

Aus dem
Department für Veterinärwissenschaften
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Angefertigt unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr. E. Kienzle

Ein Feldversuch zur Wirksamkeit Seltener Erden bei Mastschweinen

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

von
Petronilla Finkenzeller
aus Aichach

München 2011

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Kienzle

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Stangassinger

Tag der Promotion: 12. Februar 2011

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	13
2	LITERATURÜBERSICHT	15
2.1	Leistungsförderer in der Tierernährung	15
2.1.1	Definition und Einteilung von Leistungsförderern	15
2.1.2	Stoffe mit überwiegend antimikrobieller Wirkung	16
2.1.2.1	Antibiotika und Chemotherapeutika	16
2.1.2.2	Kupfer	19
2.1.3	Stoffe mit Wirkung auf den Intermediärstoffwechsel	21
2.1.4	Alternative Leistungsförderer	21
2.1.4.1	Probiotika	22
2.1.4.2	Prebiotika	24
2.1.4.3	Enzyme	25
2.1.4.4	Organische Säuren	26
2.1.4.5	Phytogene Zusatzstoffe/Kräuter und Aromastoffe	28
2.2	Seltene Erden als Leistungsförderer	33
2.2.1	Einteilung und Stellung im Periodensystem	33
2.2.2	Toxikologie	34
2.2.3	Vorkommen und Gewinnung der Seltenen Erden	36
2.2.4	Verwendung in Technik und Medizin	37
2.2.5	Einsatz in der chinesischen Landwirtschaft	39
2.2.6	Fütterungsversuche unter „westlichen Bedingungen“	40
2.2.7	Mögliche Wirkmechanismen	45
2.2.8	Mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse	48
2.2.8.1	Rohproteingehalt	48
2.2.8.2	Rohfasergehalt	49
2.2.8.3	Futterunabhängige Faktoren	50
3	MATERIAL UND METHODEN	51
3.3	Feldversuch	51
3.3.1	Aufbau der Studie	51
3.3.2	Versuchstiere und Gesundheitsstatus	52
3.3.3	Tierhaltung	55

3.3.4	Fütterungstechnik	57
3.3.5	Futterzusammensetzung	58
3.3.5.1	Vormast	62
3.3.5.2	Mittelmast.....	64
3.3.5.3	Endmast.....	66
3.3.6	Untersuchte Parameter	68
3.3.6.1	Gehalt an REE im Futter	68
3.3.6.2	Gesundheitsstatus	68
3.3.6.3	Mastleistungsparameter.....	69
3.3.6.3.1	Körpergewichtsentwicklung.....	69
3.3.6.3.2	Futteraufnahme.....	69
3.3.6.3.3	Futterverwertung	70
3.3.6.4	Schlachtparameter	70
3.3.6.5	Statistik.....	73
4	ERGEBNISSE	74
4.1	Gehalt an REE im Futter	74
4.2	Gesundheitsstatus.....	74
4.3	Mastleistungsparameter	75
4.3.1	Körpergewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen.....	75
4.3.2	Futteraufnahme.....	78
4.3.3	Futterverwertung	80
4.4	Schlachtparameter	82
4.4.1	Schlachtgewicht	82
4.4.2	Magerfleischanteil und Handelsklassen	82
4.4.3	Speckmaß	83
4.4.4	Fleischmaß	83
4.4.5	Ökonomische Betrachtung	83
5	DISKUSSION	84
5.1	Gehalt an REE im Futter	84
5.2	Versuchskonzept.....	84
5.3	Fütterungstechnik	85
5.4	Futterzusammensetzung.....	86

5.5	Gesundheitsstatus.....	87
5.6	Mastleistungsparameter	89
5.6.1	Körpergewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen.....	89
5.6.2	Futterverwertung	92
5.7	Schlachtparameter	96
5.7.1	Veränderung von Fleisch- und Fettanteil im Schlachttierkörper	96
5.7.2	Ökonomische Betrachtung	97
6	ZUSAMMENFASSUNG	98
7	SUMMARY.....	99
8	LITERATURVERZEICHNIS	100
9	ANHANG	137
10	DANKSAGUNG	141

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Schweinemaststalls	56
Abbildung 2: Verlauf des Rohproteingehaltes der Futtermittelration (g Rp/kg TS).....	58
Abbildung 3: Futtermittelverwertung (FV) aller Buchten der REE- und Kontrollgruppe über den Versuchszeitraum von 82 Tagen	93
Abbildung 4: Futtermittelverwertung (FV) der 157 männlichen Mastschweine, die getrennt von weiblichen Mastschweinen gehalten wurden, über den Versuchszeitraum von 82 Tagen	94
Abbildung 5: Einstufung der Schlachttierkörper der REE- und Kontrollgruppe in die Handelsklassen des EUROP-Systems (% der Gesamtgruppen).....	96
Abbildung 6: Schlachtabrechnung vom 17.10.2006 der Erzeugergemeinschaft Oberbayern-West für Schlachtvieh Pfaffenhofen, 200 Schweine.....	137

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Effekthöhe von antimikrobiellen Leistungsförderern (nach Birzer und Gropp, 1991)	17
Tabelle 2: Durchschnittliche Leistungssteigerungen durch 250 mg/kg Kupfer in Form von Kupfersulfat (nach Meyer und Kröger, 1973).....	19
Tabelle 3: Effekte von Probiotika auf die Leistung von Nutztieren (modifiziert nach Freitag et al., 1999)	22
Tabelle 4: Wirksubstanzen von ausgesuchten ätherischen Ölen, modifiziert nach Ehrlinger, 2007.....	29
Tabelle 5: Durchschnittliche relative Veränderung der täglichen Futteraufnahme, täglichen Zunahme und Futterverwertung durch den Einsatz von digestan® in der Ferkelaufzucht und Schweinemast (nach digestan®-Flyer)	32
Tabelle 6: Fütterungsstudien mit Seltenen Erden unter „westlichen Bedingungen“ nach Rambeck et al. (2005)	44
Tabelle 7: Übersichtstabelle Anzahl behandelter, ausgeschiedener, gestorbener und ausgewerteter Tiere	54
Abbildung 1: Schematische Darstellung des Schweinemaststalls	56
Abbildung 2: Verlauf des Rohproteingehaltes der Futtermittel (g Rp/kg TS).....	58
Tabelle 8: Vitamin-Mineral-Vormischung SALVANA – PREMIX Mineral 13027 SMR Amino I Phytase ALT (laut Deklaration)	59
Tabelle 9: Inhaltsstoffe der Molke (nach Kamphues et al., 2004).....	61
Tabelle 10: Futterkomponenten des Vormastfutters	62
Tabelle 11: Inhaltsstoffe des Vormastfutters (berechnet)	63
Tabelle 12: Futtermittelkomponenten des Mittelmastfutters	64
Tabelle 13: Inhaltsstoffe des Mittelmastfutters (berechnet)	65
Tabelle 14: Futtermittelkomponenten des Endmastfutters (%)	66
Tabelle 15: Inhaltsstoffe des Endmastfutters (berechnet).....	67
Tabelle 16: Klassifizierte Tiere der REE- und der Kontrollgruppe	71
Tabelle 17: Handelsklassenschema nach Muskelfleischanteil im Schlachttierkörper mit Preisspanne pro Handelsklasse (€/kg).....	72
Tabelle 18: Durchschnittliches Anfangs- und Endgewicht (kg) pro Mastschwein (MW ± s).....	75
Tabelle 19: Durchschnittliche Gewichtszunahme (kg) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW ± s)	76

Tabelle 20: Durchschnittliche Tageszunahme (g) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW \pm s)	77
Tabelle 21: Durchschnittliche Gesamtfutteraufnahme (kg) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW \pm s)	78
Tabelle 22: Futterkosten (€) pro Tier im Versuchszeitraum von 82 Tagen.....	79
Tabelle 23: Durchschnittliche Futterverwertung (FV) aller Buchten über den Versuchszeitraum von 82 Tagen	80
Tabelle 24: Durchschnittliche Futterverwertung (FV) der männlichen Mastschweine	81
Tabelle 25: Handelsklassenzuordnung von 199 Mastschweinen der REE-Gruppe und der Kontrollgruppe	82
Tabelle 26: Vergleichende Übersicht: Eigener Feldversuch und Mastversuche aus der Literatur (Borger (2003), Kessler (2004), Miller (2006), Hanczakowska (2009)).....	91

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
ADI	Acceptable daily intake
AfBN	Ausschuss für Bedarfsnormen
AST	Aspartat-Amino-Transferase
ALT	Alanin-Amino-Transferase
AP	Alkalische Phosphatase
Ca	Calcium
Ce	Cer
Cl	Chlorid
Cu	Kupfer
d	Tag
DE	Deutsches Edelschwein
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DL	Deutsche Landrasse
DNA	Desoxyribonukleinsäure
E. coli	Escherichia coli
Eds.	Verleger
EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europäische Gemeinschaft
EM	Effektive Mikroorganismen
et al.	und Mitarbeiter
ETEC	enterotoxische E. coli
Eu	Europium
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
F1	Erste Tochtergeneration
Fe	Eisen
Fle	Fleischmaß
FMG	Futtermittelgesetz
FV	Futtermittelverwertung
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GH	Wachstumshormon (growth hormone)
h	Stunde
I. E.	Internationale Einheit
i.m.	Intramuskulär
i.v.	Intravenös
ICP-MS	inductively coupled plasma mass spectrometry

IGF	insulin like growth factor
k.A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
l	Liter
La	Lanthan
LD ₅₀	mittlere letale Dosis
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LKV	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V.
LMZ	Lebendmassezunahme
LPS	Lipopolysaccharid
m	Männlich
mm	Millimeter
M.	Musculus
ME	Umsetzbare Energie (metabolisable energy)
Mfl	Magerfleischanteil
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
MW	Mittelwert
Na	Natrium
NRC	National Research Council
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
µg	Mikrogramm
MJ	Megajoule
n	Anzahl der Proben
Nd	Neodym
NfE	Stickstoff-freie Extraktstoffe
oS	organische Substanz
p	Signifikanzwert
P	Phosphor
ppm	Parts per Million
p.o.	per os
Pr	Praseodym
REE	Rare Earth Elements
Rfa	Rohfaser
Rfe	Rohfett
RL	Richtlinie
RNA	Ribonukleinsäure

Rp	Rohprotein
s	Standardabweichung, STABW
Sm	Samarium
Spe	Speckmaß
spp.	Arten
STH	Somatotropes Hormon (Wachstumshormon)
STMELF	Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
T ₃	Trijodthyronin
T ₄	Thyroxin
Tab.	Tabelle
Tb	Terbium
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
TSH	Thyroidea-stimulierendes Hormon, Thyreotropin
vgl.	Vergleiche
VO	Verordnung
VTEC	Verotoxinbildende E. coli
w	Weiblich
WHO	World Health Organisation
x	Mittelwert
Yb	Ytterbium
Zn	Zink
z.T.	zum Teil

1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Zum Stichtag am 3. November 2009 gab es in Deutschland 26,6 Millionen Schweine, davon 11,2 Millionen Mastschweine. Die Zahl der schweinehaltenden Betriebe hat sich im letzten Jahr in Deutschland von 67 100 auf 62 800 um über 6 % reduziert, im Vergleich zu 1999 hat sich ihre Zahl halbiert. Damit setzte sich der langjährige Trend zu immer weniger, jedoch größeren Betrieben fort. (Statistisches Bundesamt, 2010).

Eine der großen Herausforderungen für die Schweinemast war der zunehmende Wegfall antibiotischer Leistungsförderer und deren endgültiges Verbot in der Europäischen Union am 1.1.2006. Aufgrund der fehlenden Akzeptanz dieser Zusatzstoffe beim Verbraucher, die zunehmende gesetzliche Anwendungseinschränkung und das Verbot jeglicher antibiotischer Leistungsförderer in QS-Betrieben sank in Deutschland der Anteil der Schweinefutter mit Zusätzen an antibiotischen Leistungsförderern von ca. 80 % im Jahr 2000 schon im Jahr 2003 auf rund 6 % (Sommer und Bunge, 2007). Auch andere europäische Länder hatten freiwillig bereits vor dem endgültigen Verbot im Jahre 2006 auf antibiotische Leistungsförderer verzichtet. So sank deren Verbrauch in der EU in den Jahren 1997 bis 1999 um 50 % (von 1599 Tonnen auf 786 Tonnen), gleichzeitig nahm aber die Menge an therapeutisch eingesetzten Antibiotika von 3494 Tonnen auf 3902 Tonnen zu (Domig, 2005)!

In Dänemark war nach dem Wegfall der antibiotischen Leistungsförderer, bereits im Jahr 2000, schnell ein Rückgang der täglichen Zunahmen erkennbar, der sich bis 2004 mit dem, ab diesem Zeitpunkt zunehmenden, therapeutischen Einsatz von Antibiotika wieder fast an das vorherige Niveau anglich (Wehr, 2007).

Vor diesem Hintergrund wird nach wie vor nach wirtschaftlichen und wirksamen Alternativen zu den antibiotischen Leistungsförderern gesucht, denn die verbesserten biologischen Leistungen haben in ökologischer und ökonomischer Hinsicht einen bedeutenden Stellenwert. Je höher die Zunahmen und je geringer der Futteraufwand, umso weniger Ressourcen müssen für die Fleischproduktion eingesetzt werden und umso weniger Gülle wird produziert. Als mögliche Alternativen zu den Fütterungsantibiotika kommen unter anderem Substanzen aus den Gruppen der Probiotika, Prebiotika, organische Säuren, Enzyme,

Spurenelemente, Kräuter und deren Extrakte in Betracht.

Seit 1999 werden auch Seltene Erden als potentielle Leistungsförderer in der Tierernährung untersucht, die in China bereits seit über vier Jahrzehnten zur Steigerung pflanzlicher und tierischer Leistung erfolgreich eingesetzt werden (Rambeck et al., 1999). Die in China erzielten erstaunlich hohen Erfolge konnten zwar in „westlichen Versuchen“ kaum reproduziert werden, doch liegen inzwischen genügend erfolgreiche Studien vor, die auch unter europäischen Bedingungen signifikante Verbesserungen der zootechnischen Parameter belegen.

Bei der hier durchgeführten Studie handelt es sich um einen Feldversuch, der zwar nicht den Ansprüchen einer Versuchstation entspricht, an der z.B. Mastleistungsprüfungen durchgeführt werden. Der Feldversuch sollte jedoch die Wirksamkeit und Rentabilität der Seltenen Erden unter Praxisbedingungen überprüfen. Außerdem sollte erstmalig der Einsatz Seltener Erden in der Schweinemast mit Flüssigfütterung erprobt werden. Neben den Mastleistungsparametern, Futteraufnahme, Gewichtszunahme und Futtermittelverwertung, wurde auch der Einfluss auf Schlachtleistungsparameter und Tiergesundheit untersucht.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Leistungsförderer in der Tierernährung

2.1.1 Definition und Einteilung von Leistungsförderern

Leistungsförderer sind Stoffe, welche bei leistungsgerechter Nährstoffversorgung die Futtermittelverwertung, die Gewichtszunahme oder beides der Tiere verbessern. Es handelt sich um in der Natur vorkommende oder chemisch-synthetisch oder fermentativ hergestellte Verbindungen, die ihre Wirkung über die Beeinflussung der mikrobiellen Aktivität im Magen-Darmtrakt, über direkte Effekte auf den Intermediärstoffwechsel oder andere, ungeklärte Mechanismen erzielen (Greife und Berschauer, 1988).

Einige Leistungsförderer sind laut LFGB (Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch) vom 26.04.2006 als Futtermittelzusatzstoffe zugelassen. Nach Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung werden Leistungsförderer den zootechnischen Futtermittelzusatzstoffen zugeordnet, welche die Leistung von gesunden Tieren bzw. die Auswirkungen auf die Umwelt positiv beeinflussen. Ein Futtermittelzusatzstoff muss nach Artikel 5 Absatz 3 eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften besitzen:

- Die Beschaffenheit eines Futtermittels positiv beeinflussen,
- Die Beschaffenheit der tierischen Erzeugnisse positiv beeinflussen,
- Die Farbe von Zierfischen und Vögeln positiv beeinflussen,
- Den Ernährungsbedarf der Tiere decken,
- Die ökologischen Folgen der Tierproduktion positiv beeinflussen,
- Die Tierproduktion, die Leistung oder das Wohlbefinden der Tiere, insbesondere durch Einwirkung auf die Magen- und Darmflora oder die Verdaulichkeit der Futtermittel positiv beeinflussen oder
- Eine kokzidiostatische oder histomonostatische Wirkung haben.

Bereits 1970 wurde mit der Richtlinie 70/524 EWG eine Positivliste und genaue Anforderungen an die Zulassung von Leistungsförderern erstellt. Als Leistungsförderer wurden bis zu deren Verbot am 01.01.2006 vor allem Antibiotika in subtherapeutischen Dosierungen, bis 1988 auch Hormone, die auf den Intermediärstoffwechsel einwirken, eingesetzt. Dem EU-weiten Verbot der antibiotischen Leistungsförderer ging 1986 ihr Verbot in Schweden, 1991 in Finnland, 1995 in Norwegen, 1999 in der Schweiz und 2000 der freiwillige Verzicht der Schweineproduzenten in Dänemark voraus. Seitdem gewinnen alternative Leistungsförderer, wie Pro- und Prebiotika, organische Säuren, Spurenelemente, Enzyme, ätherische Öle und pflanzliche Zusatzstoffe mehr und mehr an Bedeutung.

2.1.2 Stoffe mit überwiegend antimikrobieller Wirkung

2.1.2.1 Antibiotika und Chemotherapeutika

Antibiose (griech.: anti = gegen, bios = Leben) bedeutet die gegenseitige Beeinflussung von Lebewesen innerhalb eines Ökosystems durch Vermittlung von chemischen Substanzen. Antibiotika sind ursprünglich Substanzen, die im Stoffwechsel lebender Zellen erzeugt werden und bereits in geringen Konzentrationen gegen bestimmte Mikroorganismen eine entwicklungshemmende (= bakteriostatische) oder abtötende (= bakterizide) Wirkung entfalten.

Die Zahl der charakterisierten Antibiotika beträgt über 4000, die der industriell hergestellten ca. 100. Als Anfang der 40er Jahre die industrielle Herstellung der Antibiotika zunahm, fielen bei deren Produktion immer mehr Mycelien an, für die nach einer Verwendung gesucht wurde. Schließlich untersuchte man, ob sie als Abfallprodukt an landwirtschaftliche Nutztiere verfüttert werden konnten. Dabei wurde sehr bald ihre wachstumsfördernde Wirkung erkannt. Moore et al. fanden 1946, dass die Verfütterung niedriger Dosen von Antibiotika positive Effekte auf die Gewichtszunahme und Futtermittelverwertung hat. Bald darauf erfolgte der Einsatz im Tierfutter zuerst in den USA, einige Jahre später auch in Europa (Freitag et al., 1999). Das Ausmaß des leistungssteigernden Effekts ist dabei abhängig von Tierart und Alter der Tiere, sowie von Haltung, Hygiene und Fütterungsbedingungen (Greife und Berschauer, 1988).

Laut Greife und Berschauer (1988) erhöht sich auch die Futteraufnahme um 2 bis 5 %, bei den Gewichtszunahmen sind in ihren Studien Verbesserungen von bis zu 10 % möglich. Ein weiterer positiver Effekt kann die Verminderung der Aufzuchtverluste um bis zu 10 % sein (Greife und Berschauer, 1988). Dzapo und Reiner (1991) ermittelten beim Einsatz von Avilamycin um 6,4 % bessere Zunahmen und eine um 3,1 % verringerte Futterverwertung, Roth und Kirchgessner (1990) verbesserte tägliche Zunahmen von 3,4 bis 4,9 % und eine verbesserte Futterverwertung von 0,4 bis 2,1 %. Birzer und Gropp (1991) stellten insgesamt bei Ferkeln einen deutlicheren Effekt als bei Mastschweinen fest. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Höhe der von ihnen festgestellten Effekte.

Tabelle 1: Effekthöhe von antimikrobiellen Leistungsförderern (nach Birzer und Gropp, 1991)

	<i>Tageszunahmen</i>	<i>Futterverwertung</i>
Ferkel	+ 16%	- 9 %
Schwein (Anfangsmast)	+ 9 %	- 5,5 %
Schwein (Gesamtmast)	+ 3,5 %	- 3 %

Die Wirkungen antibiotischer Leistungsförderer können sehr vielfältig sein und ihr Mechanismus ist noch immer nicht endgültig geklärt. Kamphues (1997) teilt die Wirkmechanismen in drei Hauptbereiche ein. Die Wirkung im Verdauungskanal, am Verdauungskanal und außerhalb des Verdauungskanals.

Im Verdauungskanal können Antibiotika die Zusammensetzung der Darmflora verändern, so dass es zu einer Hemmung schädlicher Keime kommt, sie können die mikrobielle Verdauung von Zuckern, Aminosäuren usw. vermindern, damit werden Nährstoffverluste verringert und die Konzentrationen von Ammoniak, Aminen und Milchsäure reduziert (Visek, 1978). Schließlich kommt es zu einer Stabilisierung des intestinalen pH-Wertes, was eine optimale Enzymaktivität unterstützt (Kamphues, 1999).

Am Verdauungskanal selbst reduzieren Antibiotika die Dicke der Darmwand, erhöhen die Aktivität der Enzyme und führen zu einer längeren Lebensdauer der Darmzotten, was eine protein-sparende Wirkung hat (Thomke und Elwinger, 1998).

Außerhalb des Verdauungskanals kommt es zu einer geringeren Belastung der Leber, die ohne antibiotische Zusätze mehr Ammoniak und sonstige Metaboliten und Toxine zu verarbeiten hat (Greife und Berschauer, 1988). Es wird außerdem eine Stimulation der Proteinsynthese durch Antibiotika im Intermediärstoffwechsel vermutet (Thomke und Elwinger, 1998).

Andererseits ist aber die Entstehung von bakteriellen Resistenzen als natürlicher Schutz- und Anpassungsmechanismus von Bakterien, eng an die Verabreichung und den Einsatz von antibiotisch wirkenden Substanzen gekoppelt. Vor allem in den Anfangszeiten, als noch wenig Resistenzprobleme aufgetreten waren, wurden als Leistungsförderer dabei häufig auch die gleichen Antibiotika verwendet, die auch in der Humanmedizin zur Therapie eingesetzt wurden (Wanner, 1999). Und gerade durch subtherapeutische Dosierungen kam es zunehmend zur Bildung resistenter Bakterienstämme (Helmuth, 1989).

Neben dem Auftreten lebensmittelassoziierter humanpathogener Keime (Campylobacter, Salmonellen, Verotoxinogene E.coli – VTEC), werden inzwischen auch vermehrt bedenkliche Mehrfachresistenzen in kommensalen Bakterien wie E.coli, Enterokokken, Laktobazillen und Laktokokken entdeckt (Domig, 2005).

Bereits 1963 wurde von Watanabe auch die Übertragbarkeit von resistenten Bakterienstämmen erkannt. Als deren Vorkommen zunahm, wurde 1969 im Swann-Report gefordert, nur noch solche Stoffe als Leistungsförderer einzusetzen, die geringe oder keine Bedeutung in der Humanmedizin aufweisen. Entsprechende Empfehlungen kamen auch von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG-Mitteilung, 1968) und der World Health Organisation (WHO, 1974). Seit 1999 waren nur noch Avilamycin, Flavophospholipol, Monensin und Salinomycin für leistungsfördernde Zwecke zugelassen, ab 2006 schließlich kam es zum kompletten, EU-weiten Verbot antibiotischer Leistungsförderer. Nach der Zoonoserichtlinie 2003/99/EG soll ein Monitoring resistenter Keime und eine Mengenerfassung eingesetzter Antibiotika erfolgen.

2.1.2.2 Kupfer

Kupfer ist ein essentielles Spurenelement, das als Bestandteil von Enzymen, bei der Blutbildung, Knochenbildung, Fortpflanzung, Pigmentation und vielem mehr im Körper eine wichtige Rolle spielt. Kamphues (1999) gibt für Schweine Versorgungsempfehlungen von 4 bis 10 mg/kg Futter an. Wird diese Konzentration auf 250 mg/kg Futter erhöht, berichten Barber et al. bereits 1955 von einem leistungssteigernden Effekt. Wachstumssteigerungen von ca. 8 % und eine um 5 % verbesserte Futtermittelverwertung sollen damit erreicht werden. Meyer und Kröger (1973) berichten von einer um 9 % verbesserten Futteraufnahme. Braude (1967) führt dies auf eine Vorliebe von Schweinen für kupferhaltiges Futter (Cuprophilie) zurück. Die Toleranzgrenze von Kupfer im Futter liegt bei etwa 400 ppm, sie ist jedoch abhängig vom Gehalt an Eisen, Zink, Molybdän und Sulfat (Heinritzi et al., 2006).

Der leistungssteigernde Effekt (Tab. 2) ist jedoch abhängig vom Alter der Tiere, von Dosierung, Futterzusammensetzung und Fütterungstechnik (Meyer und Kröger, 1973).

Tabelle 2: Durchschnittliche Leistungssteigerungen durch 250 mg/kg Kupfer in Form von Kupfersulfat (nach Meyer und Kröger, 1973)

<i>Gewichtsklasse</i>	<i>Gewichtszunahme (%)</i>	<i>Futtermittelverwertung (%)</i>
3 – 12 kg	+ 28,0	- 15,0
5 – 25 kg	+ 14,2	- 3,9
15 – 50/60 kg	+ 10,7	- 6,6
50/60 – 90/100 kg	+ 4,7	- 5,1

Neben einer Verschiebung von nicht-laktose-fermentierenden hin zu laktose-fermentierenden Streptokokken, und einer Verringerung der Gesamtkeimzahl wurde eine Verschiebung in den Lactobacillus-Arten festgestellt (Fuller et al., 1960). Barber et al. (1960) stellten ebenfalls eine Veränderung der bakteriellen Mikroflora und eine Verringerung der Anzahl der Pilze im Darm fest. Smith und Jones (1963) fanden dagegen keine Veränderungen in der Darmflora. Außerdem ist eine Wirkung auf das endokrine System denkbar (Meyer und Kröger, 1973).

Obwohl nur 2 bis 10 % des aufgenommenen Kupfers aus dem Magen-Darm-Trakt resorbiert werden (Braude, 1967) ist über eine kompetitive Hemmung eine verminderte Absorption von Eisen (Meyer und Kröger, 1973) und Zink (van Campen, 1970), mit entsprechenden Mangelsymptomen (Senkung des Hämoglobingehalt des Blutes, mikrozytäre Anämie, Parakeratose etc.) die Folge. Sehr hohe Konzentrationen führen zu einer Kupferintoxikation, die sich in vermindertem Wachstum, Appetitlosigkeit, Übererregbarkeit und Ikterus aufgrund von Leberzellschädigungen (Meyer und Kröger, 1973) äußert. Des Weiteren können hohe Kupferzulagen zu einer stärkeren Cadmiumretention beim Schwein führen (Rambeck et al., 1991).

