschiedene Kohlenhydrate wie Polysaccharide, Oligosaccharide, Disaccharide und kurzkettige Zuckeralkohole erfüllen diese Voraussetzung.

Diese Stoffe können nicht durch körpereigene Enzyme gespalten werden und gelangen unverdaut bis in den Dickdarm und werden dort verstoffwechselt. Bei der Fermentation entstehen kurzkettige Fettsäuren (Acetat, Propionat, und Butyrat), die zu einer pH- Senkung führen. Dadurch werden selektiv gewünschte Keime gefördert und fakultativ oder obligat pathogene Keime im Wachstum gehemmt (Wang und Gibson, 1993; Buddington, 2001). Die genaue Wirkungsweise bleibt noch ungeklärt. So variieren auch die Ergebnisse über den leistungssteigernden Effekt von leicht positiven Ergebnissen bis hin zu keinerlei Effekt (Peet- Schwering et al., 1999). Sinnvoll erscheint der Einsatz in Kombination mit probiotischen Organismen um diesen die spezifischen Substrate zu bieten (Gibson und Roberfroid, 1995).

Heute werden bereits Futtermittel mit abwehrstärkenden Zusätzen produziert. Das aus Hefepilzzellwänden gewonnene β -1,3/ 1,6- Glucan bewirkt, besonders in Stresssituationen, eine vermehrte Makrophagenaktivität und die Ausschüttung antibakteriell wirkender Substanzen, so dass die Sterberate und Krankheitsanfälligkeit bei Salmonidenarten deutlich gemindert werden kann (Raa et al. 2001).

2.3.3.3. Organische Säuren und ihre Salze

Neben der Nutzung als Zusatzstoff zu Konservierungszwecken, entdeckte man bald die Eigenschaft der Organischen Säuren als Leistungsförderer. Zu ihnen zählen sich die Ameisen-, Essig-, Propion-, Fumar-, und Zitronensäure sowie deren Salze Na-

und Ca- Formiat und Ca- Propionat. Ein antimikrobieller Effekt der Säuren entsteht durch Absenkung des pH- Wertes im Verdauungstrakt, welcher die Anzahl der Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte wie Ammoniak, reduzieren kann (Kirchgessner und Roth, 1988). Besonders bei Ferkeln, deren Verdauungsfunktion und Magensaftsekretion noch nicht völlig ausgereift sind, wirkt sich ein niedriger pH-Wert im Futter deutlich positiv aus. Neben einer gesteigerten Proteinverdauung, beobachtete man bei den mit Säure gefütterten Tieren eine niedrigere Rate an Durchfallerkrankungen (Kirchgessner und Roth, 1988; Freitag et al., 1999). Die resorbierten Säuren stellen zudem eine nicht unbedeutende Energiequelle dar, die metabolisiert werden kann und somit in die Energieberechnung einer Ration dazugezählt werden müssen.

Abhängig von der Konzentration und Art der zugesetzten Säuren sind besonders in der Ferkelzucht hohe Verbesserungen der täglichen Zunahmen zu erzielen. Man kann durchschnittliche Gewichtssteigerungen von bis zu 20% und eine Steigerung der Futterverwertung um bis zu 10% je nach Säure erreichen (Freitag et al., 1999). Jedoch sind bei den Versuchsreihen die Schwankungsbreiten sehr hoch, so ergibt sich für die Fumarsäure ein Mittelwert von +5,9%, während das beste Ergebnis bei +12,6% und das Schlechteste bei -4,7% lag. Beim Einsatz von Essig- und Propionsäure bei Matschweinen konnte kein oder nur ein sehr geringer ergotroper Effekt gesehen werden (Kirchgessner et al., 1995; Roth et al., 1993). Mariani et al. (2003) überprüfte die Wirkung verschiedener Konzentrationen (3,6 und 9 prozentig) von Buttersäure auf die Leistungsparameter von Regenbogenforellen. Weder das Gewicht, die Futterverwertung noch die Verwertung einzelner Nährstoffe zeigten signifikante Veränderungen im Vergleich zur Kontrollgruppe.

2.3.3.4. Enzyme

Grundrationen in der Schweine und der Broilermast bestehen oft aus einer 50-60% Getreidemischung. In den Zellwänden der Getreidekörner befinden sich sogenannte Nicht -Stärke –Polysaccharide (=NSP), auch bekannt als Ballast und- Gerüststoffe bzw. Rohfaser. Durch ihre glykosidischen Bindungen können diese Stoffe von körpereigenen Enzymen nicht oder nur teilweise gespalten werden und besitzen damit keine nutritiven Eigenschaften. Daneben können unverdauliche NSPs Nährstoffe einkapseln (sog. Käfigeffekt) und sie damit für die endogenen Verdauungsenzymen unzugänglich machen (Aman und Graham, 1987). Gleichzeitig erhöhen sie die Viskosität des Darmchymus und reduzieren damit die Durchmischung des Darminhalts mit körpereigenen Enzymen (Fengler und Marquart, 1988).

NSP- spaltende Enzyme sind Hydrolasen, z.B. Cellulase und Xylanase, und werden heutzutage biotechnisch hergestellt. Setzt man sie dem Futter hinzu, reduzieren sie die oben beschriebenen anutritiven Effekte der NSPs.

Damit konnten bei Schweinen Verbesserungen der Tageszunahmen sowohl im Bereich der Aufzucht (4,2%- 10,5%), als auch im Bereich der Mastperiode (3,3%- 5,1%) verzeichnet werden (Haberer und Schulz, 1998). In der Broilermast werden je nach Getreidemischung Mehrzunahmen zwischen 1,5%-34% bei verminderten Futteraufwand von 1%- 6% erreicht (Jeroch, 1993).

In einem halbjährigen Fütterungsversuch wurden die proteinspaltenden Fermentpräparate Protosubtilin und Pektotoetidin in den Konzentrationen 1,5 bzw. 2,0g/kg einjährigen Kisuksch- Lachsen verabreicht. Zu Versuchsende hatten die beide Gruppen 16% bzw. 22% höhere Gewichtszunahmen als die Kontrollfische (Gorskova und Dvinin, 1984).

Seit längerem hat in der Schweine und Geflügelmast, aber auch in der Teichwirtschaft ein anderes Enzym, die Phytase, an Bedeutung gewonnen. Sie katalysiert die Abspaltung von Phosphor aus dem pflanzlichen Phytat, und erhöht damit gleichzeitig die Verfügbarkeit von den an Phytat gebundenen Ca-, Mg-, Fe- und Zn-Ionen. Durch die Phytase kann die Phosphorverwertung (Nelson et. al., 1971) verbessert werden und dadurch der Eintrag in die Umwelt um 35% reduziert werden. In einem Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen konnte gezeigt werden, dass die Supplementation von 500 FTU Phytase/ kg die Verfügbarkeit von Spurenelementen erhöht und somit ein mineralstoffsparender Effekt eintritt. Bei den Versuchsgruppen waren aber keine wachstumsverbessernden Tendenzen zu beobachten (Cheng et. al., 2004; Cheng und Hardy, 2004).

2.3.3.5. Ätherische Öle und Kräuter

Eine Vielzahl von Pflanzen bzw. Pflanzenbestandteilen wurden von Menschen jeher wegen ihrer gesundheitsfördernden, entzündungshemmenden oder antibakteriellen Eigenschaften genutzt. Der Einsatz dieser Stoffgruppe in der Tierernährung wird im Futtermittelgesetz geregelt, wonach sie in den Bereich der Gruppe Aroma- und appetitanregende Futterzusatzstoffe fallen und damit uneingeschränkt eingesetzt werden dürfen. Eine Vielzahl von Wirkungsweisen und Mechanismen werden für diese chemisch inhomogene Gruppe diskutiert. Als Ursachen gelten eine Verbesserung der Futterakzeptanz, eine erhöhte Speichel- und Magensaftproduktion, eine Aktivitätssteigerung verschiedener Verdauungsenzyme, eine Beeinflussung der Darmflorazusammensetzung und ein immunstimulierender Effekt (Jones, 2001; Günther und Bossow, 1998; Günther und Adiarto, 1991). Die untersuchten Effekte unterscheiden sich erheblich und reichen von der gesteigerten Verdaulichkeit einzelner Spurenelemente (Dedl und Elssenwenger, 2000) oder einer verringerten Mortalität bis hin zu Steigerungen der Wachstumsrate zwischen 5 und 32% (Wheeler et al., 1999).

In einem Versuch wurde das Futter von 0,1 g schweren Regenbogenforellen 15 Wochen lang mit verschiedenen Konzentrationen eines gemahlten Pulvers der Macapflanze (*Lepidium meyenii*) versetzt. Die Fische zeigten signifikant höhere Gewichtszunahmen um 200% und eine gesteigerte Überlebensrate von 60% (Lee et al., 2004).

2.3.4. Resümee und Ausblick

Die Effektivität und die Wirkmechanismen der aufgeführten Leistungsförderer unterscheiden sich zum Teil erheblich. Während man bei den traditionellen Leistungsförderern wie Antibiotika oder Kupfer von gesicherten Werten ausgehen kann, gibt es bei den alternativen Leistungsförderern erhebliche Schwankungen der erzielten Ergebnisse. Hier ist der leistungssteigernde Effekt oft stärker abhängig von Haltungs-, Hygiene- und Futterbedingungen. Gerade bei suboptimalen Umweltbedingungen erscheinen die Effekte durchwegs höher als bei bereits optimierten Haltungssystemen. So gibt es z.B. bei ätherischen Ölen und Kräutern noch keine wissenschaftliche Aussage zu deren Effizienz (Gollnisch und Halle, 2001).

Um dem Wunsch des Verbrauchers nach ökologischen Produkten und natürlichen Zusatzstoffen entgegenzukommen, sowie den Gefahren der Resistenzbildungen bei Tier und Mensch und der Rückstandsproblematik in der Umwelt Rechnung zu tragen, scheint der zukünftige Weg der Leistungsförderer in Richtung natürlicher Ausgangsstoffe zu gehen.

2.4. Seltene Erden

2.4.1. Elemente und Zuordnung der Seltene Erden

Der Ausdruck Seltene Erden (engl. Abk.: REE= Rare Earth Elements) stammte ursprünglich von ihrer Entdeckungsform ab. Als Erden wurden früher Oxydgemische bezeichnet (Cotton et al. 1990).

Chemisch sind sie aber weder „Erden“, noch als selten einzustufen. Einige Elemente sind häufiger als Blei, Arsen oder Iod in der Erdkruste zu finden.

Im Periodensystem (siehe Abb.1.) bilden sie die 3. Nebengruppe mit 17 Übergangsmetallen. Zu den Elementen gehören Lanthan (57), Cer (58), Praseodym (59), Neodym (60), Promethium (61), Samarium (62), Europium (63), Gadolinium (64), Terbium (65), Dysprosium (66), Holmium (67), Erbium (68), Thulium (69), Ytterbium (70) und Lutetium (71). Erweitert wird die Gruppe durch die Elemente Scandium (21) und Yttrium (39).

Die Elemente Lanthan bis Gadolinium bezeichnet man auch als „leichte Seltene Erden“ oder Ceriterden. „Schwere Seltene Erden“ oder sog. Ytterden sind die Elemente Terbium bis Lutetium. Scandium wird keiner dieser beiden Gruppen zugeordnet.

Metall- Eigenschaften

- Metall
- Halbmetall
- Nichtmetall

Aggregatzustand bei 25°C

- Feststoff
- Flüssigkeit
- Gas

I	II	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	IB	IIB	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1 H 1,007															2 He 4,002		
3 Li 6,941	4 Be 9,012									5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,00	8 O 15,99	9 F 18,99	10 Ne 20,17		
11 Na 22,98	12 Mg 24,30									13 Al 26,98	14 Si 28,08	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,94		
19 K 39,09	20 Ca 40,07	21 Sc 44,95	22 Ti 47,88	23 V 50,94	24 Cr 51,99	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,54	30 Zn 65,39	31 Ga 69,72	32 Ge 72,61	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,8
37 Rb 85,46	38 Sr 87,62	39 Y 88,90	40 Zr 91,22	41 Nb 92,90	42 Mo 95,94	43 Tc 98,90	44 Ru 101,0	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,8	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,7	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,2
55 Cs 132,9	56 Ba 137,3		72 Hf 178,4	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,0	79 Au 196,9	80 Hg 200,6	81 Tl 204,3	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9	84 Po 208,9	85 At 208,9	86 Rn 222,0
87 Fr 223,0	88 Ra 226,0		104 Rf 261,1	105 Db 262,1	106 Sg 263,1	107 Bh 262,1	108 Hs 265	109 Mt 266	110 Ds 269	111 Uuu 272	112 Uub 277						
			57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm 146,9	62 Sm 150,3	63 Eu 151,9	64 Gd 157,2	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,2	69 Tm 168,9	70 Yb 173,0	71 Lu 174,9
			89 Ac 227,0	90 Th 232,0	91 Pa 231,0	92 U 238,0	93 Np 237,0	94 Pu 244,0	95 Am 243,0	96 Cm 247,0	97 Bk 247,0	98 Cf 251,0	99 Es 252,0	100 Fm 257,0	101 Md 258,0	102 No 259,1	103 Lr 260,1

Abbildung 1: Periodensystem, Seltene Erden mit Pfeilen gekennzeichnet

In der Natur sind sie meist in Mineralien als Silikate, Phosphate, Oxyde oder Carbonate zu finden und bilden etwa 0,01-0,02 % der Erdkruste. Die wichtigsten Mineralien sind Thalenit, Thortveit und Xenotim in denen v.a. die Ytterden vorkommen. Die Ceriterden sind Bestandteil von Bastänit, Monazit, Cerit und Allnit.

In diesen Formen wird v.a. das Mineral Bastänit als primäre Ablagerung in den Ländern China, USA, Zaire und Madagaskar (Blume, 2001) gefunden. Die Monazitsande sind v.a. in den Ländern Australien, Indien, GUS und Südafrika lokalisiert.

Das Hauptvorkommen der Seltenen Erden, rund 80% des Weltvorkommens, befindet sich im Gebiet der Inneren Mongolei Chinas. Dort werden sie in grossen Rahmen bergmännisch abgebaut (Blume, 2001).

2.4.2. Chemische und physikalische Eigenschaften

Die äussere Elektronenhülle der Seltenen Erden ist bei allen Elementen dieser Gruppe gleich, nur in der tieferen f-Schale unterscheiden sie sich nach steigender Elektronenzahl. Durch diese Abschirmung ähnelt sich diese Elementgruppe in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften enorm. Parallel zur Elektronenzahl in der Hülle steigt auch die Protonenzahl im Atomkern und führt zu einem stärkeren Zusammenziehen des Atomradius. Dieser Effekt wird als Lanthanidenkontraktion beschrieben (Cotton und Wilkinson, 1966).

Seltene Erden gehen v.a. Bindungen ionischen Charakters ein und liegen dann als dreiwertige Kationen vor. Neben ionischen Bindungen besteht auch die Fähigkeit zu Bildung von Komplexverbindungen mit Komplexzahlen zwischen 6 und 12, allen voran Chelatverbindungen. In wässriger Lösung bilden Seltene Erden eine Hydrathülle aus (Evans, 1990). Eine prägende und v.a. biochemisch entscheidende Eigenschaft der Lanthanoidionen ist die grosse chemische Ähnlichkeit (siehe Tabelle 5) mit Calciumionen. So kann La^{3+} Ca^{2+} in vielen Strukturen isomorph ersetzen (Birnbauer et al., 1970, Evans, 1990).

Tabelle 5: Eigenschaften von Calcium und Lanthanoiden (nach EVANS, 1990);
 • abhängig von der Ordnungszahl

Eigenschaft	Calcium	Lanthanoide
Koordinationsnummer	6-12	6-12
Koordinationsgeometrie	hochflexibel	hochflexibel
Donoratompräferenz	O>>N>>S	O>>N>>S
Ionenradius	1,00-1,18	0,86-1,22*
Bindungsart	ionisch	ionisch
Diffusionskoeffizient	1,34	1,30 (La)
Stabilisierung im Kristallfeld	/	unwesentlich
Hydratationszahl	6	8/9

2.4.3. Biochemische Eigenschaften

Seltene Erden gelangen unter natürlichen Umständen hauptsächlich über das Trinkwasser in den tierischen oder menschlichen Körper. Andere Quellen sind Luft, Pflanzen und tierische Lebensmittel. Nach oraler Aufnahme werden weniger als 1% der aufgenommenen Menge resorbiert (Durbin et al., 1956). Die Reste werden mit den Fäzes ausgeschieden. Bis zu 91% einer Ce^{3+} -Dosis nehmen neugeborene Tiere in die Knochen auf. Bedingt ist die erhöhte Absorptionsrate wahrscheinlich durch eine höhere unspezifische Phagozytoseaktivität vor dem Absetzen (Mraz und Eisele, 1977).

Lanthanoide reagieren *in vitro* mit verschiedensten Zellbestandteilen, wie Nukleoproteine, Aminosäuren, Enzyme, intermediären Metaboliten und anorganischen Phosphaten (DAS et al., 1988). Sie besitzen eine hohe Affinität zur Zelloberfläche und können an Membranproteine binden, sie sind jedoch nicht in der Lage eine intakte Zellmembran zu durchdringen (Evans, 1990).

Durch die grosse chemische Ähnlichkeit mit Ca^{2+} können Lanthanionen kompetitiv um die Bindungsstellen der Calciumionen konkurrieren. Durch Bindung an die Membranoberfläche kann es zu einer Steigerung von Membranpotentialen, Membranrigidität und der spezifischen Membranresistenz kommen (Smith et al., 1972). Durch die Blockade von Ca^{2+} -Membranrezeptoren werden physiologische Prozesse, die über Calciumströme funktionieren, gehemmt (Evans, 1990). So können die Weiterleitung von nervalen Impulsen, die Kontraktion der glatten und gestreiften Muskulatur (Fawzi und McNeill, 1985) und eine Reihe von Hormonantworten gemindert oder sogar ganz gehemmt sein. Seltene Erden hemmen auch die Blutgerinnung. Es wird vermutet, dass die Lanthanoide durch die Inhibition von Ca^{2+} -abhängigen Enzymen die Blutgerinnung verhindern. Ebenso wird ein reduzierender Effekt bei der Ablagerung von Calcium an Arterienwände (Arteriosklerose) durch die Lanthanoide diskutiert (Kramsch et al., 1980).

Hohe Konzentrationen an Seltenen Erden (10^{-4} bis 10^{-2} M) führen zur Wachstumshemmung von Bakterien, Pilzen und Hefen, niedrige Konzentrationen können hingegen stimulierend wirken (Muroma 1958). Weiterhin stellte Muroma fest, dass Gram-negative Bakterien gegenüber hohen Lanthanoidkonzentrationen wesentlich empfindlicher sind als Gram-positive. Das Bakterienwachstum ist aber auch abhängig von der Art der Elementkomplexe, so wirkt z.B Cerium-Citrat stimulierend während Cerium-Huminsäure hemmend auf die Bakterienvermehrung wirkt (Zhang et al, 2000).

Über die Bindung an die Zelloberfläche kommt es zur Reduktion der Oberflächenladung. Diese Eigenschaft und die Bildung von Lanthanidbrücken bewirkt eine Zellaggregation der Bakterien (Evans, 1990). Ausserdem können Lanthanoide zu einer Beeinträchtigung der bakteriellen CO_2 -Produktion und Sauerstoffaufnahme führen.

Die Toxizität der Seltenen Erden wird im Allgemeinen für Säugetiere als sehr gering eingestuft (Haley, 1979), hängt aber stark von Darreichungsform und Spezies ab.

Da nach oraler Aufnahme nur 1% aus dem Gastrointestinaltrakt resorbiert wird, liegt die LD_{50} bei mehreren Gamm pro kg Körpergewicht (Durbin et. al., 1956; Evans, 1990). Selbst das Verfüttern von Seltenen-Erdchloriden über 90 Tage in einer Konzentration von 1% an Ratten hatte keinen Effekt auf deren Blutparameter. Die Toxizität ändert sich schlagartig nach subkutaner, intraperitonealer, intramuskulärer oder intravenöser Applikation. Die LD_{50} nach i.v.- Applikation liegt bei 10-100mg/kg Körpergewicht (Evans, 1990). Die Symptome einer akuten Intoxikation sind Ataxie, Krümmen, Blutdruckabfall, Hypoglykämie und angestrengte Respiration (Arvela, 1977; Haley, 1985). Nach schneller Anflutung bei i.v. -Injektion verschwinden die Seltenen Erden auch wieder schnell aus der Blutbahn, reichern sich jedoch in Leber (leichten Erden) und Knochen (schweren Erden) an.

Bei Versuchen mit trächtigen Ratten konnte kein Hinweis auf Mutagenität oder Teratogenität bei Seltenen Erden gefunden werden (Ji und Cui, 1988).

2.4.4. Anwendungsgebiete der Seltenen Erden

2.4.4.1. Industrielle Anwendungsgebiete

Aufgrund ihrer Reaktionsfreudigkeit mit Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel wird fast die Hälfte aller gewonnenen Lanthanoide als Reduktionsmittel in der Metallurgie verwendet. Ein Viertel findet als Katalysatoren für chemische Reaktionen und die Bearbeitung von nichtrostenden Stählen ihren Einsatz. Ein Drittel, mit steigender Tendenz, wird im Glas und Keramiksektor eingesetzt. Ein kleiner Teil findet Anwendung in der Fernrohrproduktion in der Kerntechnologie, in der Lasertechnik und der Glasfaserproduktion. Auch in der Medizin wurden verschiedenste Anwendungsgebiete erprobt, jedoch fand man nur wenige Anwendungsmöglichkeiten der Seltenen Erden. Das Präparat Fosrenol®, ein Lanthancarbonat, findet bei Dialysepatienten als Phosphorfänger Einsatz.

2.3.4.2. Einsatz in der Agrarwirtschaft

Zu Beginn der 70er Jahre begannen in China intensive und systematische Untersuchungen nach der Wirkung und Einsatzmöglichkeiten der Seltenen Erden (Guo et al., 1988). 1984 wurden bereits 400000 ha Ackerbauflächen mit dem Seltenen Erden Dünger NONGLE (17% La_2O_3 , 49,6% CeO_2 , 4,41% Pr_6O_{11}) gedüngt. In der Zwischenzeit werden sie in über 20 chinesischen Provinzen verwendet (Yu und Chen, 1995).

Chinesische Wissenschaftler berichten über ertragssteigernde Effekte bei über 20 verschiedenen Feldfrüchten und Bäumen (Zhang et al., 1988).

Eine Vielzahl von Publikationen beschreiben Effekte in unterschiedlichen Größenordnungen. Tabelle 6 gibt einen Überblick über einige Ergebnisse.

Im Laufe der Zeit wurden verschiedenste Lanthanoidkombinationen und Konzentrationen als Dünger versucht, so z.B. REE-Citrate, -Nitrate und -Komplexe mit Aminosäuren. Chang et al. (1998) entdeckten eine Dosisabhängigkeit der Effekte; unter 1g REE/kg Boden steigerte sich der Ernteertrag über 1-2g/kg Boden war ein gegenläufiger Effekt zu beobachten.

Die Düngung erfolgt durch Besprühen der Blätter, Einweichen der Saat in den Dünger oder durch direkte Zugabe in den Boden. Um Effekte zu erzielen, muss jedes Jahr gedüngt werden.

Der Grossteil der Seltenen Erden reichert sich in den Wurzeln an (ca. 90%), in den Rinden und Stiel ca. 10% und in den Blättern nur Reste (Hong et al., 1996).

Über welchen Wirkmechanismus die Effekte erzielt werden ist noch schleierhaft.

Tabelle 6: Effekte von REE bei der Produktion verschiedener Anbauprodukte

Feldfrucht	Effekte		Autor
	Ertragssteigerung	Qualität	
Alfalfa	+ 17 %	+ 5 % des 1000-Körnergewichtes	PANG <i>et al.</i> (2002)
Banane	+ 8-14 %	+ 3-4 % Zuckergehalt	
Kartoffel	+ 13 %		
Gerste	+ 19 %		MAHESWARAN <i>et al.</i> (2001)
Weizen	+ 11 %		
Orange	+ 8-38 %	+ 0,6 % Zuckergehalt	WAN <i>et al.</i> (1998)
Reis	+ 5-10,3 %		
Tomate	+ 16 %		
Wassermelone	+ 22,9 %	Erhöhung des Zuckergehaltes	
Soja, Erdnuss	5-18 %		Xia und He (1997)
Buschbohne	± 0 %	Verbesserte Wurzelbildung	Syha (2005)

Mehrere Studien beschreiben eine Stimulation der Absorption, des Transfers und der Assimilation von Nährstoffen bei Pflanzen (Pang *et al.*, 2002). Andere berichten über gesteigerte Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumabsorption (Ning und Xiao, 1989). Auch der Chlorophyllgehalt und die Photosyntheserate können durch den gezielten Einsatz Seltener Erden gesteigert werden (Wang *et al.*, 1985; He *et al.*, 1998).

Xia und He (1998) erklären sich die Effekte über eine aktivierende Wirkung auf Wachstumsfaktoren, durch die Rolle als Katalysatoren bei der Biosynthese.

2.3.4.3. Einsatz in der Tierproduktion

In China werden seit fast vier Jahrzehnten Seltene Erden als Leistungsförderer genutzt. Beschrieben werden positive Effekte und z.T. herausragende Leistungssteigerungen bei fast allen Nutztierarten, so z.B. enorme Gewichtssteigerungen bei Mastschweinen, Mastbullen, Mastbroilern und Nutzfischen (Shen *et al.*, 1991). Neben Leistungsverbesserungen wurde auch ein positiver Einfluss auf die Qualität von tierischen Produkten postuliert.