In der Muskulatur erfolgt kaum eine Anreicherung von Kupfer (Hawbaker et al., 1961; Barber et al., 1957), ab einer Dosierung von 125 bis 250 mg/kg Futter kann sich Kupfer jedoch in der Leber und in geringerem Maße auch in der Niere, Lunge und Milz anreichern. Die Konzentrationen sinken zwar sehr schnell nach dem Absetzen der hohen Kupferzulage, bedeuten aber eine nicht zu vernachlässigende Rückstandsproblematik in der Nahrungskette (Braude, 1967). Daher wurde in der Anlage 3 zur Futtermittelverordnung der Zusatz von Kupfer auf 170 mg/kg Futter für Schweine bis zum Alter von 12 Wochen und auf 25 mg/kg Futter über einem Alter von 12 Wochen begrenzt. Die Belastungen der Schlachttierkörper sind seit Jahren rückläufig (Jahresbericht des Nationalen Rückstandskontrollplans für Lebensmittel tierischer Herkunft, 1999, 2000, 2004)

Schließlich kann es zu einer Kupferanreicherung in der Umwelt kommen, da nicht resorbiertes Kupfer über die Gülle ausgebracht wird. Nach Aufnahme von Weidegras, welches von einer mit kupferhaltiger Schweinegülle gedüngten Weide stammt, kann es bei Schafen zu einer Kupferintoxikation kommen. (Meyer und Kröger, 1973)

2.1.3 Stoffe mit Wirkung auf den Intermediärstoffwechsel

Eine Vielzahl von Hormonen ist an der komplexen Steuerung des intermediären Stoffwechsels und damit von Wachstum und Stoffansatz beteiligt. Durch den Einsatz von anabolen Steroiden (Androgene, Östrogene, Gestagene, Trenbolonazetat, Zeranol, Melengestrolazetat), β -Agonisten (Phenylethylamine) und Stoffen, die in die Somatotropin-Somatomedin-Achse eingreifen (Somatotropin/Wachstumshormon), ist eine Optimierung des Stoffwechsels zugunsten spezieller anaboler Abläufe, wie zum Beispiel Verringerung des Fettansatzes zugunsten des Fleischansatzes möglich. Außerdem können Hormone die Futtermittelverwertung und Tageszunahmen verbessern (Hoffmann, 1991). Keinen speziellen leistungssteigernden Effekt sollen anabole Steroide bei der Tierart Schwein besitzen (Beermann und deVol, 1991).

1985 wurden mit der EG Richtlinie 85/649/EWG sexualhormonwirksame Verbindungen als Leistungsförderer grundsätzlich verboten. Auch für β -Agonisten und Stoffe, die in die Somatotropin-Somatomedin-Achse eingreifen, besteht keine Zulassung (Hoffmann, 1991). In zahlreichen Ländern, wie den USA, Kanada oder Japan sind dagegen sowohl natürliche als auch synthetisch hergestellte Steroidhormone als Masthilfsmittel erlaubt (Karg und Meyer, 1999). Für diese Länder besteht seit 1989 ein Importverbot für derart behandelte Tiere (World Trade Organisation, 1998). Aus diesen Gründen wird hier nicht weiter auf diese Stoffklasse eingegangen.

2.1.4 Alternative Leistungsförderer

Vor allem seit dem Verbot der früher als sicher angenommenen und billigen Fütterungsantibiotika zum 1. Januar 2006 wächst das Interesse an neuen Futtermittelzusatzstoffen, die als Ersatz für diese Stoffe dienen sollen. Der Effekt dieser „alternativen Leistungsförderer“ ist jedoch häufig deutlich geringer und wenig reproduzierbar. Auch die Wirkmechanismen dieser breiten Stoffklasse sind meist noch unklar (Kamphues, 1999). Außer den Seltenen Erden (REE) gehören zu der Gruppe der Alternativen Leistungsförderer die Probiotika, die Prebiotika, Enzyme, organische Säuren und phytogene Zusatzstoffe.

2.1.4.1 Probiotika

Fuller (1989) definiert Probiotika als lebende, mikrobielle Zusatzstoffe, die regulierend in die Besiedlung des Verdauungskanals mit Mikroorganismen eingreifen und dabei einen positiven Effekt auf den Wirt ausüben. Im Futtermittelrecht werden sie nach VO (EG) 1831/2003 unter den zootechnischen Zusatzstoffen der Funktionsgruppe der Darmflorastabilisatoren zugeordnet.

Sie bestehen aus drei Hauptgruppen an Mikroorganismen. Bei der ersten Gruppe handelt es sich um Milchsäurebakterien der Gattungen *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* und *Enterococcus*, bei der zweiten um Bodenbakterien, die sich aus verschiedenen *Bacillus*-arten zusammensetzen. Die dritte Gruppe schließlich umfasst Pilze, Hefen und *Aspergillus oryzae* (Jadamus et al., 1999). Trotz der großen Schwankungsbreite der beschriebenen Effekte, konnten im Durchschnitt insgesamt etwas bessere Tageszunahmen und eine verbesserte Futterverwertung (vgl. Tab. 3) beim Zusatz probiotischer Kulturen festgestellt werden (Freitag et al., 1999).

Tabelle 3: Effekte von Probiotika auf die Leistung von Nutztieren (modifiziert nach Freitag et al., 1999)

	<i>Tägliche Zunahmen im Vergleich zur Kontrolle (%)</i>	<i>Futterverwertung im Vergleich zur Kontrolle (%)</i>
Ferkel	+ 4,8 (-8,1 bis + 24,3)	- 1,5 (+ 3,1 bis -9,2)
Schweine	+ 3,7 (-0,3 bis + 6,7)	- 5,1 (-1,4 bis -7,1)

Neben der Leistungsverbesserung ist vielfach auch eine erhöhte Krankheitsresistenz aufgefallen (Freter, 1956; Dubos, 1963; Lloyd et al., 1977). Durch eine stabilisierte Darmflora kann zum Beispiel die Durchfallshäufigkeit bei Kälbern und Ferkeln herabgesetzt werden (Gedek, 1993). Dies bestätigen auch Untersuchungen an der FU Berlin, bei denen durch Zusatz von *E. faecium* oder *B. cereus* das Auftreten von Durchfällen in 4 von 5 Versuchen bei Sauen, Saug- und Aufzuchtferkeln signifikant gesenkt werden konnte (Simon, 2005).

Die deutlicheren Effekte werden meist bei Jungtieren beobachtet, da ihre Mikroflora im Darm noch nicht vollständig und stabil ist. Auch bei gestressten

Tieren ist ein stabilisierender Einfluss der Probiotika auf die Darmflora feststellbar (Fuller, 1989; Roth, 1997). So konnte bei Versuchen an Ferkeln in der kritischen Zeit des Absetzens nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz von *Bacillus*-Spezies als Probiotikum die Zahl von pathogenen *Escherichia coli* K88, *E. coli* K99, *Salmonella typhimurium* und *Staphylococcus aureus* vermindert werden kann (Guo, 2006).

Für die positiven Effekte probiotischer Kulturen gibt es vielfache Erklärungsansätze. Die über das Futter zugeführten probiotischen Kulturen vermehren sich im Darmkanal, besiedeln die Darmwand und regulieren das Gleichgewicht der Darmflora hin zu einer Eubiose, indem sie die unerwünschten Bakterienstämme zurückdrängen (Gedek, 1993). Flachowsky und Daenicke (1996) sprechen diesem „Biofilm“ eine Art Platzhalterfunktion zu, so dass pathogene „Keime“ weniger Angriffsfläche zur Verfügung steht. Durch diese stabile Zusammensetzung der Magendarmflora soll sich die Tiergesundheit verbessern und das Wachstum der Tiere gleichmäßiger sein (Busch et al., 1999).

Neben der Produktion von Enzymen und kurzkettigen Fettsäuren, Erniedrigung des pH-Wertes und Abgabe antibiotischer Stoffwechselprodukte durch die Probiotika (Gedek, 1989; Fuller, 1989; Kühn, 1998), kommt es im Darm zu einer verstärkten Sekretion von Immunglobulin A, das die lokale Immunität im Darm stimuliert (Kühn, 1998; Roth, 1997). Dies wurde in einer Studie mit Einsatz von *Pediococcus acidilactici* (PA) and *Saccharomyces cerevisiae boulardii* (SCB) bestätigt. Es konnte eine veränderte Lymphozytenpopulation und erhöhte IgA-Spiegel im Darm von Ferkeln festgestellt werden, damit wanderten weniger enterotoxische *Escherichia coli* (ETEC) aus dem Darm aus, um regionäre Lymphknoten zu infizieren (Lessard, 2009).

Gedek (1993) fand des Weiteren eine geringere Darmschleimhautdicke und eine Verkürzung der Darmzotten und Breves et al. (1998) wiesen einen verminderten Wasserverlust durch den Darm nach. Schließlich ist eine verbesserte Fettresorption durch Beeinflussung des Gallensäurenstoffwechsels durch Probiotika denkbar (Jadamus et al., 1999).

Die teilweise sehr unterschiedlichen Angaben zu den Effekten der Probiotika, lassen sich möglicherweise unter anderem damit begründen, dass für ihre Wirksamkeit sowohl die Art der eingesetzten Keime, als auch die angewendete

Menge entscheidend sind (Dekker, 2007). Außerdem müssen probiotische Bakterien im Futtermittel ausreichend stabil sein und nach der Futteraufnahme in ausreichender Zahl bestimmte Regionen des Verdauungstraktes erreichen, dabei spielt auch die Futterzusammensetzung eine Rolle (Sommer und Bunge, 2007).

Probiotische Substanzen sind nicht toxisch und verursachen keine Rückstände in Lebensmitteln, für sie gilt keine Wartezeit. Die zugelassenen Zusatzstoffe sind in Anlage 3 der Futtermittelverordnung (FMV) von 2006 aufgeführt. Es wird jedoch davon abgeraten, Probiotika bei immungeschwächten Patienten einzusetzen, da lebensbedrohliche Septikämien oder Endokarditiden ausgelöst werden könnten. Auch von Fungämien, verursacht durch *Saccharomyces*-Stämme, wird berichtet (Arznei-Telegramm, 2007). Als Problem muss außerdem erwähnt werden, dass zunehmend gegen therapeutisch eingesetzte Antibiotika resistente Enterokokken-Stämme gefunden werden. Diese Resistenzen könnten auf andere Enterokokken-Stämme und auch andere Bakterien-Spezies übertragen werden. Da vor allem mehrfach-resistente Enterokokken-Stämme ein ernsthaftes Risiko darstellen, ist eine genaue Überwachung der in der Lebensmittelgewinnung als Starterkulturen und zur Fermentation eingesetzten Enterokokkus-Stämme nötig (Lukassowitz, 2002).

2.1.4.2 Prebiotika

Prebiotika sind nichtverdauliche Futterinhaltsstoffe, die sich positiv auf den Wirt auswirken, indem sie das Wachstum und die Aktivität einer geringen Anzahl von bestimmten Bakterienarten der Darmflora fördern (Gibson und Roberfroid, 1995). Sie werden nach VO (EG) 1831/2003 unter den zootechnischen Zusatzstoffen der Funktionsgruppe der Darmflorastabilisatoren zugeordnet.

Prebiotika sind z.B. Mannan- und Fructooligosaccharide, die von körpereigenen Enzymen nicht gespalten werden können, sie gelangen daher bis in die caudalen Abschnitte des Magendarmtraktes (Kühn et al., 1999). Bifidobakterien und Laktobazillen sind jedoch in der Lage diese Mehrfachzucker zu spalten, ihr Wachstum wird somit gefördert (Cummings und Macfarlane, 2002). Die so begünstigten Keime verdrängen über kompetitiven Ausschluss pathogene Keime, wie *E.coli*, Clostridien und Salmonellen, die Darmflora wird stabilisiert (Savage und Zakrezewska, 1995; Spring, 1996). Außerdem lassen sie für Pathogene ein ungünstiges Milieu entstehen, da beim Verstoffwechseln der Prebiotika

kurzkettige Fettsäuren (Acetat, Propionat, Butyrat) gebildet werden, die den pH-Wert senken. Dies führt insgesamt zu einer Vermehrung der erwünschten und zu einem Rückgang pathogener Keime (Wang und Gibson, 1993; van Loo et al., 1999).

Bei Versuchen mit Ferkeln zeigten sich aber oft keine oder nur geringfügig positive Effekte auf Futteraufnahme, tägliche Zunahmen und Futterverwertung (Ettle et al., 2005; Lindermayer und Probstmeier, 2002; Peet-Schwering et al., 1999). Miguel et al. (2002) fanden jedoch bei Saugferkeln im Durchschnitt eine um 4 % verbesserte Gewichtszunahme und eine um 2,4 % bessere Futterverwertung. Auch Işik (2004) fand signifikant bessere Aufzuchtleistungen beim präpartalen Einsatz von Lactulose bei den Sauen und in den ersten 21 Lebenstagen der Ferkel. Ein weiterer neuer Ansatzpunkt auf der Suche nach Alternativen zu den antibiotischen Leistungsförderern ist die Kombination von Pre- und Probiotika in den sogenannten Synbiotika (Niba, 2009). In einer Vergleichsstudie wurde die geringste Zahl von Adhäsionen von *E. coli* O8 : K88 an die Dünndarm- und Dickdarm-Mucosa beim kombinierten Einsatz von Laktobazillen und Maltodextrinen beobachtet (Nemcova, 2007).

2.1.4.3 Enzyme

Enzyme werden in der Tierernährung erst seit ca. 15 Jahren in größerem Umfang eingesetzt. Gemäß Verordnung (EG) 1831/2003 werden sie den zootechnischen Zusatzstoffen (Verdaulichkeitsförderer) zugeordnet. Sie werden dem Futter z.B. zugesetzt, um Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP), wie Beta-Glucane, Pentosane, Galactosyl-, Saccharose-Oligosaccharide, die vom Tier nicht verwertet werden können und sogar häufig antinutritive Eigenschaften haben, zu spalten. NSP sind im Getreide vor allem im Rohfaser- und Ballaststoffanteil enthalten und stellen hochmolekulare Kohlenhydrate dar. Sie erhöhen die Gasbildung im Darm und die Viskosität der Digesta, stören die Resorption von Nährstoffen und vermindern dadurch die Leistung (Jeroch, 1993). NSP sind außerdem in der Lage Nährstoffe einzuschließen, so dass sie dem Körper nicht mehr zu Verfügung stehen (Aman und Graham, 1987). Mit dem Einsatz NSP-spaltender Enzyme sollen diese negativen Eigenschaften vermindert werden (Jeroch, 1991, 1993; Vahjen und Simon, 1997) und somit die Nährstoffe besser verfügbar sein. Des Weiteren kann der Darminhalt aufgrund der gesenkten Viskosität des Darminhalts besser mit körpereigenen Enzymen durchmischt werden, so dass diese effektiver arbeiten

und eine effizientere Verdauung erfolgen kann (Fengler und Marquardt, 1988).

Andere Enzyme, die dem Futter zugesetzt werden sind die Phytasen, die vor allem in der Geflügel- und Schweinehaltung eingesetzt werden. Normalerweise hält Phytat einen Teil des Phosphors, den die Tiere mit der Nahrung aufnehmen, gebunden. Durch die Zulage von Phytasen wird das Phytat abgebaut und Phosphor freigesetzt, da sie die hydrolytische Abspaltung von Phosphatresten katalysieren. Gleichzeitig werden neben Phosphor auch Ca-, Zn-, Mg-, und Fe-Ionen, die an das Phytat gebunden waren, freigesetzt und für das Tier verfügbar. Somit kann die Nährstoffverwertung deutlich verbessert und die Umweltbelastung durch Reduktion der Phosphatgehalte in der Gülle vermindert werden (Nelson et al., 1971, Metzler, 2008). In einer Studie von Birzer und Gropp (1991) konnte bei Ferkeln der Phosphorgehalt im Futter von 0,6 % auf 0,48 % abgesenkt werden, ohne dass das Wachstum beeinträchtigt wurde. Neben der verbesserten Verdaulichkeit dieser Nährstoffe wurde in manchen Studien auch eine verbesserte Verdaulichkeit der Energie, höhere Plasmakonzentrationen von Glukose, Insulin, Harnstoff und bestimmter Aminosäuren festgestellt (Johnston et al., 2004). Durch Abbau des Phytats wird schließlich die Pufferkapazität des Futters gesenkt, was zu einer rascheren Durchsäuerung des Mageninhalts führt.

2.1.4.4 Organische Säuren

Organische Säuren werden seit langem Futtermitteln zugesetzt, um sie vor mikrobiellem Verderb zu schützen und zu konservieren. Futtermittelrechtlich gehören organische Säuren nach VO (EG) 1831/2003 zu den technologischen Zusatzstoffen und in dieser Gruppe zu den Konservierungsstoffen. Zurzeit sind über 40 Säuren zugelassen.

In Konzentrationen von 1 – 5 % werden vor allem Propion-, Ameisen-, Milch-, Fumar-, Zitronen-, Sorbin- und Benzoessäure verwendet, um Schimmelpilze und deren Mykotoxine im Futter zu reduzieren (Eidelsburger, 1997). Bereits in über 90 % der industriell hergestellten Ferkelaufzuchtfutter werden sie eingesetzt (Sommer und Bunge, 2007).

Neben der konservierenden Wirkung wurden auch leistungssteigernde, nutritive Effekte der Säuren festgestellt, die bei Ferkeln am deutlichsten sind. Durch die Fütterung der Säuren kommt es zur pH-Wert-Absenkung im Futter und anschließend auch im Magendarmtrakt der Tiere. Da gerade bei Ferkeln die

Salzsäure-Produktion im Magen oft noch nicht ausreichend ist, um schädliche Keime abzutöten und das für die Proteinverdauung nötige Pepsinogen zu aktivieren (Manners, 1976), konnten durch den Einsatz von Säuren häufig verbesserte Mastleistungen und weniger Durchfälle festgestellt werden (Diebold und Eidelsburger, 2006). Auch Kirchgessner und Roth (1998) berichten neben besseren Futterverwertungen und Tageszunahmen, von geringeren Aufzuchtverlusten. Der antimikrobielle Effekt und damit die Wirkung gegen Durchfälle, ist jedoch abhängig von spezifischen Eigenschaften der Säuren, wie Kettenlänge, Aufbau der Seitenkette, pKa-Wert und Hydrophobie. Zusätzlich ist die Sensibilität von Bakterien auf organische Säuren variabel, da bestimmte Formen die Fähigkeit zur Absenkung des intrazellulären pH-Wertes und damit einen Schutzmechanismus besitzen (Van Immerseel et al., 2006).

Organische Säuren weisen außerdem einen hohen Energiegehalt auf und werden ähnlich effizient verstoffwechselt wie Glucose, was zur Leistungsverbesserung beiträgt. Sie dürfen jedoch nicht zu hoch dosiert werden, da es durch Geschmacksbeeinträchtigung zu einer verminderten Futteraufnahme kommen kann (Partanen und Mroz, 1999). Laut Freitag et al., (1999) sind im Durchschnitt bei Ferkeln durch Zusatz von Fumarsäure verbesserte tägliche Zunahmen von 5,9 %, bei einer um 2,4 % verbesserten Futterverwertung möglich. Bei Mastschweinen hingegen verbesserten sich die Zunahmen im Schnitt um 3,4 % bei einer um 2,5 % günstigeren Futterverwertung.

Eidelsburger et al. (2007) konnten in Studien mit Ferkeln, bei hohem und niedrigem Proteingehalt des Futters, durch den Zusatz von 1,2 % Kaliumdiformiat (Formi®) signifikant bessere Leistungen beim Absetzen und in der Aufzucht bis 30 kg Lebendgewicht feststellen. Die Zunahmen waren um 14,6 %, die Futterverwertung um 9,4 % verbessert. Beim hohen Proteingehalt des Futters wurde sogar eine noch um 0,1 kg/kg bessere Futterverwertung beobachtet, was die durch Ansäuerung verbesserte Proteinverdauung bestätigt (Eidelsburger et al., 2007). Allerdings spielt hier auch der relativ hohe Preis für das Zusatzprodukt eine Rolle.

2.1.4.5 Phyto gene Zusatzstoffe/Kräuter und Aromastoffe

Pflanzliche Futterzusatzstoffe sind eine inhomogene Gruppe mit vielfältigen Inhaltsstoffen. Gemäß Anlage 3 zur Futtermittelverordnung werden sie zu den „Aroma- und appetitanregenden Stoffen“ gezählt. Sie sind in der Regel natürlichen Ursprungs und werden aus Blüten, Blättern, Rinden, Wurzeln, Knollen, Samen und Früchten von Kräutern und Gewürzen gewonnen (Wald, 2003; Westendarp, 2003).

Als Kräuter werden nicht verholzte, blühende Pflanzen bezeichnet, die sich durch ihre besonderen medizinischen Eigenschaften oder ihr Aroma auszeichnen. Als Gewürze werden jene Kräuter bezeichnet, die zur Lagerhaltung und zum Würzen verwendet werden. Pflanzenextrakte sind Präparate, die aus ganzen oder Teilen von Pflanzen erzeugt werden. Ätherische Öle werden durch Wasserdampfdestillation mit Lösungsmitteln extrahiert und sind frisch destilliert noch farblose Flüssigkeiten. Erst unter Lichteinfluss oxidieren sie und verfärben sich. Dabei ändert sich ihr Geruch und die Viskosität nimmt zu.

Die Zusammensetzung des ätherischen Öles einer Pflanze ist genetisch festgelegt, aber auch von ihrem Entwicklungsstand, vom verwendeten Pflanzenteil und Umweltfaktoren abhängig. Die Qualität ist gemäß dem deutschen Arzneimittelbuch standardisiert (Teuscher; 1997; Dachler und Pelzmann, 1999; Sticher, 1999). Tabelle 4 gibt einen Überblick über Hauptbestandteile und Herkunft einiger wichtiger Pflanzen, aus denen ätherische Öle hergestellt werden.

Tabelle 4: Wirksubstanzen von ausgesuchten ätherischen Ölen, modifiziert nach Ehrlinger, 2007

<i>Pflanze</i>	<i>Herkunft</i>	<i>Hauptbestandteil</i>
Anis	Mittelmeerraum	Anethol, Estragol, Anisaldehyd
Fenchel	Mittelmeerraum	Anethol
Hopfen	Kulturen	Myrcen, Humulen, Caryophyllen
Kamille	Mittelmeerraum	Carvon, Limonen
Melisse	Weltweit	Geranial, Neral
Minze	Asien, Südamerika	Menthol
Mistel	Mittelmeerraum	Lektine, Viscotoxine
Rosmarin	Kulturen	Pinen, Cineol, Campher, Borneol
Salbei	Europa	Thujon, Campher, Cineol
Weiden	Kulturen	Salicylsäure
Zimt	Südostasien	Zimtaldehyd, Eugenol

Die ätherischen Öle zählen neben Bitterstoffen, Scharfstoffen, Gerbstoffen, Farbstoffen und phenolischen Stoffen zu den sekundären Inhaltsstoffen der Pflanzen. Auf diese werden die Wirkungen phytogener Zusatzstoffe vor allem zurückgeführt. In vielen Fällen ist es jedoch nicht möglich, die Wirkungsweise eines pflanzlichen Zusatzstoffes einer dieser zahlreichen enthaltenen Substanzen sicher zuzuordnen (Teuscher, 1997; Kluth et al., 2003).

In der Tierernährung steht die die positive Wirkung phytogener Zusatzstoffe auf die Futteraufnahme und Verdauungsvorgänge, sowie ihre antimikrobiellen und antioxidativen Eigenschaften im Vordergrund (Wenk, 2005a).

Bei Schweinen wird vor allem der aromatisierende Effekt auf die Futteraufnahme genutzt, da die Akzeptanz des Futters stark von Geruch und Geschmack beeinflusst wird (Perdok et al., 2003; Wald, 2003). Hier finden vor allem Oregano, Zimt und Knoblauch Anwendung.

Es werden jedoch viele weitere Wirkungsweisen phytogener Futterzusatzstoffe diskutiert. So sollen sie auch noch im Magendarmtrakt eine positive Auswirkung auf die Leistung der Tiere haben, indem sie die Speichel- und Magensaftsekretion, sowie die Motilität des Darms anregen (Jones, 2001). Abhängig von ihrer Zusammensetzung wird auch ein Einfluss auf die Mikroorganismen des Gastrointestinaltrakts angenommen (Lis-Balchin und Deans, 1997). So werden manchen Pflanzen antimykotische oder antibakterielle Eigenschaften zugesprochen, außerdem wird eine immunstimulierende Wirkung diskutiert (Hitikoto et al., 1978; Gollnisch und Halle, 2001). Durch den Einsatz von *Echinacea purpurea* (Roter Sonnenhut) konnten in vitro und in vivo Gene, die eine unspezifische Immunantwort vermitteln, beeinflusst werden (Randolph et al., 2003). Hermann et al. (2003) konnten jedoch bei Ferkeln, die experimentell mit dem PRRS-Virus (Porcines Reproductives Respiratorisches Syndrom) infiziert wurden, keine verbesserte Immunantwort beim Einsatz von *Echinacea purpurea* feststellen. Bei der Verabreichung von *Ascophyllum nodosum* (Knotentang) kam es zu einer Aktivierung von porzinen Alveolarmakrophagen (Turner et al., 2001).

Schließlich werden antioxidative Eigenschaften als Ursache für den leistungssteigernden Effekt erwogen. Tocopherole und andere Phenole können die Oxidation von Futterbestandteilen verhindern und auch im Organismus eine Schutzfunktion von Lipiden und Zellmembranen etc. übernehmen (Baldioli et al., 1996; Lee et al., 2003). So berichtet Wenk (2002) von der antioxidativen Wirkung von Rosmarin und Elfenbeinkraut.

Die Aktivität und damit die Wirksamkeit dieser empfindlichen pflanzlichen Stoffe hängt unter anderem von den bei der Extraktion verwendeten Lösungsmitteln, Temperaturen und dem pH-Wert ab (Wenk, 2005b). Schließlich fehlen häufig verlässliche Analysemethoden zum Nachweis der wirksamen Inhaltsstoffe, was die Überprüfbarkeit der Herstellerangaben erschwert oder fast unmöglich macht (Sommer und Bunge, 2004). Auch zu negativer Geschmacksbeeinträchtigung durch Glycoside, Alkaloide usw. bedarf es noch weiterer Untersuchungen.

In zahlreichen Studien wurde die Wirksamkeit phytogener Zusatzstoffe geprüft. Günther und Bossow (1998) stellten durch den Einsatz des ätherischen Öles von „*Oreganum vulgare*“ bei Absatzferkeln eine spektakuläre Steigerung der Gewichtszunahme um 7,2 % und eine um 9,1 % verbesserte Futterverwertung fest, die so jedoch nicht reproduziert werden konnte. Bei Mastschweinen sind in der Literatur verbesserte Tageszunahmen von 0 bis zu in einzelnen Fällen 7,6 % genannt und eine Verbesserung der Futterverwertung von 0 bis hin zu 7,8 % (Maribo, 2002, Kulpys et al., 2005; Seskeviciene et al., 2003; Wetscherek und Dobretsberger, 2002). Abhängig von der Dosierung konnte die Futterraufnahme aber auch negativ beeinflusst werden (Gebert, 1999; Richter et al., 2002; Schuhmacher et al., 2002).