Die gewonnenen Daten beziehen sich auf eine Vielzahl chinesischer Forschungsprojekte mit unterschiedlichsten Ausgangsparametern. Verschiedenste Gemische, Konzentrationen und Reinheitsgrade von Seltene Erden kamen für die Versuche zum Einsatz, so dass die meisten Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar sind.

Die Lanthanoide werden als Oxide, Citrate, Nitrate und als organische Verbindungen dem Futter beigemischt und oral über das Wasser verabreicht.

Bereits 1992 zeigten Li et al., dass sich mit 50mg/kg Futter REE Zusatz die Tageszunahmen bzw. die Futterverwertung bei Mastschweinen um 9% bzw. 8% verbessern liessen. Auch die scheinbare Verdaulichkeit von Rohprotein und Rohfett stieg um 8% bzw. 15%.

Hu et al. (1999) fanden heraus, dass der Zusatz von 400mg bzw. 600mg REE/kg Futter die scheinbare Verdaulichkeit von essentiellen und nicht-essentiellen Aminosäuren um 3,1% bzw. 3,4% bei Schweinen signifikant steigern konnte.

Studien von He und Xia (1998) wiesen einen leistungssteigernden Effekt von 23% Körpermassenzunahme und -8% in der Futterverwertung bei einem Zusatz von 75 mg REE/kg Futter bei Mastschweinen auf.

Auf der Suche nach alternativen Leistungsförderern stiess man auf diese Ergebnisse und überprüfte nun die Reproduzierbarkeit der chinesischen Versuche unter „westlichen Haltungsbedingungen“. Erwiesenermassen liegen in China eingesetzte Rassen in punkto Futterverwertung und Produktivität hinter den Europäischen Rassen zurück (Xie et al., 1995). Auch suboptimale Parameter in den Bereichen Fütterungs-, Haltungs- und Hygienebedingungen können eine wichtige Rolle für einen möglichen Effekt der Leistungssteigerung spielen.

Am Institut für Tierernährung und Diätetik der tierärztlichen Fakultät der LMU München konnten 1999 durch Rambeck et al. eine gesteigerte Futterverwertung um 3-7% und eine Gewichtssteigerung um 2-5% erzielt werden. Jedoch waren die Ergebnisse nicht signifikant.

Eine Reihe weiterer Projekte folgte mit der Erprobung anderer REE-Kombinationen und -Dosierungen und Versuchszeiträumen bei Schweinen, Broilern und Ratten. (siehe Tabelle 7).

Böhme et al. (2002) konnte keine ergotropen Effekte der Seltenen Erden bei Mastschweinen feststellen und fand heraus, dass auch kein statistisch nachgewiesener Einfluss auf die Nährstoffverdaulichkeit besteht. Die Arbeiten aus dem Jahr 2003 (Borger, Eisele, Knebel) zeigten alle einheitlich positiv signifikante Effekte auf die Gewichtszunahme und den Futterquotienten bei Mastschweinen bzw. Absatzferkel. Im gleichen Jahr untersuchten He et al. den Einfluss Seltener Erden auf das Wachstum und die Blutparameter von 50 Ratten. Neben einem verbesserten Futterverbrauch von 8-11% und einem Gewichtszuwachs von 5-9% waren interessante Veränderungen einiger Blutparameter festzustellen. Die Aktivitäten der Alkalischen Phosphatase (AP), der Alanin-Amino-Transferase (ALT), und der Aspartat-Amino-Transferase (ALT) stiegen signifikant bei den REE-supplementierten Ratten an.

Tabelle 7: Ergebnisse von REE –Fütterungsversuchen aus Deutschland, GZ= Gewichtszunahme, FV= Futterverwertung

Spezies	Bindungsform	REE-Dosierung	Effekte	Autoren
Absatzferkel	REE-Chlorid	75 mg / kg	+ 2 % GZ	RAMBECK <i>et al.</i> (1999)
			- 4-5 % FV	
		150 mg / kg	+ 0-5 % GZ	
			-3-7 % FV	
Broiler Japanische Wachtel	REE-Chlorid	150 mg / kg	keine Verbesserung in Aufzucht- und Legeleistung	SCHULLER <i>et al.</i> (2002)
		300 mg / kg		
		75 mg / kg		
		150 mg / kg		
		300 mg / kg		
Broiler	REE-Chlorid	100 mg / kg	+ 5 % GZ	HALLE <i>et al.</i> (2002)
	REE-Nitrat		+2 % GZ	
	REE-Ascorbat		+7 % GZ	
	REE-Citrat		+ 6,5 % GZ	
Mastschwein	REE-Chlorid	100 mg / kg	- 3,6 % GZ	BÖHME <i>et al.</i> (2002a)
	REE-Nitrat		- 3,6 % GZ	
	REE-Ascorbat		- 3,4 % GZ	
	REE-Citrat		- 1,1 % GZ	
Absatzferkel	REE-Chlorid	150 mg / kg	+ 19 % GZ	BORGER (2003)
Mastschwein			- 11 % FV	
		150 mg / kg	+ 12 % GZ	
			- 3 % FV	
Schwein	REE-Chlorid	300 mg / kg	+ 4-5 % GZ	EISELE (2003)
		200 mg / kg	+ 3-10 % GZ - 2-9 % FV	
Schwein	REE-Citrat	50 mg / kg	± 0 %GZ	KNEBEL (2003)
		100 mg / kg	+ 8,6 % GZ	
		200 mg / kg	+ 22,6 % GZ	

2.3.4.4. Einsatz in der Fischzucht

Nach den grossen Erfolgen mit Seltenen Erden in der Schweineproduktion, erweiterten chinesische Wissenschaftler ihre Projekte auf weitere Tierarten und Produktionszweige, so auch auf den Bereich der Fischzucht und Teichwirtschaft. Dort konnten sie gewichtssteigernde Effekte bei Karpfen und Forellen dokumentieren, eine Erhöhung der Eischlupfrate und der Überlebensrate verschiedener Fischarten. Weiterhin führten sie Untersuchungen zur Bioakkumulation von Seltenen Erden im Fischkörper durch.

In einem Fütterungsversuch untersuchten Tang et al. (1997) die Wirkung von 300 bzw. 400mg eines REE-Aminosäuren-Gemisches auf das Wachstum von Karpfen und Regenbogenforellen. Das Gemisch bestand aus 50% REE-Methionin und 50% REE-Lysin.

Nach 3-monatiger Fütterung hatten die Forellen der 300mg bzw. der 400mg Gruppe einen Gewichtszunahme von 11,2% bzw. 29,6% (siehe Tab. 8), die Karpfen nach 60 Tagen einen Gewichtszuwachs von 6,3% bzw. 16%. Im darauf folgenden Jahr, 1998, überprüften Tang et al. (siehe Tab. 9) die Wirkung verschiedener anderer REE-Gemische wiederum auf das Wachstum von Karpfen. Neben der bereits erprobten REE-Aminosäuren-Mischung (50% REE-Methionin und 50% REE-Lysin) fanden REE-Vitamin C, REE-Citrate, REE-Glutathion und REE-Gluconate in diesem Versuch Anwendung. Nach einer Zeitspanne von 60 Tagen verbesserten die REE-supplementierten Gruppen ihr Gewicht um bis zu 30%.

REE-AS Konz. in mg/kg	Anfangsgewicht in kg	Endgewicht in kg	Ø-Zuwachs in g	Gewichtszunahme in %	FQ
0	12,7	27	63,5	0	2,3
300	12,1	27,3	70,6	11,2	2,2
400	12,5	31	82,3	29,6	2,0

Tabelle 8: Forellenversuch mit Versuchsdaten aus dem Chinesischen übersetzt (Tang et al., 1997), FQ= Futterquotient

REE-AS Konz. in mg/ kg	Anfangsgewicht in kg	Endgewicht in kg	Zuwachs in kg	Gewichtszunahme in %	FQ
0	750	1325,5	575,5	0	2,6
300	750	1361,5	611,5	6,3	2,5
400	750	1418,5	668,5	16	2,3

Tabelle 9: Karpfenversuch mit Versuchsdaten aus dem Chinesischen übersetzt (Tang et al., 1997), FQ= Futterquotient

Tautenhahn (2004) überprüfte die Wirkung verschiedener REE-Chlorid-Konzentrationen von 50ppm-400ppm auf das Wachstum von Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Die Auswertung zeigte, dass nur die Gruppe der 50ppm Fische eine signifikant verbesserte Futtermittelverwertung und Wachstumsrate hatten.

In weiteren Studien untersuchte man die Effekte von Seltenen Erden auf die Eischlupfrate verschiedener Fischarten. Shao et al. (1998) stellten fest, dass REE Gehalte bis 100mg/kg signifikant positive Effekte auf die Eischlupfrate und die

embryonale Entwicklung von Karpfen haben, während höhere Konzentrationen eher hemmend wirkten.

Bei Graskarpfen konnte eine Steigerung der Eischlupfrate um bis zu 27% mit dem Einsatz von Pr^{3+} in einer Konzentration von 2,4-4,8 mg/l erreicht werden (Yang und Chen, 2002).

In zwei Projekten mit der Süßwassergarnelenart *Macrobrachium nipponense* überprüfte man die Effekte von La^{3+} (Yang und Chen, 2000) und REE- Citrat (Yang et al., 2001) auf deren Eischlupfrate. In einem Konzentrationsbereich von 1,2-4,8 mg/l erhöhte sich die Schlupfrate um 23%-28% bzw. 11%-26%, während in Konzentrationsbereichen über 9,6 mg/l die Rate signifikant sank.

Bisher ist über die Wirkmechanismen der Seltenen Erden wenig bekannt, deswegen untersuchte Shao et al. (1999) die Aktivität von Leber-, Pankreas- und Blutparametern bei Karpfen. Verschiedene REE- Konzentrationen bis zu 1500mg REE/ kg Futter wurden dabei über 154 Tage den Tieren gefüttert. Erstaunlicherweise hatten nur die niedrig- supplementierten Gruppen mit 100 bzw. 200mg REE signifikante Unterschiede in der Proteinaseaktivität (bis 71% höher als Kontrolle), in der Lipaseaktivität (28%) und in der Amylaseaktivität (10%).

Der weitverbreitete Einsatz Seltener Erden in China in der Landwirtschaft und der Tierproduktion führte auch zu einem Anwachsen des Seltenen Erden-Austrags in die Umwelt. Um die Bioakkumulation in den Organen Aquatischer Lebewesen zu untersuchen versetzten Qiang et al. (1994) Karpfen 45 Tage mit einer REE- Konzentration von 0,5 mg/l. Anschliessend wurden deren Skelett, Muskeln und Inneren Organe mittels ICP/MS auf den Gehalt von REEs untersucht. Die Anreicherung erfolgte in der Reihenfolge Innere Organe> Skelett> Muskel, v. a. der leichten Seltenen Erden, jedoch zeigten die Karpfen nur eine sehr geringe Anreicherungstendenz. Innerhalb der Gruppe war die Anreicherungstendenz Leber> Gallenblase> Nieren> Eier> Milz zu erkennen (Wang et al., 1999).

2.3.5. Mögliche Wirkmechanismen

Bis zum heutigen Zeitpunkt gibt es zahlreiche Theorien zu möglichen Wirkmechanismen der Seltenen Erden, ein eindeutiger Beweis ist bisher nicht gelungen.

Mehrere chinesische Arbeiten (Cheng et al., 1994; Lu und Yang, 1996; Xu et al., 1998) gingen davon aus, dass die ergotrope Wirkung einer Verbesserung der Nährstoffverdaulichkeit und –Verfügbarkeit zuzuschreiben war. Böhme et al. (2002) konnten in ihren Versuchen keinen solchen Effekt feststellen, waren jedoch der Meinung, dass eine höhere Ausnutzung der umsetzbaren Energie ein Erklärungsansatz sein könnte. Eine andere Erklärung wäre, die beschriebene bakteriostatische und z.T. bakteriozide Wirkung (Muroma 1958, Evans 1990) auf die Darmflora und somit eine positive Beeinflussung der bakteriellen Zusammensetzung. Bei einer Analyse der Darmflora REE- gefütterter Wachteln und Broiler (Schuller et al., 2002) konnte keiner der beschriebenen Effekte nachgewiesen werden. Eine neue Studie konnte eine antimikrobielle Wirkungsweise weder in quantitativer noch qualitativer Hinsicht im Darm von REE- supplementierten Schweinen feststellen (M. Kraatz et al., 2004).

Xie et al. (1995) stellte in einem Versuch mit Broilern eine Erhöhung von Trijodthyronin (T_3) und von Wachstumshormonen, sowie eine Erniedrigung von Thyroxin (T_4) fest. Bei Mastschweinen zeigte sich gegenteilig ein signifikant erniedrigter T_3 -Spiegel (Borger, 2003; Eisele, 2003). In Versuchen mit Ratten

beschrieb He et al. (2003) eine Signifikanz bei der Messung von Leberenzymen der REE- Gruppen.

Die Wirkung von Seltenen Erden könnte auch durch die grosse Ähnlichkeit und Interaktionsmöglichkeiten mit Ca-Ionen erklärt werden (Evans, 1990; Hanoika et al., 1994). Demnach können Seltene Erden über die Blockade von Ca^{2+} -Kanälen spezifische Zellfunktionen beeinflussen und blockieren.

In keiner dieser Studien konnte man die genaue Wirkungsweise der Seltenen Erden eindeutig und reproduzierbar nachweisen. Weiterhin muss sich die Wissenschaft mit der Aufklärung der ergotropen Wirkung beschäftigen.

3. Material und Methoden

3.1. Fütterungsversuch mit Karpfen und Regenbogenforellen

3.1.1. Versuchsaufbau

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft soll die Wirkung von Seltenen Erden (REE) als Leistungsförderer bei Nutzfischen in der Fischzucht überprüft werden.

Es wurden dafür Fütterungsversuche bei Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) am Institut für Fischerei in Starnberg und bei Karpfen (*Cyprinus Carpio*) an der Aussenstelle für Karpfenzucht in Höchstädt an der Aisch durchgeführt.

Forellen

Etwa 800 Regenbogenforellen im Alter von 18 Monaten aus Starnberger Nachzucht standen für das Projekt zur Verfügung. Zu diesem Zeitpunkt hatten sie ein Durchschnittsgewicht von ca. 200 g und wurden bis dato in Versuchsteichen von ca. 20 m³ Volumen gehalten. Um Fische etwa gleicher Grösse zu erhalten wurden vor Versuchsbeginn Nach- und Vorwüchsige Tiere aussortiert.

Um Effekte verschiedener REE-Konzentrationen zu dokumentieren wurden eine Kontrollgruppe und drei REE-Gruppen à 200 Fische gebildet und den Becken R 8 bis R 11 zugeteilt (siehe Abb.2).

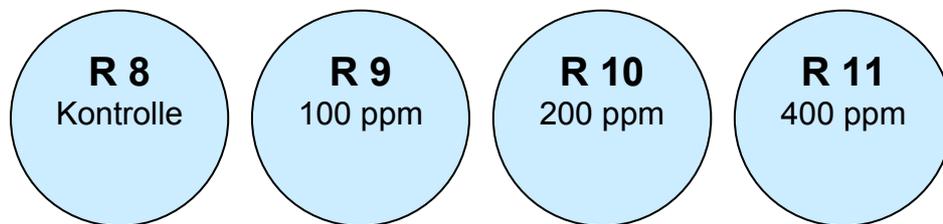


Abbildung 2: Kontrollgruppe R 8, Versuchsgruppen R 9-R 11 mit REE-Zusatz (in ppm Angaben) im Futter

Über einen Zeitraum von 12 Wochen soll die Gewichtsentwicklung, der Futterverbrauch und die Futtermittelverwertung der Versuchsgruppen dokumentiert werden.

Karpfen

Etwa 3000 12-13 Monate alte Karpfen (einsömrig) aus Höchstädter Nachzucht standen für das Projekt zur Verfügung. Diese wurden vor dem Neubesatz in den Versuchsteichen gehalten und anschliessend nach Versuchsplan in zwei Gruppen (Kontrolle + 400 ppm) neu in die Teiche umverteilt. Zu Versuchsbeginn hatten sie ein Durchschnittsgewicht von ca. 30 g.

Je 1525 bzw. 1526 Tiere wurden der Kontrollgruppe bzw. der REE-Gruppe zugewiesen.

Die Karpfen wurden pro Gruppe nochmals auf vier Teiche („Gartenteiche -GT“) aufgeteilt, so dass ein vierfacher Versuchsansatz pro Gruppe entstand (siehe Abb.3).

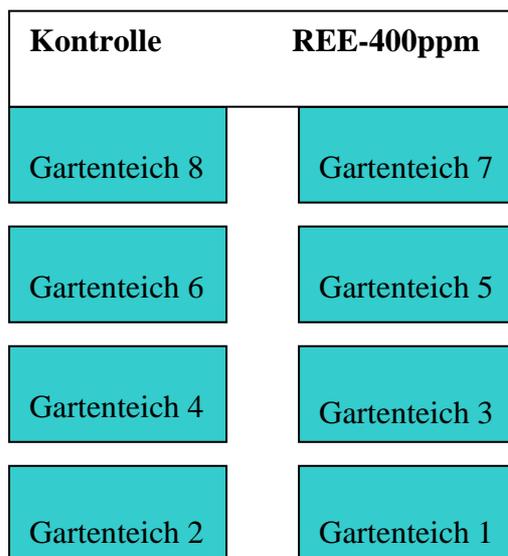


Abbildung 3.: Versuchsaufbau in Höchstädt; paarweise gleiche Teiche

Über einen Zeitraum von 14 Wochen soll die Gewichtsentwicklung, der Futterverbrauch, die Futterverwertung und die Verluste der Versuchsgruppen dokumentiert werden.

3.1.2. Tierhaltung

Forellen

Die in vier Gruppen aufgeteilten Fische wurden in Glasfaserkunststoff (GFK)-Rundstrombecken mit einem Volumen von 5 m³ gehalten (siehe auch Abb. 2).

Ein Frischwasserzulauf von ca. 2 l/ sek., sowie ein Belüfter sorgten für einen optimalen Sauerstoffgehalt von 10 mg O₂/ l. Die Wassertemperatur blieb zwischen 9 und 10 °C und der pH bei ca. 7,5 konstant. Die Becken waren mit Kotgrube und Bodensieb ausgerüstet, die beide täglich vor dem Füttern entleert wurden.

Zum Schutz vor Fischfressenden Vögeln waren die Becken mit Gittern abgedeckt.

Karpfen

Die beiden Versuchsgruppen wurden in je vier Erdteichen mit paarweise gleichen Größen gehalten (siehe auch Tabelle 10).

Tabelle 10: Flächenverteilung und Besatz der Versuchsteiche

Gartenteich REE		Kontrolle	Fläche	Besatz
1		2	250 m ²	je 238
3 + 5		4 + 6	200 m ²	je 190
7		8	1000 m ² .	908 + 907

Dies entspricht einer ungefähren Besatzdichte von 9500 Tieren/ha.

Die Wassertemperatur schwankte zwischen anfänglichen 17 °C, hochsommerlich bei 24°C und gegen Versuchsende bei 12°C. Der Sauerstoffgehalt sank in verschiedenen Teichen kurzzeitig bis auf 2-3 mg O₂/ l (Normalwert: 8-9 mg O₂/ l). Der pH blieb bei ca. 7,5 meist konstant.

Die Versuchsteiche blieben bis zu Versuchende gleichmässig mit Wasser gefüllt.

3.1.3. Futterzusammensetzung

Forellenfutter

Die Firma Zehentmayer/ Schweiz lieferte die Seltenen Erden als Lanthanoid-Citrat-Zubereitung.

Um eine Konzentration von 400 ppm REE in 500 kg Futter zu erreichen, wurden 200 g Lanthanoid-Citrat mittels einer Weizennachmehlvormischung bei der Firma Gründleinsmühle GmbH gleichmässig ins Forellenfutter eingearbeitet. Die REE-Vormischung wurde in der Futtermischanlage der Tierärztlichen Fakultät vorbereitet.

Das Versuchsfutter war das Forellenalleinfutter Standard enco 300 der Firma Gründleinsmühle GmbH. Dabei handelt es sich um Pellets aus einer Charge von 2 x 500 kg (500 kg Kontrollfutter, 500 kg REE-Futter) mit einer Pelletgröße von 3,5 mm.



Abbildung 4: 10 kg Lanthanoid-Citrat der Firma Zehentmayer

Tabelle 11: Zusammensetzung des Forellenfutters:

Inhaltsstoffe	Zusatzstoffe je kg
40% Rohprotein	12.000 IE Vit A
12% Rohfett	1.200 IE Vit. D 3
1,5% Rohfaser	120 mg Vit. E
10% Rohasche	3 mg Kupfer II-Sulfat
1,30% Phosphor	

Durch verschneiden der 400 ppm- REE-Futtermischung im Verhältnis 1:1 bzw. 1:3 mit dem Kontrollfutter wurden neue REE-Konzentrationen mit 200 ppm bzw. 100 ppm in Starnberg angemischt.

Karpfenfutter

Die Firma Zehentmayer/ Schweiz lieferte die Seltenen Erden als Lanthanoid-Citrat - Zubereitung.

Um eine Konzentration von 400ppm in 1000 kg Futter zu erreichen, wurden 400 g Lanthanoid-Citrat mittels einer Weizennachmehlvormischung bei der Firma Gründleinsmühle GmbH gleichmässig ins Karpfenfutter eingearbeitet.

Die REE-Vormischung wurde wieder in der Futtermischanlage der Tierärztlichen Fakultät vorbereitet.

Das Versuchsfutter ist das Karpfenfutter (Konditionsfutter) enco 360 der Firma Gründleinsmühle GmbH. Dabei handelt es sich ebenso um ein pelletiertes Futter aus einer Charge von 2 x 1t (1t Kontrollfutter; 1t REE-Futter). Die Pelletgröße beträgt 2,5 mm.

Tabelle 12: Zusammensetzung des Karpfenfutters:

Inhaltsstoffe	Zusatzstoffe je kg
20% Rohprotein	20.000 IE Vit A
7% Rohfett	2.000 IE Vit. D 3
5% Rohfaser	80 mg Vit. E
7% Rohasche	22 mg Kupfer II-Sulfat
0,6% Phosphor	

REE-Analysen

Zu Versuchsbeginn wurde das Kontroll- und Versuchsfutter auf den Gehalt von Seltenen Erden mittels ICP/MS untersucht. Mit Unterstützung der Firma Simec Trade AG in Zofingen, Schweiz, wurden die Proben bei der Firma Ecochem, Prag analysiert. Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 13: Ergebnisse der REE-Gehaltanalysen

	Lanthan	Cer
Kontrolle Forellen	0,43mg/kg	0,93mg/kg
REE - Forellen	10mg/kg	22mg/kg
Kontrolle Karpfen	0,18mg/kg	0,24mg/kg
REE - Karpfen	9,9mg/kg	22mg/kg

ICP-MS ist die Abkürzung für inductively-coupled-plasma mass-spectrometry, zu deutsch: **Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma**. Diese Analysemmethode ermöglicht die Bestimmung einer Vielzahl von Elementen in relativ kurzer Zeit.

Die ICP-MS-Methode beruht auf der Ionisierung des zu analysierenden Materials in einem Plasma bei etwa 5000 °C. Zur Erzeugung des Plasmas wird ein hochfrequenter Strom in ionisiertes Argon induziert. Nach dem Fokussieren in der sogenannten Ionenoptik wird der Ionenstrahl im eigentlichen Massenspektrometer in Ionen unterschiedlicher Masse getrennt.

Weil jedes Element mindestens ein Isotop aufweist, dessen Masse bei keinem natürlichen Isotop eines anderen Elements auftritt, ist die Masse eine charakteristische Eigenschaft der Elemente. Dies wird sowohl zum qualitativen als auch zum quantitativen Nachweis genutzt.

3.1.4. FütterungForellen

Zeitgesteuerte Bandfütterungsautomaten übernahmen die Fütterung und teilten jedem Becken die berechneten Tagesrationen zu. Die Automaten streuten nur tagsüber die Rationen aus, da Regenbogenforellen nur bei Tageslicht Nahrung aufnehmen. Dafür wurde die Tagesration jeden Morgen auf das Fütterungsband aufgelegt.

Um das Futter noch gleichmäßiger zu verteilen und allen Fischen die gleiche Möglichkeit zur Futteraufnahme zu bieten wurde ein Teil der Tagesration per Hand gefüttert.

Karpfen

Die Fütterung erfolgte hier über sogenannte Pendelautomaten, welche bei Berührung des im Wasser hängenden Pendels Futter freigeben. Somit hatte jeder Karpfen ständigen Zugang zum Futter. Diese Automaten waren ständig befüllt, so dass nur die nachgefüllten Futtermengen zur Auswertung summiert werden mussten.

Die Naturnahrung aus den Erdteichen (Bodenlebewesen + Plankton) stand allen Karpfen gleich zur Verfügung und wurde in der Futterkalkulation nicht berücksichtigt.

3.2. Versuchsablauf

3.2.1. Bestimmung der Durchschnittsgewichte und der Futterverwertung

Um den steigenden Futterverbrauch und die Gewichtsentwicklung der Gruppen verfolgen zu können, war es notwendig die Fische in Abständen von 4 Wochen zu wiegen. Beim Forellenversuch wurden alle Fische eines Beckens mit einem Kescher gefangen und anschliessend die Gesamtmasse pro Becken und das Durchschnittsgewicht bestimmt. Vor jeder Zwischenwägung blieben die Tiere einen Tag nüchtern um gleiche Versuchsbedingungen zu schaffen.