Zahlreiche Studien wurden auch zum phytoenen Futterzusatzstoff digestan® durchgeführt. Bei digestan® handelt es sich um ein Ergänzungsfuttermittel, das genau definierte ätherische Ölen enthält.

Bei einem ersten Mastversuch an der Fachhochschule Nürtingen wurden durch den Einsatz von digestan® im Vergleich zur Kontrolle ein gesteigerter Futterverzehr, höhere tägliche Zunahmen und eine bessere Futterverwertung erzielt.

In einer in München an der LMU durchgeführten Studie, wurden die Effekte des Zusatzes von digestan® in einer Konzentration von 1000 mg/kg Futter und eine Kombination des phytoenen Zusatzstoffes mit 300 mg/kg Futter Seltenen Erden untersucht. Es konnte eine Steigerung des durchschnittlichen Körpergewichts im Vergleich zur Negativkontrolle bei männlichen Tieren um 3,1 % und bei weiblichen Tieren um 1,8 % beobachtet werden. Die Kombination von Seltenen Erden und digestan® erbrachte keinen kumulativen Effekt (Miller, 2006). Einen Überblick über die durchschnittlichen Ergebnisse der Versuche in der Ferkelaufzucht und Schweinemast gibt Tabelle 5.

Tabelle 5: Durchschnittliche relative Veränderung der täglichen Futteraufnahme, täglichen Zunahme und Futterverwertung durch den Einsatz von digestan® in der Ferkelaufzucht und Schweinemast (nach digestan®-Flyer)

	<i>Ferkelaufzucht</i>	<i>Schweinemast</i>
	<i>(China 2002, Heyda 2002, Göttingen 2003, München 2004, Düsse 2005, Soest 2007)</i>	<i>(Osnabrück 2002, Nürtingen 2002, Lienen 2004, Jena 2004, Polen 2005)</i>
Tägliche Futteraufnahme (relativ zur Kontrolle = 100 %)	103 %	101 %
Tägliche Zunahme (relativ zur Kontrolle = 100 %)	107 %	105 %
Futterverwertung (relativ zur Kontrolle = 100 %)	95 %	96 %

2.2 Seltene Erden als Leistungsförderer

2.2.1 Einteilung und Stellung im Periodensystem

Der Begriff „Seltene Erden“, im Englischen „Rare Earth Elements“ (REE) ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von 17 Übergangsmetallen, die in der 3. Nebengruppe des Periodensystems eingeordnet sind. Sie werden auch als Seltenerdelemente oder Seltenerdmetalle bezeichnet. Es handelt sich um silberfarbene Metalle mit den Elementen Scandium (Sc, Ordnungszahl 21), Yttrium (Y, 39), Lanthan (La, 57) und die 14 auf Lanthan folgenden und als Lanthanoide bezeichneten Metalle Cer (Ce, 58), Praseodym (Pr, 59), Neodym (Nd, 60), Promethium (Pm, 61), Samarium (Sm, 62), Europium (Eu, 63), Gadolinium (Gd, 64), Terbium (Tb, 65), Dysprosium (Dy, 66), Holmium (Ho, 67), Erbium (Er, 68), Thulium (Tm, 69), Ytterbium (Yb, 70) und Lutetium (Lu, 71). Entsprechend dem gemeinsamen Vorkommen in der Natur ist eine Einteilung in „leichte Seltene Erden“ (Ceriterden) und „schwere Seltene Erden“ (Ytterden) möglich, wobei die erste Gruppe die Elemente von Lanthan bis Europium und die zweite die Elemente von Gadolinium bis Lutetium mit Yttrium einschließt. Scandium wird keiner dieser Gruppen zugeordnet, es bildet eigene Metalle (Gscheidner, 1978). Die Seltenen Erden besitzen sehr ähnliche chemische Eigenschaften und werden deshalb auch als „die brüderlichen Fünfzehn“ bezeichnet (Considine, 2005). So sind sie zum Beispiel alle starke Reduktionsmittel, lösen sich in Säuren unter Wasserstoffentwicklung und reagieren leicht mit Chlor, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff zu Chloriden, Nitriden, Hydriden und Carbiden (Bartels et al., 1999). Diese Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften ergibt sich, da die Lanthanoide eine sehr ähnliche chemische Grundstruktur besitzen. Die mit steigender Ordnungszahl hinzukommenden Elektronen werden in die 4-f-Schale eingebaut, die von weiter außen liegenden Schalen nach außen hin abgeschirmt wird und damit einen sehr geringen Einfluss auf die chemischen Eigenschaften hat. Die chemischen Eigenschaften werden vor allem von der 3-d-Schale bestimmt. Lanthanoidionen haben außerdem große Ähnlichkeit zu Calciumionen, sie können daher biologische Calciumbindungsstellen besetzen und Calciumionen ersetzen (Cotton und Wilkinson, 1966, Evans, 1990).

2.2.2 Toxikologie

Generell wird die orale Toxizität von Seltenen Erden für Säugetiere als sehr gering eingestuft (Haley, 1979). Sie ist jedoch abhängig vom Applikationsweg und der Art der Verbindung (Evans, 1990). Organische Verbindungen sind im Allgemeinen besser verfügbar als anorganische (Durbin et al., 1956; Ji et al., 1985; Evans, 1990). Die orale Bioverfügbarkeit der REE ist mit 1 – 10 % insgesamt aber sehr gering (Ji, 1985; Evans, 1990). Die Ausscheidung von Lanthan erfolgt zu 80 % über die Galle, etwa 13 % werden direkt über die Darmwand ausgeschieden. Bei Rattenversuchen fanden sich 99,3 % der oral verabreichten REEs in den Fäzes wieder (Hutchison et al., 2004; Albaaj und Hutchison, 2005). Eine erhöhte Bioverfügbarkeit konnte bei Jungtieren und bei Tieren, die einen Mangel an Calcium, Phosphor oder Vitamin A haben, festgestellt werden (Venugopal und Lucky, 1978).

Trotz der geringen Resorptionsrate ist bei längerfristiger oraler Aufnahme eine begrenzte Retention in den Organen feststellbar. Dabei reichern sich leichte Seltene Erden eher in der Leber und schwere Seltene Erden vermehrt im Knochen an (Evans, 1990). Insgesamt erfolgt die Ablagerung im Körper in der Reihenfolge Leber/Knochen > Milz > Niere > Herze > Lunge (Nakamura et al., 1991). Auch Eisele (2003) konnte bei Versuchen mit Ferkeln im Vergleich zur Kontrollgruppe 4-fach erhöhte Cer-Konzentration in der Leber feststellen, während im *M. glutaeus* teilweise sogar niedrigere Werte als bei den Kontrolltieren gemessen wurden. Borger (2003) beobachtete bei Schweinen durch Zulage eines Cer-Lanthan-Chlorid-Gemisches eine 19-fach erhöhte Konzentration in der Leber und einen 6-fachen Anstieg der Gehalte in den *Musculi adductores*.

Insgesamt lagen diese Konzentrationen in allen Versuchen jedoch im µg-Bereich. Außerdem können bereits in Kontrollschweinefutter Gehalte von Lanthan und Cer von bis zu 0,2 und 0,4 mg/kg festgestellt werden (Rambeck et al., 1999; Borger, 2003). Shan et al. (2003) fanden sogar im natürlichen Pflanzenspross von Weizen höhere Lanthan- und Cerkonzentrationen als in den Organen der Versuchstiere festgestellt werden konnten.

In vielen Studien zur akuten Toxizität an Mäusen, Ratten, Meerschweinchen, Schweinen und Affen konnte gezeigt werden, dass auch die einmalige Verabreichung von großen Mengen an Seltenen Erden keine negativen Effekte auf die Gesundheit hat (Haley, 1965; Hutchison et al., 1975; Ji et al., 1985; Cochran

et al., 1950; Durbin et al., 1956). Bei Ratten blieb sogar die orale Verabreichung von 1.000 bis 10.000 mg/kg REE-Oxiden ohne toxische Folgen (Bruce et al., 1963; Cochran et al., 1950, Feldhaus, 2006). Richter (2003) gibt für einfache REE-Verbindungen LD₅₀-Werte von bis zu 10 g/kg an.

Bei Langzeitapplikation kann es bei extrem hohen Dosen zu Leber- und Nierenschäden kommen, daher wurden von Feng et al. (2002) die Höhe der sicheren Dosis in einem Bereich von 0,1 bis 0,2 mg/kg KG festgelegt. Auch Eapen et al. (1996) beobachtete kardiale Fibrosen bei Ratten mit Magnesiummangel aufgrund einer Ceranreicherung.

In keiner der zahlreichen „westlichen Fütterungsstudien“ mit Seltenen Erden konnte eine Beeinträchtigung der Tiergesundheit, der Schlachtkörper- oder der Fleischqualität festgestellt werden (Rambeck et al., 1999; Schuller, 2001; He et al., 2001; Eisele, 2003; Borger, 2003; Rambeck et al., 2004; Knebel, 2004; Miller, 2006; Förster et al., 2006; Franzke, 2007; Brugger, 2007). Auch in der Toleranzstudie von Glabasia-Kreppold (2008) mit einer bis zu 10-fachen Überdosierung ausgehend von der empfohlenen Dosis, fanden sich keine negativen Auswirkungen, weder bei den lebenden Tieren, noch bei der Blut- und der histopathologischen Untersuchung.

Für den Menschen liegt der ADI-Wert für REE-Oxide bei 0,1 – 1 mg/kg KG (Ji et al., 1985) und bei 12 – 20 mg/Person/Tag für REE-Nitrate (Song et al., 2005). Für die tägliche Aufnahme mit normaler Nahrung werden Werte von 2,1 – 2,5 mg/Person/Tag angenommen (Su et al., 1993).

Im Rahmen einer Toxikologiestudie wurde die orale Verabreichung von täglich 3g Lanthan/Person getestet und keine Beeinträchtigung des Gesundheitszustands oder Hinweise auf eine Akkumulation im Organismus festgestellt (Harrison und Scott, 2004; Hutchison et al., 2004; Locatelli et al., 2004; Ritz, 2004). Damit ist eine große Sicherheitsspanne vorhanden und eine Gefährdung des Verbrauchers auszuschließen.

Anders ist die Toxizität aufgrund der 100%igen Verfügbarkeit bei parenteraler Applikation zu beurteilen. Die letale Dosis von Lanthanchlorid liegt bei subkutaner Injektion bei der Maus zwischen 500 und 3.500 mg/kg, bei intraperitonealer Injektion zwischen 121 und 371 mg/kg, bei intravenöser Applikation liegt der LD₅₀-Wert sogar bei 10 – 100 mg/kg KG (Evans, 1990).

Typische Symptome einer akuten Vergiftung sind Sedation, Krümmen, Ataxie, angestrenzte Atmung und Zehenspitzenengang mit gekrümmtem Rücken (Haley, 1979). Nach intravenöser Verabreichung konnten verlängerte Gerinnungszeiten (Guidi, 1930; Vincke und Oelckers, 1937; Hunter und Walker, 1956), Blutdruckabfall (Graca et al., 1964) und Appetitverlust (Evans, 1990) beobachtet werden. Eine anschließende Akkumulation in der Leber von über 78 % wurde festgestellt (Nakamura et al., 1991). Eine weitere Folge der intravenösen Injektion ist die fettige Degeneration der Leber durch Triglyceride, deren Plasmakonzentration gleichzeitig abfällt (Renaud et al., 1980; Grajewski et al., 1977). Als Erklärung wird die gesteigerte Sequestration der Fettsäuren durch die Leber, eine verringerte Oxidation der Lipide durch Mitochondrien und eine geringere Syntheseleistung und Sekretionsrate von Lipoproteinen gesehen (Evans, 1990).

2.2.3 Vorkommen und Gewinnung der Seltenen Erden

Seltene Erden kommen ubiquitär im Boden und in Pflanzen vor (Housecroft und Sharpe, 2006). Sie machen 0,01 – 0,02 Gewichtsprozent der Erdkruste aus und sind damit nicht so selten wie ihr Name vermuten lässt (Bartels et al., 1999). 80 % des weltweiten Vorkommens befinden sich in China, das auch in der industriellen Förderung und Aufbereitung auf dem Weltmarkt führend ist (Brown et al., 1990; Pang et al., 2002). Im Inneren der Mongolei, ca. 100 km von Batao befinden sich die derzeit bedeutendsten Lagerstätten. Die Erzeugung ist seit Jahren stark steigend, 94 % des Abbaus stammen dabei aus China, Cuba, Korea, Vietnam und der Mongolei (Weber und Zsak, 2007). Vor allem durch Verwitterungsprozesse entstandene, sekundäre Lagerstätten, die Monazitsande sind rentable Quellen für die Gewinnung der Seltenen Erden, weniger die primären Ablagerungen, die vor allem aus Bastnäsit bestehen und geringere Konzentrationen und hartes Begleitgestein aufweisen (Blume, 2001). Der Abbau erfolgt überwiegend in der Tagebautechnik. Nach einer Anreicherung erfolgt die Nassvermahlung, Magnetabscheidung und Flotation. Die dann entstandenen REE-Konzentrate enthalten 50 – 60 % Seltenerdoxide. Sie werden über mehrere Schritte zunächst in eine REE-Sulfat-Lösung, dann in Citratform überführt. Schließlich ist eine Trennung der Elemente, wie sie für viele technische Einsätze nötig ist, mit einer Flüssig-Flüssig-Extraktion oder Ionenaustauschverfahren möglich (Hoppenheit und Mücke, 2005; Schöne, 2009).

2.2.4 Verwendung in Technik und Medizin

Der Einsatz der Seltenen Erden ist sehr vielfältig, die größten Mengen werden jedoch in der Industrie verwendet. Die Lanthanoide werden hier aufgrund ihrer magnetischen, katalytischen und optischen Eigenschaften genutzt. 37 % finden in der Metallurgie Anwendung, 30 % werden für Katalysatoren eingesetzt, 29 % in der keramischen Industrie und ungefähr 1 % in anderen Industriezweigen. In der Elektronik und Optoelektronik zur Herstellung von Luminophoren, Lasern, Glasfaserleitern, Permanentmagneten und Supraleitern werden nur reine Lanthanoidkomponenten verwendet (Palasz und Czekaj, 2000). Seltene Erden finden außerdem in der Radiologie Anwendung (Evans, 1990). So dient Gd^{3+} als Kontrastmittel in der Magnetresonanztomographie (Bulman, 2003).

In der Humanmedizin wurden sie früher aufgrund ihrer pharmakologischen Eigenschaften als Antiemetikum, Antikoagulantien und Antiinfektiva eingesetzt, wo sie jedoch inzwischen durch wirksamere Pharmazeutika ersetzt wurden. Noch heute werden sie in Salben zur Behandlung von Brandwunden (de Gracia, 2001; Garner und Heppel, 2005) und bei Nierenerkrankungen als Phosphatfänger verwendet. Lanthancarbonat zeigt *in vitro* bei pH 3 – 9 eine Phosphatbindekapazität von über 97 % (De Broe und D'Haese, 2004). So kann über die Bildung von unlöslichen Komplexen die Absorptionsrate von in der Nahrung enthaltenem Phosphat gesenkt werden. Laut einer aktuellen Studie kann der Serumphosphatspiegel sogar mit einer Monotherapie mit einer Tagesdosis von 1500 – 2250 mg Lanthancarbonat kontrolliert werden (Shigematsu et al., 2008). In den USA ist seit 2004 das Medikament Fosrenol® (Shire US Inc., USA) mit dem Wirkstoff Lanthan-Carbonat für Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz zugelassen (Behets et al., 2004). In Deutschland ist es seit 2006 auf dem Markt. Als calcium- und aluminiumfreier Phosphatbinder soll Lanthancarbonat die gleiche Effektivität der Phosphatbindung wie Aluminium besitzen, ohne dessen Toxizität der Langzeitanwendung zu zeigen (Fukagawa und Harman, 2005).

Seit Oktober 2008 kann Lanthancarbonat-Octahydrat (Produktname Lantharenol®) auch zur unterstützenden Behandlung der chronischen Niereninsuffizienz bei der Katze eingesetzt werden. In Studien wurde gezeigt, dass Lantharenol® zu einer deutlichen Abnahme der Phosphataufnahme führt. Die Ausscheidung von Phosphaten über die Fäzes und die Abnahme der Exkretion über die Nieren stand in direkter Korrelation zur Dosis des Präparats

und zum Phosphorgehalt der Futtermittel (Spiecker-Hauser et al., 2007; Schmidt et al., 2008a). Bisher sind weder Nebenwirkungen noch Unverträglichkeitsreaktionen von Lantharenol bei Katzen aufgetreten. In Studien konnten auch bei zehnfacher Überdosierung über zwei Wochen keine Nebenwirkungen bei Katzen provoziert werden (Schmidt et al., 2008b; EFSA, 2007).

Ein weiteres Anwendungsgebiet für lanthanoidhaltige Medikamente könnte die Krebstherapie sein. Neben einer Hemmung des Wachstums von Tumorzellen konnte eine gesteigerte Expression der Tumorsuppressorgene p53, p16 und p21 nachgewiesen werden (Xiao et al., 1997). Heffeter et al. (2006) stellten in vitro eine Apoptoseinduktion durch Chromatinkondensation, Caspasesubstratspaltung und Depolarisation der Mitochondrienmembran fest. In vivo konnten vergleichbare Wirkungen wie mit konventionellen Medikamenten wie Cisplatin oder Methotrexate gezeigt werden. Bereits vor langem wurde eine inhibitorische Wirkung auf Tumorzellen durch Applikation einer Cerium-Iodverbindung bei Morbus-Hodgkin-Patienten beobachtet (Lewin, 1924; Cohn, 1925).

Zahlreiche Studien wurden auch über den knochenprotektiven Effekt von Seltenen Erden durchgeführt. In einer Dosierung von 8000 mg/kg Futter Seltenerd-Citrat-Gemisch bzw. 1740 mg/kg Futter Lanthanarbonat wurde im postmenopausalen Osteoporosemodell der ovariektomierten Ratte eine signifikante Steigerung der trabekulären Knochendichte, eine Aktivierung der Osteoblasten und eine Hemmung der osteoklastischen Aktivität nachgewiesen (Feldhaus, 2006; Wehr und von Rosenberg, 2009). Glabasnia-Kreppold (2008) fand in einer Toleranzstudie an 24 Ferkeln mit 250, 1250 und 2500 mg/kg Futter eines REE-Citrats keinen Einfluss auf den Calcium- und Phosphorgehalt des Femurs feststellen.

2.2.5 Einsatz in der chinesischen Landwirtschaft

In der chinesischen Landwirtschaft werden sie seit über 40 Jahren sowohl in der pflanzlichen als auch in der tierischen Produktion genutzt. In der Pflanzenzucht werden die kostengünstigen und leicht verfügbaren Gemische verschiedener Seltener Erden dem Dünger zugesetzt oder auf Saatgut und Blätter aufgesprüht, um Leistung und Pflanzengesundheit zu verbessern (Chang et al., 1998). So konnten Brown et al. (1990) eine gesteigerte Wurzelbildung, Zunahme des Chlorophyllgehaltes, eine bessere Fruchtfarbe und eine insgesamt schnellere Entwicklung beobachten. Außerdem gab es Hinweise auf eine Stimulation von Absorption, Transfer und Assimilation von Nährstoffen (Xia und He, 1997; Pang et al., 2002).

Die Anreicherung erfolgt zu fast 90 % in den Wurzeln, nur zu etwa 10 % in Rinde und Stiel und kaum in den Blättern (Hong et al., 1996). Es konnten jedoch auch nachteilige Effekte der Applikation von Lanthanoiden festgestellt werden. So kam es bei geringen Dosierungen (20 µmol/l) zu 60 % reduziertem Sprosswachstum bei Mungobohnen (*Phaseolus vulgaris*) (von Tucher und Schmidhalter, 2005).

In der chinesischen Tierzucht wird von spektakulären Leistungssteigerungen und deutlichen Verbesserungen der Qualität tierischer Produkte durch die Seltenen Erden berichtet. Die Lanthanoide werden den Nutztieren oral mit dem Futter oder mit dem Wasser verabreicht. Sie sollen die Zunahmen von Schweinen, Rindern, Schafen, Kaninchen, Hühnern, Enten und Fischen, sowie die Milchproduktion und Legeleistung steigern (Shen et al., 1991). Xia und He (1997) berichten von einer um 10 % gesteigerten Gewichtszunahme und einem um bis zu 9 % verbesserten Haarwachstum bei Kaninchen. Positive Effekte konnten sie auch bei bestimmten Karpfenarten und Garnelen zeigen.

Insgesamt wird für Absatzferkel eine Verbesserung der Gewichtszunahme zwischen 5 % und 23 % und eine um 4 - 19 % günstigere Futtermittelverwertung angegeben (Shen et al., 1991; Zhu et al., 1994; Yuan, 1994; He und Xia, 1998). Bei Mastschweinen werden Leistungssteigerungen von bis zu 32 % in der Tageszunahme und bis zu 24 % in der Futtermittelverwertung beim Einsatz der Seltenen Erden angegeben (Wan et al., 1997; Hu et al., 1999).

Eine vergleichende Bewertung der Studien ist nur bedingt möglich, da viele unterschiedliche Gemische aus Salzen und Oxiden Seltener Erden in stark variierenden Dosierungen (100 – 600 mg/kg) eingesetzt wurden und sich die Versuchsbedingungen zum Teil stark von westlichen Bedingungen unterscheiden oder zu wenig bekannt sind.

2.2.6 Fütterungsversuche unter „westlichen Bedingungen“

Da Leistungsförderer suboptimale Bedingungen zu einem gewissen Grad ausgleichen, ist ihre Wirkung bei niedrigem Leistungsniveau zumeist deutlicher (Riedel-Caspari, 1988). Die oft spektakulären Resultate der in China durchgeführten Studien können daher nicht einfach auf westliche Produktionsbedingungen mit optimierten Fütterungs-, Haltungs-, Hygienebedingungen und Hochleistungsrassen übertragen werden (Xie et al., 1995; Wenk, 2005a).

Dennoch konnten auch bei den seit 1999 durchgeführten Versuchen in Deutschland überwiegend positive Einflüsse auf die Mastleistung verschiedener Nutztiere festgestellt werden (Tab. 6). Nach der Entdeckung der Seltenen Erden und deren vielfältigen Einsatz in der chinesischen Landwirtschaft wurden, ausgehend vom Veterinärwissenschaftlichen Departement der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, zahlreiche Versuche zu den Auswirkungen auf Leistung, Gesundheit, Blutparameter und vieles mehr durchgeführt. Insbesondere in der Ferkelaufzucht konnten positive Effekte beobachtet werden. Neben Versuchen mit Schweinen wurden auch zahlreiche Studien mit Geflügel, Ratten und Fischen durchgeführt. Aktuell konnten auch verbesserte Mastleistungsparameter bei Broilern durch den Zusatz der Seltenen Erden beobachtet werden (He et al., 2009). Inzwischen beschränken sich die Versuche nicht mehr nur auf Deutschland, sondern werden auch im europäischen Ausland durchgeführt.

Bei den ersten „westlichen Versuchen“ handelte es sich bei den eingesetzten Verbindungen im Wesentlichen um die Elemente Lanthan und Cer, die als Nebenprodukte der Gewinnung anderer Seltener Erden kostengünstig zu erwerben sind und auch meist in den chinesischen Studien eingesetzt wurden. In der Schweiz wurde schließlich 2003 ein Seltene-Erden-Präparat unter dem Markennamen „Lancer®“ als Futtermittelvormischung vorläufig zugelassen.

Lancer® enthält aus China importierte Seltene Erden in Citratform und ist im Verhältnis 50 : 50 mit Weizenstärke gemischt.

In der ersten Studie mit den Seltenen Erden setzten Rambeck et al. (1999) 75 und 150 mg/kg eines reinen Lanthanchlorids und eines Gemischs aus Cer-, Lanthan- und Praseodymchlorid ein. Die Ferkel, die das Gemisch erhalten hatten, zeigten im Vergleich zur Kontrolle um 5 % bessere Tageszunahmen in der hoch dosierten und um 2 % in der niedrig dosierten Gruppe. Die Futtermittelverwertung war um 7 bzw. 4 % verbessert. Mit reinem Lanthanchlorid konnten dagegen nur geringfügige Verbesserungen beobachtet werden.

Steigerungen wie sie in der chinesischen Literatur beschrieben sind, konnte Borger (2003) bei Ferkeln mit einem Durchschnittsgewicht von 17 kg zu Versuchsbeginn erzielen. Bei einer um 19 % verbesserten Gewichtsentwicklung, war die Futtermittelverwertung gleichzeitig um 11 % verbessert. In den ersten beiden Versuchswochen war der Effekt am deutlichsten (20 %). Im Bereich der Mast konnten mit den REE-Chloriden eine Steigerung der täglichen Zunahmen um 12 % und eine bis zu 3 % verbesserte Futtermittelverwertung erreicht werden. Böhme et al. (2002b) konnten dagegen keinen leistungssteigernden Effekt in der Mast feststellen.

Ebenfalls 2003 untersuchte Eisele den Einfluss des prozentualen Mischungsverhältnisses von Lanthan- und Cerchloriden und beobachtete in den unterschiedlich dosierten Versuchsgruppen sehr ähnliche Verbesserungen der Gewichtszunahmen, die im Bereich von 4 – 5 % lagen. Ein positiver Einfluss auf die Futtermittelverwertung war jedoch nicht zu erkennen.

Beim Vergleich der verschiedenen Salze der Seltenen Erden haben sich die REE-Citrate als die Salze mit der größeren Wirkpotenz als die REE-Chloride erwiesen. Der Grund könnte in der unterschiedlichen Bioverfügbarkeit liegen. In einer Studie mit REE-Citrat, bei der gleichzeitig nach deren optimalen Dosierungsbereich gesucht wurde, konnte bei der höchsten Dosierung von 200 mg/kg Futter die beste Leistung mit einer signifikanten Zunahmesteigerung von 23 % bei einer um 6 % verbesserten Futtermittelverwertung erzielt werden (Knebel, 2004). Prause et al. (2004) fanden eine signifikant bessere Futtermittelverwertung von 7 % bei einer Dosierung der REE-Citrate von 150 mg/kg Futter, ein Effekt, der jedoch bei der Zulage von 300 mg/kg Futter schon wieder deutlich geringer war.