Beim Karpfenversuch wurden alle 4 Wochen je 10 Fische pro Versuchsteich gefangen. Dies geschah nach Zufallsprinzip mit einem Wurfnetz. Gewogen wurde jeder Fisch einzeln in einer austarierten, mit Wasser gefüllten Wanne, die auf einer elektronischen Standwaage stand (Modell der Firma Mettler IDS, Multi Range). Der zeitliche Abstand der 3. Zwischenwägung zur Endwägung musste auf 2 Wochen verkürzt werden, da wegen der kühleren Temperaturen die Gefahr der verminderten Futteraufnahme bestand.

Zu Versuchsbeginn und Versuchsende wurden die Gesamtmasse und die Stückzahl der Karpfen je Teich bestimmt.

→ Die tägliche Futtermenge konnte für die 1. Woche im Forellenversuch anhand folgender Formel berechnet werden:

- Durchschnittsgewicht x Fischzahl x 1,5% (Futterprozent)

Da nur alle 4 Wochen gewogen wurde, konnte der steigende Futtermengebedarf für Woche 2, 3, 4 nur schätzungsweise hochgerechnet werden.

Für diese Wochen wurde die tägliche Futtermenge folgendermassen bestimmt:

- Durchschnittsgewicht x Fischzahl x 1,5% (Futterprozent) + (eingesetzte Futtermenge der Vorwoche / FQ)

- Futterprozent ist der Prozentsatz des Lebendgewichts, der als Futter verabreicht wird.
- Die Futterverwertung (= Futterquotient FQ) gibt an, wie viel Gramm Futter ein Tier aufnehmen muss, um ein Gramm Körpergewicht zuzulegen.
(Futterverzehr pro Tier & Tag / Lebendmassenzuwachs pro Tier & Tag)

3.2.2. Schlachtung

Einen Tag nach der letzten Wägung wurden Versuchstiere geschlachtet. Zu diesem Zeitpunkt hatten alle Tiere bereits zwei Tage gehungert, um den Effekt des zusätzlichen Futtergewichtes für alle gleichzugestalten.

Es wurden je 10 Forellen der Versuchs- bzw. Kontrollgruppen gefangen und per Kopfschlag betäubt. Nach einem paramedianen Schnitt vom Kopf bis zur Urogenitalöffnung wurden die Fische ausgeweidet und anschliessend enthäutet.

Im nächsten Schritt wurden die Fische filetiert und das Filet, Innereien und Restkörper (exkl. Haut) getrennt gewogen (siehe Abbildung 5).

Nach diesem Schritt wurden die Filethälften, Innereien und der Restkörper getrennt voneinander bei -20°C für weitere Untersuchungen eingefroren und aufbewahrt.

In Höchststadt beschränkte sich die Untersuchungen nach der Schlachtung auf die Bestimmung von Rohfett, Rohprotein und der Trockensubstanz. Andere Parameter sind bei noch nicht speisereifen Karpfen von wenig Aussagekraft. Dazu wurden je 10 Karpfen der Kontroll- und REE-Gruppe eingefroren und einige Wochen nach Versuchsende wieder aufgetaut und filetiert.



Abbildung 5: Restkörper, Innereien, Filets einer Regenbogenforelle

3.2.3. Untersuchung der Fleischqualität

Um zu überprüfen, ob die Seltenen Erden Einfluss auf die Fleischqualität haben, mussten bei den Schlachtungen die Forellen auf bestimmte Parameter untersucht werden. Zu prüfende physikalische Parameter waren pH-Wert, Fleischhelligkeit und Fleischfestigkeit. Zusätzlich wurde als chemischer Parameter eine Weender Analyse zur Untersuchung von Rohfett und Rohprotein durchgeführt.

3.2.3.1. pH-Wert-Messung

Der pH-Wert ist ein wichtiges Bewertungskriterium für die Qualität des Schlachtkörpers. Er gibt Aufschluss über biochemische Veränderungen im Muskel und befindet sich kurz nach der Schlachtung im alkalischen Milieu. Kurz darauf fällt der pH durch den anaeroben Abbau von Glykogen in Milchsäure in das saure Milieu ab.

Dabei ist ein zu schneller Abfall des pH-Wertes unerwünscht und wirkt sich mindernd auf die Fleischqualität aus.

Die Messung fand direkt nach der Schlachtung statt (pH_0), zwei weitere folgten nach drei (pH_3) bzw. 24 Stunden (pH_{24}). Als Messgerät diente ein pH-Meter vom Typ 197-pH mit einer pH-Messelektrode vom Typ SenTixSp und als Temperaturfühler ein TFK-150-E der Wissenschaftlichen-Technischen Werkstätten GmbH (WTW).

Die pH-Bestimmung fand an je drei Messpunkten des linken Forellenfilets statt, wodurch sich ein Mittelwert errechnen lässt.

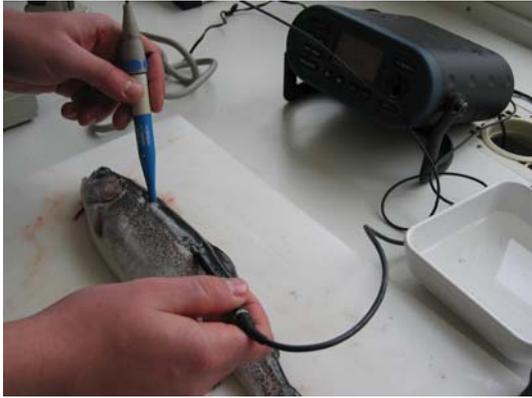


Abbildung 6: pH-Wert-Messung

3.2.3.2. Bestimmung der Fleischhelligkeit und Farbe

Für den Verbraucher sind Farbe und Helligkeit des Fleisches ein wichtiges Qualitätsmerkmal, das das Kaufverhalten wesentlich beeinflusst. Rötliches Fleisch spricht den Konsumenten an, während gelbliches, blasses oder zu dunkles Fleisch unerwünscht ist.

Die Messungen wurden eine Stunde nach der Schlachtung mit einem Chromameter CR-300 der Firma Minolta durchgeführt. Dies geschah an drei verschiedenen Stellen des rechten Filets, wobei der Mittelwert durch das Gerät automatisch berechnet wurde.

Die Bewertung fand nach einem Farbmesssystem statt, das von der internationalen Beleuchtungskommission CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) im Jahr 1976 als sog. L-a-b- Farbraum entwickelt wurde und der menschlichen Farbwahrnehmung nachempfunden ist.



Abbildung 7: Fleischhelligkeitsbestimmung

L-Wert

Der L-Wert ist ein Mass für die Helligkeit. Je höher der ermittelte L-Wert ist, desto heller ist das Fleisch, geht er gegen 0 ist das Fleisch dunkler.

a-Wert

Der a-Wert ist ein Mass für den Farbbereich von Grün nach Rot. Negative Zahlen beschreiben die Intensität des Grünanteils, positive die Intensität des Rotanteils. Je höher also ein positiver a-Wert ist, desto grösser ist der Rotanteil im Fleisch.

b-Wert

Der b-Wert ist ein Mass für den Farbbereich von Blau nach Gelb. Negative Zahlen beschreiben die Intensität des Blauanteils, positive die Intensität des Gelbanteils. Je höher also ein positiver b-Wert, desto grösser ist der Gelbanteil im Fleisch.

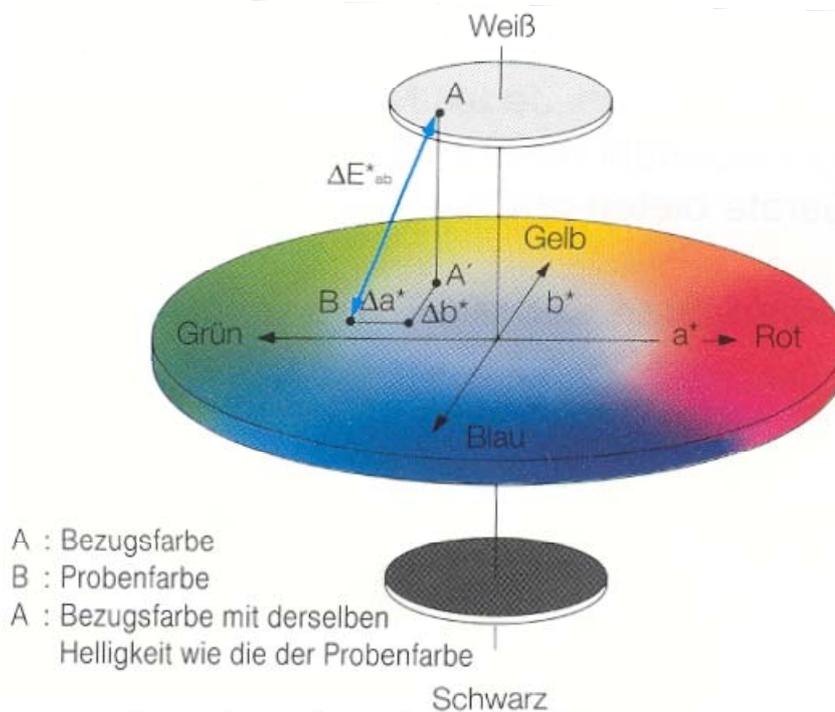


Abbildung 8: Dreidimensionales Farbbewertungsschema des Chromameter CR 100 (Minolta)

3.2.3.3. Bestimmung der Fleischfestigkeit

Bei der Messung der Fleischfestigkeit wird die Textur, d.h. die innere Beschaffenheit eines Stoffes, anhand ihres Verhaltens gegenüber Verformungen untersucht. Sie findet Bedeutung bei der Fleischverarbeitung, dabei weisen ältere Tiere eine höhere Fleischfestigkeit als jüngere auf. Sie ist geprägt durch ein Netzwerkaufbau und sein Verhalten gegenüber Verformungen, wobei die Textur teilweise oder vollständig zerstört wird. Die Fleischfestigkeit lässt sich u.a. in physikalischen Masseinheiten wie Kraft und Druckeinheiten (z.B. die Scherkraft) ausdrücken.

Zur Messung wurden die Filethälften, die zuvor schon zur der pH-Messung gedient hatten nach 24-stündiger Kühlung verwendet.

Für die Messung mussten die Filethälften in gleichgrosse Würfel mit einer Kantenlänge von 0,5cm geschnitten werden. Hautreste und grobe Gräten (Stichgräten) wurden entfernt. Exakt 10 g pro Filet wurden in einer Petrischale abgewogen und in eine Kramer'sche Scherzelle (Front 2946 mit 10 Scherblättern) verteilt. Diese wurde anschliessend in ein elektronisches Materialprüfgerät der Firma Instron, Modell 4400 eingesetzt. Mit einer Messgeschwindigkeit von 200mm/ min wurde das Fleisch geschert.

Anhand der Länge des benötigten Weges wurde die Kompressionskraft bzw. die Penetrationskraft in Newton bestimmt (=Scherkraft). Für jedes Filet wurden mindestens zwei Messungen durchgeführt, bei stark differierenden Werten noch eine Dritte.



Abbildung 9: Gerät zur Fleischfestigkeitsmessung

3.2.3.4. Weender Analyse → Bestimmung der Nährstoffzusammensetzung und Trockensubstanz

Nach Versuchsende fand eine Bestimmung der Nährstoffe R_p , R_{fe} und der Trockensubstanz des Fischfilets ohne Haut statt. Je sechs tiefgefrorene Forellen- und Karpfenfilets wurden hierzu aufgetaut und entsprechend den Verfahren präpariert.

Trockensubstanz

Einwaage von 20-40 g homogenisiertem, frischen Fischfilet in eine Aluminiumschale. Von der verwendeten Aluminiumschale wurde das Leergewicht erfasst. Die Probe wurde mindestens 48 Stunden im Trockenschrank bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und nach Abkühlung im Exsikator erneut gewogen.

$$\text{Wassergehalt} = \frac{\text{Einwaage (g)} - [\text{Rückwaage (g)} - \text{Leergewicht (g)}]}{\text{Einwaage (g)}} \times 100 \text{ (\% der Feuchtsubstanz)}$$

Rohprotein

Die Proteinbestimmung erfolgte nach dem Kjeldahlverfahren. Zu 0,5 – 1,0 g der homogenisierten Proben wurden 10 ml konzentrierte Schwefelsäure, sowie eine Kjeldahltablette gegeben. Nach erfolgtem 40 – minütigen Probenaufschluss im Digestor 2020 bei 400°C, erfolgte die Rohproteinbestimmung in % mit dem Kjeltec 2400 der Firma Foss.

Der Umrechnung in den Rohproteingehalt lag die Formel $R_p = N \times 6,25$ zugrunde.

$$\text{Protein (\%)} = \frac{\text{Peakhöhe}}{\text{Einwaage (mg)}} \times 6,25 \times 75$$

Rohfett

Im ersten Schritt fand eine Einwaage von ca. 1-1,5g g Fischprobe TS statt. Die Probe wurde im Anschluss durch einen Faltenfilter (Schleicher & Schüll 595,5) filtriert und mit ca. 800 ml heissem Wasser säurefrei gewaschen. Die Fettextraktion wurde mit einem Soxhletapparat (FSEU/1/6, Isopad, Siegen i.W.) mit 80 ml Petrolether durchgeführt.

$$\text{Fettgehalt} = \frac{\text{Rückwaage (g)} - \text{Gewicht des Analysenglases (g)}}{\text{Einwaage (g)}} \times 100$$

3.2.4. Verluste und Verhaltensänderungen

Sowohl in der Anlage in Starnberg als auch in der in Höchstadt wurden alle Verluste dokumentiert und die verendeten Tiere sofort aus den Becken bzw. Teichen entfernt und gewogen.

4. Ergebnisse

4.1. Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen

4.1.1. Gesundheitszustand und Verluste

Im Durchschnitt lag die Mortalität bei 1%, und unterschied sich in den einzelnen Becken nicht wesentlich. Die Verlustrate entspricht der Erwartung in der intensiven Forellenzucht und ist durch die natürliche Auslese bzw. Sterberate zu erklären. Tabelle 14 zeigt die Verlustraten (in %) in den einzelnen Versuchsbecken.

Die verendeten Tiere wurden separat ausgewogen und für die Futterkalkulation in den folgenden Wochen berücksichtigt.

Tabelle 14: Verlustrate im Forellenversuch in %

Becken Nr.	Konzentration REE im Futter	Stückzahl Versuchsbeginn	Stückzahl Versuchsende	Verlustrate in %
R8	0 ppm	200	198	1,00
R9	100 ppm	200	197	1,50
R10	200 ppm	200	198	1,00
R11	400 ppm	200	199	0,50

Während des gesamten Versuchszeitraums zeigte der Fischbestand keinerlei Anzeichen gesundheitlicher Störungen.

4.1.2. Gewichtsentwicklung

Alle 4 Wochen wurde das Gesamtgewicht der Fische in jedem Becken bestimmt; die Ergebnisse sind in der Tabelle 15 zusammengefasst, die die Gesamtgewichte der Versuchgruppen zu den Messzeitpunkten zeigt.

Bei allen Zwischenwägungen waren die Fische der Kontrollgruppe die schwersten Tiere. Die Gruppen mit dem REE- versetztem Futter zeigten sowohl untereinander, als auch zu der Gruppe mit dem Kontrollfutter keinerlei signifikanten Gewichtsgewinn.

Die Gewichtsentwicklung war in allen 4 Gruppen stetig und wich zum Anfangszeitpunkt um nur max. 1,2 % voneinander ab. Die grösste Gewichtsdivergenz war zum Zeitpunkt des Endgewichts zwischen der 0ppm und der 200ppm- Gruppe festzustellen (max. 4%).

Tabelle 15 : Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppen in Gramm (g)

Konzentration REE	Anfangsgewicht-gesamt	1. Zwischenwägung	2. Zwischenwägung	Endgewicht in g
0 ppm	29.150	40.150	54.150	72.700
100 ppm	29.050	39.750	53.150	70.750
200 ppm	29.350	40.300	53.100	69.850
400 ppm	29.000	39.700	52.300	71.100

4.1.3. Futterquotient

Der Futterquotient ergibt sich aus dem Verhältnis der verbrauchten Futtermenge zum Gewichtszuwachs. Die Ergebnisse zeigt exemplarisch Tabelle 16 an.

Nach der ersten Zwischenwägung lagen alle Futterquotienten zwischen 1,07 und 1,09 und damit nicht signifikant unterschiedlich. Zum Zeitpunkt der zweiten Wägung war die Kontrollgruppe mit einem FQ von 1,26 am besten. Den schlechtesten FQ hatte die Gruppe mit der höchsten REE-Konzentration von 1,39. Am letzten Messzeitpunkt war diese jedoch mit einem FQ von 1,21 wieder am besten im Vergleich zum Schlechtesten von 1,37 bei der 200ppm-Gruppe. Insgesamt war der Futterquotient am ersten Messpunkt bei allen Versuchsgruppen am niedrigsten, am Zweiten am höchsten und am dritten wieder etwas tiefer.

Tabelle 16: Futterverbrauch in Gramm (g) und Futterverwertung (FQ) bei den Wägungen

Konzentra- -tion REE	1. Zwischenwägung		2. Zwischenwägung		Endwägung	
	Futter- verbrauch	FQ	Futter- verbrauch	FQ	Futter- verbrauch	FQ
0 ppm	11716	1,07	17668	1,26	23695	1,24
100 ppm	11675	1,09	17492	1,31	23288	1,26
200 ppm	11796	1,08	17658	1,36	23266	1,37
400 ppm	11655	1,09	17470	1,39	22985	1,21

Der Futterverbrauch und die Futterverwertung von Versuchsbeginn bis Versuchs-ende nach 12 Wochen werden in Tabelle 17 zusammengefasst. Gesamt gesehen zeigt die Kontrollgruppe den besten Futterquotienten mit 1,20.

Die Gruppen 100ppm und 400ppm liegen mit einem FQ von 1,23 2,5%, die 200ppm-Gruppe mit einem FQ von 1,29 sogar 7,5% hinter der Kontrollgruppe. Keiner der Werte erwies sich signifikant gegenüber den anderen.

Tabelle 17: Futterverbrauch, Futterquotient und prozentuale Abweichung zur Kontrollgruppe über die gesamte Versuchsdauer

Konzentration REE	Futterverbrauch in Gramm (g)	Futterquotient	Vergleich zur Kontrolle
0 ppm	53.079	1,20	100,0%
100 ppm	52.455	1,23	102,5%
200 ppm	52.719	1,29	107,5%
400 ppm	52.110	1,23	102,5%

4.1.4. Fleischparameter

4.1.4.1 Schlachtgewichte

Je 10 Forellen pro Versuchsgruppe wurden einen Tag nach der letzten Wägung aus den Versuchsbecken gefangen, geschlachtet und anschl. in Filets, Innereien und Restkörper getrennt.

Die Gruppen 100ppm und 200ppm zeigten das höchste Schlachtgewicht. Sie wogen ca. 5% mehr als die Gruppe 100ppm und ca. 8% mehr als die Gruppe 400ppm. Da die Tiere zufällig aus den Becken entnommen wurden und auch eine hohe Standardabweichung aufweisen ergibt sich keine Signifikanz. Die hohe Standardabweichung ergibt sich aus den starken Gewichtsunterschieden der Tiere, welche im Laufe des Fütterungsversuches stark auseinander gewachsen waren. Die durchschnittlichen Schlachtgewichte (Mittelwert) sowie die Standardabweichung σ ist in Tabelle 18 ersichtlich.

Tabelle 18: Durchschnittliches Schlachtgewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung

Konzentration REE	Ø- Schlachtgewicht in g
0 ppm	351,90 ± 25,97
100 ppm	364,30 ± 34,80
200 ppm	364,80 ± 21,91
400 ppm	340,40 ± 40,55

4.1.4.2. Filetgewichte

Die entnommenen Filets wurden paarweise gewogen, der Durchschnittswert der Gruppen gebildet und ins Verhältnis zu den Schlachtkörpern gesetzt. Tabelle 19 verdeutlicht die Ergebnisse der Mittelwerte der einzelnen Gruppen und deren Standardabweichung.

Trotz Abweichungen um bis zu 10%, unterschied sich keiner der Werte signifikant von den Vergleichswerten.

Tabelle 19: Durchschnittliches Filetgewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung

Konzentration REE	Ø- Filetgewicht in g	% Schlachtgewicht
0 ppm	171,10 ± 13,77	48,63 ± 1,83
100 ppm	173,80 ± 20,74	47,62 ± 1,67
200 ppm	181,90 ± 13,89	49,82 ± 1,23
400 ppm	166,70 ± 21,88	48,93 ± 1,67

4.1.4.3. Restkörpergewichte

Die bei der Schlachtung entstandenen Reste, die sog Restkörper, wurden ebenfalls getrennt gewogen und aus jeweils 10 Ergebnissen der Durchschnittswert, die Standardabweichung und der prozentuale Wert zum Schlachtkörper errechnet. Die Resultate, welche keinen signifikanten Unterschied aufweisen, sind aus Tabelle 20 ersichtlich.

Tabelle 20: Durchschnittliches Restkörpergewicht und Standardabweichung von je 10 Tieren

Konzentration REE	Ø- Restkörper in g	% Schlachtgewicht
0 ppm	126,30 ± 10,33	35,89 ± 1,30
100 ppm	133,10 ± 10,92	36,59 ± 0,99
200 ppm	130,00 ± 7,87	35,64 ± 0,61
400 ppm	122,10 ± 16,53	35,81 ± 1,49

4.1.4.4. Innereingewichte

Tabelle 21 zeigt die Durchschnittsgewichte der Innereien jeder Gruppe, sowie den prozentualen Anteil am Schlachtgewicht und die jeweiligen Standardabweichungen. Die Durchschnittsgewichte der Innereien zeigten eine statistische Signifikanz zwischen der 100ppm und der 400ppm-Gruppe. Diese ist allerdings bei den prozentualen Verhältnissen nicht mehr vorhanden.

Tabelle 21: Durchschnittliches Innereingewicht von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Konzentration REE	Ø- Innereien in g	% Schlachtgewicht
0 ppm	50,80 ± 6,06	14,44 ± 1,39
100 ppm	54,70 ± 5,87 ^a	15,04 ± 1,23
200 ppm	51,30 ± 2,97	14,09 ± 0,87
400 ppm	49,20 ± 5,58 ^a	14,51 ± 1,21

4.1.4.5. pH-Werte

Zu drei Zeitpunkten wurde der pH-Wert der Forellenfilets (n=10) an drei verschiedenen Körperstellen gemessen.

pH 0 wurde direkt nach der Tötung ermittelt, nach 3-stündiger Kühlung folgte pH 3 und nach 24-stündiger Kühlung pH 24. Aus je drei Messungen am Filet wurde der Mittelwert gebildet und alle 10 Mittelwerte wiederum zu einem Mittelwert x der entsprechenden Gruppe umgerechnet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Durchschnittlicher pH zu den angegebenen Messpunkten von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Konzentration REE	pH 0	pH 3	pH 24
0 ppm	7,06 ± 0,13 ^a	6,96 ± 0,10	6,58 ± 0,10 ^a
100 ppm	7,16 ± 0,05	6,97 ± 0,16	6,53 ± 0,05
200 ppm	7,16 ± 0,14 ^a	6,96 ± 0,15	6,51 ± 0,05 ^a
400 ppm	7,12 ± 0,09	6,85 ± 0,12	6,57 ± 0,06

Zu allen drei Messzeitpunkten liegen die pH-Werte im zu erwartenden Zahlenbereich. Auch der Abfall des pH-Wertes vom leicht basischen (pH 0) in das saure Milieu (pH 3+pH 24) entspricht dem normalen Verlauf der Fleischreifung beim toten Tier. Die Signifikanzen bei pH 0 und pH 24 zwischen den Gruppen 0ppm und 200ppm liegen an der Signifikanzgrenze und entstehen aufgrund der geringen Standardabweichung bei den Einzelmessungen. Vergleicht man die Durchschnittswerte, weichen diese an den Messzeitpunkten um max. 1,7 % voneinander ab, bei pH 24 sogar nur um 1%.

4.1.4.6. Fleischfarbe

Bei dieser Messung wurden die Fleischhelligkeit (L-Wert), der Rotfaktor (a-Wert) und der Gelbfaktor (b-Wert) direkt nach der Schlachtung am rechten Filet ermittelt. Aus den Messergebnissen jedes Fisches wurden – getrennt nach Versuchsgruppen – die entsprechenden Mittelwerte und damit die Standardabweichung und Signifikanz bestimmt. In Tabelle 23 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 23: Durchschnitt von L-, a-, b-Werten von je 10 Tieren und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Konzentration REE	L-Wert	a-Wert	b-Wert
0 ppm	44,67 ± 1,09 ^{abc}	0,07 ± 0,38	2,56 ± 0,50 ^{abc}
100 ppm	46,39 ± 1,25 ^a	-0,05 ± 0,34	3,53 ± 0,48 ^{ab}
200 ppm	46,99 ± 1,36 ^b	-0,12 ± 0,41	4,30 ± 1,03 ^b
400 ppm	46,42 ± 1,32 ^c	-0,12 ± 0,36	3,57 ± 0,90 ^c

Die Kontrollgruppe 0ppm weist den niedrigsten L-Wert auf und gegenüber allen drei anderen Gruppen eine rechnerische Signifikanz.

Dagegen war bei den REE-supplementierten Gruppen untereinander kein Unterschied in der Fleischhelligkeit festzustellen.

Auch im a-Wert unterscheidet sich die Kontrollgruppe von allen anderen, allerdings eher gering, so dass die Ergebnisse nicht bezeichnend sind.

Wie schon im L-Wert zeigt sich die Kontrollgruppe auch im b-Wert im Vergleich am Niedrigsten. Durch die geringe Streuung ist dieser Messwert signifikant kleiner als alle anderen Vergleichswerte. Den höchsten Wert erzielt die 200ppm-Versuchsreihe und ist damit auch zur 100ppm-Gruppe signifikant höher.

4.1.4.7. Fleischfestigkeit

24 Stunden nach der Schlachtung wurde an der linken Filethälfte die Festigkeit des Fleisches mit Hilfe eines elektronischen Materialprüfgeräts geprüft. Jedes Filet wurde grundsätzlich zweimal getestet und ein Mittelwert gebildet. Tabelle 24 zeigt die Fleischfestigkeiten in Newton, die Standardabweichung und die Signifikanz zueinander.

Tabelle 24: Durchschnitt der Festigkeitswerte von je 10 Filethälften und Standardabweichung (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Konzentration REE	Fleischfestigkeit in Newton
0 ppm	119,01 ± 16,04 ^{abc}
100 ppm	136,28 ± 13,63 ^a
200 ppm	132,40 ± 11,86 ^b
400 ppm	133,40 ± 13,28 ^c

Die benötigten Scherkräfte der mit Seltenen Erden gefütterten Gruppen lagen sehr dicht beieinander (2%). Die aufgewandten Scherkräfte in der Kontrollgruppe lagen mit 119,01 N ca. 10% unterhalb der Werte aller anderen Gruppen und waren damit signifikant geringer. Es ergibt sich eine Signifikanz von der Kontrollgruppe zu allen anderen Gruppen.

4.1.4.8. Weender Analyse der Forellenfilets

Nach Versuchsabschluss wurden sechs Forellenfilets jeder Gruppe aufgetaut, getrocknet und für weitere Analysen aufbereitet. Um Abweichungen im Nährstoffgehalt durch den Futterzusatz zu untersuchen wurde die Trockensubstanz, Rohprotein und Rohfett bestimmt.

Tabelle 25 fasst die Analysen zusammen und gibt Mittelwert + Standardabweichung von je sechs Analysen pro Gruppe an.

Tabelle 25: Trockensubstanz (TS) in % der ursprünglichen Substanz; Rp + Rfe in % der TS; jeweils Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung σ (Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Konzentration REE	TS in %	Rp in %	Rfe in %
0 ppm	24,15 ± 0,72 ^a	80,38 ± 3,16	13,23 ± 2,41
100 ppm	24,57 ± 0,45	80,10 ± 2,65	13,15 ± 1,29
200 ppm	25,33 ± 0,69 ^a	79,52 ± 1,29	12,85 ± 2,69
400 ppm	24,46 ± 0,78	80,01 ± 2,59	12,11 ± 0,99

Alle Analysen der TS liegen innerhalb von 1,2 Prozentpunkten d.h. zwischen 24,15 und 25,33%. Den niedrigsten Wert besitzt die 0ppm-Gruppe, den Höchsten die 200ppm-Gruppe; diese waren zugleich signifikant unterschiedlich. Die Ergebnisse der Rohprotein und des Rohfettanalysen lagen dicht zusammen und wiesen keine Bedeutsamkeit auf.

4.2. Fütterungsversuch mit Karpfen

4.2.1. Gesundheitszustand und Verluste

Die Ausfälle entsprachen den Erwartungen. Es ergaben sich ein Durchschnitt von 9,85 % Verlusten in der REE-Gruppe und eine Verlustrate von 8,82 % in der Kontrollgruppe.

Für die meisten Verluste waren Fisch fressende Vögel (Störche, Möwen, Reiher) verantwortlich, da die Teiche nicht überspannt waren. Eine Dokumentation über den Zeitpunkt der Verluste und die Gewichte der fehlenden Tiere war daher nicht möglich. Verglichen wurde die Stückzahl der Fische zu Versuchbeginn gegenüber der Stückzahl zu Versuchsende. In Tabelle 26 sind die Verlustraten pro Einzelteich aufgelistet.

Tabelle 26: Verlustraten in den einzelnen Teichen nach 14 Wochen

Gartenteich Nr.	Gruppe	Stückzahl Versuchsbeginn	Stückzahl Versuchsende	Verlustrate in %
GT 1	REE	238	218	8,40
GT 2	Kontrolle	238	213	10,50
GT 3	REE	190	163	14,21
GT 4	Kontrolle	190	176	7,37
GT 5	REE	190	169	11,05
GT 6	Kontrolle	190	167	12,11
GT 7	REE	908	856	5,73
GT 8	Kontrolle	907	859	5,29

Zu Versuchsbeginn wurden alle Fische mittels einer Arzneifuttermischung gegen Bandwurmbefall behandelt.

4.2.2. Gewichtsentwicklung

Zu Beginn des Versuches wurden alle Karpfen der Gartenteiche 1-8 gewogen und mit Hilfe der Stückzahlen die Durchschnittsgewichte je Teich errechnet. Für das Endgewicht galt entsprechendes.

An den Zeitpunkten der Zwischenwägungen wurden die Gewichte aus dem Durchschnitt von 10 zufällig gefangenen Karpfen ermittelt. Das Gesamtdurchschnittsgewicht von REE und der Kontrolle kommt zustande, indem man die einzelnen Durchschnitte einer Gruppe (REE + Kontrolle), unabhängig von den verschiedenen Besatzzahlen der Teiche, durch die Anzahl der Versuchsteiche teilt. Daraus ergeben sich die Ergebnisse in folgender Tabelle 27.

Tabelle 27: Durchschnittsgewichte bei den Wägungen in g und Standardabweichungen (Zwischenwägungen 1-3 mit Signifikanztest, Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander, $p < 0,05$)

Teich Nr.	Gruppe	Anfangsgewicht	1.Zwischenwägung	2.Zwischenwägung	3.Zwischenwägung	Endgewicht
GT 1	REE	29,20	52,70 ± 14,84 ^a	122,60 ± 39,87 ^a	178,70 ± 46,47	172,02
GT 2	Kontrolle	29,41	87,90 ± 25,29 ^a	174,20 ± 41,76 ^a	211,20 ± 43,84	206,57
GT 3	REE	31,42	80,90 ± 17,40	166,50 ± 53,07	183,90 ± 25,99 ^a	196,93
GT 4	Kontrolle	30,00	97,00 ± 37,77	178,30 ± 52,46	307,00 ± 54,48 ^a	285,80
GT 5	REE	30,63	100,40 ± 25,54	210,00 ± 66,06	290,60 ± 43,33 ^b	282,84
GT 6	Kontrolle	30,79	90,40 ± 25,62	198,40 ± 63,44	246,30 ± 50,21 ^b	264,07
GT 7	REE	28,63	66,10 ± 17,64	163,38 ± 48,06	230,48 ± 56,01	256,31
GT 8	Kontrolle	28,47	76,60 ± 25,50	176,65 ± 38,05	249,25 ± 44,43	238,07
Durchschnitt REE		29,97	75,03	165,62	220,92	227,02
Durchschnitt Kontrolle		29,67	87,98	181,89	253,44	248,63

Während bei Versuchsstart die Durchschnittsgewichte noch dicht beisammen lagen, entwickelten sich fortan die Karpfen in den Versuchsteiche 4 und 5 am besten und hatten zu jeder Zwischenwägung die höchsten Gewichte, dicht gefolgt von Teich Nr. 6. Die Tiere des Teiches 1 blieben bei allen Messungen die leichtesten, dicht gefolgt von Teich 3 und 4. So war der Gewichtsunterschied ca. 110 g (70% mehr) zwischen dem leichtesten Teich Nr.1 und dem schwersten Teich Nr. 5 bei der Auswägung.

Der Gewichtschnitt der 4 Kontrollteiche bei der 1.Zwischenwägung entwickelte sich um 15% besser als der der 4 REE-Teiche und ab der 2.Wägung um ca. 10% besser bis zum Versuchsende.

Signifikanzen können nur sinnvoll bei gleichgrossen und gleichbesetzten Teichen verglichen werden (siehe auch Abb. 3 Material und Methoden).

Die Standardabweichung war durch das z.T. extreme Auseinanderwachsen der Karpfen sehr hoch (siehe auch Abb. 11).

Zum Zeitpunkt der 1.und 2.Zwischenwägung ergab sich darausfolgendernd eine Signifikanz der Durchschnittsgewichte zwischen Teich 1 und Teich 2. Bei der 3.Pobewägung waren die Fische in Teich 4 signifikant schwerer als die in Teich 3. Ebenso waren die Tiere in Teich 5 signifikant schwerer als in Teich 6.

Die geringe Gewichtssteigerung in Teich 3 und die daraus resultierende Signifikanz zum Zeitpunkt der 3.Zwischenwägung könnte u. a. die Konsequenz aus der Vermehrung des sogenannten Blaubandbärblings (ca. 4000 Fische ~ 6kg; siehe auch Abbildung 10), eines unerwünschten Nebenfisches und Nahrungskonkurrenten in der Karpfenteichwirtschaft, in Teich 3 sein.

Nimmt man Gartenteich 3 aus der Versuchsauswertung so liegen die Durchschnittswerte von Kontroll- und REE-Gruppe noch dichter zusammen; der Gesamtdurchschnitt zu Versuchsende würde von 227,02g auf 237,06g steigen. Obwohl einzelne Teichgewichte signifikant unterschiedlich waren, blieb ein signifikanter Unterschied zwischen der gesamten Kontroll- und REE-Gruppe aus.



Abb. 10



Abb. 11

Abbildung 10: ca. 4000 Blaubandbärblinge aus Teich 3

Abbildung 11: Grössendifferenz zu Versuchsende in Teich 5; 149g zu 590g

4.2.3. Futterquotient

Das normale Nahrungsaufnahmeverhalten der Karpfen besteht aus dem Gründeln und Durchwühlen des Teichbodens nach Plankton und Kleinlebewesen, zum anderen aus der Aufnahme des Automatenfutters.

Die Naturnahrung in den Erdteichen stand allen Fischen gleich zur Verfügung und kann im Futterverbrauch und Quotient nicht mitberechnet werden.

In der folgenden Tabelle 28 sind die Gewichtszunahme, der Futterverbrauch und der daraus errechnete Futterquotient der einzelnen Teiche und der Gesamtgruppen zusammengefasst.

Tabelle 28: zeigt die Gewichtszunahme, den Futterverbrauch und den Futterquotienten pro Versuchsteich und im Gruppendurchschnitt, BBB= Blaubandbärbling

Teich Nr.	Gruppe	Gewichtszunahme in kg	Futterverbrauch in kg	Futterquotient
GT 1	REE	30,55	103,60	3,39
GT 2	Kontrolle	37,00	79,58	2,15
GT 3	REE	26,13+ 6 BBB	112,24	4,30
GT 4	Kontrolle	44,60	101,28	2,27
GT 5	REE	41,98	74,29	1,77
GT 6	Kontrolle	38,25	85,99	2,25
GT 7	REE	193,40	265,00	1,37
GT 8	Kontrolle	178,68	308,22	1,72
Futterquotient REE gesamt				2,71
Futterquotient Kontrolle gesamt				2,10

Den Besten und den Schlechtesten Futterquotienten stellte jeweils die REE- Gruppe mit Teich 7 von 1,37 und Teich 3 mit 4,30. Der Gesamt- FQ der beiden Versuchsgruppen weicht mit 2,71:2,10 relativ weit voneinander ab.

Der FQ von 4,3 in Teich 3 ist relativ zu sehen, da hier die unerwünschte „Explosion“ der Blaubandbärblingpopulation stattfand. Wird dieser Teich wieder aus dem Gesamtergebnis herausgenommen sinkt der Gesamtfutterquotient der REE- Gruppe auf 2,18 und gleicht sich damit dem der Kontrollgruppe an.

4.2.4. Fleischparameter

4.2.4.1. Weender Analyse des Fischfilets

Einige Wochen nach Versuchsabschluss wurden je sechs Karpfen der Kontroll- und REE-Gruppe aufgetaut, filetiert, die Filets getrocknet und für weitere Analysen aufbereitet. Um Abweichungen im Nährstoffgehalt durch den Futterzusatz zu untersuchen, wurde die Trockensubstanz, Rohprotein und Rohfett bestimmt.

Tabelle 29 fasst die Analysen zusammen und gibt Mittelwert + Standardabweichung von je sechs Analysen pro Gruppe an.

Tabelle 29: Trockensubstanz (TS) in % der ursprünglichen Substanz ; Rp + Rfe in % der TS; jeweils Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung σ

Versuchsgruppe	TS in %	Rp in %	Rfe in %
REE	23,10 ± 1,58	73,56 ± 5,14	13,73 ± 4,71
Kontrolle	21,83 ± 0,44	79,49 ± 1,58	13,48 ± 3,95

Zwischen den Mittelwerten von TS, Rp und Rfe der beiden Versuchsgruppen konnten keine signifikanten Abweichungen festgestellt werden.

5. Diskussion

5.1. Fütterungsversuch mit Regenbogenforellen

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss Seltener Erden auf das Wachstum und die Fleischparameter von Nutzfischen zu untersuchen. Zudem galt es, chinesische Ergebnisse unter unseren westlichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen zu reproduzieren und zu überprüfen. Das Fischwachstum kann durch Hormongaben und bei bestimmten Arten auch durch Antibiotikazufütterung gesteigert werden, beide Optionen sind jedoch durch Verbotsregelungen für die heimische Fischzucht nicht umsetzbar.

Aufgrund bemerkenswerter ergotroper Effekte bei Schweinen ist man auf die alternativen Leistungsförderer „Seltene Erden“ aufmerksam geworden. Es lag nahe, deren Einsatzmöglichkeiten auch in der Nutzfischzucht zu überprüfen. Da der Hauptanteil der Süßwasserfischproduktion in Deutschland auf Karpfen und Regenbogenforellen basiert, und diese auch die verwendeten Versuchstiere in den chinesischen Versuchen waren, wurden diese beiden Fischarten für das Experiment ausgewählt.

Aufgrund langjähriger Erfahrungen bei ähnlichen Projekten, wurde das Institut für Fischerei in Starnberg als Kooperationspartner gewählt. Aus einem Forellenteich wurden 800 Regenbogenforellen aus eigener Nachzucht entnommen und in 4 Gruppen à 200 Fische aufgeteilt. Ihnen wurde ein Forellenalleinfutter verabreicht, das mit verschiedenen Konzentrationen an Seltenen Erden- Citraten versetzt worden war. Als Versuchsfutter wurde eine pelletierte Futterart mit mittlerem Rohfettgehalt (12%) verwendet. Da alternative Leistungsförderer besonders bei nicht optimierten Bedingungen Effekte erzielen, wurde bei dem Futter gezielt ein, bezüglich des Fettgehalts, suboptimales Futter gewählt.

Zur Versuchsdurchführung wurden die Tiere in 4 Rundstrombecken auf dem Gelände des Instituts gehalten und während der 12-wöchigen Versuchsdauer nur bei Tageslicht über Futterautomaten mit den berechneten Futtermengen versorgt. Die Umweltbedingungen und die Futterzuteilung entsprachen den Konditionen der intensiven Forellenzucht.

5.1.1. Gewichte

Gewichtsentwicklung

Da die Verlustrate jeder Gruppe im Bereich von 1% lag, sind die Gesamtgewichte repräsentativ für die Gewichtsentwicklung. Zur Versuchsdurchführung wurden 4 Gruppen à 200 Fische gebildet und deren Futter mit unterschiedlichen Konzentrationen an Seltenen Erden- Citraten supplementiert (0, 100, 200 und 400ppm).

Nach jeweils vier Wochen fanden Zwischenwägungen statt (Abb. 12). Die Gesamtgewichte innerhalb einer Gruppe zeigten sich relativ einheitlich. An keinem Wiegetermin waren die Gewichte der REE-Gruppen schwerer als die der Kontrolle. Vielmehr erwies sich sogar die Kontrollgruppe als die relativ schwerste Gruppe, welche um 4% schwerer war als die 200ppm-Gruppe, um 3% im Vergleich zur 100ppm und um 2% zur 400ppm-Gruppe. Zum Zeitpunkt der ersten

Zwischenwägung lag das Gewicht der 200ppm-Gruppe geringfügig über dem der anderen drei Gruppen.

Da die Fische zur Schonung ihrer empfindlichen Haut immer in Gruppen gewogen wurden, ist eine gewisse Varianz in den anheftenden Wassermengen vorhanden. Dadurch ist die exakte Gewichtsbestimmung erschwert und kleinere Abweichungen können als Messfehler eingestuft werden. Durch übermässige Wasserbeimengungen oder Spritzverluste können sich nicht nur die Gesamtgewichte verändern, sondern parallel dazu auch der Futterquotient. Eine andere Fehlerquelle ist nicht aufgenommenes, auf den Boden gesunkenes Futter, welches auch in der Kalkulation des Futterquotienten miteinbezogen wird.

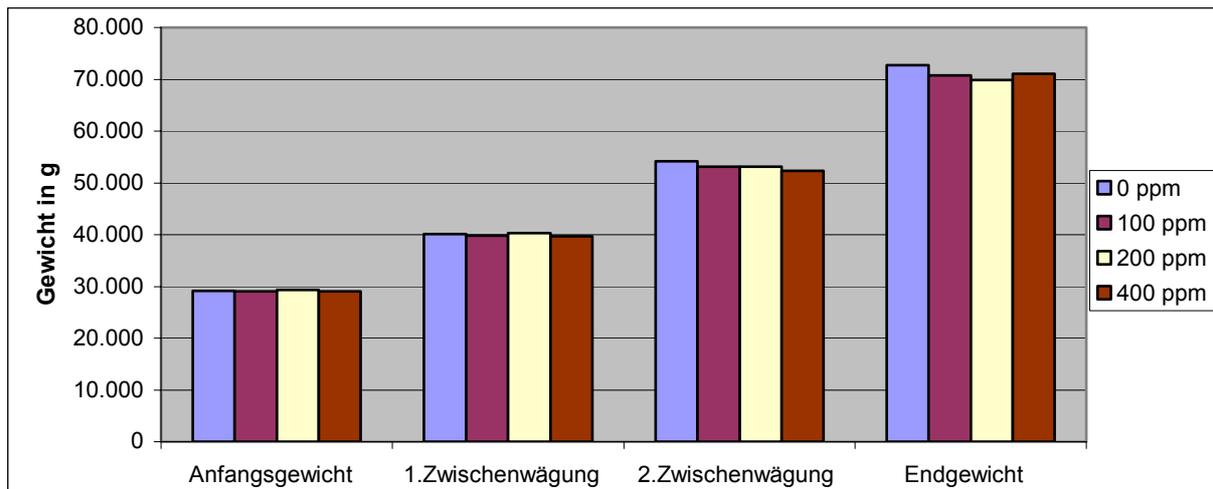


Abbildung 12: Gesamtgewichte der jeweiligen ganzen Versuchsgruppen zu den Wägungszeitpunkten im Abstand von 4 Wochen

Gesichert lässt sich sagen, dass kein ergotroper Effekt durch den Zusatz Seltenen Erden eingetreten ist. Im Besonderen konnten die Angaben der chinesischen Arbeiten von Tang et al. (1997) nicht reproduziert werden, der mit 300 bzw. 400ppm REE eine Gewichtsteigerung von 11,2 bzw. 29,6% bei Regenbogenforellen erreichte. Seine durchschnittlichen Fischgewichte lagen aber mit 53g zu Versuchsbeginn in etwa 100g niedriger als die Gewichte unserer Tiere. Die Ergebnisse von Tautenhahn (2004), eher mit niedriger Dosierung von 50mg REE-Chloriden ein Gewichtszuwachs zu erreichen, bewertete er selbst als fraglich. Nur eine der im Mehrfachansatz getesteten Gruppen zeigte signifikant höhere Werte, die allerdings, im Gegensatz zu den anderen Gruppen, nachträglich aus vorangegangenen Werten zurückgerechnet werden mussten. Zudem beobachtete er ein verbessertes Wachstum nur in den ersten 5 von 8 Wochen.

Schlachtgewichte

Für die Bestimmung von pH, Fleischfarbe und Fleischfestigkeit wurden je 10 Fische der Versuchsgruppen gefangen und getötet. Sie wurden als Ganzes gewogen und im Anschluss in die beiden Filethälften, den Restkörper und die Innereien zerlegt. Die Gewichte der Ausschlagungsfractionen wurden bestimmt und jeweils in das Verhältnis zum gesamten Schlachtkörper gesetzt. Die Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse der Schlachtkörperauswertung.

In den Datenreihen Schlacht-, Filet- und Restkörpergewicht gab es keinerlei signifikante Abweichungen. Die Ergebnisse entsprachen auch den erwünschten Schlachtausbeuten für diese Parameter (Reiter, 2005).

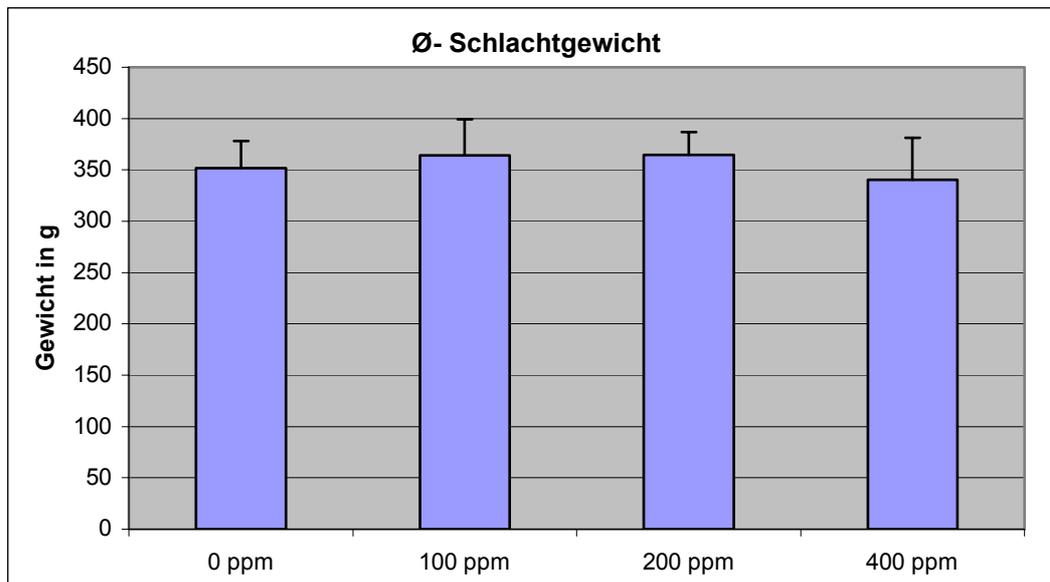


Abbildung 13: Durchschnittliche Schlachtgewichte der vier Versuchgruppen

Nur bei den Innereingewichten zeigte sich die 100ppm- Gruppe signifikant erhöht gegenüber der 400ppm-Gruppe. Unterschiedliche Füllzustände des Verdauungstrakts oder individuelle Differenzen könnte eine einfache Erklärung dafür bieten. Die Seltenen Erden scheinen keinen Einfluss auf diese Parameter zu nehmen.

5.1.2. Futterquotient

Von weiterem Interesse war die behauptete Verbesserung der Futtermittelverwertung bei der Aufnahme von Seltenen Erden (Tang et al. 1997). Zu den einzelnen Wägezeitpunkten variierten die Werte z.T. sehr stark. Es zeigten sich unterschiedliche Gruppen als bester Futtermittelverwerter bei den Zwischenwägungen. So hatte die Kontrollgruppe im ersten, im zweiten Monat und in der Gesamtauswertung den besten FQ (siehe auch Abb. 14). Die 200ppm-Gruppe zeigte sich bei der Futtermittelverwertung im Vergleich erstaunlich schlecht und liegt z.B. im dritten Monat 10% hinter der Kontrollgruppe. In der Übersicht liegen die 100ppm und 400ppm-Gruppe 2,5% und die 200ppm-Gruppe 7,5% in der Futtermittelverwertung hinter der Kontrollgruppe. Die erreichten Futterquotienten zwischen 1,2 (Kontrolle) und 1,29 (200ppm) liegen in dem Erwartungsbereich eines modernen Futtermittels von 0,8-1,5 (Reiter, 2001; Lukowicz, 1997).

Wie bereits erwähnt, wurde bewusst kein ernährungsphysiologisch optimales Futter gewählt, da bekannt ist, dass sich unter suboptimalen Bedingungen die positiven Einflüsse von Leistungsförderern besser bemerkbar machen können (Greife und Berschauer, 1988). Trotzdem war kein positiver Effekt der Seltenen Erden auf die Futtermittelverwertung festzustellen.