In einer Studie von Förster et al. (2006) ebenfalls zur Dosierung von REE-Citrat, wurde nur bei der niedrigsten Zulage von 100 mg/kg ein positiver Effekt beobachtet, bei den höheren Dosierungen bis zu 800 mg/kg musste sogar eine negative Beeinflussung des Wachstums festgestellt werden. Auch bei Untersuchungen aus dem Institut für Tierernährung der Freien Universität Berlin war die Futterverwertung in den letzten beiden Wochen eines 6-wöchigen Versuches signifikant schlechter, insgesamt konnte durch die Zulage von 200 mg/kg Futter eines REE-Citrates jedoch kein signifikanter Effekt festgestellt werden, da sich in den ersten 4 Wochen eine Verbesserung um 3 % zeigte.

Miller (2006) dagegen fand über Aufzucht und Mast bei den männlichen Versuchstieren wiederum eine um 3,4 % verbesserte Gewichtsentwicklung durch den Zusatz von 300 mg/kg REE-Citrat, bei den weiblichen Tieren war der Effekt geringer. Über die Futterverwertung konnte hier keine Aussage gemacht werden. In einer anderen Studie zeigte sich ebenfalls ein geschlechtsspezifischer Unterschied, jedoch zugunsten der weiblichen Tiere. Sauen zeigten um 11,7 % verbesserte Zunahmen, im Vergleich zu 6,1 % bei Börgen (Kessler, 2004).

Ein weiterer Versuch wurde vom Landwirtschaftszentrum Haus Düsse mit 195 Aufzuchtferkeln durchgeführt. Sie erzielten um 4,7 % bessere Zunahmen und eine um 1,8 % verbesserte Futterverwertung (Stalljohann et al., 2006). Auch 2007 konnten bei zwei Schweizer Feldversuchen in Kernzuchtbetrieben wieder gute Ergebnisse erzielt werden. Die Verbesserung der Tageszunahmen um 20 % ist aber nur bedingt aussagekräftig, da in der Kontrollgruppe Durchfallerkrankungen aufgetreten sind (Zehentmayer AG, 2007). Jedoch auch in der aktuellen Toleranzstudie von Glabasnia-Kreppold (2008) bewirkte die Zulage von 250 mg REE-Citrat/kg Futter um 8 % verbesserte Tageszunahmen bei einer um 5 % verbesserten Futterverwertung.

Bei drei weiteren Versuchen mit REE-Citrat in einer Dosierung von 250 mg/kg Futter, die inzwischen als die wirksamste Konzentration angenommen wird, konnten in Polen bei Ferkeln mit einem Anfangsgewicht von 7 – 8 kg signifikante Leistungssteigerungen festgestellt werden. Die Zunahmen waren um 10,2 – 13,2 % erhöht, die Futterverwertung um 9,9 – 15,2 % verbessert, die Futterraufnahme war nicht signifikant verändert. Die Versuche konnten außerdem mit größeren Tierzahlen (96, 72 bzw. 69 Ferkel) durchgeführt werden als dies bei früheren Studien möglich war (Rambeck, 2009).

Bei einem Ferkelversuch mit 120 Tieren in Spanien dagegen, konnten keine ergotropen Effekte der Seltenen Erden nachgewiesen werden, obwohl die gleichen REE-Citrate in gleicher Dosierung, bei gleichem Anfangsgewicht der Tiere eingesetzt wurden. In einer nächsten Studie in Athen mit 200 Ferkeln wurde lediglich eine signifikant bessere Gewichtsentwicklung der weiblichen Ferkel von Tag 15 bis Tag 28 festgestellt (Rambeck 2009).

An der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) in Iden konnten wiederum bei einem Versuch mit 261 Ferkeln sehr positive Effekte der Seltenen Erden als Futterzusatzstoff bestätigt werden. Die Auswertung ergab eine signifikant höhere Zunahmeleistung von 4,2 % und eine tendenziell bessere Futtermittelverwertung von 3 %. Ein Einfluss auf die Futteraufnahme konnte nicht festgestellt werden (Rambeck, 2010).

In der Schweinemast bestätigt sich auch bei den aktuellen Versuchen, dass die positiven Effekte der Zulage der Seltenen Erden meist geringer ausfallen als bei Ferkeln. Versuche in Polen an 40 und 80 Mastschweinen erbrachten zwar positive Resultate (Verbesserung der Zunahmen um 3 %), die sich jedoch nicht als statistisch signifikant erwiesen (Rambeck, 2009).

Tabelle 6: Fütterungsstudien mit Seltenen Erden unter „westlichen Bedingungen“ nach Rambeck et al. (2005)

Tierart	REE	Dosierung	Effekt	Autor
Ferkel	REE-chlorid	75 mg/kg	+ 2 % GZ - 4-5 % FV	Rambeck et al. (1999)
		150 mg/kg	+ 0-5 % GZ - 3-7 % FV	
Mastschweine	REE-chlorid	100 mg/kg	- 3,6 % GZ	Böhme et al. (2002)
	REE-nitrat		- 3,6 % GZ	
	REE-ascorbat		- 3,4 % GZ	
	REE-citrat		- 1,1 % GZ	
Ferkel	REE-chlorid	150 mg/kg	+ 19 % GZ - 11 % FV	Borger (2003)
Mastschweine		150 mg/kg	+ 12 % GZ - 3 % FV	
Ferkel	REE-chlorid	300 mg/kg	+ 4-5 % GZ	Eisele (2003)
Mastschweine		200 mg/kg	+ 3-10 % GZ - 2-9 % FV	
Mastschweine	REE-chlorid	200 mg/kg	+ 8,8 % GZ - 3,6 % FV	Kessler (2004)

GZ: Gewichtszunahme, FV: Futtermittelverwertung

Bei der Kombination der Seltenen Erden mit ätherischen Ölen (Recht, 2005) und phyto-genen Zusatzstoffen (Miller, 2006) ist kein additiver Effekt zu erkennen. In Kombination mit einer Kupferzulage von 165 mg/kg Futter konnte Eisele (2003) dagegen einen zusätzlichen ergotropen Effekt der Seltenen Erden nachweisen.

2.2.7 Mögliche Wirkmechanismen

Über den genauen Wirkmechanismus der Seltenen Erden herrscht noch immer Unklarheit. Die lokale Wirkung im Gastro-Intestinaltrakt und eine Beeinflussung des Intermediärstoffwechsels werden als die beiden Haupttheorien diskutiert.

Für die lokale Wirkung spricht die niedrige Resorptionsrate von 1 – 10 % aus dem Darm, die zu einer Anreicherung im Chymus führt (Durbin et al., 1956; Ji, 1985; Evans, 1990). Fleckenstein et al. (2004) und Albaaj und Hutchison (2005) ermittelten sogar Resorptionsraten von unter 1 %. Damit wäre durch hohe Konzentrationen der Seltenen Erden im Darmlumen ein Einfluss auf die Darmflora aufgrund bakteriostatischer und bakterizider Wirkungen denkbar (Muroma, 1958, 1959). Denn gerade in hohen Konzentration von 10^{-4} bis 10^{-2} mol/l wirken sie bakterio-, fungi- und virostatisch, während sie in niedrigen Dosierungen von 10^{-5} mol/l das Bakterienwachstum stimulieren. Cer wirkt in einer Dosierung von 10^{-3} bis 10^{-2} mol/l hemmend auf *E. coli*, *Bacillus pyocyaneus*, *Staphylococcus aureus*, *Leuconostoc* und *Streptococcus faecalis* (Zhang et al., 2000a; Ruming et al., 2002). Als Gründe für die antibakterielle Wirkung wird eine Änderung der Oberflächenladung und –struktur der Bakterienmembran diskutiert, denn diese spielt eine Rolle bei Zellaggregation, Membranfusion und Membranschädigungen (Peng et al., 2004; Peng et al., 2007). Bereits 1922 berichtete Shearer über eine Verklumpung von Bakterien durch Neutralisation der Oberflächenladung und Ausbildung von Lanthanoidbrücken. 2004 untersuchten Peng et al. erneut Auswirkungen von Lanthanionen auf *E. coli* und stellten einen Zerfall der LPS-Strukturen, eine Aufrauung der Oberfläche und damit eine erhöhte Permeabilität und Angreifbarkeit durch Lysozym fest (Peng et al., 2007). Ou et al. (2000) schreiben den antibakteriellen Effekt der pH-Wert-Absenkung im Gastrointestinaltrakt zu.

In anderen Studien dagegen konnten kaum Veränderungen in der Darmflora festgestellt werden (Schuller, 2001; Knebel, 2004; Kraatz et al., 2006; Schuller et al. 2007). Auch scheint das antibakterielle Potential gegen *Brachyspira hyodysenteriae* oder *E. coli* nicht ausreichend, um Ferkeldurchfall, der durch diese Erreger induziert wird, zu verhindern (Eisele, 2003; Knebel, 2004; Kraatz et al., 2006; Glabasnia-Kreppold, 2008).

Als weitere lokale Wirkung berichten chinesische Autoren auch von einer besseren Verdaulichkeit und Verfügbarkeit von Nährstoffen (Li et al., 1992, Cheng et al., 1994; Lu und Yang, 1996 und Xu et al., 1998). Außerdem wird den Seltenen Erden ein antioxidativer Effekt über die Beeinflussung der Superoxiddismutase zugeschrieben, diese wandelt Superoxidradikale zu H_2O_2 um (Xie und Wang, 1998; Wang et al., 1999). Damit könnten oxidative Schäden an der Darmschleimhaut reduziert, ungesättigte Fettsäuren im Futter geschützt oder deren Aufnahme erhöht werden (Shimada et al., 1996; Wang et al., 2003).

Weitere mögliche lokale Wirkungen könnten die Beeinflussung der intestinalen Permeabilität und damit eine erhöhte Nährstoffabsorption (Prause et al., 2004) oder die erhöhte Sekretion der Verdauungssäfte und des Gastrins sein (Ou et al., 2000; Xu et al., 2004).

Die zweite Hauptthese zur Wirkung der Seltenen Erden ist die Beeinflussung des Intermediärstoffwechsels. Bei verschiedenen Studien wurden Veränderungen von Enzymaktivitäten sowie von Hormonspiegeln im Blut festgestellt. So könnte über Enzymwirkungen die Proliferation bestimmter Zellen, wie Hepatozyten (Rai et al., 1997), kardiale Fibroblasten (Preeta und Nair, 1999) und Präadipozyten (He et al., 2003b) gesteigert werden. Über die Auswirkung der Fütterung Seltener Erden auf Enzymaktivitäten der Leber liegen sehr unterschiedliche Ergebnisse vor. Während Evans (1990), He et al. (2001), Borger (2003) tendenziell Steigerungen feststellten, beobachtete Knebel (2004) eher eine Senkung und Glabasnia-Kreppold (2008) keine Veränderung der AST und der AP. Eine Aktivitätssteigerung der Glutathionperoxidase konnte in verschiedenen Untersuchungen festgestellt werden (Yang et al., 1992; Xie et al., 1995).

Laut Bamann et al. (1954) und Yajima et al. (1994) wirken Seltene Erden außerdem wie Phosphatasen und stellen dem Organismus zusätzliche Phosphorverbindungen zur Verfügung.

Von entscheidender Bedeutung für den Intermediärstoffwechsel ist das endokrine System. Insbesondere Schilddrüsenhormone, Wachstumshormon und Insulin sind für die multifaktorielle Regulation des Wachstums verantwortlich. Über den Einfluss der Seltenen Erden auf diese Hormone liegen derzeit uneinheitliche Resultate vor. Eisele (2003) beschreibt um 6 – 9 % erniedrigte T_3 -Spiegel und signifikant erniedrigte T_4 -Spiegel bei Mastschweinen, bei Studien von He et al.

(2001) mit Ferkeln und Mastschweinen war nur der T₄-Spiegel erniedrigt. Bei Borger (2003) zeigte sich bei Versuchen mit Ferkeln nur ein erniedrigter T₃-spiegel, T₄ war sogar erhöht. Eine Erhöhung des Wachstumshormonspiegels konnte bei Broilern und Mastschweinen beobachtet werden (Xie et al.; 1995; Xu et al., 1999).

Auf eine Wirkung der Seltenen Erden auf die Insulinfreisetzung weist bereits Evans (1990) hin. Willians und Turtle (1984) und Enyeart et al. (2002) konnten eine gesteigerte Insulinbindung an seinen Rezeptor zeigen, was den Transport von Aminosäuren und Glukose in die Zellen steigert. Eine entsprechende signifikante Erniedrigung der Blutglukose wurde auch bei Ratten beobachtet (He et al., 2003a). Beim Schwein hingegen konnte dies nicht bestätigt werden (Xu et al., 1999; He et al., 2001; Borger, 2003). Des Weiteren könnten Interaktionen mit essentiellen Spurenelementen wie Jod und Kupfer eine Rolle spielen.

Als weitere Theorie zum Wirkmechanismus der Seltenen Erden wird eine Beeinflussung der Futtermittelaufnahme angeführt, die Beobachtungen sind jedoch uneinheitlich. In einzelnen Fällen wird von einer Mehraufnahme von bis zu 17,2 % berichtet (Knebel, 2004). Borger (2007) fand in der Aufzuchtphase eine um 7 %, in der Mast um 11 % höhere Futtermittelaufnahme. Rambeck et al. (1999) und Prause et al. (2004) dagegen stellten eine leicht reduzierte Futtermittelaufnahme beim Schwein durch die Zulage der Seltenen Erden fest. Glabasnia-Kreppold (2008) beobachtete dagegen bei einem Toleranzversuch sogar bei 10-facher Überdosierung (2500 mg/kg REE-Citrat) noch eine um 7 % erhöhte Futtermittelaufnahme.

Schließlich wird eine Beeinflussung von spezifischen Zellfunktionen durch Seltene Erden diskutiert. Dies kann zum einen über spezifische Verbindungen der Lanthanoide mit membranständigen Proteinstrukturen wie den Acetylcholinrezeptoren (Rübsamen et al., 1978), den Insulinrezeptoren (Williams und Turtle, 1984) oder der Adenylat-Cyclase (Nathanson et al., 1976) geschehen oder aber auch, aufgrund der Interaktionen mit zweiwertigen Kationen, über eine Blockierung von Calciumkanälen, da Lanthanionen Calciumionen in ihrer Bindung isomorph ersetzen können. Durch ihr höheres Ladungs-Volumen-Verhältnis binden Lanthanoidionen sogar fester an Anionen als die zweiwertigen Calciumionen (Evans, 1990). Sie können damit durch die Substitution von Calcium den transmembranalen Calcium-Influx blockieren und als Inhibitoren

oder Stimulatoren von physiologischen Prozessen agieren. Calciumabhängige zytophysiological Leistungen sind die Weiterleitung von nervalen Impulsen, die Kontraktion von glatter Muskulatur (Weiss und Goodmann, 1969) sowie Skelett- (Hober und Spaeth, 1914) und Herzmuskulatur (Mines, 1910). Eine Hemmung der Calciumkanäle führt des Weiteren zur verminderten Freisetzung von Neurotransmittern wie Epinephrin, Serotonin und Dopamin, sowie zur Blockade der vasopressinstimulierten Aufnahme von Calcium- und Manganionen in die Hepatozyten (Fricker, 2006), dadurch ist eine äußerst diverse Beeinflussung des gesamten Organismus anzunehmen. Neben Calcium können auch Magnesium- oder Eisenionen ersetzt werden (Evans, 1990). Schließlich wird auch die Funktion der REEs als essentielles Spurenelement durch Beteiligung an katalytischen Vorgängen diskutiert. Ein Nachweis hierfür ist jedoch kaum möglich, da sie ubiquitär vorkommen (Redling, 2006).

2.2.8 Mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse

In zahlreichen Versuchen zum ergotropen Potential der Seltenen Erden konnten signifikante Effekte beobachtet werden, in manchen Versuchen waren jedoch keine Auswirkungen erkennbar, in einigen wenigen waren sogar geringere Leistungen der mit Seltenen Erden supplementierten Tiere aufgefallen. Eine Erklärung für diese in der Literatur beschriebenen, sehr unterschiedlichen Ergebnisse der Studien mit Seltenen Erden gibt es bisher nicht.

2.2.8.1 Rohproteingehalt

Unter den verschiedenen Futterkomponenten, die die Wirksamkeit der Seltenen Erden beeinflussen könnten, wurde vor allem über den Proteingehalt in der Ration spekuliert. Tendenziell ist bei allen Leistungsförderern eine verbesserte Wirkung bei schlechter Nährstoff- und vor allem Proteinversorgung erkennbar (Schöne, 2009). Dies zeigte sich auch bei Fütterungsversuchen mit REE bei Ratten. So konnten bei einem niedrigem Rohproteingehalt von 18,9 % höhere Wachstumsraten erzielt werden, die bei einem auf 21,6 % optimierten Gehalt nicht mehr nachweisbar waren (He et al., 2003a; Franzke, 2007). Diese Tendenz ist auch bei Schweinen erkennbar. Kraatz (2004) und Förster (2006), die keine positiven Ergebnisse bei Zusatz von REE feststellen konnten, orientierten sich, mit einem Basisfutter mit über 20 % Rohprotein an den hohen Versorgungsempfehlungen des NRC.

Hier werden als Richtwerte für Ferkel von 5-10 kg 23,7 % Rohprotein, von 10-20 kg bei 20,9 % und von 20-50 kg bei 18 % angegeben. Sie liegen damit über den deutschen Empfehlungen der GfE (2006). Die Empfehlungen der GfE sind nach Zunahmestadium gestaffelt und liegen für Ferkel im Bereich von 10 - 30 kg LM bei 600 g täglichen Zunahmen zwischen 17 und 18 % RP. In der Endmast von Schweinen liegen sie bei 14 - 16 % RP. Im Endmastbereich sind die Vorgaben des NRC mit 14,2 - 17,1 % (50 – 80 kg) und 12,2 - 14,4 % (80 - 120 kg) damit sehr ähnlich und ebenfalls nach Zunahmestadium gestaffelt.

In einer Untersuchung an Ferkeln (Rambeck, 2010), bei der kaum ein leistungssteigernder Effekt der REEs festgestellt werden konnte, wurde die Ration nach NRC-Bedarfszahlen zusammengestellt und ein hoher Proteingehalt von 20,4 % verwendet. Bei den polnischen Studien an Ferkeln dagegen konnte mit einem Proteingehalt von nur 17,6 % die Futtermittelverwertung um bis zu 11,8 %, die Gewichtszunahmen um bis zu 16 % verbessert werden (Rambeck, 2009). Ebenfalls bei dem an der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau in Iden durchgeführten Ferkelversuch konnten mit Rohproteingehalten von 17 – 17,8 % signifikante Leistungsverbesserungen erzielt werden (Rambeck, 2010). Auch bei Mastschweinen, bei denen insgesamt weniger deutliche Effekte beobachtet werden können als bei Ferkeln, war in Versuchen mit niedrigem Proteingehalt des Futters, eine Verbesserung zu erkennen, die jedoch nicht signifikant war (Rambeck, 2009).

Dies stimmt überein mit der generellen Beobachtung, dass ergotrope Substanzen vor allem unter suboptimalen Fütterungsbedingungen wirksam werden (Riedel-Caspari, 1988).

2.2.8.2 Rohfasergehalt

Ein anderer Fütterungsparameter, der die Wirksamkeit von REE beeinflussen könnte, ist der Rohfasergehalt der Ration. Generell senkt ein hoher Rohfasergehalt in der Nahrung die Verdaulichkeit der Nährstoffe. Diese Eigenschaft kann möglicherweise durch den Zusatz der Seltenen Erden zum Futter wieder ausgeglichen werden. So verwendeten Recht (2005), Eisele (2003) und Kreppold (2008) in ihren Fütterungsversuchen hohe Rohfasergehalte von 45 – 50 g/kg Futter und sie konnten signifikante positive Effekte im Vergleich zur Kontrolle feststellen. Miller (2006) und Schöne (2009) verwendeten mittlere

Rohfasergehalte von 34 – 44 g/kg Futter, sie konnten zwar positive Effekte feststellen, die jedoch nicht signifikant waren. In der Ferkelstudie des LLFG in Iden lag der Rohfasergehalt in der Ration ebenfalls bei 38 – 41 g/kg und es wurden signifikant um 4,2 % verbesserte Zunahmen bei gleichzeitig tendenziell verbesserter Futterverwertung erzielt. Bei Ferkelstudien in Spanien und Griechenland, bei denen im Vergleich zu den Kontrollgruppen kein ergotroper Effekt der Seltenen Erden beobachtet werden konnte, wurde entsprechend ein sehr niedriger Rohfasergehalt des Futters berechnet, der zwischen 23 und 27 g/kg Futter lag (Rambeck, 2009).

2.2.8.3 Futterunabhängige Faktoren

Neben der Futterzusammensetzung müssen auch andere Faktoren als Ursache für die unterschiedlichen Versuchsergebnisse in Erwägung gezogen werden. So zum Beispiel die Genetik der Tiere, Impfstatus und antibiotische Vorbehandlungen.

Die Überlegungen, warum Seltene Erden nicht in allen Studien eine leistungssteigernde Wirkung besaßen, bewegen sich jedoch im spekulativen Rahmen. Weitere vergleichende Untersuchungen und die Aufklärung des Wirkmechanismus der Seltenen Erden können hier Klarheit schaffen.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.3 Feldversuch

Bisher wurden keine Fütterungsversuche zur leistungssteigernden Wirkung von Seltenen Erden mit Flüssigfütterung durchgeführt. In einem Feldversuch sollte deshalb die Wirkung Seltener Erden (Rare Earth Elements, REE) auf Leistungsdaten in der Schweinemast mit dieser Fütterungstechnik geprüft werden.

3.3.1 Aufbau der Studie

Vor Versuchsbeginn wurde eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 69 Satz 2 des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuches von der Regierung von Oberbayern, Sachgebiet 56/Futtermittelüberwachung Bayern eingeholt. Damit durften die Seltenen Erden unter der Bezeichnung „Zusatzstoff Seltenerdmetalle (REE)“ in Form einer Vormischung (Lancer® 500) unter Auflagen an den landwirtschaftlichen Betrieb Stefan Finkenzeller Gbr., in Unterhaslach bei Sielenbach abgegeben werden. Der Betrieb hat circa 1900 Mastplätze, die auf 3 Ställe verteilt sind. Die Schweine konnten aufgrund der Ausnahmegenehmigung der Regierung von Oberbayern als Lebensmittel bzw. zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet werden.

Insgesamt wurden zu Versuchsbeginn 394 Aufzuchtferkel in 3 Abteilen des gleichen Stallgebäudes aufgestellt. Alle Tiere wurden durch Ohrmarken mit fortlaufender Nummer gekennzeichnet und im Abstand von 82 Tagen, zu Beginn und Ende der Hauptmastperiode von circa 40 bis 110 kg, zweimal gewogen. 198 Tiere, davon 39 weiblich und 159 männlich, erhielten die Basisration und 196 Tiere, davon 70 weiblich und 126 männlich, die Basisration mit 250 mg/kg Futter REE-Citrat. Eine komplett getrennt-geschlechtliche und nach Geschlechtern ausgeglichene Aufstallung war aus technischen Gründen nicht möglich.

Am Ende des Versuchs wurden die Schweine geschlachtet und vermarktet. Dafür wurden für jede Vermarktungseinheit die jeweils schlachtreifen Tiere aussortiert, wobei in etwa gleich viele Tiere aus jeder Gruppe zu jedem Termin zur Schlachtung kamen. Somit lassen sich durch Schlachtung zum optimalen Zeitpunkt die, von Verbrauchern und Schlachthof geforderten, Gesamtschlachtgewichte und niedrigen Fettanteile einhalten, was sonst durch das

unterschiedliche Wachstum der Tiere nicht optimal möglich wäre. Eine längere Mast der schlachtreifen Schweine würde zu Verfettung und damit einem deutlichen Preisabzug bei gleichzeitig höheren Futterkosten führen. Die Auswahl der Tiere mit am besten bewerteten Schlachtgewicht erfolgt visuell aufgrund von Erfahrungswerten. Ein Mehraufwand der sich bei dem niedrigen Preisniveau für Schweinefleisch lohnt.

3.3.2 Versuchstiere und Gesundheitsstatus

109 weibliche und 285 männlich-kastrierte Sammelferkel der Gebrauchskreuzung Deutsche Landrasse x Deutsches Edelschwein x Piétrain wurden von der Erzeugergemeinschaft Schwaben von verschiedenen Betrieben gesammelt und an den Mastbetrieb geliefert. Bei der Schlachtung wurde festgestellt, dass es sich bei einem männlichen Tier um einen Binneneber handelte.

Durch die unterschiedlichen Herkünfte der Ferkel erklären sich variierende Mastanfangsgewichte, die unterschiedliche Geschlechterverteilung in den beiden Versuchsgruppen und ein sehr unterschiedlicher Gesundheitsstatus mit breitem Erregerspektrum. Außerdem waren Tiere an Arthritiden erkrankt. Eine metaphylaktische Behandlung aller Tiere mit Aciphen® (Wirkstoff: Amoxicillin-Trihydrat) über 10 Tage war nötig (46 mg/kg LM). Tiere mit Nabelbrüchen, Abszessen oder schweren Arthritiden wurden nicht in den Versuch aufgenommen. Erst danach wurde das Seltene Erdengemisch dem Futter zugesetzt. Bei der ersten Wägung lag die antibiotische Behandlung 3 Tage zurück, die Tiere hatten das Versuchsfutter seit 2 Tagen erhalten, das Durchschnittsgewicht der beiden Versuchsgruppen war in etwa gleich (38,56 (\pm 3,74) kg REE-Gruppe, 39,52 (\pm 4,36) kg Kontrolle).

Eine Antibiotikagabe wurde bei 13 Tieren nötig, bei denen sich die Einzugsstelle der Ohrmarke entzündete. Diese Ohrmarken wurden entfernt. Es wurden daher 8 Tiere der REE-Gruppe und 5 Tiere der Kontrollgruppe aus dem Versuch genommen, in ein Krankenabteil umgestallt und dort behandelt. Dies entspricht in der Kontrollgruppe 2,5 %, in der REE-Gruppe 4,1 % der Tiere. Die Verteilung dieser Tiere auf die Buchten ist in Tabelle 7 ersichtlich. Die Gewichtszunahme dieser Tiere ging nicht in die Berechnungen ein. Ihre Futteraufnahme bis zu diesem Zeitpunkt ist in der Futteraufnahme der zugehörigen Bucht jedoch enthalten.

Zusätzlich waren aufgrund von Atemwegserkrankungen in der Kontrollgruppe 3, in der REE-Gruppe 2 Einzeltierbehandlungen nötig. Diese Tiere wurden im Abstand von 24 Stunden dreimal mit Hostamox® LA (Wirkstoff: Amoxicillin-Trihydrat) (15 mg/kg LM), intramuskulär behandelt. Die Verteilung dieser Tiere auf die Buchten zeigt Tabelle 7. Diese Tiere erholten sich gut und wurden im Versuch belassen. Ihre Gewichtszunahme und Futteraufnahme ist in den Berechnungen enthalten.