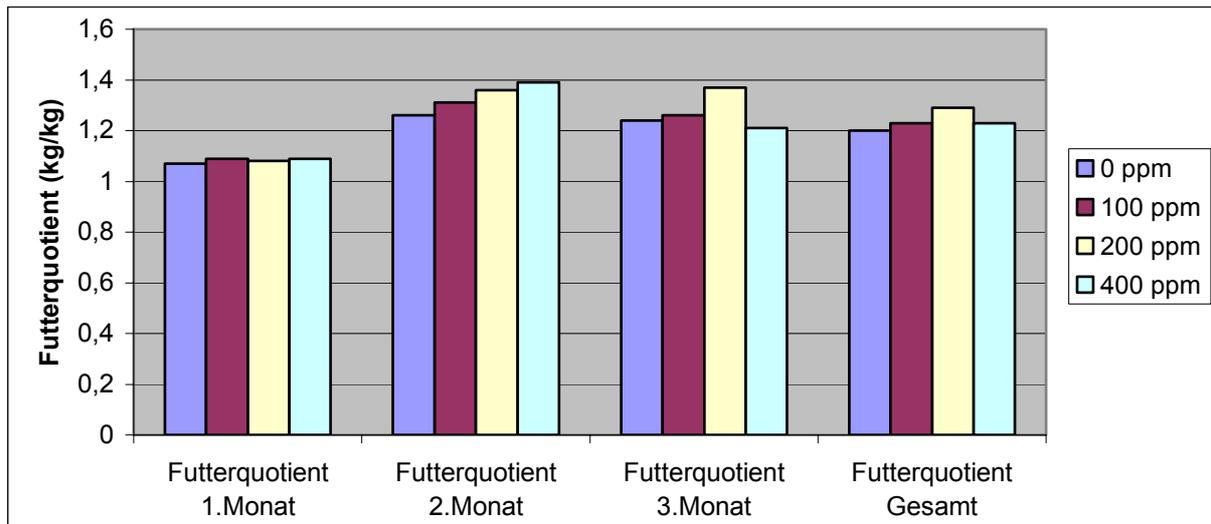


Abbildung 14: Futterquotienten der verschiedenen Versuchsguppen zu den vier Wägezeitpunkten

Über den genauen Versuchsaufbau und Ablauf, sowie über die Futterzusammensetzung der chinesischen Versuche, liegen nur sehr wenige Details vor. Angegeben ist jedoch ein Futterquotient, der mit 2,3 der Kontroll-, 2,2 der 300ppm und 2,0 der 400ppm-Gruppe bei weitem nicht den Standards eines modernen Hochleistungsfutters für Fische entspricht. Konkret bedeuten diese Zahlen, dass fast doppelt soviel Futter für den gleichen Gewichtszuwachs wie in unserem Versuch verbraucht wurde.

Welche fehlenden bzw. ungenügend vorhandenen Nährstoffkomponenten diese verminderte Leistungsfähigkeit bewirken, ist aufgrund fehlender Information zur Nährstoffzusammensetzung des chinesischen Futters, nicht bekannt. Prinzipiell kann sowohl ein Mangel an nutritiven Nährstoffen, eine unausgewogene Zusammensetzung von Aminosäuren oder Fettsäuren, ein zu geringer Energiegehalt, als auch eine verminderte Versorgung mit Mineralien oder Vitaminen zu einer verminderten Futtermittelverwertung führen (Schwarz, 1997).

Der verwendete REE-Zusatz bestand in unserem Versuch aus Citrat, ohne Nährwert, während die Chinesen eine Mischung aus 50% REE-Methionin und 50% REE-Lysin verwendeten. Die Überlegung liegt nahe, dass diese beiden für den Fisch essentiellen bzw. limitierenden Aminosäuren einen gewissen Nährwert besitzen. Dadurch wäre ein Mangel bzw. ein Fehlen teilweise ausgeglichen und ein verbessertes Wachstum möglich. Betrachtet man aber die Empfehlungen zur Versorgung mit essentiellen AS (Cowey, 1994), z.B. für Lysin 18-21g/kg Futter, würde die Ergänzung mit dem REE-Gemisch höchstens 1% des Bedarfs ausmachen. Derartige beschriebene Effekte wären damit nicht zu erreichen.

Die Art der REE Zusätze scheint aber dennoch Einfluss auf die Wirksamkeit der Seltenen Erden auszuüben. Bei Broilern zeigte sich bei der Fütterung mit REE-Citrat keine Verbesserung der Mastleistung (Schuller, 2001), wohingegen Halle et al. (2002) mit REE-Ascorbat bei vergleichbarem Versuchsaufbau gesteigerte Aufzuchtleistungen von 3-7% beobachten konnte. Auch bei Wachteln ergibt sich ähnliches Bild. REE-Chloride zeigten keine signifikanten Effekte, während sich bei Zusatz von REE-Citrat eine gesteigerte Gewichtsentwicklung abzeichnete. Bei Mastkälbern entfalteten 400ppm REE-Citrat ebenfalls keine leistungsfördernde

Wirkung (Wehr und Rambeck, 2005). Tautenhahn (2004) erzielte seine leistungssteigernden Effekte bei Tilapia mit dem Einsatz von REE-Chloriden.

Beim Karpfen erzielte Tang et al. (1998) mit verschiedenen REE-Zusätzen (u.a. REE-Citrat) immer verbesserte Gewichtszunahmen über 20%. In unserem Fütterungsversuch mit Karpfen (siehe auch Kapitel Fütterungsversuch mit Karpfen) wurde ebenfalls ein REE-Citrat eingesetzt und erbrachte keine signifikanten Veränderungen der Leistungsparameter.

Zahlreiche Arbeiten zu leistungssteigernden Effekten der Seltenen Erden bei Schweinen erbrachten positive, jedoch z.T. sehr differierende Ergebnisse. Simon et al. (2004) konnten in Versuchen mit Absatzferkeln weder höhere Gewichtszunahmen, noch eine verbesserte Futtermittelverwertung feststellen. Hier kamen jedoch ungewöhnlich hohe Proteinkonzentrationen von 22% (normal ca. 18%) zum Einsatz. Möglicherweise ist dies der Grund für das Ausbleiben eines Effekts. Auch bei unserem verwendeten Fischfutter handelte es sich um ein Produkt, das sich u.a. durch einen hohen Proteingehalt von 40% auszeichnet. Denkbar wäre somit ein Ausbleiben des Effektes, bedingt durch einen hohen Proteingehalt. Leider gibt es keine Angaben über die Nährstoffzusammensetzung des chinesischen Futters, so dass auch diese Überlegung nur Spekulation bleibt.

5.1.3. Fleischparameter

5.1.3.1. pH-Wert

Der pH- Wert gibt Aufschluss über die postmortal vorhandenen Mengen an Glykogen und ATP im Muskelfleisch. Direkt nach der Tötung beginnen der Verbrauch des ATP und die Umwandlung des Muskelglykogens in Milchsäure. Der Effekt ist ein sinkender pH, der zum einen zu der gewünschten Fleischsäuerung führt und gleichzeitig die Entstehung proteolytischer Mikroorganismen hemmt.

Bei einem pH- Abfall unter 6,0 würde die Fleischqualität als minderwertig eingestuft. Dieser Zustand wird als „Chalkiness“ bezeichnet, da das Fleisch weißlich-hell durchscheinend, wässrig und „kreidig“ erscheint. Das Fleisch schmeckt trocken, zäh und zeigt beim Kochen erheblichen Wasserverlust, ähnlich wie beim „PSE“- Fleisch bei Schweinen.

Der durchschnittliche pH 0 lag im leicht basischen Bereich bei 7,1. Die signifikanten Unterschiede im pH 0 zwischen der Gruppe 0ppm und 200ppm liegen an der Signifikanzgrenze und können z.B. durch Stresssituationen bedingt sein.

Robb et al. (1999) beobachtete bei gestressten Fischen einen rascheren pH-Wertabfall als bei nicht gestressten. Unmittelbar nach der Schlachtung betrug der pH-Wert nur noch 6,8.

Stress bei Fischen kann z.B. durch hektisches Durchkeschern oder Zersprengen von Fischgruppen verursacht werden. Solche Situationen wurden in unserem Versuch vermieden.

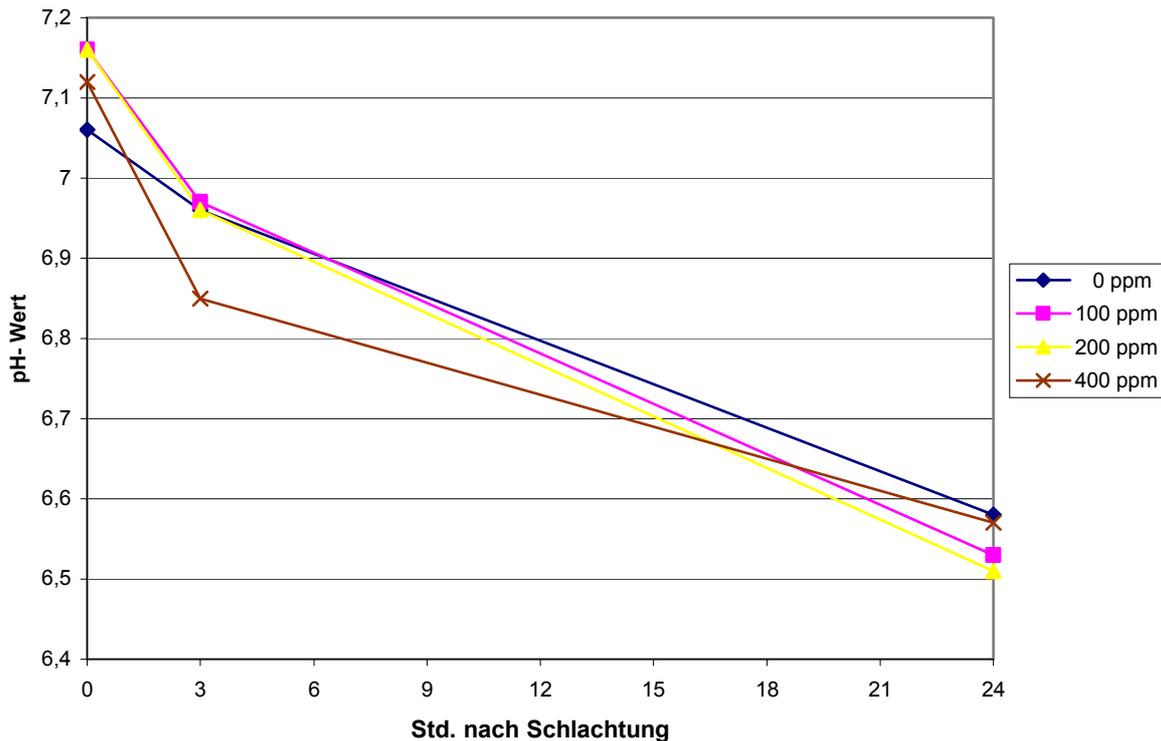


Abbildung 15: pH-Verlauf in den Forellenfilets der einzelnen Versuchsgruppen in den ersten 24 Stunden nach der Schlachtung

Im weiteren Versuchsverlauf sank der pH auf ca. 6,9 (pH 3) und nach 24 Stunden auf etwa den Wert 6,5-6,6 ab (siehe Abb. 15). Dieser Kurvenverlauf und der Endwert entsprechen dem gewünschten Verlauf der Fleischreifung. Messungen zum pH-Verlauf von geschlachteten, REE-supplementierten Schweinen erbrachten ebenfalls keine Abweichungen zum Normbereich (Borger, 2003; Eisele, 2003). Durch die Verfütterung von Seltenen Erden wird dieser qualitative Parameter scheinbar nicht beeinflusst.

5.1.3.2. Fleischfarbe und Fleischhelligkeit

Fleischfarbe und Fleischhelligkeit sind weitere wichtige Qualitätskriterien in der sensorischen Bewertung des Forellenfilets. Der Verbraucher wünscht kein blasses, aber auch kein zu dunkles Fischfleisch. Die Färbung des Muskelfleisches kann bei Forellen bekannterweise mit Hilfe von Nahrungsbestandteilen beeinflusst werden. Durch Fütterung mit Carotinoiden, Astaxanthin oder Canthaxanthin, lagern sich diese Pigmentstoffe in die Muskulatur ein und bewirken eine typische rötliche Färbung des Fleisches. Durch diese Zufütterung und Umfärbung des Fischfleisches entstehen aus Regenbogenforellen die sogenannten Lachsforellen (Storebakken und Choubert, 1991). Algen und Pflanzen hingegen besitzen gelbfärbende Carotinoide, u.a. Lutein, die zu einer unerwünschten Gelbfärbung des Filets führen können (Hoppe, 1972). Im Hinblick auf mögliche Veränderungen der Farbe und Helligkeit durch den Zusatz von Seltenen Erden, wurden 10 Filets direkt nach der Schlachtung mit einem Farbmessgerät überprüft

Zur Farbdefinition werden drei Werte hinzugezogen:

1. der L-Wert beschreibt die Helligkeit auf einer Skala von 0 (=schwarz) bis 100 (=weiss)
2. ein positiver b-Wert widerspiegelt eine Gelbfärbung (die Zahl 12 bedeutet intensives gelb), ein negativer Wert eine bläuliche Färbung
3. ein positiver a-Wert widerspiegelt die Rotfärbung (die Zahl 9 bedeutet intensives rot), ein negativer Wert eine grünliche Färbung

Der L-Wert der Kontrollgruppe (0ppm) zeigt sich signifikant geringer, also heller als bei allen drei REE-Gruppen (siehe Abb. 16). Die maximale Abweichung beträgt absolut nur 5%. Da die Varianzen sehr gering sind entsteht ein signifikanter Unterschied. Betrachtet man die Ergebnisse auf dem Farbbewertungsschema, sind die Abweichungen von 2 Punkten auf der Skala von 0-100 rein optisch nicht zu sehen. Prinzipiell wird ein eher helleres Fischfilet als Produkt angestrebt.

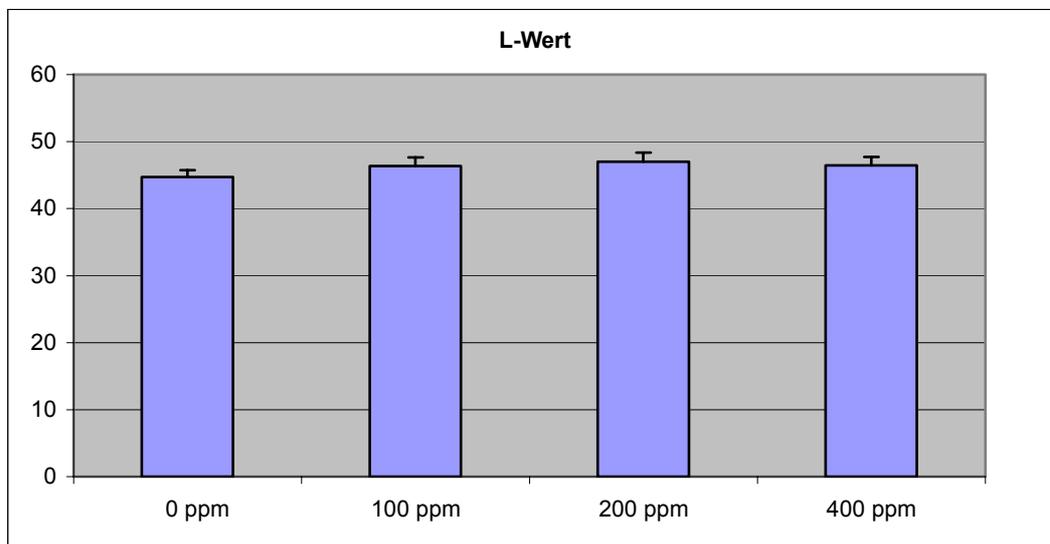


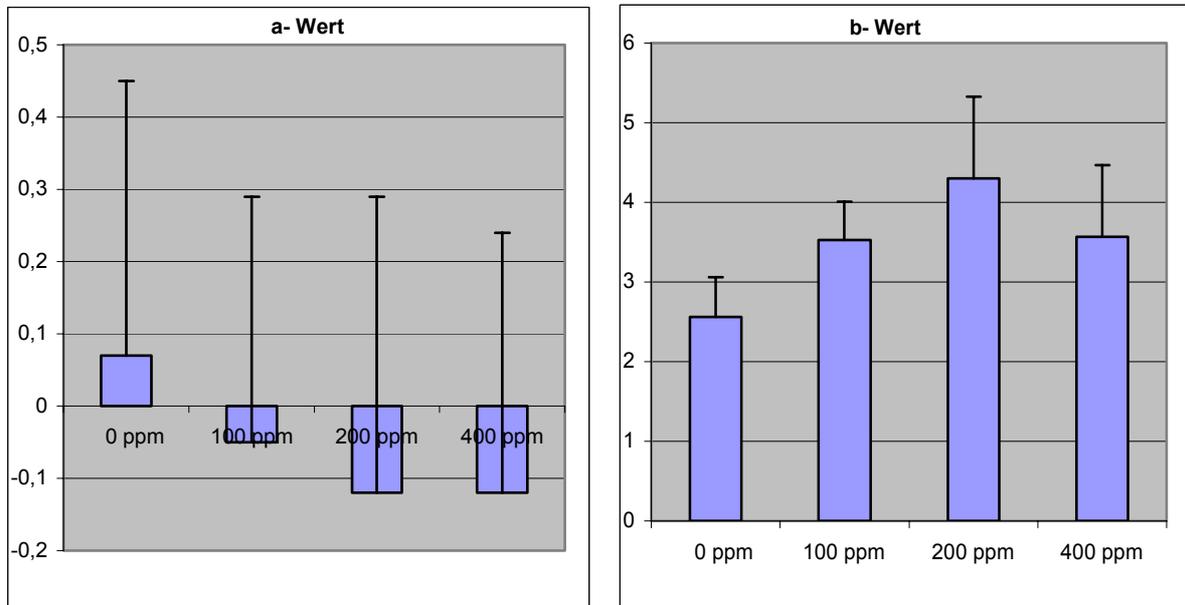
Abbildung 16: L-Wert (Fleischhelligkeit) der 4 Versuchsgruppen im Vergleich direkt nach der Schlachtung

Reiter (2001) gibt folgende Richtwerte als normal für Regenbogenforellen aus Intensivzuchten an:

L-Wert: ca. 43
a-Wert: ca. +1
b-Wert: ca. +2

Bei der Auswertung der a-Werte lag die Kontrollgruppe leicht im positiven Bereich, wohingegen alle Seltenen Erden Gruppen leicht negative Werte besaßen. Keine der Werte war signifikant verändert gegenüber den anderen (siehe Abb. 17). Die negativen Daten bedeuten eine geringgradige Verschiebung der Farbe in das grünliche Farbspektrum, welche aber mit dem blossen Auge nicht erkennbar ist. Ziel ist ein leicht positiver Wert, der dem Filet eine geringe Rotfärbung verleiht. Auch beim b-Wert entspricht die Kontrollgruppe eher dem Idealwert bei der Farbbewertung von 2. Aus Abb. 18 lässt sich ersehen, dass die 0ppm-Gruppe einen signifikant erniedrigten Wert im Vergleich zu den REE-supplementierten. Höhere b-Werte sprechen für eine Verschiebung der Fleischfarbe in Richtung gelb. Dies kann vor

allem durch übermäßige Aufnahme von pflanzlichen Stoffen, Algen oder bestimmten Crustaceen geschehen (Hoppe, 1972). Alle vier Versuchsbecken lagen direkt nebeneinander, hatten die gleiche Wasserzuspeisung und waren mit Gittern versehen. Im Falle eines ungewollten Auftretens von pflanzlichen Substanzen, hätten alle Fische gleichen Zugang zu diesen erhalten. Da es sich zudem um Glasfaserbecken handelte, war ein natürliches Vermehren von Pflanzen und Kleinlebewesen darin so gut wie unmöglich.



Abbildungen 17 + 18: a-Wert (rot bis grün- Färbung) und b-Wert (gelb bis blau- Färbung) der Versuchsgruppen mit Standardabweichung

5.1.3.3. Fleischfestigkeit

Die Fleischfestigkeit von 10 Filets pro Gruppe wurde 24 Stunden nach der Schlachtung gemessen. Sie dient als Qualitätsmerkmal und gibt Auskunft über die innere Beschaffenheit des Filets. Schwerere Fische lagern vermehrt fibröse Proteine in das Muskelfleisch ein, welche die Fleischfestigkeit erhöhen. Hohe pH-Werte im Fischfilet ergeben eine höhere Festigkeit. Eine Fütterung mit geringem Protein- oder Fettanteil hingegen verringert die Werte. Die Parameter Alter, Gewicht und Nährstoffabweichungen sind als beeinflussende Faktoren auszuschliessen, da die geschlachteten Fische gleichen Alters, etwa gleichen Gewichts und mit den gleichen Rohnährstoffen versorgt waren.

Die Fleischfestigkeit der Kontrollgruppe zeigte sich signifikant erniedrigt im Vergleich zu den dicht zusammenliegenden Werten der REE-Gruppen (siehe Abb. 19). Jedoch liegt die Signifikanz an der statistischen Nachweisgrenze.

Alle Werte befanden sich im Normbereich und entsprechen den erreichten Ergebnissen anderer Arbeiten (Kuznik, 2001).

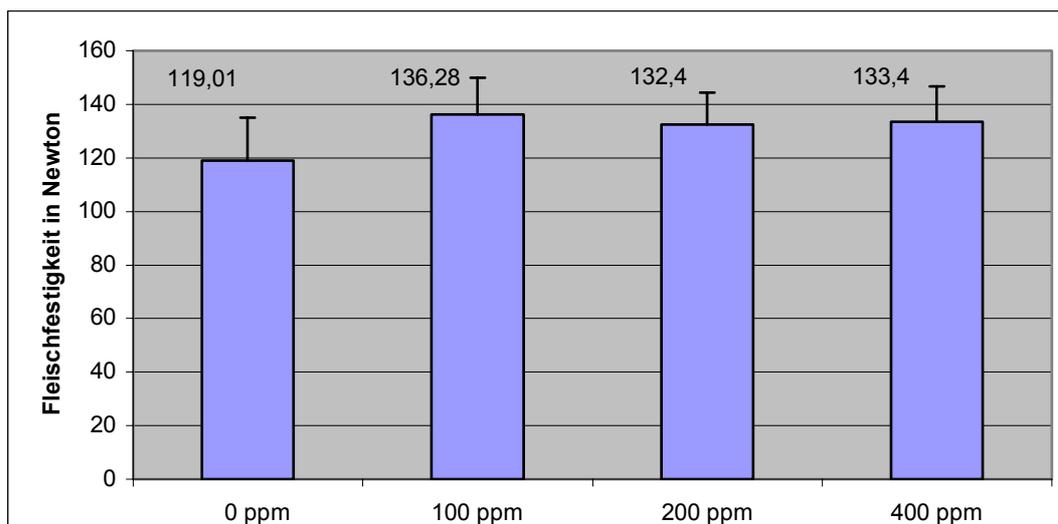


Abbildung 19: Durchschnitt der Fleischfestigkeit von je 10 Filets der 4 Versuchsgruppen 24 Stunden nach der Schlachtung

Eine Abweichung von 15 Skaleneinheiten macht sich in der Konsistenz des Filets für den Verbraucher nicht bemerkbar. Oft fehlt sogar eine Korrelation zwischen Fleischfestigkeit und sensorischem Empfinden (Reiter, 2005).

5.1.4. Weender Analyse

Die Nährstoffanalyse nach Weender ergab bei den jeweils sechs untersuchten Filets der vier Versuchsgruppen keine signifikante Beeinflussung der Zusammensetzung durch den Zusatz Seltener Erden. Verglichen wurden der prozentuale Anteil der TS an der ursprünglichen Substanz und der prozentuale Gehalt von Rohprotein und Rohfett in der TS des Fischfilets (siehe Abb. 20).

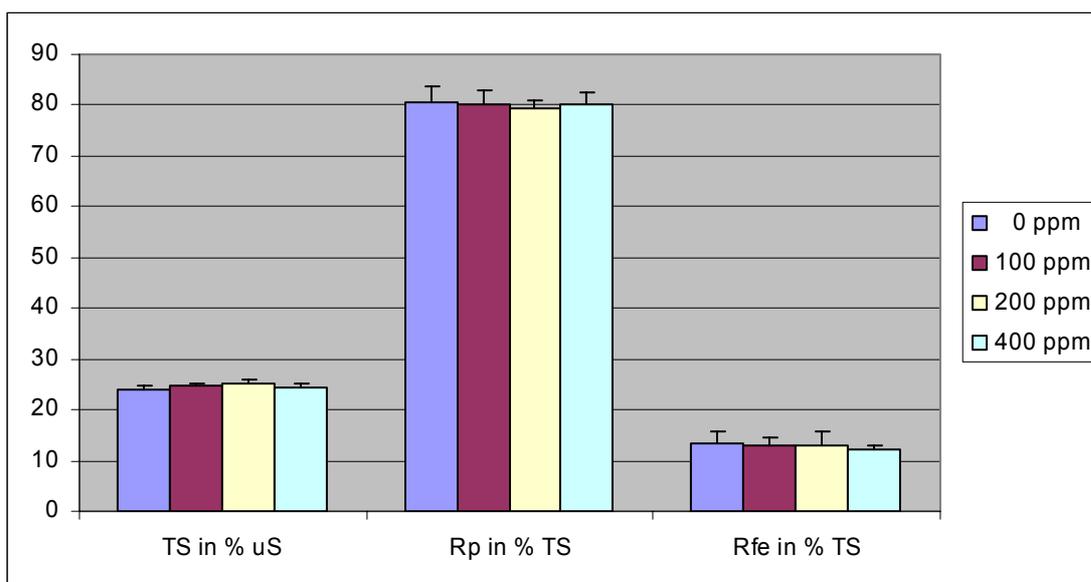


Abbildung 20: Trockensubstanz in % der ursprünglichen Substanz, Rohprotein und Rohfett in % der Trockensubstanz (TS)

Alle ermittelten Durchschnittswerte lagen in dem Zahlenbereich, welcher in der Literatur als Normbereich gilt. Souci et al. (1994) geben für Rohprotein einen Normbereich von 76,0%-85,2% und für Rohfett zwischen 8,0% bis 19,2% an.

Es ist kein Effekt der Seltenen Erden auf die Rohnährstoffzusammensetzung von Forellen zu erkennen.

5.2. Fütterungsversuch mit Karpfen

Mit der gleichen Fragestellung wie bei dem Forellenversuch, startete parallel ein Fütterungsversuch mit einjährigen (einsömrig) Karpfen. Auch hier sollte ein eventueller Effekt von Seltenen Erden auf das Gewicht und auf die Futtermittelverwertung überprüft werden. Als erfahrener Kooperationspartner, in einer ausgesprochenen Region für Karpfenteichwirtschaft, stand uns die Aussenstelle für Karpfenzucht des Instituts für Fischerei in Höchststadt an der Aisch zur Seite. Die Versuchsbedingungen wurden auch hier so gewählt, dass sie möglichst den chinesischen Bedingungen, als auch den Standards der üblichen semi-intensiven Karpfenteichwirtschaft entsprachen. Zur Durchführung standen 8 paarweise, gleichgrosse Naturteiche, ausgerüstet mit Pendelautomaten, zur Verfügung, die mit einer Besatzdichte von ca. 9500 Karpfen/ ha mit Tieren aus eigener Nachzucht besetzt wurden. Vier Teiche erhielten ein mit 400ppm REE-Citrat versetztes Futter, die anderen vier Teiche das Kontrollfutter.

Die Konditionierung bzw. Standardisierung von Fütterungsversuchen mit Karpfen gestaltet sich trotz gleichen Besatzes und paarweisen, gleichgrossen Teichen, im Allgemeinen schwieriger als mit Forellen. Auf der einen Seite kann der Anteil der Naturnahrung (Plankton und Kleinlebewesen) in den Teichen erheblich variieren und schwer abgeschätzt werden, auf der anderen Seite sind pH, Temperatur und Sauerstoffsättigung nicht so konstant zu halten wie in der Forellenzucht. Bereits bei kurzzeitigen Veränderungen der physikalischen Verhältnisse, wirkt sich dies langfristig auf die Entwicklung des Karpfengewichts aus.

5.2.1. Gewichtsentwicklung

Die Gewichtsentwicklung der Tiere wurde über einen Zeitraum von 14 Wochen verfolgt. Dazu wurden zu Beginn des Versuches alle 8 Teiche mit der gleichen Dichte an Fischen besetzt und das Gewicht bzw. die Anzahl der Tiere pro Teich bestimmt. Nach jeweils 4 Wochen erfolgten Zwischenwägungen von 10 zufällig gefangenen Fischen, um die Entwicklung des Gewichtsverlaufs dokumentieren zu können. Abb. 21 zeigt deutlich, dass sich die Gewichte der Teichpopulationen erheblich unterschiedlich entwickelten.

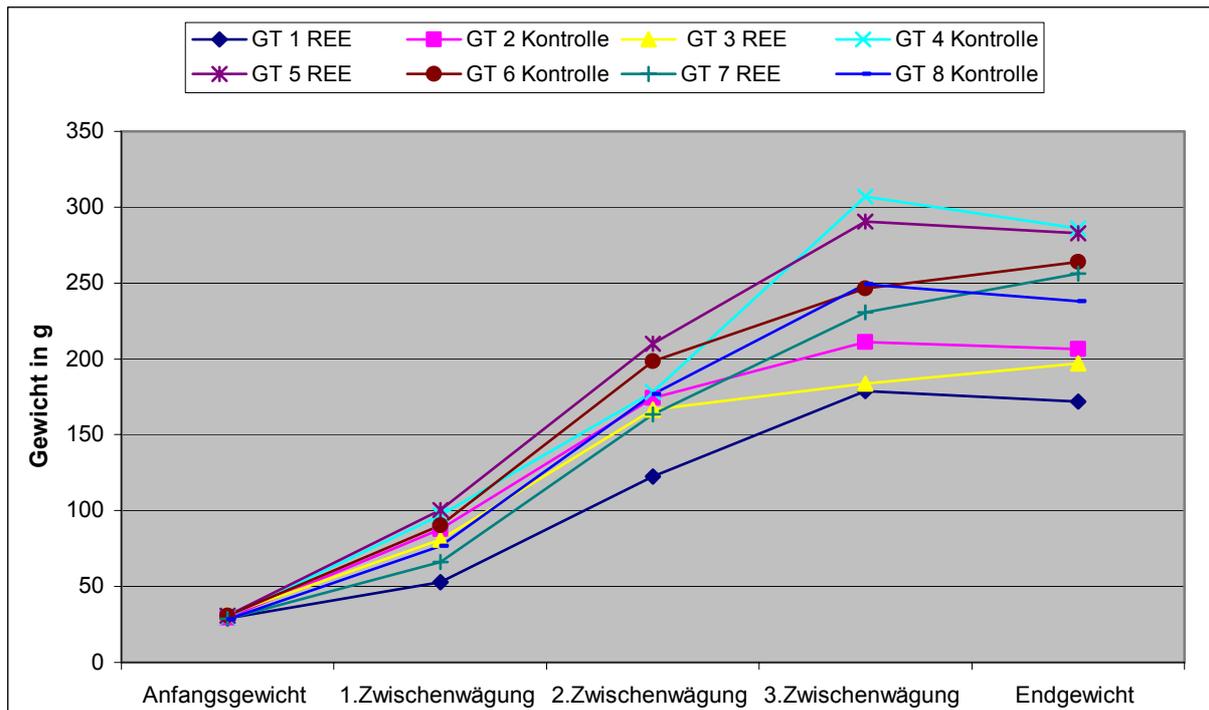


Abbildung 21: Gewichtsentwicklung der Fische in den jeweiligen Teichen (n=8), REE-Futter mit 400ppm REE/kg Futter

Die vermeintlich höheren Gewichte bei der 3. Zwischenwägung im Vergleich zum Endgewicht sind zufällig aufgetreten. Bei dieser Wägung wurden offensichtlich mehr schwerere Karpfen, als es der Durchschnitt widerspiegelt, gefangen.

Die gleiche Erklärung gilt auch für die phasenweise, während den Zwischenwägungen, auftretenden signifikanten Unterschiede einzelner Teiche zueinander. Entscheidend für die Auswertung waren aber das Anfangs- und Endgewicht und die auftretenden Gewichtszunahmen.

Zum Zeitpunkt des Teichbesatzes lagen alle Gruppen mit ca. 30g Anfangsgewicht dicht zusammen. Um einen sinnvollen Vergleich anstreben zu können, werden immer die beiden parallel gelegenen Teiche miteinander verglichen. Teich 1 blieb schon direkt nach dem Besatz in der Produktivität hinter allen anderen Teichen zurück. Im Vergleich zu seinem analogen Teich 2 lag er um 15% im Durchschnittsgewicht dahinter. Noch extremer divergierten die Ergebnisse von Teich 3 und 4.

Zwischen ihnen existierte am Ende ein Unterschied von 30% in der Gewichtsentwicklung. Die Erklärung wird dem sprunghaften Auftreten und Vermehren des Blaubandbärblings zugeschrieben. Er ist ein unerwünschter, vermehrungsfreudiger Kleinfisch in der Karpfenteichwirtschaft, der als Störenfried und v.a. als Nahrungskonkurrent gilt.

Auch unter natürlichen Bedingungen können sich die Karpfen von eigentlich morphologisch gleichen Teichen erheblich unterscheiden. Dies begründet sich grobsteils über die Menge an verfügbarer Naturnahrung, die sich in jedem Teich in unterschiedlicher Masse entwickeln kann (Steffens, 1969). So könnte auch das Missverhältnis von Teich 1 und 2 erklärbar sein. Auch die scheinbare verbesserte Gewichtsentwicklung von Teich 5 zu 6 und Teich 7 zu 8 könnte dadurch begründet sein. Allerdings würden die höheren Gewichtszunahmen von etwa 10% zu Gunsten der REE-Gruppen in den beiden letzten Teichpaaren in etwa die erzielten Ergebnisse von Tang et. al. (1997) mit 16% mehr Zuwachs, bestätigen. Würden also die Teiche

5-8 getrennt von den Teichen 1-4 betrachten, wäre durchaus ein konstanter positiver Effekt zu diskutieren.

Die Auswirkung verschiedener REE-Zusätze wurde bereits bei der Forellenfütterung besprochen. Tang et. al. (1998) erreichte aber mit REE-Citraten eine Gewichtsverbesserung um 24% und mit REE-VIT. C bzw. REE-Methionin+Lysin sogar Steigerungen um 27 bzw. 29%. Obwohl Vitamin C und die beiden AS-Zusätze theoretisch eine Optimierung bewirken können, sind die Mengen von max. 400ppm nur im Bereich von 1% des Tagesbedarfs für Karpfen (Cowey, 1994). Auch hier fehlen genaue Angaben zum chinesischen Versuchsaufbau und der Futterzusammensetzung.

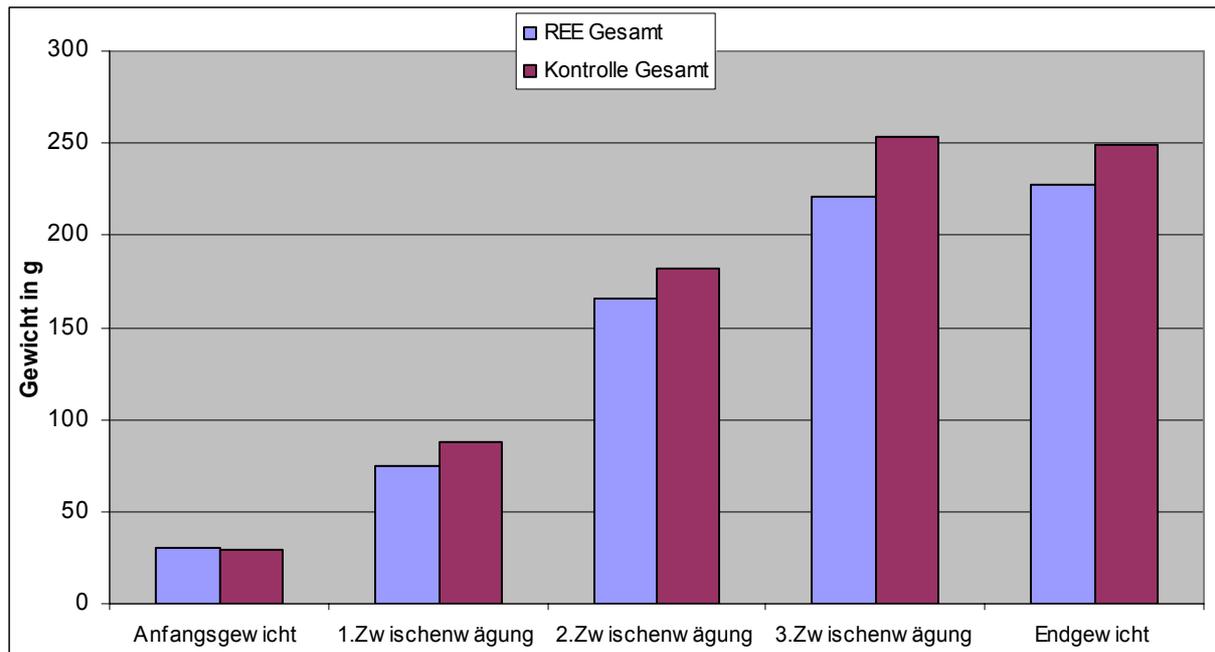


Abbildung 22: Entwicklung der Durchschnittsgewichte der beiden gesamten Versuchsgruppen errechnet aus je vier Teichen

Abb. 22 beleuchtet die Entwicklung der Durchschnittsgewichte der gesamten REE- bzw. Kontrollgruppe. Das Gewicht der Kontrollgruppe lag zu jedem Zeitpunkt nach dem Besatz in etwa 10% über dem der REE- Gruppe

5.2.2. Futterquotient

Der Futterquotient gibt an wieviel kg Futter benötigt wird, um ein kg Lebendmasse hinzuzugewinnen. Man unterscheidet einen absoluten FQ, der die Aufnahme von Naturnahrung und Zufütterung bewertet, und einen relativen FQ, der nur die Mengen an Zufutter beinhaltet. Ersterer kann aber in der praktischen Teichwirtschaft so gut wie nicht errechnet werden.

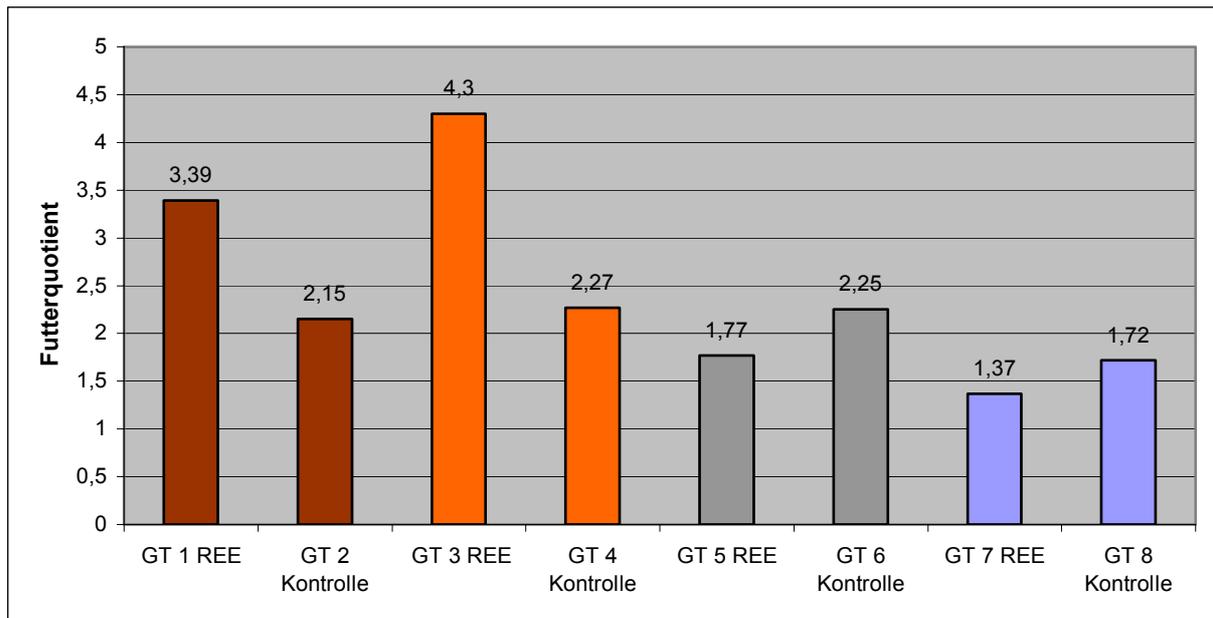


Abbildung 23: Futterquotienten der 8 Fischgruppen über den gesamten Versuchszeitraum gegenübergestellt, identische Teiche mit derselben Farbe gekennzeichnet

Ähnlich wie die Durchschnittsgewichte am Ende des Versuchs, differieren auch die Futterquotienten extrem. Zur genaueren Betrachtung sollen aber nur die paarweise gleichen Teichen (siehe Abb. 23, identische Teiche mit derselben Farbe) verglichen werden.

Aufgrund der erheblichen Abweichungen der Futterquotienten einzelner Teiche, ist es sehr schwierig eine eindeutige, klare Aussage über Tendenzen oder Einflüsse der Seltenen Erden auf die Futterverwertung zu treffen.

Eine Erklärung für diese Schwankungen wäre, dass sich in den betroffenen Teichen die Mikroflora und Fauna sehr schlecht entwickelte und somit nur wenig Naturnahrung für die Fische zur Verfügung stand. Automatisch verschlechtert sich dadurch der FQ, da die Naturnahrung nicht in die Futterkalkulation miteingehen kann und das Wachstum vorwiegend aus dem Pelletfutter erreicht wird.

In semi-extensiver Bewirtschaftung mit hoher Zufütterung kann ein FQ zwischen 1,3 und 2,2 erreicht werden. Aber auch ein relativer Futterquotient zwischen 2 und 3, in welchem auch der Gesamtdurchschnitt der 4 REE- bzw. Kontrollteiche liegt, wird noch als guter Durchschnitt angesehen (Lukowicz, 1997).

Tang et. al. (1997) verbesserte den FQ der Kontrollgruppe von 2,6 auf 2,3 bei 300ppm und auf 2,2 bei 400ppm REE-AS Zusatz. Wie bei der Forellenfütterung stellt sich auch hier die Frage, ob nicht bei suboptimaler Nährstoffzusammensetzung der Zusatz von Seltenen Erden einen Effekt erzeugen könnte. Die Futterverwertung in den chinesischen Versuchen gleicht sich im Karpfenversuch eher unseren erzielten Ergebnissen an, als im Forellenversuch.

In unserem Versuch konnte kein ergotroper Effekt der Seltenen Erden bei Karpfen nachgewiesen werden.

5.2.3. Weender Analyse der Karpfenfilets

Um Veränderungen durch den Einsatz von REE-Gemischen auf die Körperzusammensetzung von Karpfen zu testen, wurde eine Weender Analyse der Karpfenfilets (ohne Haut) durchgeführt. Oberle (1995; 2003) gibt eine enge Varianz zwischen 18-19% (in uS) für das Rohprotein im Filet an und eine weite Streuung des Fettgehalts von 2-12% (in uS), der sehr stark von der Futterzusammensetzung abhängig ist. Bei intensiver kohlenhydratreicher Fütterung sind Fettgehalte über 13% möglich (Steffens, 1974). Rechnet man die Analysenwerte in Prozentangaben auf die ursprüngliche Substanz um, stimmen diese mit den Angaben von Oberle überein.

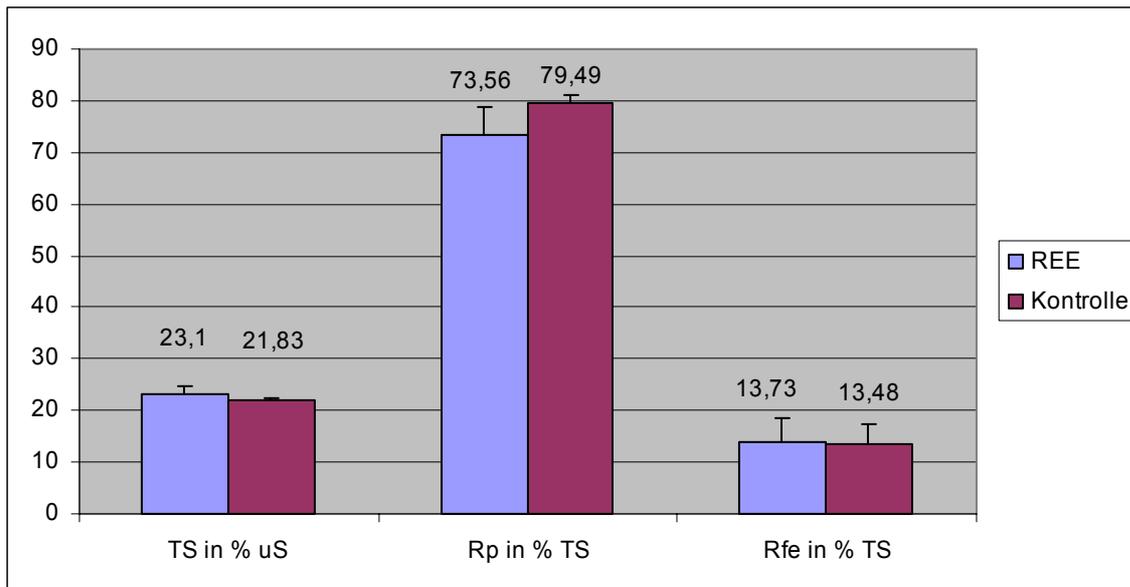


Abbildung 24: Trockensubstanz in % der ursprünglichen Substanz (uS), Rohprotein und Rohfett in % der Trockensubstanz (TS)

Abbildung 24 verdeutlicht die Ergebnisse der Weender Analyse. Da alle Parameter in den üblichen Normbereichen liegen, bedeutet dies, dass der Zusatz von Seltenen Erden die Gehalte von Rohfett und Rohprotein im Karpfenfilet nicht beeinflusst.

6. Zusammenfassung

In den vorliegenden Untersuchungen sollte die Wirkung von Seltenen Erden (REE) auf Leistungs- und Qualitätsparameter von Nutzfischen überprüft werden. Ausgehend von Daten aus China, wo Seltene Erden-Gemische mit beachtlichem Erfolg als Leistungsförderer bei fast allen landwirtschaftlich nutzbaren Tierarten eingesetzt werden, war es Ziel der vorliegenden Versuche, die chinesischer Untersuchungen und Ergebnisse in der Fischzucht unter westlichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen zu überprüfen. Da sich bereits in mehreren Fütterungsversuchen unserer Arbeitsgruppe ein REE-Citrat-Gemisch beim Schwein als wirksamste Verbindung erwiesen hat, sollte nun ein Fütterungsversuch mit dieser Verbindung bei den beiden wichtigsten Fischarten in der Süßwasserfischproduktion, dem Karpfen (*Cyprinus carpio L.*) und der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*), durchgeführt werden.

In einem ersten Versuch mit Regenbogenforellen wurde in ein pelletiertes, praxisübliches Forellenalleinfutter ein Seltene Erden-Citrat-Gemisch in einer Konzentration von 0ppm, 100ppm, 200ppm und 400ppm homogen eingemischt. Die Fische hatten ein durchschnittliches Anfangsgewicht von 145g. Pro Fütterungsgruppe wurden 200 Fische eingesetzt. Die Versuchsdauer betrug 12 Wochen. Als Leistungsparameter wurden über diesen Zeitraum Gewichtsentwicklung, Futtermittelverbrauch und Futtermittelverwertung bestimmt. Am Versuchsende wurden die Qualitätsparameter Ausschlagungsgewicht, pH-Wert, Fleischfärbung und Fleischfestigkeit untersucht.

Dabei konnten keine leistungssteigernden Effekte von Seltenen Erden beobachtet werden. Die Fleischqualität der mit Seltenen Erden supplementierten Forellen unterschied sich nicht von den Kontrolltieren.

In einem Karpfenversuch wurden 3050 Tiere mit einem Durchschnittsgewicht von 30g in 8 Naturteiche eingesetzt. Die Kontrollgruppe (4 Teiche) erhielt ein pelletiertes, praxisübliches Karpfenfutter; das Futter der Versuchsgruppe (4 Teiche) wurde mit 400 ppm Seltenen Erden-Citrat supplementiert.

Über einen Zeitraum von 14 Wochen wurden die Gewichtsentwicklung, der Futtermittelverbrauch und die Futtermittelverwertung als Leistungsparameter bestimmt. Nach Versuchsende wurden die Tiere auf Veränderungen ihrer Fett- und Proteingehalte untersucht.

Obwohl einzelne Teiche positive Tendenzen zeigten, konnte insgesamt keine Verbesserung bezüglich Gewichtszunahme bzw. Futtermittelverwertung durch den Zusatz von Seltenen Erden beobachtet werden.

Nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen scheint der Einsatz von Seltenen Erden in der Fischzucht, im Gegensatz zu anderen Nutztierarten, keine Verbesserung der Leistung zu erzielen.

7. Summary

Rare Earth Elements (REE) as growth promoter in fish-farming. Studies on rainbow trout and carp

The purpose of this study was to examine the effects of Rare Earth Elements (REE) on growth performance and meat quality parameters of fresh water fish. The general setting for this nutritional experiment is based on data from China, where remarkable effects have been achieved using REE as growth promoters for almost all agriculturally utilizable species as well as for fish-farming. The goal was to examine whether we could reproduce the results of the Chinese experiments under western livestock husbandry conditions. Since in pig production, our data give highest effects with REE-citrate, this compound was also chosen for the fish studies.

Therefore a feeding experiment was conducted with carps (*Cyprinus carpio* L.) and rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*), known as the most common species in the production of fresh-water fish.

For the first experiment a REE-citrate mixture was homogenously mixed into a trout diet at a concentration of 0ppm, 100ppm, 200ppm and 400ppm. The rainbow trouts had an average initial weight of 145g and were divided into four groups of 200 fish each. For 12 weeks the parameters weight gain, feed-intake and feed-conversion ratio were determined. At the end of the experiment the weight of fish fillet, pH-Value, meat colour und fish meat texture were analysed.

No positive effects of the REE on growth performance and feed-conversion ratio could be observed. The meat quality of the REE-groups did not differ from that of the control group.

In the carp experiment 3050 animals with an average initial weight of 30g were distributed to eight natural ponds. The control group (4 ponds) obtained a customary pellet diet for carp; the experimental group (4 ponds) obtained the diet supplemented with REE–citrate to maintain a concentration of 400ppm. Over a period of 14 weeks the development of weight gain, the feed-intake and the feed-conversion ratio were documented as performance parameters. After the experiment the changes in the content of fat and protein in fish were examined.

Although several ponds displayed positive tendencies, the total result was that the supplement of REE does not influence body weight gain rate or feed-conversion ratio in a positive way.

These results indicate that REE, supplemented to fish, does not improve any performance parameters of fish, contrary to other farm animals.