In jeder Gruppe gab es über die untersuchte Mastperiode verteilt je 4 tote Tiere (REE-Gruppe: Tag 5 (Bucht 4), Tag 28 (Bucht 1), Tag 51 (Bucht 3), Tag 73 (Bucht 4); Kontrollgruppe: Tag 19 (Bucht 6), Tag 19 (Bucht 9), Tag 20 (Bucht 9), Tag 47 (Bucht 8), vgl. Tabelle 7). Damit ergibt sich eine Verlustrate von 2,17 % bei den mit REE gefütterten Tieren und von 2,12 % bei den Kontrolltieren. Eine pathologische Untersuchung dieser Tiere war nicht erfolgt. Die Futteraufnahme dieser Tiere bis zum Todeszeitpunkt ist in der aufgenommenen Futtermenge der zugehörigen Buchten enthalten.

Tabelle 7: Übersichtstabelle Anzahl behandelter, ausgeschiedener, gestorbener und ausgewerteter Tiere

<u>REE</u>	Anzahl männliche Tiere	Anzahl weibliche Tiere	<u>Kontrolle</u>	Anzahl männliche Tiere	Anzahl weibliche Tiere
Bucht 1			Bucht 6		
n (gesamt)	39	-		42	-
Pneumoniebehandlung	-	-		-	-
Ausgeschieden	1	-		-	-
Gestorben	1	-		1	-
n (ausgewertet)	37	-		41	-
Bucht 2			Bucht 7		
n (gesamt)	42	-		40	-
Pneumoniebehandlung	-	-		-	-
Ausgeschieden	3	-		-	-
Gestorben	-	-		-	-
n (ausgewertet)	37	-		40	-
Bucht 3			Bucht 8		
n (gesamt)	5	35		18	22
Pneumoniebehandlung	1	-		2	-
Ausgeschieden	1	3		1	-
Gestorben	1	-		1	-
n (ausgewertet)	3	32		16	22
Bucht 4			Bucht 9		
n (gesamt)	38	1		25	15
Pneumoniebehandlung	1	-		1	-
Ausgeschieden	-	-		-	1
Gestorben	2	-		2	-
n (ausgewertet)	36	1		23	14
Bucht 5			Bucht 10		
n (gesamt)	2	34		33	3
Pneumoniebehandlung	-	-		-	-
Ausgeschieden	-	-		3	-
Gestorben	-	-		-	-
n (ausgewertet)	2	34		30	3
Summe n (ausgewertet)	<i>117</i> <i>(63,59 %)</i>	<i>67</i> <i>(36,41 %)</i>	Gesamt	<i>150</i> <i>(79,37 %)</i>	<i>39</i> <i>(20,63 %)</i>

3.3.3 Tierhaltung

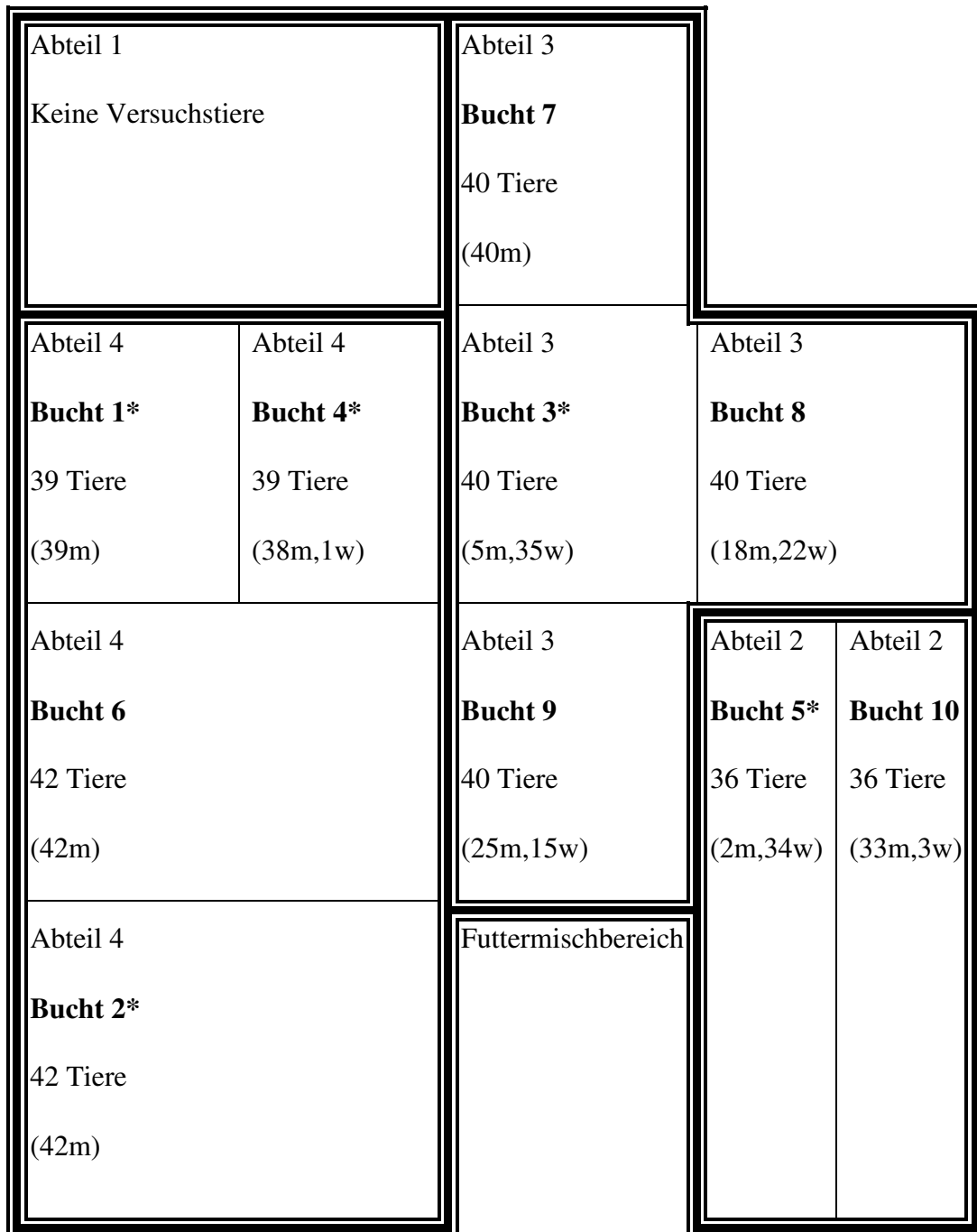
Die Haltung der Tiere erfolgte auf dem Einödhof Unterhaslach bei Sielenbach, auf dem Betrieb Stefan Finkenzeller GbR, in einem umgebauten Milchviehstall auf Vollspaltenboden. Die Anforderungen der Schweinehaltungshygieneverordnung (Verordnung über die Anforderungen beim Halten von Schweinen, in der Fassung vom 7.6.1999, zuletzt geändert 17.6.2009) und die QS-Kriterien (Qualität und Sicherheit GmbH) wurden eingehalten.

In einem zentralen Raum befinden sich die Futtermischanlagen und Futtervorbereitung, von dort werden die Schweine über 10 cm dicke Rohrleitungen mit dem Futterbrei versorgt. Zwischen je 2 Buchten befinden sich über die gesamte Länge Quertröge. Damit wurden je 2 Buchten über ein Futterventil versorgt. Diese Teilbuchten werden im Folgenden als Unterbuchten bezeichnet und diese beiden gemeinsam versorgten Unterbuchten als Bucht. Zwischen den Tieren der verschiedenen Buchten war durch 1,20 m hohe Zwischenwände kein Kontakt möglich. In jeder Unterbucht standen Tränkenippel für die Wasserversorgung ad libitum zur Verfügung.

In den 4 Abteilen des Gebäudes können insgesamt 650 Schweine untergebracht werden. Die Abteile sind räumlich getrennt. Mit den Versuchstieren wurden 3 der 4 Abteile belegt (Abb. 1). Der gesamte Stallbereich wurde vor Versuchsbeginn gereinigt und desinfiziert.

Die Frischluftversorgung und Temperaturregulation erfolgte über einen Klimacomputer, der über ein Unterdrucklüftungssystem und Rieseldecke die Soll-Temperatur zwischen anfänglich 23 Grad, langsam bis Mastende auf 19 Grad absenkte. Mehrere Temperaturfühler dienten als Sensoren und Alarmgeber bei Abweichungen von der Soll-Temperatur von über 3 Grad Celsius.

Die Beleuchtung erfolgte über Fenster, zusätzlich konnten bei Bedarf Leuchtstoffröhren eingeschaltet werden. Als Beschäftigungsmaterial dienten Ketten, Plastikbälle und Plastikrohre. Die Kontrolle der Tiere erfolgte mehrmals täglich, wobei im Fall von Veränderungen in der Tierzahl diese handschriftlich notiert und anschließend in den Fütterungscomputer eingegeben wurden. Die entsprechende Anpassung der Futtermenge erfolgte automatisch.



m: männliche Tiere, w: weibliche Tiere, die mit * gekennzeichneten Buchten erhielten REE

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Schweinemaststalls

3.3.4 Fütterungstechnik

Die Fütterung der Mastschweine erfolgte vollautomatisch. Die zugeführte Futtermenge pro Bucht wurde manuell an die tatsächlich verbrauchte Futtermenge angepasst, indem bei den Kontrollgängen eine Kürzung der Futtermenge um 5 % vom Ausgangswert pro Mahlzeit vorgenommen wurde, falls Tröge bis zur nächsten Mahlzeit nicht vollständig geleert waren. Die Futtermenge pro Mahlzeit wurde so lange reduziert, bis keine Restmenge vor der nächsten Fütterung im Trog übrig gelassen wurde. Falls andererseits Tröge innerhalb kurzer Zeit (ca. 1h) vollständig geleert waren, erfolgte pro Mahlzeit eine schrittweise Erhöhung der Futtermenge um 5 % vom Ausgangswert. Die Futtermenge pro Mahlzeit wurde so lange weiter erhöht, bis die Tröge nicht mehr innerhalb kurzer Zeit geleert werden konnten.

Die Flüssigfuttermittelvorbereitung erfolgte für jede Mahlzeit frisch in der Wiege-, Misch- und Dosieranlage WEDA Liquicomp M16 V3, die selbstständig die berechnete Menge jeder Futterkomponente aus einem Vorratssilo einwog und in einem Mischtank verrührte. So wurde auch das Seltene Erden Gemisch in Form der Vormischung Lancer® der Firma Zehentmeyer, Schweiz, als Futterkomponente programmiert und in einer Dosierung von 500 mg/kg Lancer® (= 250 mg/kg REE-Citrat) dem Futter der REE-Gruppe bis zur Schlachtung zugesetzt. Lancer® ist ein rieselfähiges Pulver, das zu 50 % aus Weizenstärke und zu 50 % aus REE-Citrat besteht. Dieses Pulver wurde im Medikamentendosierer mit Wasser vermischt und jeweils vor dem Abpumpen der gewünschten Menge in den Futtermischtank für einige Minuten durch einen aufgesetzten Motor automatisch aufgerührt, so dass sich kein Bodensatz bilden konnte.

Um nur die Hälfte der Tiere mit den REEs zu versorgen, wurden pro Fütterung zwei Futtrationen angemischt. Das Futter wurde zu den Fütterungszeiten (6h, 12.30h, 19h) in die Rohrleitung gepumpt, dann öffneten mittels Druckluft die Ventile und das Futter floss von der Hauptleitung in den jeweiligen Trog. War die eingestellte Menge erreicht, schloss das Ventil wieder. Um möglichst gleichmäßige Versuchsbedingungen zu schaffen, wurde erst die Basisration in die Leitung gepumpt und nur die Ventile der Kontrollgruppe wurden geöffnet. Anschließend wurde, nach Spülung der Rohrleitung mit Trinkwasser, die mit Lancer® angereicherte Futtermischung eingepumpt und die Ventile der REE-Gruppe öffneten zur Befüllung ihrer, bis jetzt leeren, Tröge. So wurde möglichst

abwechselnd eine Bucht mit der Basisration, die andere mit der REE-Ration versorgt (Abb. 1). Danach erfolgte eine erneute Spülung der Rohrleitungen mit Trinkwasser. Futterreste und Spülwasser wurden an die nicht am Versuch beteiligten Tiere des Betriebes verfüttert. Der Fütterungscomputer wurde zu Versuchsbeginn auf dieses Vorgehen programmiert, es wurde dreimal täglich durchgeführt. Bei technischen Problemen oder leeren Vorratssilos, wurde das Programm unterbrochen und die Störung über ein visuelles und akustisches Alarmsignal gemeldet, so dass es zu keinen größeren Verzögerungen in den Fütterungszeiten kam.

3.3.5 Futterzusammensetzung

Die Futterzusammensetzung erfolgte gemäß der Zielwertfütteroptimierung des Landeskuratoriums der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern E.V. (LKV). Als Grundlage für die täglich neu vom Fütterungscomputer berechnete Futterzusammensetzung dienten 3 berechnete Rationen für Vor-, Mittel- und Endmast, die durch den Fütterungscomputer täglich stufenlos, dem Gewicht der Tiere angepasst, verschnitten wurden. Abb. 2 zeigt z.B. den Verlauf des Rohproteingehaltes in der Futtermischung. Dieser wurde langsam über die Mastperiode abgesenkt. Der Proteingehalt in der Endmastration (ca. 17 %) wurde jedoch aufgrund eigener Erfahrungen über den Werten des LKV (ca. 15 %) angesetzt, Grund dafür waren nicht zufrieden stellende Schlachtergebnisse in vorherigen Mastdurchgängen.

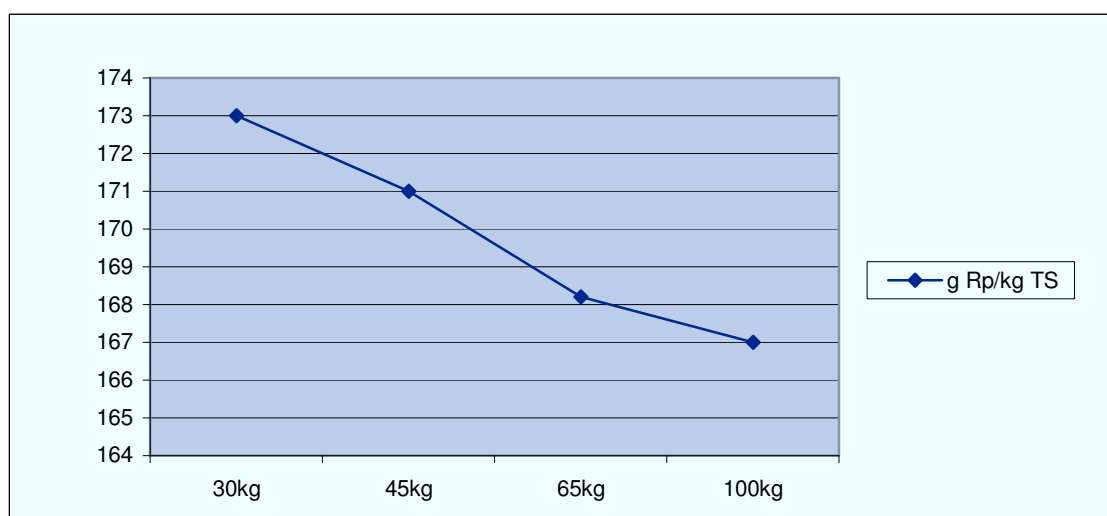


Abbildung 2: Verlauf des Rohproteingehaltes der Futtermischung (g Rp/kg TS)

Als Futtermittel wurden aus betriebseigener Produktion zweizeilige Gerste, Weizen und Maiskornsilage eingesetzt, zusätzlich wurden Sojaschrot mit 48 % Rohprotein, Labmolke und die Vitamin-Mineral-Vormischung „SALVANA – PREMIX Mineral 13027 SMR Amino I Phytase ALT“ zugekauft. Durch diese Vormischung wurde eine praxisübliche Menge an Phytase in die Ration eingebracht. Die Zusammensetzung der Vormischung zeigt Tabelle 8, sie wurde über die gesamte Mastdauer verwendet.

Tabelle 8: Vitamin-Mineral-Vormischung SALVANA – PREMIX Mineral 13027 SMR Amino I Phytase ALT (laut Deklaration)

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Gehalt/kg</i>
Lysin	60,0 g
Methionin	15,2 g
Calcium	250 g
Phosphor	20 g
Natrium	50 g
Magnesium	20 g
3-Phytase	16 800,00 FTU
Vit. A	300 000,00 I.E.
Vit. D3	60 000,00 I.E.
Vit. E	4 000,00 mg
Vit. K3	50,00 mg
Vit B1	40,00 mg
Vit. B2	150,00 mg
Vit. B6	100,00 mg
Vit. B12	1,00 mg
Nicotinsäureamid	700,00 mg
Ca-Pantothenat	340,00 mg

Folsäure	10,00 mg
Cholinchlorid	10 000,00 mg
Eisen als Sulfat	3 400,00 mg
Kupfer als Sulfat	600,00 mg
Zink als Oxid	3 000,00 mg
Mangan als Oxid	2 000,00 mg
Jod als Jodat	50,00 mg
Selen als Selenit	16,00 mg

Die Zusammensetzung der Molke zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Inhaltsstoffe der Molke (nach Kamphues et al., 2004)

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Pro kg uS</i>
TS	60 g
Rohfett	2 g
Rohprotein	8 g
Laktose	45 g
ME	0,8 MJ
Ca	0,6 g
P	0,5 g
Na	0,65 g
B2	0,1-1,2 mg
B12	5 µg
Nicotinsäure	1,0 mg
Pantothensäure	3,0 mg

3.3.5.1 Vormast

Für die Ferkel ab der Einstellung wurden die Futterkomponenten in dem in Tabelle 10 dargestellten Verhältnis eingesetzt. Die in Tabelle 11 dargestellte Ration wurde als Ausgangspunkt der täglichen Berechnung der Futterzusammensetzung verwendet.

Tabelle 10: Futterkomponenten des Vormastfutters

<i>Futtermittel</i>	<i>% im Trockenfutter</i>
Gerste zweizeilig	8,00
Weizen	5,00
Maiskornsilage	55,00
Sojaschrot	20,00
Labmolke	9,00
Vitamin-Mineral-Vormischung SEG 13027	3,00
Summe	100

Tabelle 11: Inhaltsstoffe des Vormastfutters (berechnet)

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Gehalt je kg TM</i>
Frischmasse	2493,00 g
ME	13,12 MJ
Rohprotein	172,90 g
Lysin	10,37 g
Lysin/MJ ME	0,79g
Methionin	3,25 g
Methionin+Cystein	6,22 g
Threonin	6,84 g
Tryptophan	2,02 g
Lysin : Methionin+Cystein	0,60
Lysin : Threonin	0,66
Lysin : Tryptophan	0,20
Rohfaser	24,20 g
Calcium	8,15 g
Phosphor	4,92 g
Verdaul. P native	2,40 g
Verdaul. P Phytas.	3,56 g
Ca : P	1,65
Natrium	1,96 g
Kalium	8,85 g
Rohfett	26,00 g
Polyenfettsäuren	12,84 g

3.3.5.2 Mittelmast

Als Ausgangspunkt für die Mittelmast ab 45 kg Lebendmasse wurde die in Tabelle 13 beschriebene Ration verwendet. Das Verhältnis der Futterkomponenten ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Futtermittelkomponenten des Mittelmastfutters

<i>Futtermittel</i>	<i>% im Trockenfutter</i>
Gerste zweizeilig	18,00
Weizen	00,00
Maiskornsilage	51,00
Sojaschrot	19,50
Labmolke	9,00
Vitamin-Mineral-Vormischung SEG 13027	2,50
Summe	100

Tabelle 13: Inhaltsstoffe des Mittelmastfutters (berechnet)

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Gehalt je kg TM</i>
Frischmasse	2480,00 g
ME	13,07 MJ
Rohprotein	171,00 g
Lysin	10,03 g
Lysin/MJ ME	0,79
Methionin	3,15 g
Methionin+Cystein	6,11 g
Threonin	6,79 g
Tryptophan	2,01 g
Lysin : Methionin+Cystein	0,60
Lysin : Threonin	0,66
Lysin : Tryptophan	0,20
Rohfaser	26,50 g
Calcium	7,05 g
Phospor	4,83 g
Ca : P	1,65
Verdaul. P native	2,33 g
Verdaul. P Phytas.	3,49 g
Natrium	1,76 g
Kalium	8,80 g
Rohfett	25,80 g
Polyenfettsäuren	12,44 g

3.3.5.3 Endmast

Als Ausgangspunkt ab 65 kg Lebendmasse wurde die in Tabelle 15 beschriebene Ration verwendet. Der Anteil der Futterkomponenten ist in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Futtermittelkomponenten des Endmastfutters (%)

<i>Futtermittel</i>	<i>% im Trockenfutter</i>
Gerste zweizeilig	25,00
Weizen	0,00
Maiskornsilage	45,00
Sojaschrot	18,50
Labmolke	9,00
Vitamin-Mineral-Vormischung SEG 13027	2,50
Summe	100

Tabelle 15: Inhaltsstoffe des Endmastfutters (berechnet)

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Gehalt je kg TM</i>
Frischmasse	24620,00 g
ME	13,06 MJ
Rohprotein	168,20 g
Lysin	9,57 g
Lysin/MJ ME	0,77
Methionin	3,03 g
Methionin+Cystein	5,98 g
Threonin	6,65 g
Tryptophan	1,99 g
Lysin : Methionin+Cystein	0,61
Lysin : Threonin	0,68
Lysin : Tryptophan	0,20
Rohfaser	28,10 g
Calcium	5,94 g
Phospor	4,71 g
Ca : P	1,46
Verdaul. P native	2,20 g
Verdaul. P Phytas.	3,41 g
Natrium	1,55 g
Kalium	8,67 g
Rohfett	25,20 g
Polyenfettsäuren	11,94 g

3.3.6 Untersuchte Parameter

3.3.6.1 Gehalt an REE im Futter

Lancer® wird von der Firma Zehentmayer in der Schweiz produziert, es ist ein rieselfähiges Pulver, das zu 50 % aus Weizenstärke und zu 50 % aus REE-Citrat besteht. Dieses Pulver wurde im Medikamentendosierer mit Wasser vermischt und jeweils vor dem Abpumpen der gewünschten Menge in den Futtermischtank für einige Minuten durch einen aufgesetzten Motor automatisch aufgerührt, so dass sich kein Bodensatz bilden konnte. Den Hauptanteil an REE machen CeO_2 mit 60,1 %, darauf folgt La_2O_3 mit 33 % und Pr_6O_{11} mit 1,8 % aus. Die anderen Lanthanoide machen gemeinsam einen Anteil von etwa 1 % aus. REE-Citrat enthält 27,2 % Gesamt-REE. Damit sollten bei einer Dosierung von 250 mg REE-Citrat/kg TS des Futters 68,0 mg/kg TS Gesamt-REE im Versuchsfutter enthalten sein.

Zu Versuchsbeginn wurde eine Mischprobe des Versuchsfutters nach Einleitung des Futters in die Tröge der REE-Gruppe entnommen. Dazu wurde aus jedem der 5 Tröge eine Probe von ca. 300 g entnommen, gemeinsam abgefüllt und vermischt.

Die Gesamtgehalte an Seltenen Erden in dieser Mischprobe wurden von der Firma ALS, Prag, Tschechische Republik mittels ICP-MS bestimmt. (Inductively coupled plasma mass spectrometry)

3.3.6.2 Gesundheitsstatus

Bei den täglichen Kontrollgängen wurden die Tiere in Ruhephasen und bei der Fütterung beobachtet, um erkrankte Tiere möglichst frühzeitig zu erkennen. Neben Atemfrequenz, Farbe der Haut und Aktivität wurde auch auf Hinweise für Durchfallerkrankungen geachtet.

3.3.6.3 Mastleistungsparameter

3.3.6.3.1 Körpergewichtsentwicklung

Die Tiere wurden zu Versuchsbeginn, nach dem Einziehen der Ohrmarken, mit einer elektronischen Plattformwaage (ICONIX; FX21) gewogen. Neben der Einzeltiernummer wurde das Geschlecht des Tieres eingegeben und ausgedruckt. Das ausgedruckte Gewicht stellte den Mittelwert aus mehreren Wägungen innerhalb weniger Sekunden dar, damit sollten Fehler, die durch Bewegungen der Tiere entstehen, minimiert werden. Bemerkungen zu Auffälligkeiten wurden handschriftlich beigelegt. Die zweite Wägung erfolgte in gleicher Weise mit derselben Waage 82 Tage später. Auch die 5 Tiere die aufgrund einer Atemwegserkrankung behandelt wurden, konnten in die 2. Wägung eingehen. Ihre Gewichtsentwicklung wurde hier berücksichtigt (vgl. Tab. 7).

3.3.6.3.2 Futteraufnahme

Die verbrauchte Futtermenge pro Bucht im Versuchszeitraum konnte am Tag der zweiten Wägung vom Fütterungscomputer abgerufen werden. Dafür wurden die Daten bei jeder Fütterung durch die geeichte Waage am Mischtank gespeichert. Dabei wurden auch die Futterkosten pro Bucht abgerufen, deren Berechnung automatisch auf Basis zuvor manuell programmierter Kosten der Futterkomponenten erfolgte.

Der Futtermittelverbrauch der verendeten Tiere und derer, die aus dem Versuch genommen wurden und damit nicht in die zweite Wägung gingen, konnte nicht ermittelt werden (vgl. Tab. 7). Die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme wurde durch Division dieser Gesamtfutteraufnahme durch die Tierzahl bei Versuchsende ermittelt.

Durch die Aufstallung von ausschließlich männlichen Tieren in den REE-Buchten 1 und 2 ($n = 76$), und in den Kontroll-Buchten 6 und 7 ($n = 81$), lässt sich für diese 157 Börgen auch der Futtermittelverbrauch für die männlichen Tiere beider Gruppen berechnen und vergleichen. Dies ist für weibliche Tiere nicht möglich, da es keine ausschließlich mit weiblichen Schweinen belegten Buchten gab.

3.3.6.3 Futterverwertung

Die Futterverwertung der Buchten wurde berechnet aus der Futteraufnahme aller Tiere einer Bucht, einschließlich verendeter und aus dem Versuch genommener Tiere bis zum Tag ihres Ausscheidens. Diese Gesamtfutteraufnahme wurde geteilt durch die erfasste Lebendmassezunahme der Bucht von der 1. bis zur 2. Wägung der Tiere. Dabei ist die Zunahme der 5 behandelten Tiere enthalten, nicht die Zunahme der ausgeschiedenen Tiere (vgl. Tab. 7). Die Futterverwertung der Gesamtgruppen wurde berechnet aus der Futteraufnahme aller Tiere der Versuchsgruppe, einschließlich ausgeschiedener und verendeter Tiere bis zum Tag des Ausscheidens, dividiert durch die Gesamtzunahme der Gruppe einschließlich der 5 behandelten Tiere. Zur Berechnung der Futterverwertung der männlichen Tiere wurden nur die Daten der ausschließlich mit männlichen Tieren belegten Buchten verwendet. Dies waren in der REE-Gruppe 76, in der Kontrollgruppe 81 männliche Tiere.