8. Literaturverzeichnis

Adams, M.A., Johnson, P.B. (1986)

A solid matrix bioassay for determining chemical feeding stimulants
Progr. Fish-Cult. 48: 147-149

Adron, J.W., Mackie, A.M. (1978)

Studies on the chemical nature of feeding stimulants for rainbow trout
J. Fish Biol. 12: 303-310

Ahmad, T.S., Matty, A.J. (1989)

The effect of feeding antibiotics on growth and body composition of carp (*Cyprinus carpio*)
Aquaculture, 77(2-3), 211-220

Akiyama, T., Arai, T., Nose, T. (1986)

Threonine, histidine and lysine requirements of chum salmon fry
Ph. D dissertation, University of Kyushu, Japan

Akiyama, T., Murai, T., Nose, T. (1982)

Effects of various dietary carbohydrates on growth, feed efficiency and body composition of chum salmon fry
Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult. (Jpn) 3: 75-80

Åman, P., Graham, H. (1987)

Mixed-linked (1-3), (1-4)- β -D-glucans in the cell wall of barley and oats, chemistry and nutrition
Scand. J. Gastroenterol. 22 (Suppl. 129), 42

Andrews, J.W., Murai, T., Page, J.W. (1980)

Effects of dietary cholecalciferol and ergocalciferol on catfish
Aquaculture 19: 49-54

Arvela, P. (1977)

Toxicity of Rare-Earths
Progr. In Pharmacology 2 (3), 69-73

Atkinson, J.L., Hilton, J.W. (1981)

Response of rainbow trout to increased dietary carbohydrate
FASEB 40: 3486

Becker, K., 1986

Futter und Fütterung –Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland
Der Fischwirt, 36 (6), 43

Bell, M.V., Henderson, R.J., Sargent, J.R. (1986)

The role of polyunsaturated fatty acids in fish
Comp. Biochem. Physiol. 83B: 711-719

Bell, J.G., Cowey, C.B., Adron, J.W., Pirie, B.J.S. (1987)

Some effects of selenium deficiency on selenium levels and selenium-dependent tissue peroxidation in Atlantic salmon parr
Aquaculture 65: 43-54

Bell, J.G., Cowey, C.B. (1989)

Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fish meal, selenite, selenomethionine and selenocystine in Atlantic salmon
Aquaculture 81: 61-68

Berg, A. (1968)

Studies on the metabolism of calcium and strontium in freshwater fish.
Relative contribution of direct and intestinal absorption
Mem. 1st. Ital. Idrobiol. Dott. Maroco Marchi 23: 161-196

Bergot, F. (1979)

Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals n growth and body composition
Aquaculture 18: 157-167

Bergot, F. (1981)

Etude de l'utilisation digestive d'une cellulose purifiée chez la truite arcen- ciel et la carp commune
Reprod. Nutr. Develop. 21, 83-93

Birnbaum, E.R., Gomez, J.E., Darnall, W. (1970)

Rare earth metal ions as probes of electrostatic binding sites in proteins
J. Am. Chem. Soc. 92, 5287-5288

Birzer, D. Und Gropp, J. (1991)

Futterzusatzstoffe im Rampenlicht.
Krafftutter, 10, 436 – 440
Krafftutter, 11, 518 – 523

Blume, R. (2001)

Das Vorkommen der Lanthanoide
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/lanthan/vorkomm.htm>

Blutke, A., Meissner, J., Magnis, J.v. (2004)

Das Fressverhalten von Karpfen und Welsen in Naturteichen
Der Fischwirt 18, S. 20- 23, 2004

Böhme, H., Fleckenstein, J., Hu, Z.Y., Schnug, E. (2002a)

Bilanzversuche zum Einsatz von Seltenen Erden in der Schweinemast
114. VDLUFA-Kongress in Leipzig, 16.-20. September 2002, Manuskript zum Vortrag

Böhme, H., Fleckenstein, J., Schnug, E. (2002b)

Einfluss von Seltenen Erden auf die Verdaulichkeit beim Schwein
Jahresbericht 2002 der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 59-60

Borger, C. (2003)

Alternative Methoden in der Schweinemast: Untersuchungen zum leistungssteigernden Potential Seltener Erden und zur Jodanreicherung im Gewebe durch die Verfütterung von Meeresalgen
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation

Bowen, J.R. (1979)

Dietary protein requirements of fishes- a reassessment
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 1995-2001

Browser, P.R., Landy, R.B., Wooster, G.A., Babish, J.G. (1988)

Efficiency of elevated fluoride for the control of Renibacterium salmoninarum infection in rainbow trout
J. World Aquaculture Soc. 19: 1-6

Buhler, D.R., Halver, E.J. (1961)

Nutrition of salmonid fishes and carbohydrate requirements of chinook salmon
J. Nutr. 74: 307-318

Carr, W.E., (1982)

Chemical stimulation of feeding behavior
In Chemoreception in Fishes, ed. T.J. Hara, pp. 259-273. Elsevier, Amsterdam

Castell, J.D., Sinnhuber, R.O., Wales, J.H., Lee, D.J. (1972)

Essential fatty acids in the diet of rainbow trout: Growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms
J. Nutr. 102: 77-86

Chang, J., Zhu, W., Zhang, L., Xiong, J., Zhang, J., Hu, Z. (1998)

Study on environmental effects of rare earth elements
2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain, 15.-17. November 1998, Wuhan, China, 24

Cheng, Q., Gao, J., Jing, B., Pong, X. (1994)

The apparent digestibility of Rare Earth Elements and their effect on crude protein and fat digestibility in pigs.
Jiangsu Agriculture Sci. (Chinese), 1, 59 – 61

Cheng, Z.J., Hardy, R.W. (2004)

Effects of microbial phytase in corn distiller's dried grain solubles on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout
Journal of Applied Aquaculture, 2004; 15(3/4): 83-100

Cheng, Z.J., Hardy, R.W., Verlhac, V., Gabaudan, J. (2004)

Microbial phytase supplementation: effect on soyabean digestability in rainbow trout
International Aquafeed , 2004; 7(4): 26-32

Cho, C.Y. (1982)

Effects of dietary protein and lipid levels on energy metabolism of rainbow trout
Energy metabolism of Farm Animals, A. Ekern and F. Sundstl., eds. Norway: European Association of Animal Production, pp. 175-183

Cho, C.Y., Kaushnik, S.J. (1990)

Nutritional energetics in fish: Energy and Protein utilization in rainbow trout
World Rev. Nutr. Diet. 61: 132-172

Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1979)

Apparent digestibility measurement in feedstuffs of rainbow trout
Finfish Nutrition and Fishfood Technology, vol. 2, 239-247

Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1980)

Effect of water temperature on energy utilization in rainbow trout
Energy metabolism, Mount, L.E., Butterworth, London, 287-291

Choo, P.S. (1990)

Leucine nutrition of the rainbow trout
M.Sc. thesis, University of Guelph, Ontario, Canada

Choubert, G., Storrebakken, T. (1989)

Dose response to asthaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various carotenoid concentrations
Aquaculture 81: 69-77

Christiansen, R., Lie & Torissen, O. J., 1995

Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during first feeding of Atlantic salmon
Aquaculture and Fisheries Management , 25: 903-914

Cotton, F.A., Wilkinson, G. (1966)

Advanced inorganic chemistry
Interscience Publishers, Wiley & Sons (Hrsg.)

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Gaus, P.L. (1990)

Scandium, Yttrium, Lanthan und die Lanthanoide
In: Grundlagen der anorganischen Chemie, Verlag Chemie Weinheim, 1990

Cowey, C.B. and Walton, M.J. (1989)

Intermediary metabolism
Fish Nutrition 2d. ed., p. 259-329

Cravedi, J.-P., Choubert, G., Delous, G. (1987)

Digestibility of Chloramphenicol, Oxolinic Acid and Oxytetracycline in Rainbow Trout and Influence of these Antibiotics on Lipid Digestibility
Aquaculture, 60 (1987), 133-141

Dabrowska, H., Gunther, K.D., Meyer-Burgdorff (1989)

Interactions between dietary protein and magnesium level in tilapia
Aquaculture 76: 277-291

Dabrowski, K. (1990)

Ascorbic acid status in the early life of whitefish
Aquaculture 84: 61-70

Das, T., Sharma, A., Talukder, G. (1988)

Effects of Lanthanum in Cellular Systems
Biol. Trace Elem. Res. 18, 201-228

Davies, S.J. (1988)

The role of dietary fibre in fish nutrition
Recent advances in Aquaculture, J.F. Muir and R.R. Roberts, eds., London, 219-249

Dedl, H., Elssenwenger, T. (2000)

Phytogetic feed additives - an alternative?
Intern. Pig Topics, 15 (6), 1-2

Desjardins, L.M., Hicks, B.D., Hilton, J.W. (1987)

Iron catalyzed oxidation of trout diets and its effect on the growth and physiological response of rainbow trout
Fish Physiol. Biochem. 3: 173-182

Donaldson, E.M., Hunter, G.A. (1983)

Induced final maturation, ovulation and spermiation in cultured fish
Fish Physiology 9B, 351-403

Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H., Hamilton, J.G. (1956)

Metabolism of the Lanthanons in the Rat
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 91, 78-85

Eisele, N. (2003)

Untersuchungen zum Einsatz Seltener Erden als Leistungsförderer beim Schwein
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation

Evans, C.H. (1990)

Biochemistry of the lanthanides
Plenum Press, New York and London, 1990

Fawzi, A.B., McNeill, J.H. (1985)

Effect of Lanthanum on the inotropic response of isoproterenol: role of the superficially bound calcium
Can. J. Physiol. Pharmacol. 63, 1106-1112

Fengler, A.I., Marquardt, R.R. (1988)

Water-soluble pentosans from rye. II. Effects on rate of dialysis and on the retention of nutrients by the chick.
Cereal Chem. 65, 298-302

Finke, M.D., DeFoliart, G.R., Benevenga, N.J. (1987)

Use of simultaneous curve fitting and a four- parameter logistic model to evaluate the nutritional value of protein sources at growth rates of rats from maintenance to maximum gain
J. Nutr. 117: 1681-1688

Francesco, M. de, Parisi, G., Medale, F., Lupi, P., Kaushik, S.J., Poli, B. (2003)
Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout
Aquaculture, Volume 236, Issues 1-4, 2004, 413-429

Freitag, M., Hensche, H.-U.; Schulte-Sienbeck, H., Reichelt, B. (1999)
Biologische Effekte konventioneller und alternativer Leistungsförderer
Krafftutter 2, 49-57

Fuller, R. (1989)
Probiotics in man and animals
J. Appl. Bact. 66, 365-378

Fuller, R. (1992)
History and development of probiotics.
In: Probiotics. The scientific basis (Hrsg. Fuller, R.) Chapman & Hall, London, 1 – 8

Fuller, R., Gibson, G.R. (1997)
Modification of the intestinal microflora using probiotics and prebiotics
Scand. J. Gastroenterol. 32 (Suppl. 222), 28-31

Furuichi, M., Yone, Y. (1982)
Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48: 945-948

Gahl, M.J., Finke, M.D., Crenshaw, T.D., Benevenga, N.J. (1991)
Use of a four parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid
J. Nutr. 121: 1720-1729

Garling, D.L., Wilson, Jr., R.P. (1977)
Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish
Prog. Fish- culturist 39: 43-47

Gatlin, D.M., Wilson, R.P. (1984)
Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish
J. Nutr. 114: 627-633

Gatlin, D.M., Wilson, R.P. (1986)
Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish
Aquaculture 52: 191- 198

Gedek, B. (1981)
Zur Wirkung von Kupfer im Tierfutter als Selektor antibiotikaresistenter E.-coli-Keime beim Schwein.
Tierärztl. Umschau, 36, 6 – 21

Gedek, B. (1990)

Zum Einsatz von Probiotika beim Kalb.
Tierärztl. Umschau, 45, 45 – 46

Gedek, B. (1993)

Probiotika als Bioregulatoren.
4. Symposium „Vitamin und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier“ am 30.9. –
1.10.1993 in Jena/Thüringen, 253 - 262

Gedek, B. (1994)

Probiotika
Übers. Tierernährg. 22, 134-140

George, J.C., Barnett, B.J., Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1981)

Vitamin D₃ and muscle function in the rainbow trout
Cytobios 31: 7-18

Gibson, G.R., Roberfroid, M.B. (1995)

Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of
prebiotics
J. Nutr. 125, 1401-1412

Goddard, S. (1996)

Feed Management in Intensive Aquaculture
Capman & Hall (Hrsg.)

Goh, Y., Tamura, T. (1980)

Effect of amino acids on the feeding behaviour of red sea bream
Comp. Biochem. Physiol. 66C: 225-229

Goldstein, L., Foster, R.P. (1970)

Nitrogen Metabolism in Fish
Comparative Biochemistry of Nitrogen Metabolism, The Vertelersatts, J.W. Campbell,
ed. New York: Academic press, 495-515

Gollnisch, K. und Halle, I. (2001)

Effekte von ätherischen Ölen und Kräutern in der Tierernährung.
Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier,
8. Symposium, 26./27. Sept. 2001, Jena, Thüringen, 197 - 204

Gorschkova, G.L., Dvinin J.F. (1984)

Der Einfluss einiger Fermentpräparate auf Wachstum und chemische
Gewebegehalte beim zweisömmrigen Kisutsch- Lachs
Rybnoe chozjaistvo, Moskava (1984) 8, S. 40-42

Greife, H.A., Berschauer, F. (1988)

Heutige Leistungsförderer vor dem Hintergrund neuer Entwicklungen
Krafftutter 1, 18-22

Gschneidner, K.A. (1978)

Handbook on the Physics and chemistry of rare earths
Eyring, L.R., Gschneidner, K.A. (Hrsg.)
Amsterdam, North Holland Publ. Co., 1978

Günther, K.D. und Adiarto (1991)

Ätherische Öle als Futterzusatzstoffe mit verdauungsfördernden Eigenschaften.
In: Flachowsky, G., Schöne, F. und Hennig, A. (Hrsg.): Vitamine und weitere
Zusatzstoffe
bei Mensch und Tier. 3. Symp. 26.- 27.9.1991, Stadtroda bei Jena: 407 – 411

Günther, K.D., Bossow, H. (1998)

The effect of etheric oil from oreganum vulgaris in the feed ration of weaned pigs on
their daily feed intake, daily gains and food utilization
In: 15th Int. Vet. Pig Soc. Congr., Birmingham, Proc., 223

Gutierrez, J., Asgard, T., Fabbri, E., Plisetskaya, E.M. (1991)

Insulin receptor binding in skeletal muscle of trout
Fish Physiol. Biochem. 9: 351-360

Guo, B.S., Zhu, W.M., Xiong, B.K. (1988)

Rare earth elements in agriculture.
Chinese Agriculture Press, Beijing, 117 -119

Haberer, B., Schulz, E. (1998)

Zum Einfluss NSP- hydrolysierender Enzyme in der Schweinefütterung
Übers. Tierernährg. 26, 25-64

Haley, T.J. (1979)

Toxicity
In: Handbook on the Physics and chemistry of rare earths, Vol. 4;
Eyring, L.R., Gschneidner, K.A. (Hrsg.)
Amsterdam, Elsevier/North Holland Publ. Co., 553-585

Haley, T.J. (1985)

Toxicity of Rare Earths
In: Xu, G., Xiao, J. (Hrsg.): New frontiers in rare earth science and applications,
Proceeding of the international conference on rare earth development and
applications

Halle, I., Fleckenstein, J., Hu, Z.Y., Flachowsky, G., Schnug, E. (2002)

Untersuchungen zum Einfluss von Seltenen Erden auf das Wachstum und die
Schlachteistung von Broilern
114. VDLUFA-Kongress in Leipzig, 16.-20. September 2002, Manuskript zum Vortrag

Halver, J.E. (1985)

Recent advances in vitamin nutrition and metabolism in fish
Nutrition and feeding in fish, 415-429

Hanioka, N., Jinno, H., Sekita, H., Toyooka, T., Ando, M., Kijima, S., Takeda. M, (1994)

Metabolism of calcium and phosphorus in rats after continuous oral administration of Lanthanum.

Japan. J. Tox. Env. Health, 40, 26–33

Harada, K. (1989)

Feeding attraction of L-dipeptides for abalone, Oriental weatherfish and yellowtail

Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 55: 1629-1634

Hardy, R.W., Sullivan, C.V., Koziol, K.M. (1987)

Absorption, body distribution and excretion of dietary zinc by rainbow trout

Fish Physiol. Biochem. 3: 133-143

Hazel, J.R. (1979)

Influence of thermal acclimation on membrane lipid composition of rainbow trout liver

Am. J. Physiol. 236: 91-101

Hazel, J.R. (1984)

Effects of temperature on the structure and metabolism of cell membranes in fish

Am. J. Physiol. 246: 460-470

Hazel, J.R. (1985)

Determination of the phospholipids composition of trout gill by latroscan TLC/FID:

Effect of Thermal acclimation

Lipids 20: 516-520

Hazel, J.R., Carpenter, R. (1985)

Rapid changes in the phospholipids composition of gill membranes during thermal acclimation of the rainbow trout

J. Comp. Physiol. B155: 597-602

He, R. and Xia, Z. (1998)

Effect of rare earth compound added to diet on performance of growing-finishing pigs.

Second International Symposium on Trace Elements and Food Chain, Wuhan, China, 12 – 15.11.98

He, M.L. and Rambeck, W.A. (2000)

Rare Earth Elements – a new generation of growth promoters for pigs?

Arch. Anim. Nutr., 53, 323 - 334

He, Y.Z., Wang, J.F., Fang, N.H., Gan, W.E. and Zhao, G.W. (1998)

Effects of rare earth micro-fertilizer on plant physiological indexes and yield of hot pepper.

Chinese Rare Earth, 19, 36 – 40

He, M.L., Wang, Y.Z., Xu, Z.R., Chen, M.L., Rambeck, W.A. (2003)

Effect of dietary rare earth elements on growth performance and blood parameters of rats

J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 87, 1-7

Helmuth, R. (1989)

Zum Problem der Antibiotika-Resistenz.
Bundesgesundhbl., 4, 160 – 162

Henderickx, H.K. (1981)

Zur Wirkungsweise von Wachstumsförderern am Beispiel von Virginiamycin.
In: Aktuelle Themen zur Tierernährung. Wiss. Tag. 21./22. Oktober 1981, Cuxhaven,
Lohmann Tierernährung GmbH: 25 - 32

Hepher, B. (1988)

Vitamins, Nutrition of pond fishes
Cambridge University Press, New York, 224-234

Herman, R.L. (1969)

Oxytetracycline in fish culture- A review
Technical Paper 31, U.S. Fish and Wildlife Service, 1-9

Hertz, Y., Epstein, N., Abraham, M., Madar, Z., Hepher, B., Gertler, A. (1989)

Effects of metformin on plasma insulin glucose metabolism and protein synthesis in
the common carp (*Cyprinus carpio*)
Aquaculture 80: 175-187

Hicks, B.D., Geraci, J.R. (1984)

A histological assesment of damage in rainbow trout fed rations containing
erythromycin
J. Fish Dis. 7: 457-465

Higgs, D.A., Eales, J.G. (1978)

Radiothyroxine kinetics in yearling brook trout on different levels od dietary intake
Can. J. Zool. 56: 80-85

Hilton, J.W., Hodson, P.V., Slinger, S.J. (1980)

The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout
J. Nutr. 110: 2527-2535

Hilton, J.W., Atkinson, J.L. (1982)

Response of rainbow trout to increased levels of available carbohydrate in practical
trout diets
Br. J. Nutr. 47: 597-607

Hilton, J.W., Atkinson, J.L., Slinger, S.J. (1983)

Effect of dietary fiber on the growth of rainbow trout
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 81-85

Hofmann, J. (1979)

Der Teichwirt
Fünfte Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1979

- Hong, W.M., Duan, X.B., Goa, Z.S., Hu, C.P., Zheng, W., Qu, H.J. (1996)**
Long-term location test of REE on agriculture and REE residual analysis in wheat seeds
Proceeding of the first Sino-Dutch Workshop on the Environmental Behavior and Ecotoxicology of Rare Earth Elements, Beijing, 83-87
- Hoppe, P. (1972)**
Über die Gelbfleischigkeit der Speiseforelle
Münchener Beiträge 23: 79-85
- Hublou, W.F. (1963)**
Oregon pellets
Prog. Fish-Cult. 25: 175-180
- Hu, Z., Wang, J., Yang, Y., Ma, Y. (1999)**
Effect of REE on the nutrients digestibility for growing pigs
Feed World 11 (1), 29-31
- Hughes, S.G. (1989)**
Effect of dietary moisture level on response to diet by Atlantic salmon
Prog. Fish-Cult. 51: 20-23
- Hughes, S.G. (1991)**
Response of first-feeding spring chinook salmon to four potential feed intake modifiers
Prog. Fish-Cult. 52: 15-20
- Hughes, S.G., Rumsey, L., Nesheim, M.C. (1983)**
Dietary requirements for essential branched-chain amino acids by lake trout
Trans. Am. Fish. Soc. 112: 812-817
- Hung, S.S., Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1981)**
Effect of oxidized fish oil, α -tocopherol acetate and ethoxyquin supplementation on the vitamin E nutrition of rainbow trout fed practical diets
J. Nutr. 111: 648-657
- Hunt, D.C.W., Eales, J.G. (1979)**
Iodine balance in rainbow trout and effects of testosterone propionate
J. Fish. Res. Board Can. 36: 282-285
- Houston, A.H. (1985)**
Erythrocyte magnesium in freshwater fishes
Magnesium 4: 106-128
- Ichii, T., Mugiya, Y. (1983)**
Effects of dietary deficiency in calcium on growth and calcium uptake from the aquatic environment in the goldfish
Comp. Biochem. Physiol. 74: 259-262

Jeroch, H. (1991)

Enzyme in der Geflügelernährung

In: Schubert, R., Flachowsky, G., Bitsch, R. (Hrsg.): Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier; 3. Symp. 26. bis 27. September 1991 Jena/Thüringen, 334-341

Ji, Y. (1985)

Toxicological study on safety evaluation of rare earth elements used in agriculture

In: Xu, G., Xiao, J. (Hrsg.): New frontiers in rare earth science and application; Proceedings of the international conference on rare earth development and application

Ji, Y. and Cui, M. (1988)

Subchronic toxicity of rare earth nitrates in rats.

Chinese, unpublished

Jones, G. (2001)

High-performing livestock and consumer protection are not contradictory, impact of a phytogenic additive

Feed Magazine 12, 468-473

Kamphues, J., Schneider, D. und Leibetseder, J. (1999)

Supplemente zu Vorlesung und Übungen in der Tierernährung.

Verlag Schaper Alfeld-Hannover, 142

Kim, K.I., Kayes, T.B., Amundson, C.H. (1983)

Protein und arginine requirements of rainbow trout

FASEB 43: 2198

Kim, K.I., Kayes, T.B., Amundson, C.H. (1992)

Requirements for sulfur amino acids and utilization of D-methionin by rainbow trout

Aquaculture 101: 95-103

Kirchgessner, M., Roth, F.X. (1988)

Ergotrope Effekte durch organische Säuren in der Ferkelaufzucht und der Schweinemast

Übers. Tierernährg. 16, 93-108

Kirchgessner, M.; Schwarz, F.J. (1993)

Verdaulichkeit, Wachstum und Körperzusammensetzung von Karpfen (*Cyprinus Carpio L.*)

nach Verfütterung verschiedener Stärkearten

Arch. Anim. Nutr. 43, 275-282

Kirchgessner, M.; Schwarz, F.J., Zeitler, M.H. (1984)

Ansatz und Verwertung von Energie bei Karpfen mit unterschiedlicher Protein- und Energiestoffversorgung

Z. Tierphysiol., Tierernährung und Futtermittelkunde, 52, 235-244

- Kirchgessner, M., Roth, F.X., Paulicks, B.R. (1995)**
Zur nutritiven Wirksamkeit von Sorbinsäure in der Ferkelaufzucht
J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. **74**, 235-242
- Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S., Nakagawa, K. (1967)**
Studies on vitamin requirements of rainbow trout and deficiency symptoms
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **33**: 1126-1131
- Knebel, C., (2003)**
Untersuchungen zu Einfluss Seltener Erd-Citrate auf Leistungsparameter beim Schwein und die ruminale Fermentation im künstlichen Pansen (RUSITEC)
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation
- Knox, D., Cowey, C.B., Adron, J.W. (1982)**
Effects of dietary copper and copper:zinc ratio on rainbow trout
Aquaculture **27**: 111-119
- Knox, D., Cowey, C.B., Adron, J.W. (1984)**
Effects of dietary zinc intake upon metabolism in rainbow trout
Aquaculture **40**: 199-207
- Kochseder, G. (1990)**
Neue Wege der Forellenfütterung
Österreichs Fischerei, **43(2)**, 59-60
- Kuznik, M. (2001)**
Fütterung von Süßwasserfischen mit Meeresalgen als natürliche Jogquelle
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation
- Kramsch, D.M., Aspen, A.J. and Apstein, C.S. (1980)**
Suppression of experimental atherosclerosis by the Ca²⁺-antagonist lanthanum.
J. Clin. Invest., **65**, 967 - 981
- Lall, S.P., Bishop, F.J., (1977)**
Studies of mineral and protein utilization by Atlantic salmon grown in sea water.
Technical Report No. 688, Fisheries and Marine Service, Environment Canada, Ottawa
- Lall, S.P., Paterson, W.D., Hines, J.A., Adams, N.J. (1985)**
Content of bacterial kidney disease in Atlantic salmon
J. Fish. Dis. **8**: 113-124
- Lauderdale, J.W. (1983)**
Use of MGA_R (melengestrol acetate) in animal production. Anabolics in Animal production – Public health aspects, analytical methods and regulation.
OIE Symposium, Paris, Eds. E. Meissonnier, J. Mitchel-Vignerorn, 193 - 212
- Lee, P.H. (1987)**
Carotenoid in cultured channel catfish
Ph. D. dissertation, Auburn University, Auburn, Alabama

- Lee, K., Dabrowski, K., Rinchard, J., Gomez, C., Guz, L., Vilchez, C., 2004**
Supplementation of maca (*Lepidium meyenii*) meal in diets improve growth rate and survival of rainbow trout juveniles
- Leith, D., Holmes, J., Kaattari, S. (1990)**
Effects of vitamin nutrition on the immune response of hatchery-reared salmonids
Final report, Project 84-45A and 84-45B, Bonneville Administration, Portland
- Leray, C., Nonnotte, G., Roubaud, P., Leger, C. (1985)**
Incidence of (n-3) essential fatty acid deficiency on trout reproductive processes
Reprod. Nutr. Dev. 25: 567-581
- Li, D., She, W., Gong, L., Yang, W., Yang, S. (1992)**
Effects of rare earth element on the growth and nitrogen balance of growing pigs
Feed BoLan 4, 3-4
- Lovell, R.T. (1978)**
Dietary phosphorus requirement of channel catfish
Trans. Am. Fish. Soc. 107: 617-621
- Lu, K.W., Yang, W.Z. (1996)**
Effects of Rare Earth Elements on availability of energy and amino acids in broilers.
Acta. Agriculturae Shanghai (Chinese), 12, 78 – 82
- Lukowicz, M. v., Schäpperclaus, W. (1997)**
Lehrbuch der Teichwirtschaft
4., neubearbeitete Auflage, Parey Buchverlag, Berlin 1998
- Mariani, P., Superchi, P., Sabbioni, A., Summer, A: (2003)**
Effect of feed protected acidifying agent on rainbow trout performance traits
Italian Journal of Animal Science. 2003; 2(Suppl. 1): 622- 624
- Matty, A.J. and Cheema, I.R. (1978)**
The Effect of some steroid hormones on the growth and protein metabolism of rainbow trout
Aquaculture, 14 (1978), p.163-178
- Matty, A.J. (1986)**
Nutrition, hormones and growth
Fish Physiol. Biochem. 2: 141-150
- Meyer, H. und Kröger, H. (1973)**
Kupferfütterung beim Schwein
Übers. Tierernährg., 1, 9 – 44
- Miller, D.W., Vetter, R.J., Atchinson, G.J. (1980)**
Effect of temperature and dissolved oxygen on uptake and retention of Mn in fish
Fish Phys. 38: 221-225

Moss, M.L. (1963)

The biology of acellular bone
Ann. N. Y. Acad. 74: 337-350

Mraz, F.R. und Eisele, G.R. (1977)

Gastrointestinal absorption and distribution of ¹⁴⁴Ce in the suckling pig.
Health Phys. 33: 494-495

Müller, W. (1956)

In Schäperclaus, W. (1961)
Lehrbuch der Teichwirtschaft
2. neubearbeitete Auflage, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin 1961; S.70-71

Muir, L.A., Wien, S., Duquette, P.F., Rickes, E.L. and Cordes, E.H. (1983)

Effects of exogenous growth hormone and diehtylstilbestrol on growth and carcass composition of growing lambs.
J. Anim. Sci., 56, 1315 – 1323

Murai, T., Ogata, H., Hirasawa, Y., Akiyama, T., Nose, T. (1987)

Portal absorption and hepatic uptake of amino acids in rainbow trout forcefeed complete diets containing casein or crystalline amino acids
Bull. Jpn. Soc. Fish. 53: 1847-1859

Murai, T., Akiyama, T., Ogata, H., Suzuki, T. (1988)

Interaction of dietary oxidized fish oil glutathione on fingerling yellowtail
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish 54: 145-149

Muroma, A. (1958)

Studies on the bactericidal action of salts of certain rare earth metals
Ann. Med. Exp. Biol. Fenn. 36 (6), 1-54

Nakajima, K., Uchida, A., Ishida, Y. (1989)

Effect of supplemental dietary feeding attractant, dimethyl- α -proppiothetin on growth of goldfish
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 55: 1291

Navarre, O., Halver, J.E. (1989)

Disease resistance and humoral antibody production in rainbow trout fed high levels of vitamin C
Aquaculture 79: 207-221

Nelson, T.S., Shieh, R.R., Wodzinski, R.J., Ware, J.H. (1971)

Effect of supplemental phytase on the utilization of phytate phosphorus by chicks
J. Nutr. 101, 1289-1294

Ning, J.B., Xiao, S.L. (1989)

Effects of rare earth elements application on day lily
Chinese Rare Earth 10 (5), 52-54

Nose, T., Arai, S. (1979)

Summary on amino acid requirements of red sea bream
Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, 145-156

Oberle (1995)

Einfluss von Fütterungsmassnahmen auf Fettgehalt und Fettsäuremuster und deren Auswirkungen auf die Schlachtkörper- und Fleischqualität von Karpfen (*Cyprinus carpio L.*)
Dissertation, Techn. Universität Weihenstephan, 1995

Oberle (2003)

Monitoring des Fettgehalts bayerischer Karpfen
Tätigkeit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei, 2003

Ogino, C. (1980)

Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46: 171-175

Ogino, C., Chiou, J.Y. (1976)

Mineral requirements in fish; Magnesium requirements of carp
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 42: 75-79

Ogino, C., Takeda, H. (1978)

Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44: 1019-1027

Ogino, C., Yang, G.Y., (1980)

Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46: 452-458

Ostrowski, A.C. and Garling JR., D.L. (1988)

Influences of Anabolic Hormone Treatment and Dietary Protein: Energy Ratio on Condition and Muscle Deposition of Rainbow Trout
The Progressive Fish- Culturist 50: 136-140, 1988

Owen, J.M., Adron, J.W., Middleton, C., Cowey, C.B. (1975)

Elongation and desaturation of dietary fatty acids in turbot and rainbow trout
Lipids 10: 528-531

Page, J.W., Andrews, J.W. (1973)

Interactions of dietary levels of protein and energy on channel fish
J. Nutr. 103: 1339-1346

Pang, X., Li, D., Peng, A. (2002)

Application of rare-earth elements in the agriculture of china and its environmental behaviour in soil
Environ. Sci. Poll. Res. 9 (2), 143-148

Panigrahi, A., Kiron, V., Kobayashi, T., Puangkaew, J., Satoh, S., Sugita, H.
Immune responses in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* induced by a potential probiotic bacteria *Lactobacillus rhamnosus* JCM 1136
Vet Immunol Immunopathol. 2004; 102(4): 379-88

Peet-Schwering, C., van der Houdijk, J. und Binnendijk, G. (1999)
Fructooligosaccharides in protein-rich piglet feed are not suitable as growth promoters.
Praktijkonderzoek Varkenshouderij, 13: 25 - 27

Pfeffer, E. (1995)
Carbohydrate utilization and its determination
J. Appl. Ichthol. 11, 175-182

Pieper, J.W., Pfeffer, E. (1979)
Carbohydrates as possible sources of dietary energy for rainbow trout
Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Vol. 1: 209-219

Plisetskaya, E.M. (1990)
Recent studies on fish pancreatic hormones: selected topics
Zool. Sci. 7: 335-353

Pokniak, R.J., Bravo, D.I. de, Galleguillos, M.C., Battaglia, A.J., Cornejo, V.S. (1996)
Productive performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed extruded diets with a high lipid content
Avances en Ciencias Veterinarias, 1996; 11(2): 53-59

Pompa, T.J. (1982)
Digestibility of selected feedstuffs and naturally occurring algae by tilapia
Ph.D. dissertation, Auburn University, Auburn, Alabama

Poston, H.A., Livingston, D.L. (1969)
Effects of massive doses of dietary vitamin E on fingerling brook trout
Fisheries Research Bulletin 33, state of New York Conservation Department, 6-12

Poston, H.A. (1971)
Effect of excess feeding vitamin K on the growth, coagulation time and hematocrit values of brook trout fingerlings
Fisheries Research Bulletin 34, state of New York Conservation Department, 41-42

Poston, H.A., Rumsey, G.L. (1983)
Factors affecting dietary requirement and deficiency signs of L-tryptophan in rainbow trout
J. Nutr. 113: 2568-2577

Poston, H.A., Riis, R.C., Rumsey, G.L., Ketola, H.G. (1977)
The effect of supplemental dietary amino acids, minerals and vitamins on salmonids fed cataractogenic diets
Cornell Vet. 67: 472-509

Proske, C. (1997)

In Lukowicz, M. v. (Hrsg.) , Schäpperclaus, W. (1997)
Lehrbuch der Teichwirtschaft,
4., neubearbeitete Auflage, Parey Buchverlag, Berlin 1998, S.247- 266

Qiang, T., Xiao-rong; W., Li-qing, T., Le-mei; D. (1994)

Bioaccumulation of rare earth elements lanthanum, gadolinium, and yttrium in carp
(*Cyprinus carpio*)
Environmental Pollution, Volume 85, Issue 3, 1994, 345-350

Raa, J., Engstad, R., Tveite, S., 2001

Beta -1,3/1,6- Glucane
Trouvit Aktuell, S. 7-9, Frühling 2001

Rambeck, W.A., He, M.L., Chang, J., Arnold, R., Henkelmann, R., Süß, A. (1999)

Possible role of rare earth elements as growth promoters
Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, 7. Symposium,
22.-23. September 1999, Jena/Thüringen, 311-317

Rambeck, W.A., Wehr, U. (2005)

Zusammenstellung der erfolgten und geplanten Untersuchungen mit Seltenen Erden
(REE)
Institut für Physiologie, Physiol. Chemie und Tierernährung, LMU München, 2005

Reiter, R. (1999)

Optimale Anwendungsdauer carotinangereicherter Futtermittel zur Erzeugung
rotfleischiger Regenbogenforellen (Lachsforellen)
Fischer & Teichwirt 50: 5-7

Reiter, R. (2001)

Ganz ohne Fischmehl geht's nicht
Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Sonderdruck aus Heft 16, 21.April
2001

Reiter, R. (2005)

Normbereiche von Qualitätsparametern bei der Regenbogenforelle
Mündliche Absprache

Rinchard, J., Lee, K.J., Czezny, S., Ciersko, A., Dabrowski K. (2004)

Effect of feeding cottonseed meal-containing diets to broodstock rainbow trout and
their impact on the growth of their progenies
Aquaculture, Issues 1-4, November 2003, p. 77-87

Robb, D.H.F., Kerstin, S.C., Warsiss, P.D. (2000)

Muscle activity at slaughter: I. Changes in flesh colour and gaping in rainbow trout
Aquaculture 182: 261- 269

Robinson, E.H., LaBomascus, D., Brown, P.B., Linton, T.L. (1987)

Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in
calcium- free water
Aquaculture 64: 267-276

Robinson, E.H., Wilson, R.P., Poe, W.E. (1981)

Arginine requirement and apparent absence of a lysine-arginine antagonist in fingerling channel catfish
J. Nutr. 111: 46-52

Roth, H. (1997)

Tiergesundheit fördern – mit Leistungsförderern und Bioregulatoren
Krafftutter 4, 154-159

Roth, F.X., Kirchgessner, M., Eidelsburger, U. (1993)

Zur nutritiven Wirksamkeit von Milchsäure in der Ferkelaufzucht
Agribiolog. Res. 46, 229-239

Rumsey, G.L. (1986)

Chemical control of feed intake in fishes
Proceedings of the 1986 Cornell Nutrition Conference, 40-45

Sakamoto, S., Yone, Y. (1978)

Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44: 227-229

Salman, N.A., Eddy, F.B. (1988)

Effect of dietary sodium chloride on growth, food intake and conversion efficiency in rainbow trout
Aquaculture 70: 131-144

Sargent, J., Henderson, J.R., Tocher, D.R. (1989)

The lipids
Pp. 153-218 in Fish Nutrition, 2d ed.

Satoh, S., Yoshinaka, R., Ikeda, S. (1978)

Dietary ascorbic acid requirement of rainbow trout for growth and collagen formation
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44: 1029-1035

Satoh, S., Kondo, T., Yoshinaka, R., Ikeda, S. (1983)

Effect of water temperature on the skeletal deformity in ascorbic acid deficient rainbow trout
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49: 443-446

Satoh, S., Yamamoto, H., Takeuchi, T., Watanabe, T. (1983)

Effect of growth and mineral composition of carp of deletion of trace elements or magnesium from fish meal diet
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49: 431-435

Satoh, S., Poe, E., Wilson, R.P. (1989)

Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish
J. Nutr. 119: 23-28

Satoh, S., Poe, E., Wilson, R.P. (1989)

Effect of supplemental phytate and/or tricalcium phosphate on weight gain feed efficiency and zinc content in vertebrae of channel fish
Aquaculture, 80: 155-161

Schäperclaus, W., (1933)

Lehrbuch der Teichwirtschaft
Zucht und Haltung von Karpfen, Forellen und deren Nebenfische,
1. Auflage, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 1933

Schäperclaus, W. (1961)

Lehrbuch der Teichwirtschaft
2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin
1961

Schiedt, K., Leuenberger, F.J., Vecchi, M., Glinz, E. (1985)

Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken
Pure Appl. Chem. 57: 685-692

Schmidt, G. W., (1997)

In Lukowicz, M. v. (Hrsg.) , Schäpperclaus, W. (1997)
Lehrbuch der Teichwirtschaft,
4., neubearbeitete Auflage, Parey Buchverlag, Berlin 1998, S.361-467

Schuller, S. (2001)

Seltene Erden als Leistungsförderer beim Geflügel. Untersuchungen an Broilern und Japanischen Wachtel
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation

Schwarz, F.J. (1997)

In Lukowicz, M. v. (Hrsg.) , Schäpperclaus, W. (1997)
Lehrbuch der Teichwirtschaft,
4., neubearbeitete Auflage, Parey Buchverlag, Berlin 1998, S.105-156

Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1984)

Untersuchungen zum energetischen Erhaltungsbedarf des Karpfens
Tierphysiol. Tierernährung u. Futtermittelkunde 52, 46-55

Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1995)

Effects of different diets and levels of feeding on retention and efficiency of utilization of energy and protein by carp
J. Appl. Ichthyol. 11, 363-366

Shao, H., Liu, H., Jiang, Z., Zong, Z., Liu, W. (1998)

Effect of REE on egg embryo development of carp
Fresh Water Fishery

- Shao, H., Jiang, Z., Zong, Z., Liu, H., Liu, W. (1999)**
Effect of dietary rare earth elements on some enzyme activities in liver, pancreas and blood of carp
Chinese Feed, 1999, 1:21-22
- Shearer, K.D. (1989)**
Whole body magnesium concentration as an indicator of magnesium status in rainbow trout
Aquaculture 73: 119-130
- Shearer, K.D., Asgard, T. (1990)**
Availability of dietary magnesium to rainbow trout as determined by apparent retention
Aquaculture 86: 51-61
- Shen Q., Zhang, J. And Wang, C. (1991)**
Application of Rare Earth Elements on animal production.
Feed Industry, 12, 21 – 22 (Chinese)
- Shimeno, S. (1974)**
Studies on carbohydrate metabolism in fishes
Rep. Fish. Lab. Kochi Univ. 2: 1-107
- Shimeno, S., Hosokawa, H., Hirata, H., Takeda, M. (1977)**
Comparative studies on carbohydrate metabolism of yellowtail and carp
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 43: 213-217
- Shimma, Y., Suzuki, R., Yamaguchi, M., Akiyama, T. (1977)**
On the lipids of adult carps raised on fish meal and SCP feeds and hatchabilities of their eggs
Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. 27: 35-48
- Simkiss, K. (1974)**
Calcium metabolism of fish in relation to ageing
The proceedings of an international Symposium of the Ageing of Fish, ed. Old Woking, 1-12
- Smith, R.R. (1976)**
Metabolizable energy of feedstuff for trout
Feedstuffs 48: 16-21
- Smith, T.C., Mikiten, T.M. and Levinson, C. (1972)**
The effect of multivalent cations on the membrane potential of the Ehrlich ascites tumor cell.
J. Cell. Physiol., 79, 117 – 126
- Smith, R.R. (1989)**
Nutritional energetics
Fish nutrition, Halver, J., ed. San Diego, Calif.: Academic press, 2-28

Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H. (1994)

Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert Tabellen
In: Food composition and nutrition tables
Medpharm GmbH Scientific Publishers, Stuttgart

Steffens, W. (1969)

Der Karpfen
Dritte, neubearbeitete und erweiterte Auflage, A. Ziemsen Verlag ,1969

Storrebakken, T. (1985)

Binders in fish feeds
Aquaculture 47: 11-26

Storebakken, T., Choubert, G. (1991)

Flesh pigmentation of rainbow trout fed astaxanthin or canthaxanthin at different feeding rates in freshwater and saltwater
Aquaculture 95: 289-295

Swann, M.M. (Chairman) (1969)

Report of the joint committee on the use of antibiotics in animal husbandry and veterinary medicine.
London, Her Majesty's Stationary Office

Syha, Karin (2002)

Einfluss von Lanthan auf das Wachstum von Buschbohne im Gefäßversuch
Bachelorarbeit, Technische Universität München, Institut für Agrikulturchemie

Takeuchi, T., Arai, S., Watanabe, T., Shimma, Y. (1980)

Requirement of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46: 345-353

Takeuchi, T., Nakazoe, J. (1981)

Effect on dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 47: 347-352

Takeuchi, T., Watanabe, T., Nose, T. (1978)

Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout
Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries 44, 683-688

Tang, Y., Xia, C., Wang, L.(1998)

A comparative study of the effect of different REE compounds on growth performance of carp
Chinese Journal of Fisheries, 11(1): 47-49

Tang, Y., Zhang, Z., Wang, L., Li, J.(1997)

Effect of dietary rare earth elements- amino acid compounds on growth performance of carp and rainbow trout
Chinese Journal of Fisheries, 10(2): 88-90

Tautenhahn, J., (2004)

Effects of Different Concentrations of Rare Earth Elements on Growth in Juvenile *Oreochromis niloticus*

Degree of Bachelor of Science in Aquaculture at the University of Stirling

Torrissen, O.J., Hardy, R.W., Shearer, K.D. (1989)

Pigmentation of salmonids- Carotenoid deposition and metabolism

Rev. Aquat. Sci. 1: 209-225

Viola, S. and Arieli, Y., (1987)

Non hormone growth promoters for tilapia and carp. I. screening tests in cages

Bamidgeh, 39(2): 31-38

Walton, M.J., Cowey, C.B., Adron, J.W. (1984)

The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout

Br. J. Nutr. 52: 115-122

Walton, M.J., Cowey, C.B., Coloso, R.M., Adron, J.W. (1986)

Dietary requirements of rainbow trout for tryptophan, lysine and arginine determined by growth and biochemical measurements

Fish Physiol. Biochem. 2: 161-169

Wang, X. und Gibson, G.R. (1993)

Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the

human large intestine.

J. Appl. Bacteriol. 75: 373 - 380

Wang, H., Sun, H., Chen, Y., Wang, X. (1999)

The bioaccumulation of rare earth elements in the internal organs of fish and their effect on the activities of enzymes in liver

China Environmental Science, 1999, 19(2): 141-144

Wang, L.X., Xu, Z., Wu, X.Y. (1985)

Effects of rare earth elements on photosynthesis of fixing-nitrogen alga

J. Chin. Rare Earth Soc. 3 (3), 72-75

Wanner, M. (1999)

Antimikrobielle Leistungsförderer – Rückblick und Alternativen

Schweiz. Arch. Tierheilkd. 141, 93-97

Watanabe, T., 1982

Lipid Nutrition in Fish

Comp. Biochem. Physiol. 73B: 3-15

Watanabe, T., Kitijama, C., Fujita, S. (1983)

Nutritional values of live organism used in Japan for mass production of fish: A review

Aquaculture 34: 115-143

- Watanabe, T., Murakami, L., Takeuchi, T., Nose, T., Ogino, C. (1980)**
Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46: 361-367
- Webster, C.D. (1989)**
Nutritional value of brine shrimp nauplii for striped bass larvae
Ph. D. dissertation, Auburn University, Alabama
- Webster, C.D., Lovell, R.T. (1990)**
Response of striped bass larvae fed brine shrimp from different sources containing different fatty acid compositions
Aquaculture 90: 49-61
- Wheeler, G.E., Wilson, D., Agrawala, S.K. (1999)**
Effect of herbal animal feed supplement "Livol" on growth of pigs
Indian J. Anim. Health 38 (1), 47-50
- Wilson, R.P. (1989)**
Amino acids and proteins
Fish Nutrition, 2d ed., 111-151
- Wilson, R.P., Halver, J.E. (1986)**
Protein and amino acids requirement of fishes
Annu. Rev. Nutr. 6: 225-244
- Wilson, R.P., Poe, W.E. (1985)**
Apparent digestibility protein and energy coefficients of feed for channel fish
Progressive Fish- Culturist 47: 154- 158
- Wilson, R.P., Allen, O.W., Robinson, E.H., Poe, W.E. (1978)**
Tryptophan and threonine requirements of fingerling channel catfish
J. Nutr. 108: 1595-1599
- Wood, E.M., Yasutake, W.T., Johnson, H.E. (1957)**
Acute sulfamethazine toxicity in young salmon
Progr. Fish- Cult. 19: 64-67
- Xie, J., Xia, Z., Wang, Z. (1995)**
Studies on the effects of Rare earth compound added to diets of Guanxi Broiler Chickens
Chinese, unpublished
- Xu, Z.R., Chen, L.M. and Wang, M.Q. (1998)**
Effect of lanthanum on growth, digestion and carcass composition of growing pigs.
J. Zhejiang Agricultural Univ., 24, 395 – 397
- Yamamoto, H., Satoh, S., Takeuchi, T., Watanabe, T. (1983)**
Effects on rainbow trout of deletion of manganese or trace elements from fish meal diet
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49: 287-293

Yang, Z., Chen, L. (2000)

Effect of lanthanum on egg hatching of *Macrobrachium nipponense*
Aquaculture, 2000 (6): 31-32

Yang, Z., Chen, L. (2002)

Effect of Pr³⁺ on egg hatching of grass carp
Fujian Agricultural Technology, 1:15-16

Yang, Z., Xue, H., Wu, Z. (2001)

Effect of REE- citrate on egg hatching of *Macrobrachium nipponense*

Yasmin, A., Takeuchi, T., Hirota, T., Ishida, S. (2004)

Effect of conjugated lonolenic acid (cis-9, trans-11, cis-13-18:3) on growth performance and lipid composition of fingerling rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*
Fisheries Sciences, 2004; 70(6): 1009-1018

Yone, Y. (1969)

Effect of furazolidone on growth and feed efficiency of red sea bream
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 34: 305-309

Yone, Y., Toshima, N. (1979)

The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45: 753-756

Yu, Z., Chen M. (1995)

Rare earth elements and their applications.
Metallurgical Industry Press, Beijing, 286-291

Zani, J.L., Weykamp Da Cruz, F., Freitas Dos Santos, A., Gil-Turnes, C. (1998)

Effect of probiotic CenBiot on the control of diarrhoea and feed efficiency in pigs
J. Appl. Microbiol. 84, 68-71

Zaugg, W.S., McLain, L.R. (1969)

Inorganic salt effects on growth, salt water adaptation, and gill ATPase of Pacific Salmon
Fish in Research, 293-306

Zhang, Y., Liu, Z., Zhang, J. (1988)

The Effect and Technique of Rare Earth Application in Agriculture.
Proceedings of the First International Conference on the Metallurgy and Materials Science of Tungsten, Titanium, Rare Earths and Antimony 1, 1275-1280

Zhang, H., Feng, J., Zhu, W.F., Liu, C., Gu, J. (2000)

Bacteriostatic effect of cerium-humic acid complex: An experimental study
Biol. Trace Elem. Res. 73 (1), 29-36

Zohar, Y. (1989)

Endocrinology and fish farming: Aspects in reproduction, growth and smoltification
Fish Physiol. Biochem. 7: 395-405

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bedanken:

Im besonderen Masse bei Herrn Prof. Dr. W.A. Rambeck für die Überlassung dieses lehrreichen Themas und für die Zeitaufopferung in den letzten Wochen dieser Arbeit.

Bei Dr. Uli Wehr für die zahlreichen Denkanstöße und sein forciertes Vorantreiben dieser Arbeit.

Bei Herrn Dr. von Lukowicz, damaliger Leiter des Instituts für Fischerei in Starnberg, für die gute Zusammenarbeit und der Bereitstellung der Versuchsanlagen.

Bei Herrn Reinhard Reiter, Fachgebietsleiter Forellenzucht in Starnberg, für die hervorragende Unterstützung und fachlich kompetente Beratung während des gesamten Versuches.

Bei Herrn Strohmeier, Andi, Kurti, Benjamin und allen Praktikanten für die hilfreiche und tatkräftige Unterstützung bei der Fütterung und den Versuchsauswertungen.

Bei Herrn Dr. Oberle, Fachgebietsleiter Karpfen an der Aussenstelle für Karpfenzucht in Höchstädt an der Aisch, für die Bereitstellung der Karpfenteiche und der exzellenten fachlichen Betreuung.

Bei Frau Stadler, Herrn Werner Hesslbach und allen anderen Institutsbeschäftigten für die Futtermischungen, Laborauswertungen und die freundliche Atmosphäre.

Bei meinen Eltern und meiner ganzen Familie, die mir Rückhalt und Antrieb für diese Arbeit gaben.

Bei Karo, die mir in allen wichtigen Momenten immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

10. Lebenslauf

Name: Renard Bernd

Geburtsdatum: 17.03.1977

Geburtsort: Temeschburg

Eltern: Renard Maria, geb. Buschinger
Dr. Renard Richard

Geschwister: Renard Elke

Schulbildung: 1983-1987 Grundschule Wörth an der Donau
1987-1996 Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium
Neutraubling

*Juli 1996-
Juli 1997:* Grundwehrdienst als Sanitätssoldat

November 1997: Aufnahme des Studiums der Tiermedizin an der Ludwig-
Maximilians-Universität München

Staatsexamen: 31. März 2003

Approbation: 19. Mai 2003

*Mai 2003-
April 2005:* Anfertigung der vorliegenden Doktorarbeit am Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung der
Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für
Tierernährung und Diätetik unter Prof. Dr. W.A. Rambeck