3.3.6.4 Schlachtparameter

In der Zeit von der 3. bis zur 4. Woche nach der letzten Wägung erfolgte die Schlachtung der Schweine. Dafür wurden für jede Vermarktungseinheit die jeweils schlachtreifen Tiere aussortiert, wobei in etwa gleich viele Tiere aus jeder Gruppe zu jedem Termin zur Schlachtung kamen. Die Hauptpartie der Schweine mit 200 Tieren wurde über die Erzeugergemeinschaft Oberbayern West für Schlachtvieh Pfaffenhofen vermarktet und am Schlachthof München geschlachtet. Diese Schlachtung erfolgte 26 Tage nach der 2. Wägung, die Tiere hatten bis dahin die Seltenen Erden im Futter erhalten.

Die Daten konnten durch unterschiedliche, bereits auf dem Betrieb angebrachte, Schlagstempel der REE- und der Kontrollgruppe zugeordnet werden. Dabei stammten 106 Tiere aus der REE-Gruppe, 94 Tiere aus der Kontrollgruppe. Das Ergebnis eines Binnenebers aus der REE-Gruppe wurde nicht berücksichtigt, damit konnten die Daten von 105 Tieren aus dieser Gruppe ausgewertet werden (Tab. 16).

Tabelle 16: Klassifizierte Tiere der REE- und der Kontrollgruppe

	REE-Gruppe	Kontrolle
Männliche Tiere (n)	65 (61,9 %)	59 (62,8 %)
Weibliche Tiere (n)	40 (38,1%)	35 (37,2 %)
Gesamt (n)	105	94

Die Bewertung der Schlachttierkörper erfolge mithilfe der FOM (Fat-O-Meater) – Klassifizierung. Das FOM-Gerät ist eine Sonde, die nach dem Einstich in den Rückenmuskel das Fett- und Speckmaß nur an einer einzigen Stelle optisch-elektronisch erfasst. Standardmäßig werden auf der Schlachtabrechnung die Leistungsdaten Schlachtkörpergewicht, Speckmaß, Fleischmaß, Muskelfleischanteil, Handelsklasse und Preis, entsprechend der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen von Schweinehälften, ausgewiesen:

Schlachtkörpergewicht: Gewicht der warmen und ausgenommenen Schlachtkörper sofort oder bis spätestens 45 Minuten nach der Schlachtung

Speckmaß: Rückenspeckdicke (einschließlich Schwarte) in mm, 7 cm seitlich an der Trennlinie auf Höhe der 2./3.letzten Rippe mit FOM-Gerät gemessen

Fleischmaß: Muskeldicke in mm, gleichzeitig und an gleicher Stelle wie das Speckmaß mit FOM-Gerät gemessen

Muskelfleischanteil: Mit Hilfe der zugelassenen Schätzformel:

$$MF \% = 58,6688 - 0,82809 \times SP (\text{Speckmaß}) + 0,18306 \times FM (\text{Fleischmaß})$$

wurde der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers aus gemessenem Fleisch- und Speckmaß berechnet

Handelsklassen: Über den somit errechneten ermittelten Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers erfolgte die Zuordnung in Handelsklassen nach dem EUROP-System, wobei E die beste Handelsklasse mit dem höchsten Magerfleischanteil (> 55 %) ist, P die schlechteste mit unter 40 % (Tabelle 17).

Preis: Der Auszahlungspreis wurde festgelegt über das Schlachtgewicht und den ermittelten Muskelfleischanteil. Der Muskelfleischanteil diente in der Preismaske innerhalb gewisser Gesamtgewichtsgrenzen als Maßstab für Zu- und Abschläge auf die variierenden Basispreise pro kg Schlachtgewicht. Die bei dieser Schlachtung erreichten Preisspannen in der jeweiligen Handelsklasse zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Handelsklassenschema nach Muskelfleischanteil im Schlachttierkörper mit Preisspanne pro Handelsklasse (€/kg)

<i>Handelsklasse</i>	<i>Muskelfleischanteil (%)</i>	<i>Erzielte Preise/kg</i> <i>Schlachtgewicht (€)</i>
E	> 55	1,50 – 1,36
U	50-55	1,36 -1,21
R	45-50	1,17 – 1,05
O	40-45	-
P	< 40	-

3.3.6.5 Statistik

Die Auswertung der Daten erfolgte mithilfe des Programmes Sigma Stat 3.0 (Statistical Analysis System). Es wurde die Berechnung des Mittelwertes (Berechnung des arithmetischen Mittelwertes aus allen Einzelwerten zu den verschiedenen Messzeitpunkten) und der Standardabweichung (Berechnung der Standardabweichung vom Mittelwert, als Maß für die Streuung der Werte der einzelnen Tiere bei einem Messzeitpunkt) angewendet. Zur Erhebung der statistischen Signifikanz wurde der t-test nach Student und bei unzureichender Normalität der Mann-Whitney Rank Sum Test verwendet. Bei diesem Rangsummentest wurden die Messwerte ihrer Größe nach auf einen Rangplatz gesetzt und für den Vergleich vermerkt aus welcher Gruppe der Wert stammt. Dabei steht p für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Signifikant unterschiedliche Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5 % wurden mit $p < 0,05$ gekennzeichnet. Hoch signifikant unterschiedliche Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 0,1 % wurden mit $p < 0,001$ bezeichnet. Außerdem wurde für das diskrete Merkmal Schlachtklassenzuordnung der Chi-Quadrat Test verwendet.

4 ERGEBNISSE

4.1 Gehalt an REE im Futter

In der Mischprobe des Flüssigfutters wurden 66,5 mg/kg TS Gesamtgehalt an Seltenen Erden bestimmt, theoretisch erwartet wurden 68,0 mg/kg TS.

4.2 Gesundheitsstatus

Das Allgemeinbefinden der Sammelferkel nach der metaphylaktischen Antibiotikagabe vor Versuchsbeginn war bis auf in Tabelle 7 dargestellte Tiere ungestört. Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen waren nicht erkennbar.

Damit konnten die Daten von 373 Mastschweinen ausgewertet werden.

4.3 Mastleistungsparameter

4.3.1 Körpergewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen

Während der gesamten Versuchsdauer war kein signifikanter Unterschied in der Gewichtsentwicklung der beiden Gruppen zu erkennen (Tab. 18).

Tabelle 18: Durchschnittliches Anfangs- und Endgewicht (kg) pro Mastschwein (MW \pm s)

	<i>REE</i> Anfangsgewicht (kg)	<i>REE</i> Endgewicht (kg)		<i>Kontrolle</i> Anfangsgewicht (kg)	<i>Kontrolle</i> Endgewicht (kg)
Bucht 1 (n = 37)	38,94 \pm 3,12	102,84 \pm 8,85	Bucht 6 (n = 41)	39,05 \pm 4,31	103,39 \pm 7,75
Bucht 2 (n = 39)	37,69 \pm 3,74	104,25 \pm 8,30	Bucht 7 (n = 40)	39,35 \pm 4,52	103,45 \pm 8,68
Bucht 3 (n = 35)	38,76 \pm 3,83	102,22 \pm 10,08	Bucht 8 (n = 38)	40,30 \pm 4,56	105,03 \pm 10,86
Bucht 4 (n = 37)	39,48 \pm 4,08	106,77 \pm 7,06	Bucht 9 (n = 37)	41,07 \pm 4,41	108,23 \pm 7,79
Bucht 5 (n = 36)	37,96 \pm 3,76	104,75 \pm 7,90	Bucht 10 (n = 33)	37,69 \pm 3,2	105,72 \pm 9,39
Durchschnitt (n = 184)	38,56 \pm 3,74	104,19 \pm 8,54		39,52 \pm 4,36	105,09 \pm 9,15

Damit erreichten die beiden Gruppen fast die gleichen Gesamtzunahmen. Tabelle 19 zeigt die durchschnittliche Gesamtgewichtszunahme in kg pro Tier im Versuchszeitraum von 82 Tagen.

Tabelle 19: Durchschnittliche Gewichtszunahme (kg) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW \pm s)

	<i>REE-Gruppe</i>		<i>Kontrolle</i>
	(kg)		(kg)
Bucht 1	63,89	Bucht 6	64,34
(n = 37)	$\pm 7,36$	(n = 41)	$\pm 6,07$
Bucht 2	66,56	Bucht 7	64,10
(n = 39)	$\pm 7,23$	(n = 40)	$\pm 7,07$
Bucht 3	63,46	Bucht 8	64,73
(n = 35)	$\pm 7,73$	(n = 38)	$\pm 7,82$
Bucht 4	67,29	Bucht 9	67,16
(n = 37)	$\pm 5,98$	(n = 37)	$\pm 7,42$
Bucht 5	66,79	Bucht 10	68,04
(n = 36)	$\pm 6,73$	(n = 33)	$\pm 8,07$
Durchschnitt	65,63	Durchschnitt	65,56
(n = 184)	$\pm 7,13$	(n = 189)	$\pm 7,66$

Es ergeben sich auch bei den durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen (Tab. 20).

Tabelle 20: Durchschnittliche Tageszunahme (g) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW \pm s)

	<i>REE-Gruppe</i>		<i>Kontrolle</i>
	(g)		(g)
Bucht 1	779,2	Bucht 6	784,6
(n = 37)	\pm 133,8	(n = 41)	\pm 110,4
Bucht 2	811,7	Bucht 7	781,7
(n = 39)	\pm 131,48	(n = 40)	\pm 128,6
Bucht 3	773,9	Bucht 8	789,4
(n = 35)	\pm 140,5	(n = 38)	\pm 142,3
Bucht 4	820,6	Bucht 9	819,1
(n = 37)	\pm 108,7	(n = 37)	\pm 134,9
Bucht 5	814,6	Bucht 10	829,7
(n = 36)	\pm 122,4	(n = 33)	\pm 146,7
Durchschnitt	800,3	Durchschnitt	799,6
(n = 184)	\pm 129,6	(n = 189)	\pm 139,4

4.3.2 Futterraufnahme

Es konnten die Futterraufnahme von 184 Tieren der REE-Gruppe und 189 Tieren der Kontrollgruppe über 82 Tage ausgewertet werden (Tab. 21). Die Futterkosten pro Tier zeigt Tabelle 22.

Tabelle 21: Durchschnittliche Gesamfutteraufnahme (kg) pro Mastschwein im Versuchszeitraum von 82 Tagen (MW \pm s)

	<i>REE-Gruppe</i> (kg Futter/Tier)		<i>Kontrolle</i> (kg Futter/Tier)
Bucht 1 (n = 37)	185,45	Bucht 6 (n = 41)	191,63
Bucht 2 (n = 39)	180,96	Bucht 7 (n = 40)	190,67
Bucht 3 (n = 35)	178,92	Bucht 8 (n = 38)	190,39
Bucht 4 (n = 37)	192,21	Bucht 9 (n = 37)	194,01
Bucht 5 (n = 36)	188,10	Bucht 10 (n = 33)	192,89
Durchschnitt (n = 5)	185,13 \pm 5,36	Durchschnitt (n = 5)	191,86 \pm 1,52

Tabelle 22: Futterkosten (€) pro Tier im Versuchszeitraum von 82 Tagen

	<i>REE-Gruppe</i> (€/Tier)		<i>Kontrolle</i> (€/Tier)
Bucht 1 (n = 37)	47,88	Bucht 6 (n = 41)	49,72
Bucht 2 (n = 39)	46,73	Bucht 7 (n = 40)	49,46
Bucht 3 (n = 35)	46,25	Bucht 8 (n = 38)	49,40
Bucht 4 (n = 37)	49,61	Bucht 9 (n = 37)	50,34
Bucht 5 (n = 36)	48,55	Bucht 10 (n = 33)	49,98
Durchschnitt (n = 5)	47,80 ± 1,36	Durchschnitt (n = 5)	49,78 ± 0,39

4.3.3 Futtermittelverwertung

Die durchschnittliche Futtermittelverwertung der Buchten und der beiden Gesamtgruppen gibt Tabelle 23 wieder. Die niedrigste Futtermittelverwertung erreichte REE-Bucht 2 mit 2,72, die höchste die Kontroll-Bucht 6 mit 2,98. Die Futtermittelverwertung der REE-Gruppe lag im Durchschnitt um 3,75 % niedriger als die der Kontrollgruppe. Aufgrund der unterschiedlichen Geschlechterverteilung ist keine Signifikanzberechnung möglich.

Tabelle 23: Durchschnittliche Futtermittelverwertung (FV) aller Buchten über den Versuchszeitraum von 82 Tagen

	<i>REE</i>		<i>Kontrolle</i>
	(FV)		(FV)
Bucht 1 (n = 37)	2,90	Bucht 6 (n = 41)	2,98
Bucht 2 (n = 39)	2,72	Bucht 7 (n = 40)	2,97
Bucht 3 (n = 35)	2,82	Bucht 8 (n = 38)	2,94
Bucht 4 (n = 37)	2,86	Bucht 9 (n = 37)	2,89
Bucht 5 (n = 36)	2,82	Bucht 10 (n = 33)	2,84
Durchschnitt (n = 5)	2,82 ± 0,07	Durchschnitt (n = 5)	2,93 ± 0,06

Tabelle 24 zeigt die Futterverwertung der nur mit männlichen Tieren belegten Buchten alleine. Im Durchschnitt dieser 157 hier ausgewerteten männlichen Tiere ist eine Verbesserung der Futterverwertung von 2,98 in der Kontrollgruppe auf 2,81 in der REE-Gruppe zu erkennen. Dies entspricht einer Verbesserung um 5,7 %.

Tabelle 24: Durchschnittliche Futterverwertung (FV) der männlichen Mastschweine

	<i>REE-Gruppe</i>		<i>Kontrolle</i>	
Bucht 1 (n = 37)	2,90		Bucht 6 (n = 41)	2,98
Bucht 2 (n = 39)	2,72		Bucht 7 (n = 40)	2,97
Gesamt (n = 76)	2,81 (-5,7 %)		Gesamt (n = 81)	2,98

4.4 Schlachtparameter

Für die Schlachtleistungsparameter wurde die Schlachtabrechnung von 199 Schweinen des Hauptverkaufs zugrunde gelegt. Dabei stammten 105 Tiere aus der REE-Gruppe, 94 Tiere aus der Kontrollgruppe (Tab. 16).

4.4.1 Schlachtgewicht

Das durchschnittliche Schlachtgewicht der REE-Tiere lag bei 97,1 (\pm 4,84) kg, das der Kontrolltiere bei 96,3 (\pm 5,91) kg. Dieses im Durchschnitt um 0,8 kg höhere Schlachtgewicht der REE-Gruppe unterschied sich nicht signifikant von dem der Kontrolltiere.

4.4.2 Magerfleischanteil und Handelsklassen

Der Magerfleischanteil der mit Seltenen Erden gefütterten Tiere lag mit 56,4 (\pm 3,6) % hoch signifikant ($P < 0,001$) über dem Magerfleischanteil der Kontrolltiere mit 55,2 (\pm 3,6) %. Das entspricht einer Erhöhung um 2,1 %.

Damit lag auch der Anteil der Schweine mit der am besten bewerteten Klassifizierung E (Magerfleischanteil > 55 %) in der REE-Gruppe höher (Tab. 25). Im Vergleich zur Kontrolle mit 57 % der Schlachtkörper in Klasse E, waren es in der REE-Gruppe 70 %. Diese Veränderung ist im Chi-Quadrat-Test nicht signifikant.

Tabelle 25: Handelsklassenzuordnung von 199 Mastschweinen der REE-Gruppe und der Kontrollgruppe

	<i>REE-Gruppe (n)</i>	<i>Kontrolle (n)</i>
Handelsklasse E	73	54
Handelsklasse U	29	32
Handelsklasse R	3	8
Summe	105	94

4.4.3 Speckmaß

Beim Speckmaß ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsgruppen. Die gemessene Rückenspeckdicke (7 cm seitlich auf Höhe der 2./3.letzten Rippe) lag für die REE-Gruppe bei 16,5 (\pm 3,3) mm. Für die Kontrollgruppe bei 17,5 (\pm 3,6) mm.

4.4.4 Fleischmaß

Beim Fleischmaß, das an gleicher Stelle gemessen wurde wie das Speckmaß, lag ebenfalls kein signifikanter Unterschied vor. Die REE-Gruppe erreichte mit 62,3 (\pm 3,92) mm um 3,3 % mehr als die Kontrolle mit 60,3 (\pm 6,87) mm.

4.4.5 Ökonomische Betrachtung

Aus ökonomischer Sicht ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsgruppen. Sowohl der Preis pro kg Schlachtgewicht lag bei den mit Seltenen Erden gefütterten Tieren mit 1,37 (\pm 0,10) € um 0,02 € signifikant ($P < 0,05$) höher als bei den Kontrolltieren mit 1,35 (\pm 0,11) €, als auch der Gesamtpreis pro Tier. Dieser lag mit 133,42 (\pm 12,22) € um 3,22 € signifikant ($P < 0,05$) über dem durchschnittlichen Preis von 130,20 (\pm 13,89) €, den die Kontrolltiere erzielten.

5 DISKUSSION

Durch den Feldversuch auf dem Schweinemastbetrieb in Unterhaslach sollte der ergotrope Effekt Seltener Erden als Futterzusatzstoff unter Praxisbedingungen und mit großen Tierzahlen bei Flüssigfütterung untersucht werden.

5.1 Gehalt an REE im Futter

Der in der Mischprobe ermittelte Gehalt an Seltenen Erden (66,5 mg/kg TS) entspricht fast genau dem erwarteten Gehalt im Versuchsfutter (68,0 mg/kg TS). Dies zeigt, dass über die verwendete Fütterungstechnik keine Entmischung stattfand und die Tiere die Seltenen Erden auch in der gewünschten Dosierung erhielten.

5.2 Versuchskonzept

Die Versuchstiere wurden den Anforderungen der Schweinehaltungshygieneverordnung (Verordnung über die Anforderungen beim Halten von Schweinen, in der Fassung vom 7.6.1999, zuletzt geändert 17.6.2009) und den QS-Kriterien (Qualität und Sicherheit GmbH) entsprechend gehalten. Die Rasse DE x DL x Piétrain entspricht einer in der Mast üblichen Drei-Rasse-Kreuzung.

Das durchschnittliche Gewicht bei Versuchsbeginn von 38,5 kg (REE-Gruppe) bzw. 39,5 kg (Kontrolle) liegt etwas über üblichen Gewichten bei Mastbeginn, da der Zusatz der Seltenen Erden zum Futter aus technischen Gründen nicht gleichzeitig mit dem Einstallen beginnen konnte. Dies könnte die Wirkung der Seltenen Erden geringgradig reduziert haben, da häufig bei jüngeren Tieren deutlichere Effekte gefunden wurden.

Bei den Stallungen handelte es sich um einen früheren Milchviehstall, der zu einem Schweinemaststall umgebaut wurde. Das erklärt die unterschiedlichen Buchten- und Abteilgrößen. Die gleichzeitig unterschiedliche Verteilung von männlichen und weiblichen Tieren in den angelieferten Gruppen machte die Datenauswertung schwierig, da somit keine optimale statistische Auswertung möglich war.

5.3 Fütterungstechnik

Bei der eingesetzten vollautomatischen Flüssigfütterung, ist der Trockensubstanzgehalt der Ration begrenzt, da sonst die Fließfähigkeit des Futters nicht mehr gewährleistet ist. Laut LKV-Jahresbericht 2008/2009 verwenden 44 % der Betriebe des Fleischerzeugerring Schwaben diese Fütterungstechnik. Die erzielten Zunahmen dabei liegen durchschnittlich im Vergleich zur Trockenfütterung ad libitum (724 g) etwa genauso hoch, im Vergleich zur rationierten Trockenfütterung jedoch höher (723 g vs. 709 g). Die besten Zunahmen (735 g) konnten in Bayern durch Sensorfütterung (7,4 % der Betriebe) erreicht werden, also Flüssigfütterung ad libitum, gefolgt von Breiautomaten (730 g), die circa 33 % der Betriebe verwenden.

Die hier verwendete Fütterungstechnik mit manueller Anpassung der rationierten Futtermenge, kann nicht als Flüssigfütterung ad libitum bezeichnet werden, da hier geringgradige Steigerungen im Appetit nicht aufgefallen wären und folglich keine Erhöhung der zugeteilten Futtermenge erfolgt wäre. Damit wäre ein positiver Effekt der Seltenen Erden, erzielt durch einen gesteigerten Appetit der Tiere nicht aufgefallen. In vielen Versuchen zur Wirksamkeit der Seltenen Erden wurde jedoch eine Steigerung der Futterraufnahme der Tiere beobachtet. Borger (2003) fand bei Tieren mit einem Anfangsgewicht von ca. 17 kg, eine Futtermehraufnahme von 7 %. Bei Eisele (2003) betrug die Steigerung 3,5 % beim Einsatz von 300 mg/kg REE-Chlorid. Im Toleranzversuch von Glabasnia-Kreppold (2008) wurde sogar eine dosisabhängige Veränderung festgestellt. Durch die Supplementierung von 250, 1250 und 2500 mg REE-Citrat/kg Futter wurde die Futterraufnahme um 2, 0 und 7 % gesteigert. Es gibt jedoch auch widersprüchliche Ergebnisse, so fanden Kraatz et al. (2004) durch Zulage von 200 mg/kg REE-Citrat in einem ersten Versuch eine Mehraufnahme von 4,4 %, in einem zweiten Versuch eine um 3 % geringere Futterraufnahme der Ferkel.

Dieser Effekt der erhöhten Futterraufnahme ist beim Einsatz von rationierten Flüssigfütterungssystemen kaum zu nutzen, da immer sichergestellt werden muss, dass keine Futterreste im Trog bleiben, da das angemischte Futter sehr schnell verdirbt. Nur unter ständiger Beobachtung kann die Futtermenge abweichend vom Ausgangswert gesteigert werden.

Der Mechanismus, über den die Seltenen Erden diese Mehraufnahme von Futter verursachen, ist bislang ungeklärt. Neben der Verbesserung des Aromaprofils ist eine Veränderung in der Sättigungssteuerung denkbar. Effekte auf gastrointestinale Sensoren, Hormone, wie das Cholecystokinin, die pankreatischen Hormone oder das, aus dem Fettgewebe stammende, Leptin könnten beteiligt sein (Forbes, 1988; Langhans und Scharrer, 2000).

5.4 Futterzusammensetzung

Während beim Energiegehalt der Ration fast genau der Zielwert der GfE-Versorgungsempfehlungen eingehalten wurde, ist bei der Proteinversorgung der Zielwert vor allem in der Endmast überschritten. Der Lysingehalt der Ration lag immer geringgradig über den Empfehlungen. Auch die Methionin und Cysteingehalte lagen etwas über dem LKV-Zielwerten. Damit dürfte bei dieser Futterzusammensetzung nicht der Proteingehalt, sondern höchstens der Energiegehalt wachstumslimitierend gewirkt haben.

Die LKV-Beratung richtet sich nach Versorgungsempfehlungen des Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie von 2006 (Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen, 2006) und berücksichtigt betriebliche Besonderheiten. Die GfE-Versorgungsempfehlungen sind nach Leistungsniveau und Lebendmasse gegliedert und bieten unterschiedliche Angaben für eine jeweils optimale Versorgung bei unterschiedlichen täglichen Zunahmen und Gewicht der Tiere. Je höher die zu erwartenden Zunahmen liegen, umso höher muss auch der Protein- und Energiegehalt des Futters sein, je älter und damit schwerer die Tiere bereits sind, desto niedriger kann der Proteingehalt pro kg Futter sein.

Außerdem werden für männliche und weibliche Mastschweine um bis zu 4 MJ/ME und 2 g Lysin/kg TS unterschiedliche Bedarfszahlen angegeben. Dies wird mit der unterschiedlichen Zusammensetzung des Lebendmassezuwachses von männlichen und weiblichen Mastschweinen begründet. Der Proteinzuwachs kann bei weiblichen Schweinen um bis zu 6 % (12 g/kg) des Lebendmassezuwachses höher liegen, der Fettanteil im Lebendmassezuwachs dagegen bei Börgen sogar um bis zu 20 % über dem der weiblichen Tiere. Damit ist zur Vermeidung einer stärkeren Verfettung der Börge rechtzeitig mit einer Begrenzung der ME-Versorgung zu beginnen. Zur Ausschöpfung des höheren

Proteinansatzvermögens weiblicher Tiere ist eine bessere Versorgung mit Aminosäuren nötig (GfE, 2006). Für gemischte Gruppen werden, wie im vorliegenden Feldversuch, bei dem aus technischen Gründen keine Geschlechtertrennung möglich war, üblicherweise Mittelwerte verwendet. Dies erschwert die statistische Auswertung der Daten.

5.5 Gesundheitsstatus

Das Allgemeinbefinden der Tiere war nach der metaphylaktischen Antibiotikabehandlung ungestört. Obwohl die antibiotische Behandlung bei Versuchsbeginn beendet war, ist ein längerer Effekt dieser Behandlung nicht auszuschließen. Antibiotika verändern die Zusammensetzung der Mikroflora des Körpers (Mikrobiom), die sich vor allem im Verdauungskanal befindet. Die Menge und die Artenvielfalt an Mikroben im Darm werden reduziert. Veränderungen im Mikrobiom scheinen auch längerfristig zu bestehen, so wurden zum Beispiel bei der Übertragung von Darmbakterien zwischen Ratten Veränderungen auch nach 3 Monaten noch nachgewiesen (Manichanh et al., 2010). Auch die mikrobielle Verdauung von Nährstoffen kann vermindert und die Konzentrationen von Ammoniak, Aminen und Milchsäure reduziert werden (Greife und Berschauer, 1988; Visek, 1978). Schließlich kommt es zu einer Stabilisierung des intestinalen pH-Wertes, was eine optimale Enzymaktivität unterstützt (Kamphues, 1999). Auch eine geringere Dicke der Darmwand, erhöhte Enzymaktivität und eine längere Lebensdauer der Darmzotten konnten beim Einsatz von Antibiotika festgestellt werden (Thomke und Elwinger, 1998). Es wird außerdem eine Stimulation der Proteinsynthese durch Antibiotika im Intermediärstoffwechsel vermutet (Thomke und Elwinger, 1998). Wie lange diese Effekte anhalten ist unklar, damit kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass Effekte der Seltenen Erden als Leistungsförderer überdeckt wurden, obwohl die Antibiotikagabe 5 Tage vor Versuchsbeginn beendet war.

Von leichten Ohrmuschelentzündungen mit Rötung um die Einzugsstelle der Ohrmarke waren circa 30 bis 40 % der Tiere beider Gruppen ohne Unterschied betroffen. Insgesamt reagierten 13 der 394 Tiere mit einer schwereren Entzündungsreaktion auf die Ohrmarke, so dass diese entfernt und die Tiere aus dem Versuch genommen und behandelt wurden. Betroffen waren in der REE-Gruppe 3 Tiere mehr als in der Kontrollgruppe, damit lag keine Veränderung

zugunsten der REE-Gruppe vor. Es ist auch kein Zusammenhang mit der Fütterung der Seltenen Erden ersichtlich. Durch die niedrige Resorptionsrate der Lanthanoide aus dem Magen-Darm-Trakt nach oraler Aufnahme, spielt die orale Toxizität keine Rolle. Sie ist jedoch abhängig von der Dosierung und chemischen Form der Lanthanoide (Evans, 1990). Hamilton (1948), Durbin et al. (1956), Haley (1965), und Ji (1985) geben Resorptionsraten von 1-10 % an. Die geringe Toxizität wurde auch in früheren Versuchen bestätigt, die mit Seltenen Erdelementen durchgeführt wurden (Rambeck et al., 1999; Schuller et al., 2001; Eisele 2003). Von Haley et al. (1995) wird eine LD₅₀ von 4200 mg/kg bei Mäusen angegeben. Cochran et al. (1950) konnten auch bei der Verfütterung von 10 g/kg La₂O₃ und 5 g/kg La₂(SO₄)₃ an Ratten keine toxischen Effekte nachweisen. Auch in der aktuellen Toleranzstudie von Kreppold (2008) waren sogar bei 10-facher Überdosierung in Organ- und Blutproben keine Auffälligkeiten feststellbar.

Die 5 Einzeltierbehandlungen, wurden aufgrund von Atemwegserkrankungen (Enzootische Bronchopneumonie) nötig, der wirtschaftlich bedeutendsten Erkrankung in der Schweinemast. Es handelt sich um eine komplexe Faktorenkrankheit mit Husten und Wachstumseinbußen bei geringer Mortalität. Da die Zahl der behandelten Tiere in beiden Gruppen fast gleich hoch war und die Behandlungszeit relativ kurz, ist kein Einfluss auf die Ergebnisse der Versuchsgruppen anzunehmen.

Insgesamt lag die Abgangsrate mit je 4 Tieren pro Gruppe in der REE-Gruppe bei 2,17 % und in der Kontrollgruppe bei 2,12 %. Das entspricht den in der Schweinemast und im Betrieb üblichen Zahlen. Auffällig war, dass die verendeten Tiere ausschließlich männlich waren, eine Erklärung dafür konnte nicht gefunden werden. Ein Einfluss der Futterzusätze ist nicht erkennbar, eine pathologisch anatomische Untersuchung war nicht erfolgt.

5.6 Mastleistungsparameter

5.6.1 Körpergewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen

Insgesamt ist das erreichte Zunahmenniveau von etwa 800 g im bayerischen Vergleich zufriedenstellend, das Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, gibt Daten der Leistungsprüfungsstation in Grub für Pietrain x DL oder F1 Kreuzungssauen von 820-830 g täglichen Zunahmen an. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft nennt als Ziel in der Mastschweinefütterung tägliche Zunahmen von > 800 g. Der Durchschnitt lag im Fleischerzeugerring Schwaben für 2008/2009 nach Auswertung der LKV-Daten in Bayern bei vollautomatischer Flüssigfütterung sogar nur bei 723 g/Tag, in Schwaben bei 699 g/Tag.

Im hier durchgeführten Mastversuch konnten jedoch wider Erwarten kaum Unterschiede in der Gewichtsentwicklung der beiden Versuchsgruppen beobachtet werden. Das mittlere Anfangs- und Endgewicht der REE-Gruppe entsprach fast exakt dem der Kontrollgruppe und die beiden Gruppen erreichten insgesamt die gleiche Gesamtzunahme. Bei den täglichen Zunahmen lassen sich geringgradige Unterschiede zwischen den Buchten feststellen, so dass sich eine Standardabweichung von 93,5 g in der Kontrolle und 86,9 g in der REE-Gruppe ergibt. Die tägliche Gewichtszunahme liegt mit 800,3 g bei den mit Seltenen Erden gefütterten Tieren nur um 0,1 % über dem Wert von 799,6 g, den die Kontrolltiere erzielten.

In chinesischen Berichten wird dagegen von spektakulären Gewichtsverbesserungen durch den Einsatz von Seltenen Erden von bis zu 20 % berichtet (Shen et al., 1991; Li et al., 1992; Cheng et al., 1994; Zhu et al., 1994; He und Xia, 1998). Bei aktuellen Studien in Polen konnten - allerdings bei Absatzferkeln mit einem Gewicht von 7-8 kg - bei der Fütterung mit Seltenen-Erden-Citrat über 42 Tage ebenfalls verbesserte Zunahmen von über 10 % festgestellt werden, in Spanien (Institut de Recerca I Tecnologia Agroalimentàries, IRTA), unter etwas anderen Haltungsbedingungen, fand sich im gleichen Gewichtsbereich jedoch kein Einfluss von REE (Rambeck, 2009).

Bei Ferkeln mit einem Anfangsgewicht von 17 kg ergaben sich in verschiedenen Studien in Deutschland, leistungssteigernde Effekte von 4 - 23 %. Dies waren jedoch zum Teil Fütterungsstudien mit kleinen Tierzahlen bzw. nicht optimal kontrollierte Feldversuche (Borger, 2003; Eisele, 2003; Knebel, 2004). Auch Kreppold (2008) konnte in einer Ferkeltoleranzstudie bei Zusatz von 250 mg/kg REE-Citrat eine um 8 % verbesserte Gewichtszunahme erreichen. Schöne (2009) dagegen erzielte bei Zusatz von ebenfalls 250 mg/kg REE-Citrat nur eine Verbesserung von 1,8 %. Kraatz et al. (2004) fanden sogar um bis zu 3 % verschlechterte Zunahmen beim Zusatz von 200 mg/kg REE-Citrat, während Förster et al. (2006) bei 100 mg/kg eine positive Wirkung, in höher supplementierten Gruppen eine Verschlechterung von 4 bis 10 % fanden.

Bei zahlreichen Versuchen waren signifikante Verbesserungen vor allem in der Anfangsphase zu erkennen, die über die gesamte Versuchsdauer dann aber weniger hoch waren (Rambeck et al. 1999; He et al., 2001; He und Rambeck, 2000; Schuller et al., 2002; Borger, 2003; Rambeck, 2009; Schöne, 2009).

Im Vergleich zu den beschriebenen Studien, die alle mit Ferkeln durchgeführt wurden, haben sich bei Mastschweinen oft weniger deutliche Effekte gezeigt. Böhme et al. (2002) führten Versuche mit Mastschweinen im Gewichtsbereich von 42 - 90 kg durch, wobei sie keine Verbesserung der Mastleistungsparameter feststellen konnten. Der Gewichtsbereich entspricht ungefähr dem in dem vorliegenden Versuch, es wurden dort jedoch nur 100 mg/kg REE eingesetzt. Bei Mastversuchen in Polen mit 250 mg/kg REE, ergab sich jedoch auch bei Mastschweinen eine nicht-signifikante Verbesserung der Gewichtsentwicklung von 3 % (Rambeck, 2009). Bei Kessler (2004) jedoch waren die Verbesserungen in der Futterverwertung und den täglichen Zunahmen auch im Gewichtsbereich von 24 - 104 kg signifikant. Die Futterverwertung konnte um 3,6 % verbessert, die täglichen Zunahmen um 8,8 % gesteigert werden. Miller (2006) konnte bei männlichen Tieren in der Aufzuchtphase bessere Körpergewichtsentwicklungen beim Zusatz von Seltenen Erden feststellen, die sich jedoch während der Mastperiode weniger deutlich zeigten.

Die Erklärung dafür, warum im vorliegenden Feldversuch nicht, wie erwartet, eine Steigerung der Gewichtszunahme auftritt, könnte zum Beispiel in der Zusammensetzung des Futters liegen.

So konnte in einer Studie, die in der Endmast deutlich weniger Protein in der Ration enthielt, eine signifikante Verbesserung der Gewichtszunahme verzeichnet werden (Kessler, 2004). In Fütterungsversuchen mit proteinreicheren Rationen dagegen (Hanczakowska (2009); Miller (2006)), waren die Steigerungen in den Gewichtszunahmen geringer, wobei sich jedoch eine Tendenz zu einer Verbesserung in der Zusammensetzung der Schlachtkörper andeutet, die sich u.a. in höheren Magerfleischanteilen äußert (Tab. 26). Vergleicht man die Untersuchungen von Kessler (2004) mit denen des vorliegenden Feldversuches, so könnte die Verbesserung der Gewichtszunahme von fast 9 % bei Kessler mit dem niedrigen Proteingehalt (13,1 %) in Verbindung gebracht werden. Bei dem hohen Proteingehalt im vorliegenden Feldversuch konnte die Gewichtszunahme gegenüber der Kontrolle nicht mehr erhöht werden, stattdessen wurde der Magerfleischanteil gesteigert.

Tabelle 26: Vergleichende Übersicht: Eigener Feldversuch und Mastversuche aus der Literatur (Borger (2003), Kessler (2004), Miller (2006), Hanczakowska (2009))

	<i>Eigene Untersuchungen</i>	<i>Kessler (2004)</i>	<i>Hanczakowska (2009)</i>	<i>Miller (2006)</i>
Verbesserung der Gewichtszunahme (%)	0,1	8,8	0,7	1,7
Verbesserung der FV (%)	3,75	3,6	1,2	k. A.
Magerfleischanteil	signifikant erhöht	unverändert	nicht signifikant erhöht	nicht signifikant erhöht
Proteingehalt der Ration in der Endmast (%)	16,8	13,1	15,7	17,3
Energiegehalt der Ration (MJ ME/kg)	13,1	13,9	12,3 – 12,4	k. A.

5.6.2 Futtermittelverwertung

Die Futtermittelverwertung berücksichtigt die beiden Leistungsparameter Gewichtsentwicklung und Futteraufnahme, sie ist damit ein sehr aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung der Mastleistung. Aufgrund der Messung der Futteraufnahme pro Bucht, konnte nur für Buchten ohne Tierverluste (vgl. Tab. 7) im Gesamtversuchszeitraum die Futteraufnahme exakt erfasst werden und damit auch eine genaue Berechnung der Futtermittelverwertung erfolgen. Bei den anderen Buchten ist die Futtermenge der Tiere, die nicht in die zweite Wägung eingehen konnten, noch in der Berechnung enthalten. Dies führt zu einer Veränderung, jedoch zu Ungunsten der REE-Gruppe, da hier mehr Schweine nicht in die zweite Wägung eingehen konnten, obwohl sie Versuchsfutter aufgenommen hatten. Dieser Futtermittelverbrauch der ausgeschiedenen Tiere war jedoch im Verhältnis zum Gesamtfuttermittelverbrauch sehr gering, da 13 der 21 ausgeschiedenen Tiere (von 394 Versuchstieren) bereits in den ersten beiden Wochen aus dem Versuch genommen wurden. Nach Richtwerten der LfL berechnet, beträgt die zuviel berechnete Futtermenge in der REE-Gruppe etwa 1,6 % der Gesamtfutteraufnahme, in der Kontrolle ca. 1 % der Gesamtfutteraufnahme. Für Bucht 7 mit 40 Tieren der Kontrolle und Bucht 5 mit 36 Tieren der REE-Gruppe entspricht die Angabe der tatsächlichen Futtermenge, da alle Tiere in die zweite Wägung gingen.

Die Futtermittelverwertung der REE-Gruppe war trotz dieser Benachteiligung im Durchschnitt mit 2,82 um 3,75 % niedriger als die der Kontrollgruppe mit 2,93. Die Standardabweichung beträgt für die REE-Gruppe 0,07, für die Kontrollgruppe 0,06. In Abbildung 3 sind die Futtermittelverwertungszahlen der einzelnen Buchten und der Gesamtgruppen dargestellt. REE-Bucht 2 erreichte mit 2,72 die niedrigste Futtermittelverwertung, die höchste war in Kontroll-Bucht 6 mit 2,98 zu verzeichnen. Auch Kontroll-Bucht 4 lag mit 2,97 fast genauso hoch.

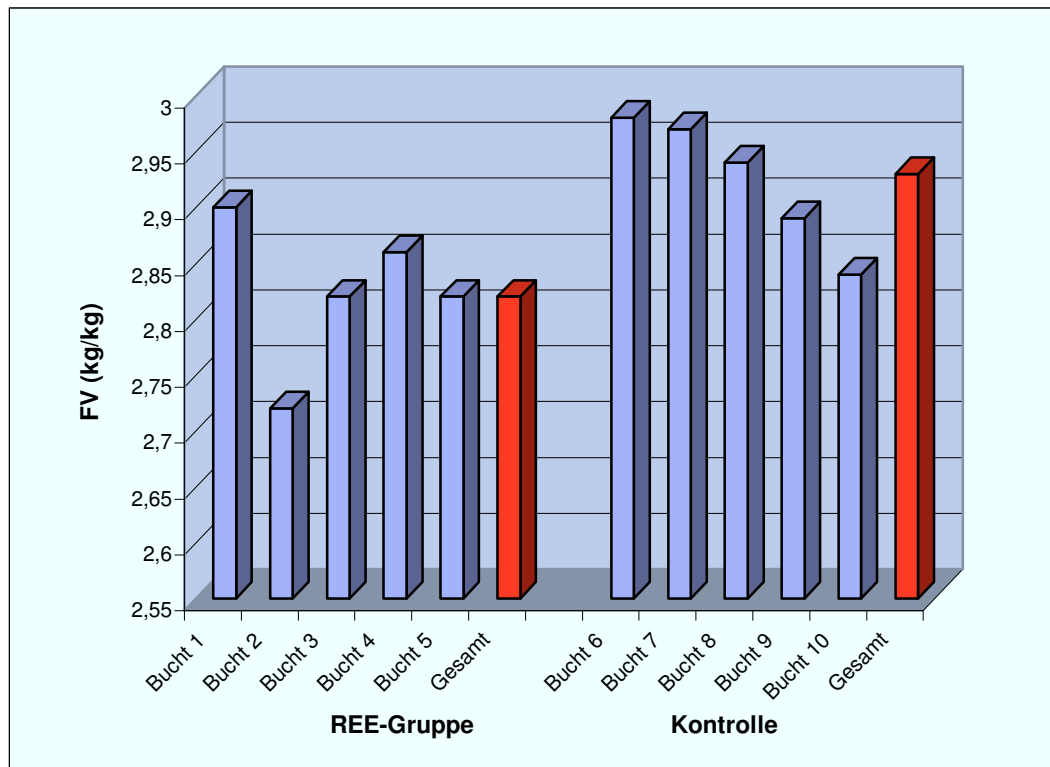


Abbildung 3: Futterverwertung (FV) aller Buchten der REE- und Kontrollgruppe über den Versuchszeitraum von 82 Tagen

Durch die bessere Futterverwertung konnte der Futteraufwand und damit die Futterkosten reduziert werden. Die Futterkosten betragen im Durchschnitt 49,77 € pro Mastschwein in der Kontrolle und 47,81 € pro Mastschwein in der REE-Gruppe. Das ist eine Senkung um 1,96 € pro Mastschwein und damit um fast 4 %. Dieser Unterschied ist nicht signifikant.

Bei der Beurteilung dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass der Anteil an männlichen und weiblichen Mastschweinen in den Versuchsgruppen unterschiedlich war. Laut Angaben des LfL, Arbeitsbereich Schweinefütterung, von 2009 liegt die Futterverwertung in der Mast von 30 - 120 kg bei einem Zunahmenniveau von 850 g/Tag für Sauen bei 2,65 kg/kg, für Böрге bei 2,85 kg/kg, für gemischte Gruppen im Schnitt bei 2,75 kg/kg (LfL, 2009). Der Anteil an weiblichen Schweinen in diesem Versuch betrug in der REE-Gruppe 36 %, in der Kontrolle nur 20 %.

Dass die vorliegende Verbesserung der Futterverwertung von 3,75 % jedoch nicht nur der Geschlechterverteilung zuzuschreiben ist, bestätigt auch der Vergleich zwischen den Einzelwerten der Buchten, der nicht immer einen Zusammenhang zwischen Futterverwertung und Geschlechterverteilung erkennen lässt. Die beste Futterverwertung von 2,72 erreichte zum Beispiel Bucht 2 mit rein männlichen Tieren der REE-Gruppe.

Außerdem zeigt sich auch beim Vergleich von nur gleichgeschlechtlichen Tieren eine deutliche Verbesserung der Futterverwertung zugunsten der supplementierten Gruppe. So war die Futterverwertung der männlichen Tiere, die im vorliegenden Feldversuch getrennt von weiblichen Tieren gehalten wurden, durch den Zusatz von 250 mg/kg REE-Citrat um 5,7 % verringert (Abb. 3). Der leistungssteigernde Effekt ist damit sogar deutlicher als beim Vergleich der gemischten Gesamtgruppen, die eine Verbesserung um 3,75 % zeigten. Dieses Ergebnis unterscheidet sich von den Beobachtungen von Kessler (2004), der bei weiblichen Tieren die deutlicheren Effekte fand.

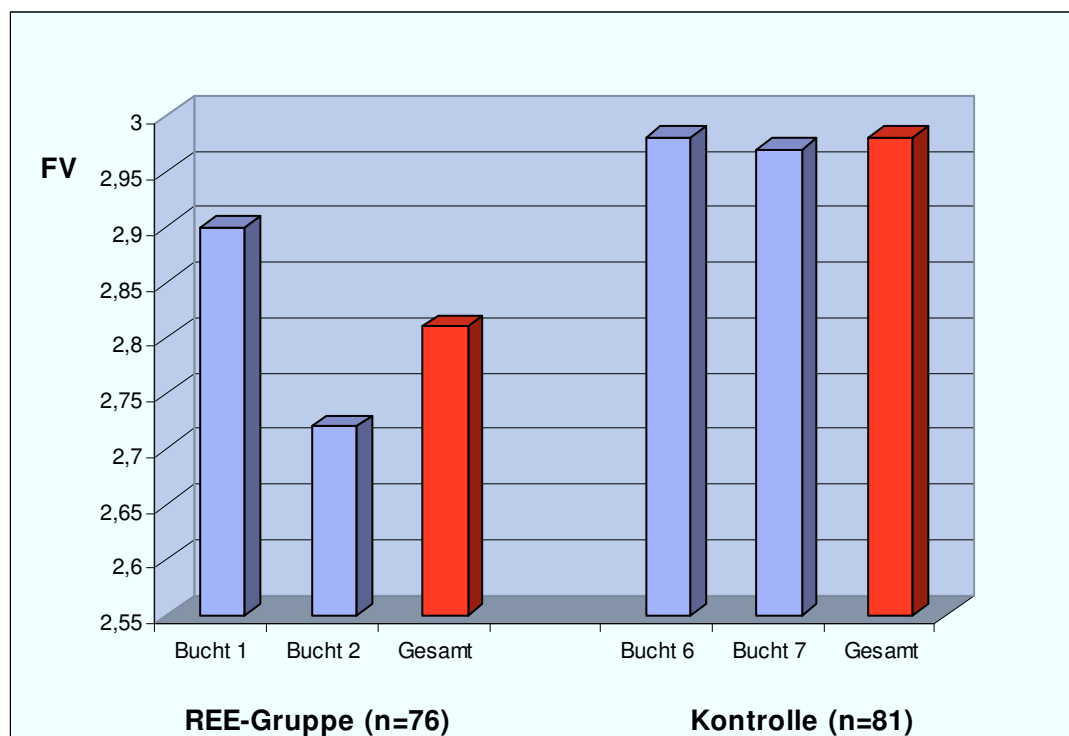


Abbildung 4: Futterverwertung (FV) der 157 männlichen Mastschweine, die getrennt von weiblichen Mastschweinen gehalten wurden, über den Versuchszeitraum von 82 Tagen

Insgesamt ist damit ein positiver Einfluss der Fütterung der Seltenen Erden auf die Futterverwertung anzunehmen. Die Angaben in der chinesischen Literatur zu den ergotropen Effekten der Seltenen Erden übertreffen die hier erreichte, und für hiesige Verhältnisse deutliche, Verbesserung der Futterverwertung jedoch weit. Ein Einfluss der Haltungs- und Fütterungsbedingungen wird, aufgrund eventueller suboptimaler Versorgung der Tiere in China, als Ursache für die dort gefundenen, deutlich höheren, ergotropen Effekte gesehen.

Im Gegensatz dazu, stimmt die hier erzielte Verbesserung der Futterverwertung ziemlich genau mit Ergebnissen überein, die Kessler 2004 beim Einsatz von ebenfalls 250 mg/kg REE-Citrat bei Mastschweinen im ähnlichen Gewichtsbereich (25 bis 104 kg) beobachtete. Er konnte eine um 3,6 % verbesserte Futterverwertung feststellen, erhielt jedoch auch, was in dem vorliegenden Versuch nicht der Fall war, um 8,8 % bessere Gewichtszunahmen. Auch Borger fand unter Einsatz von 150 mg/kg REE-Chlorid bei Mastschweinen (35-86 kg) eine um 3 % verbesserte Futterverwertung. Eisele konnte mit 200 mg/kg REE-Chlorid ebenfalls Verbesserungen in der Futterverwertung von 2 bis 9 % erzielen (35-77 kg).

Es gibt jedoch auch Studien mit negativen Effekten auf die Futterverwertung. So stellte zum Beispiel Kraatz (2004) beim Einsatz von 200 mg/kg REE-Citrat eine um 3 % schlechtere Futterverwertung fest, wobei für die Kontrolltiere eine unrealistisch gute Futterverwertung von 1,4-1,5 angegeben wird.

Bei aktuellen Studien in Polen mit gleicher Dosierung des REE-Citrats wie im vorliegenden Feldversuch (250 mg/kg), konnten bei Mastschweinen wiederum Verbesserungen in der Futterverwertung von ebenfalls circa 3 % erzielt werden, die jedoch aufgrund geringerer Tierzahlen nicht signifikant waren (Rambeck, 2009).

5.7 Schlachtparameter

5.7.1 Veränderung von Fleisch- und Fettanteil im Schlachttierkörper

Selbst durch die grobe Methodik der Klassifizierung der Schlachttierkörper mit dem FOM-Gerät konnte eine hoch signifikante Erhöhung des Magerfleischanteils der REE-Gruppe festgestellt werden, bei gleichzeitiger geringerer Speckdicke dieser Tiere.

Insgesamt erreichten 70 % der Tiere der REE-Gruppe die beste Klassifizierung in Handelsklasse E, im Vergleich zu 57 % der Tiere in der Kontrolle (Abb. 4). Die Verbesserung der Einstufung in Handelsklassen ist, mit dem Chi-Quadrat-Test berechnet, nicht signifikant.

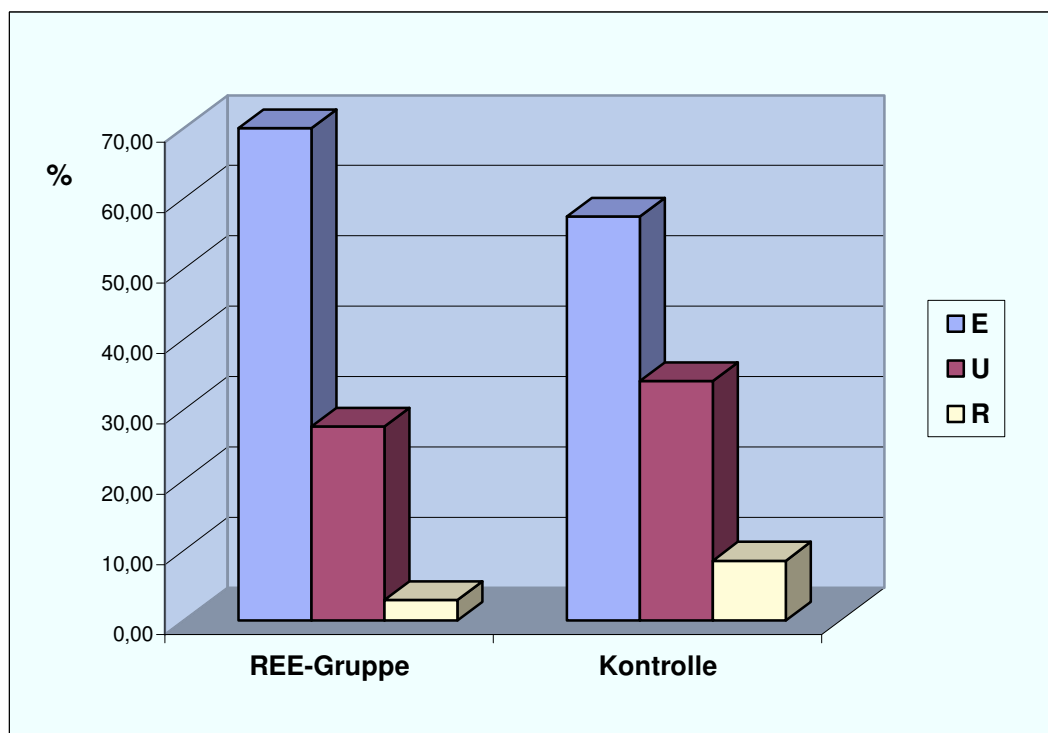


Abbildung 5: Einstufung der Schlachttierkörper der REE- und Kontrollgruppe in die Handelsklassen des EUROP-Systems (% der Gesamtgruppen)

Die Ergebnisse früherer Studien zur Umverteilung von Fett- und Fleischanteil sind uneinheitlich und es ist bislang unklar wann dieser Effekt beim Einsatz der Seltenen Erden eintritt und wann nicht. Erschwerend kommt hinzu, dass in wenigen Studien eine genaue Analyse und Auswertung der Schlachttierkörper vorgenommen wurde. In der Studie von Miller (2006) wurde jedoch bereits eine Umverteilung von Fett hin zu Fleisch durch die Fütterung der Seltenen Erden festgestellt. Der Muskelfleischanteil war von 56,77 % auf 57,49 % erhöht, die Speckdicke von 16,36 mm auf 15,53 mm verringert. Bei Kessler (2004) dagegen war der Magerfleischanteil der beiden Versuchsgruppen unverändert. Ein möglicher Erklärungsansatz ist, dass bei relativ hohem Proteingehalt und limitierter Energie des Versuchsfutters, eher eine Umverteilung der Gewebe im Körper stattfindet, als eine Steigerung der Gesamtgewichtszunahme (vgl. 5.6.1). Eine Aufdeckung des Wirkmechanismus der Seltenen Erden könnte hier möglicherweise Klarheit schaffen. Da keine erhöhte Verdaulichkeit des Proteins als Ursache anzunehmen ist (Böhme et al., 2002a), wären endokrine Ursachen denkbar. Veränderungen von Wachstumshormonspiegeln, Schilddrüsenhormonen, Enzymen und Transmittern des Verdauungstraktes uvm. wurden mit zum Teil sehr unterschiedlichen Ergebnissen untersucht (vgl. 2.2.7).

5.7.2 Ökonomische Betrachtung

Mit Schweinen, die mit Seltenen Erden supplementiert wurden, konnte ein signifikant besserer Preis erzielt werden. Der Preis pro kg Schlachtgewicht, der ausgehend vom Basispreis nach Handelsklasse nach oben oder unten korrigiert werden kann, lag um 2 Cent höher. Damit erreichten die Tiere der REE-Gruppe einen durchschnittlichen Gesamtpreis pro Tier von 133,42 € (\pm 12,22 €), die Tiere der Kontrollgruppe von 130,20 € (\pm 13,89 €). Das führt pro Tier bereits zu einem Unterschied von durchschnittlich 3,22 €.

Bezieht man bei dieser Berechnung die aufgrund der besseren Futtermittelverwertung um 1,96 € (3,9 %) gesenkten Futterkosten pro Tier mit ein, so müssen natürlich auch die Kosten für das REE-Citrat berücksichtigt werden. Sie belaufen sich bei einem Gesamtfuttermittelverbrauch von 182 kg pro Mastschwein auf 0,64 € pro Tier. Unter Berücksichtigung dieser drei Faktoren (höherer Magerfleischanteil, geringere Futterkosten, Kosten für REE-Citrat) ergibt dies für den vorliegenden Feldversuch eine Mehreinnahme von 4,54 € pro Tier!

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der mögliche Leistungsförderer Seltene Erden (REE-Citrat) sollte im Feldversuch bei Flüssigfütterung erstmalig untersucht werden. Es wurden 394 Masthybriden (DE x DL x Piétrain) in 2 Versuchsgruppen eingeteilt. Eine Gruppe wurde über 82 Tage mit einer Basisration inklusive 250 mg/kg REE-Citrat versorgt, die andere diente als Negativkontrolle und wurde mit der gleichen Basisration ohne Zusätze gefüttert. Der Proteingehalt der Ration wurde in der Endmast mit 16,7 % relativ hoch gehalten. Das Mastanfangsgewicht betrug im Durchschnitt 38 – 39 kg, das Mastendgewicht 104 - 105 kg. Ein Einfluss auf die Tiergesundheit konnte nicht festgestellt werden.

Die beiden Gruppen erzielten über die gesamte Versuchsperiode die gleichen Gewichtszunahmen. Bei der Futtermittelverwertung ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied, allerdings lässt die Gruppeneinteilung eine detaillierte Auswertung nicht zu, Tendenzen können nicht ausgeschlossen werden (REE-Gruppe 2,82, Kontrolle 2,93).

Die Zusammensetzung der Schlachtkörper veränderte sich durch den Zusatz der Seltenen Erden positiv. Der Magerfleischanteil war gegenüber der Kontrollgruppe hoch signifikant um 2,1 % erhöht, das Fleischmaß um 3,3 %. Damit erzielten die Tiere eine bessere Klassifizierung im EUROP-System zur Beurteilung des Schlachttierkörpers und einen um 3,22 € pro Tier höheren Preis.

Ob dieser Effekt der Seltenen Erden auf die Fleischqualität, in ersten Linie bei relativ hohem Proteinanteil im Futter bei gleichzeitig limitierter Energieversorgung in der Endmast entsteht, sollte in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

7 SUMMARY

The aim of this field study was to evaluate the effects of the REE-Citrates in liquid feeding systems for fattening pigs. 394 hybrid-bred (DE x DL x Piétrain) pigs were allotted to two experimental groups. One of them receiving a basal diet containing 250 mg/kg REE-Citrat, the other used as control, receiving the same basal diet without any supplements. The protein content of the food was towards the end of the trial relatively high. The average weight at the beginning of the experiment was 38 to 39 kg, the weight at the end 104 to 105 kg.

Both groups achieved the same weight gains and there was no significant improvement in feed conversion ratio. But due to inequality in sex, within different groups, statistical analysis was not completely possible. Tendencies can not be excluded (REE 2,82, control 2,93).

Furthermore a positive change in carcass quality was found. There was a highly significant improvement of lean meat contents of 2,1 %. This also resulted in better prices. The price per animal was - as compared to the control - 3,22 € higher.

Whether this effect of the Rare Earths Elements on meat quality is mainly due to the relatively high protein content in the food, combined with limited available energy, has to be established in further studies.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Albaaj F. und Hutchison A.J. (2005)

Lanthanum carbonate (Fosrenol®): a novel agent for the treatment of hyperphosphataemia in renal failure and dialysis patients. *Int. J. Clin. Pract.* 59(9): 1091-1096.

Aman P., Graham H. (1987)

Mixed-kinked (1-3), (1-4)- β -D-Glucans in the cell wall of barley and oats, chemistry and nutrition. *Scand. J. Gastroenterol.* 22 (129): 42.

Amon B., Kryvoruchko V., Amon T, Moitzi G. (2004)

Ammonia, Methane and Nitrous Oxide Emissions During Storage of Cattle and Pig Slurry and Influence of Slurry Additive "Effective Micro-Organisms (EM)", Final Report, BOKU, Wien.

Arznei-Telegramm (2007)

Fakten und Vergleiche für die rationale Therapie. Probiotika zur Prophylaxe und Therapie von Durchfällen? 38: 89-91.

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006)

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

Baldioli M., Servili M., Perretti G., Montedoro G.F. (1996)

Antioxidant activity of tocopherols and phenolic compounds of virgine olive oil. *J. Am. Oil Chemists` Soc.* 73: 1589-1593.

Bamann E., Fischler G., Trapmann H., Eberhardt K.H. (1954)

Über die biologischen Wirkungen der Salze Seltener Erdmetalle, vornehmlich des Lanthans und des Cers, bei intravenöser Zufuhr. *Klein. Wochenschr.* 32: 588-590.

Baratta M.T., Dorman H.J.D., Deans S.G., Figueiredo A. C., Barroso J.G., Ruberto G. (1998)

Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. *Flav. Fragr. J.* 13 (4): 235-244.

Barber R.S., Braude R., Mitchell K.G. (1955)

Antibiotic and copper supplements for fattening pigs. *Br. J. Nutr.* 9: 378-381.

Barber R.S., Braude R., Mitchel L.G., Rook J.A.F. (1957)

Further studies on antibiotic and copper supplements for fattening pigs. *Br. J. Nutr.* 11: 70-79.

Bartels S., Karcher R., Nagel S. (1999)

Lexikon der Chemie, Band 2, Stichwort Lanthanoide; Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL (2009)

Futterberechnung für Schweine, 17. Auflage. Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Arbeitsbereich Schweineernährung, Freising-Weihenstephan.
www.LfL.bayern.de

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, STMELF (2009)

Schweinezucht und -haltung in Bayern, Daten und Fakten. Referat Schweinezucht und -haltung, Tierernährung, München.
www.stmelf.bayern.de, www.landwirtschaft.bayern.de

Beaven M.A., Rogers J., Moore J.P., Hesketh R., Smith G.A., Metcalfe J.C. (1984)

The mechanism of the calcium signal and correlation with histamine release in 2H3 cells. *J. Biol. Chem.* 259: 7129-7136.

Bedford M.R. (1995)

Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53: 145-155.

Beermann D.H., deVol D.L. (1991)

Status of current strategies for growth regulation. Animal growth regulation, Champion D.R., Hausman G.J., Martin R.J. (Eds.), Plenum Press, New York: 377-400.

Behets G.J., Verberckmoes S.C., D'Haese P.C., De Broe M.E. (2004)

Lanthanum carbonate: a new phosphate binder. Curr. Opin. Nephrol. Hypertens. 4: 403-409.

Birzer D., Gropp J. (1991)

Futterzusatzstoffe im Rampenlicht (1). Kraftfutter 10: 436-440.

Blume R. (2001)

Das Vorkommen der Lanthanoide.

<http://chemieunterricht.de/dc2/lanthan/vorkommen.htm>

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

Bilanzversuche zum Einsatz von Seltenen Erden auf die Verdaulichkeit beim Schwein. Jahresbericht 2002 der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft: 50-60.

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

Bilanzversuche zum Einsatz von Seltenen Erden in der Schweinemast. 114. VDLUFA Kongress Ressourcen und Produktsicherheit – Qualitätssicherung in der Landwirtschaft, 16.-20.09.2002, Leipzig.

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.

Braude R. (1967)

Copper as a stimulant in pig feeding. World Rev. Anim. Prod., 3: 69-82.

Breves G., Winckler C., Leiser R. (1998)

Untersuchungen zur gastrointestinalen Wirksamkeit von Probiotika beim Schwein. *Lohmann Inf.* 2: 16-17.

Broe De M.E., D'Haese P.C. (2004)

Improving outcomes in hyperphosphataemia. *Nephrol., dialysis, transplantation* 19(1): 14-18.

Brown P.H., Rathjen A.H., Graham R.D., Tribe D.E. (1990)

Rare earth elements in biological systems. Gschneider Jr. K.A., Eyring L. (Eds.): *Handbook on the physics and chemistry of rare earths*, Amsterdam, Oxford. Elsevier 13: 423-452.

Bruce D.W., Hietbrink B.E., DuBios K.P. (1963)

The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 5: 750-759.

Brugger N.I. (2007)

Untersuchungen zur phosphatsenkenden Wirkung von Lanthanarbonat im Vergleich zu Aluminiumhydroxid bei der Katze. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Bulman R.A. (2003)

Metabolism and toxicity of the lanthanides. *Met. Ions. Biol. Syst.* 40: 683-708.

Busch A, Hermann H.-H., Kühn I., Simon O., Struck j., Süphke E. (1999)

Probiotika in der Tierernährung. Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (Hrsg.), Agrimedia, Bergen.

Campen, van D. (1970)

Competition between copper and zinc during absorption. Mills C.F., *Trace element metabolism in animals*: 287-298.

Chang J. (1991)

Effects of lanthanum on the permeability of root plasmalemma and the absorption and accumulation of nutrients in rice and wheat. *Chin. Plant Physiol. Comm.* 27(1): 17-21.

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.-17.11.1998, Wuhan, China: 24.

Chen H.F. (1997)

Influence of rare earth compounds on the growth of pigs. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 15: 441-443.

Chen X., He Q., Guan T. (1995)

Effect of small dose of rare earth citrate on phagocytotic function of neutral polymorphonuclear leukocyte (PMNL) of mice. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 13(1): 70-73.

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 Agricult. Sci. (Chinese)* 1: 59-61.

Cochran K.W., Daull J., Mazur M., DuBios K.P. (1950)

Acute toxicity of zirconium, columbium, strontium, lanthanum, cesium, tantalum and yttrium. *Arch. Ind. Hyg. Occ. Med.* 1: 637-650.

Cohn B. (1925)

Erfahrungen mit Introcid bei der Palliativbehandlung inoperabler Karzinome. *Deutsche Med. Wochenschr.* 51: 1984-1986.

Collins M.D., Gibsion G.R. (1999)

Probiotics, prebiotics and synbiotics: approaches for modulating the microbial ecology of the gut. *Am. J. Clin. Nutr.* 69: 1052-1057.

Considine G.D. (2005)

Van Nostrand's encyclopedia of chemistry. 5th Edition, Interscience Publishers, Wiley & Sons (Eds.), New York.

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

Advanced inorganic chemistry. Interscience Publishers, Wiley & Sons (Eds.), New York.

Cummings J.H., Macfarlane G.T. (2002)

Gastrointestinal effects of prebiotics. Br. J. Nutr. 8(2): 145-151.

Dachler M., Pelzmann H. (1999)

Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau, Ernte, Aufbereitung. 2. Auflage, Österreichischer Agrarverlag, Wien.

Dahme E., Weiss E. (2007)

Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. Enke Verlag, Stuttgart.

Dekker J., Collett M., Prasad J., Gopal P. (2007)

Functionality of probiotics - potential for product development. J. Forum Nutr. 60: 196-208.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (1969)

Kommission zur Prüfung der Zusatzstoffe in der Tierernährung und Tierhaltung: Antibiotika in der Tierernährung. Mitteilung der DFG. Bad Godesheim, Mitteilung 3.

Diebold G., Eidelsburger U. (2006)

Acidification of diets as alternative to antibiotic growth promoters. Anitmicrobial Growth Promoters: Where do we go from here? (Eds. A.K. Kies, D. Barug, M.W.A. Verstegen, J. De Jong), Wageningen Academic Publishers, 311-327.

Digestan®-flyer (2007)

EXTRA-Vit GmbH, www.extra-vit.de

Domig K.J. (2005): Antibiotikaresistenz und der Einsatz von Antibiotika in der Tierernährung, Tagungsband 4. BOKU-Symposium Tierernährung, 27.10.2005, Wien, Tagungsband: 1-9.

Dubos R.J. (1963)

Staphylococci and infection immunity. *Am. J. of Diseases of Children* 105: 643-645.

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

Metabolism of the Lanthanoids in the Rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 91: 78-85.

Dzapo V. und Reiner G. (1991)

Zur nutritiven Wirkung von Avilamycin in der Schweineaufzucht und Schweinemast. *Tierärztl. Wochenschr.* 98: 325-364.

Eapen J., Kartha C., Rathinam K., Valiathan M. (1996)

Levels of cerium in the tissues of rats fed a magnesium-restricted and ceriumadulterated diet. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.* 56: 178-182.

Eich K.-O., Schmidt U. (2000)

Handbuch Schweinekrankheiten. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.

Eidelsburger U. (1997)

Optimierung der Futterqualität ist nur ein Teilaspekt. *Schweinewelt*, Januar: 18-21.

Eidelsburger U., Wald C., Looft C. (2005)

Zum Einfluss von Kaliumdiformiat auf die Mast- und Schlachtleistung von Schweinen. 4. BOKU-Symposium Tierernährung, Tierernährung ohne antibiotische Leistungsförderer, 27.10.2005, Wien, Tagungsband: 176-180.

Eidelsburger U., Wald C., Portocarero-Khan N. (2007)

Effect of potassium diformate (Formi®) inclusion at two different dietary protein levels on health and performance of weaner piglets. Tagungsband 6. BOKU-Symposium Tierernährung, 15.11.2007, Wien, Tagungsband: 249-254.

Ehrlinger, Miriam Stephanie (2007)

Phytogene Zusatzstoffe in der Tierernährung. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Eisele, N. (2003)

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

Enyeart J.J., Xu L., Enyeart J.A. (2002)

Dual actions of lanthanides on ACTH-inhibited lead K⁺ channels. Am. J. Physiol. Endocrin. Med. 282(6): 1255-1266.

Ettle T., Frank M., Roth F.X. (2005)

Zur präbiotischen Wirkung von Fructooligosacchariden bei Ferkeln. Tagungsband 4. BOKU-Symposium Tierernährung, 27.10.2005, Wien, Tagungsband: 211-215.

European Food Safety Authority (2007)

Safety and efficacy of Lantharenol® (Lanthanum carbonate octahydrate) as a feed additive for cats according to regulation (EC) No 1831/2003, Opinion of the scientific panel on additives and products or substances used in animal feed.

Evans C.H. (1983)

Interesting and useful biochemical properties of lanthanides. Trend Biochem. Sci. 8 (12): 445-449.

Evans C.H. (1990)

Biochemistry of the Lanthanides. Plenum Press, New York and London, 1990.

Feldhaus A. (2006)

Wirkung von Seltenen Erden auf den osteoporotisch veränderten Knochen im Tiermodell der ovariectomierten Ratte. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Feng L., Xiao H., Li Z., Li F., Liu N., Chai Z., Zhao Y., Zhang Z. (2007)

Ytterbium and trace element distribution in brain and organic tissues of offspring rats after prenatal and postnatal exposure to ytterbium. *Biol. Trace Element Res.* 117(1-3): 89-104.

Feng L., Xiao H., He X., Li Z., Li F., Liu N., Zhao Y., Huang Y., Zhang Z., Chai Z. (2006)

Neurotoxicological consequence of long-term exposure to lanthanum. *Toxicol. letters* 165: 112-120.

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.

Flachowsky G. (2002)

Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. *J. Appl. A. Res.* 22(1): 1-24.

Flachowsky G. (2009)

Persönliche Mitteilung vom 21.12.2009.

Flachowsky G. (2004)

Zur wissenschaftlichen Basis von Fütterungsnormen. Arbeitsweise und Aktivitäten in Deutschland. *Kraftfutter* 9: 260-265.

Flachowsky G., Daenicke R. (1996)

Probiotika in der Rinderfütterung. *Übers. Tierern.* 24: 62-68.

Flachowsky G., Rodehutschord M. (2005)

Bedarfwerte für Nutztiere. Möglichkeiten und Grenzen einheitlicher europäischer Normen. Kraftfutter 11: 31-34.

Fleckenstein J., Halle I., Hu Z., Flachowsky G., Schnug E. (2004)

Analyse von Lanthaniden mittels ICP-QMS in Futter- und Organproben im Broilermastversuch. 22. Arbeitstagung Mengen und Spurenelemente, 02.-25.09.2004, Jena.

Forbes J.M. (1988)

Metabolic aspects of the regulation of voluntary food intake and appetite. Nutr. Res. Rev. 1: 145-168.

Förster D., Berk A., Hoppen H.-O., Rambeck W. (2006)

Effect of rare earth elements (REE) on the performance and thyroid hormone status of rearing piglets. Proc. Soc. Nutr. Physiol., 21.-23.03.2006, Göttingen.

Franz C. (2003)

Funktionelle Pflanzenstoffe in der Tierernährung und der Veterinärmedizin. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen 8: 111-116.

Franzke, T. (2007)

Untersuchungen zur leistungsfördernden Wirkung sowie zum Einfluss auf ausgewählte Stoffwechselfparameter von Seltenen Erden an Ratten und Broilern. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Disseration.

Freitag M., Hensche U.-U., Schulte-Sienbeck H., Reichelt B. (1998)

Kritische Betrachtung des Einsatzes von Leistungsförderern in der Tierernährung. Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft, Soest: 8.

Freitag M., Hensch H.-U., Schulte-Sienbeck H., Reichelt B. (1999)

Biologische Effekte konventioneller und alternativer Leistungsförderer. Kraftfutter 2: 49-57.

Freter R. (1956)

Experimental enteric shigella and vibrio infection in mice and guinea pigs. *J. Exp. Med.* 104: 411-418.

Fricker S.P. (2006)

The therapeutic application of lanthanides. *Chem. Soc. Rev.* 35: 524-533.

Fukagawa M., Harman C. (2005): Is Lanthanum carbonate safer and more effective than calcium carbonate for hyperphosphatemia in dialysis patients? *Nat. Clin. Pract. Nephrol.* 1(1):20-1.

Fuller R., Newland L.G.M., Briggs C.A.E., Braude R. and Mitchell K.G. (1960)

The normal intestinal flora of the pig. IV. The effect of dietary supplements of penicillin, chlortetracycline or copper sulphate on the faecal flora. *J. Appl. Bact.* 23: 195-205.

Fuller R. (1989)

Probiotics in man and animal. *J. Appl. Bact.* 66: 365-378.

Futtermittelverordnung (FMV)

Vom 8.4.1981, zuletzt geändert am 28.2.2010.

Garner J.P., Heppell P.S.J. (2005)

The use of *Flammacarium* in British Burn Units. *Burns* 31: 379-382.

Gebert S., Stahel F., Messikommer R., Wenk C. (1999)

Rhubarb als Alternative zu antimikrobiellen Leistungsförderern (AML) im Ferkel- und Broilerfutter. In: *Gesunde Nutztiere Umdenken in der Tierernährung?* (Sutter F., Kreuzer M., Wenk C., eds.) Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, Ernährung-Produkte-Umwelt, ETH-Zürich, 19: 165-166.

Gedek B. (1981)

Zur Wirkung von Kupfer im Tierfutter als Selektor antibiotikaresistenter E.-coli-Keime beim Schwein. *Tierärztl. Umsch.* 36: 6-21.

Gedek B. (1986)

Probiotika in der Tierernährung – Wirkung auf Leistung und Tiergesundheit. Kraftfutter 3: 80-84.

Gedek B (1993)

Probiotika als Bioregulatoren. 4. Symposium „Vitamin und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier“ am 30.9.1993 in Jena/Thüringen: 253-262.

Gerl S.M. (2008)

Wenn´s in der Gülle wie im Whirlpool blubbert. TopAgrar Österreich 12/2008: 20-21.

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

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

Gibson G.R., Fuller R. (2000)

Aspects of in vitro and in vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. J. Nutr. 130: 391-395.

Glabasnia-Kreppold (2008)

Untersuchungen zur Verträglichkeit Seltener Erden beim Ferkel. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Gollnisch K., Halle I. (2002)

Effekte von ätherischen Ölen und Kräutern in der Tierernährung. Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, 8. Symposium, 26./27.11.2001, Jena/Thüringen: 197-204.

Gollnisch K., Halle I., Flachowsky G. (2001)

Einsatz von Kräutern und ätherischen Ölen in der Tierernährung. XXXVI. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V., Jena, 36: 249-258.

Graca J.G., Davison F.C., Feavel J.B. (1964)

Comparative toxicity of stable rare earth compounds. III. Acute toxicity of intravenous injections of chlorides and chelates in dogs. Arch. Environ. Health 8: 555-564.

Gracia, De C.G. (2001)

An open study comparing topical sulfadiazine and topical silver sulfadiazine-cerium nitrate in the treatment of moderate and severe burns. Arch. Environ. Health, 8: 555-564.

Grajewski O., von Lehmann B., Arntz H.R., Arvela P., Oberdisse E. (1977)

Alterations of rat serum lipoproteins and lecithin-cholesterol-acyltransferase activity in praseodymium-induced liver damage. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharm. 301(1): 65-3.

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

Leistungsförderer in der Tierproduktion: Stand und Perspektiven. Übers. Tierern. 16(1): 27-77.

Gscheidner K.A. (1978)

Handbook on the physics and chemistry of rare earths. Eyring L.R., Gscheidner K.A. Jr. (Eds.) Amsterdam, North Holland Publ. Co.

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 utilisation. Proc. 15th IVPS Congress, Birmingham: 223.

Guidi G. (1930)

Contributo alla farmacologia delle terre rare; il neodimio. Arch. Int. Pharmacodyn. Ther. 37: 305-348.

Guo, X., Li, D., Lu, W., Piao, X., Chen, X. (2006)
Screening of Bacillus strains as potential probiotics and subsequent confirmation of the in vivo effectiveness of bacillus subtilis MA139 in pigs. J. A. Van Leeuwenhoek 90 (2): 46-139.

Haley T.J. (1965)
Pharmacology and toxicology of the rare earth elements. J. Pharm. Sci. 54: 663-670.

Haley T.J. (1979)
Toxicity. Handbook on the physics and chemistry of rare earths. Eyring L.R., Gschneidner K.A. (Eds.), Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier North Holland 4: 553-585.

Hamilton J.G. (1949)
The metabolism of the radioactive elements created by nuclear fission. N. Engl. J. Med. 249: 863-870.

Hanczakowska E. (2009)
National Research Institute of Animal Production, Department of Animal Nutrition and Feed Science. Persönliche Mitteilung vom 09.10.2009.

Harrison T.S., Scott L.J. (2004)
Lanthanum carbonate. Drugs 64: 985-996.

Hawbaker J., Speer V.C., Hays V.W., Catron D.V. (1961)
Effect of coppersulfate and other chemotherapeutics in growing swine rations. J. Anim. Sci. 20: 163-167.

He M.L., Ranz D., Rambeck W.A. (2001)
Study on the performance enhancing effect of rare earth elements in growing and fattening pigs. J. A. Physiol. A. Nutr. 85: 263-270.

He M.L., Wehr U., Rambeck W.A. (2009)

Effect of low doses of dietary rare earth elements on growth performance of broilers. *J. A. Physiol. A. Nutr.* 97: 86-92

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

Effect of dietary rare earth elements on growth performance and blood parameters of rats. *J. A. Physiol. A. Nutr.* 87: 229-235.

He M.L., Yang W.Z., Hidari H., Rambeck W.A. (2003b)

Effect of rare earth elements on proliferation and fatty acids accumulation in preadipocyte cell lines. *J. A. Physiol. A. Nutr.* 87(5-6): 229-235.

He M.L., Wehr U., Rambeck W.A. (2008)

Oral administration of low doses of rare earth elements improved growth performance of broilers. *J. A. Physiol. A. Nutr.* 94(1): 86-92.

He R. und 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, 12.-15.11.1998, Wuhan, China.

Heffeter P., Jakupec M.A., Körner W., Wild S., von Keyserlingk N.G., Elbling L., Zorbas H., Korynevskaya A., Knasmüller S., Sutterlüty H., Micksche M., Keppler B.K., Berger W. (2006)

Anticancer activity of the lanthanum compound [tris(1,10-phenanthroline)lanthanum (III)] trithiocyanate (KP772; FFC24). *Biochem. Pharmacol.* 71(4): 426-440.

Heinritzi J. (2008)

Seltene Substanzen vor Nachfrageboom. *Fokus Money.*

http://www.focus.de/finanzen/boerse/aktien/tid-8730/rohstoffe_aid_235823.html

Heinritzi K., Gindele H.R., Reiner G., Schnurrbusch U. (2006)

Schweinekrankheiten. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).

Helmuth R. (1989)

Zum Problem der Antibiotika-Resistenz. In: Bundesgesundheitsblatt 4: 160-162.

Hermann J.R., Honeyman M.S., Zimmermann J.J., Thacker B.J., Holden P.J., Chang C.C. (2003)

Effect of dietary echinacea pupurea on viremia and performance in porcine reproductive and respiratory syndrome virus-infected nursery pigs. J. Anim. Sci. 81(9): 2139-2144.

Hitikoto H., Morozumi S., Wauke T., Sakai S., Uena I. (1978)

Inhibitory effects of condiments and herbal drugs on the growth and toxin production of toxigenic fungi. Mycopathologia 66: 161-167.

Hober R., Spaeth R.A. (1914)

Über den Einfluss Seltener Erden auf die Kontraktilität des Muskels. Archiv für die Gesamte Physiologie 159: 914-932.

Hoffmann B. (1991)

Hormone in der Tierproduktion. VDLUFA-Schriftreihe, 33. Kongressband 1991, Oldenburg.

Hong W.M., Duan X.B., Gan 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 behaviour and ecotoxicology of rare earth elements, Beijing: 83-87.

Hoppenheidt K., Mücke W. (2005)

Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.

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.

Housecroft C.E. und Sharpe A.G. (2006)

Anorganische Chemie, Pearson Education Deutschland GmbH, München.

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.

Hunter R.B., Walker W. (1956)

Anticoagulant actin of neodymium 3-sulfo-isonicotinate. *Nature* 178: 47.

Hutcheson D.P., Gray D.H., Venugopal B., Luckey T.D. (1975)

Studies of nutritional safety of some heavy metals in mice. *J. Nutr.* 105: 670-675.

Hutchison A., Speake M., Al-Baaj F. (2004)

Reducing high phosphate levels in patients with chronic renal failure undergoing dialysis: a 4-week, dose-finding, open-label study with lanthanum carbonate. *Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association* 19: 1902-1906.

Immerseel F. Van, Russell J.B., Flythe M.D., Gantois I., Timbermont L., Pasmans F., Haesebrouck F., Ducatelle (2006)

The use of organic acids to combat salmonella in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Path.* 35(3): 182-188.

Işik K. (2004): Untersuchungen zur präbiotischen Wirkung von Lactulose auf die Mikroflora des Magen-Darm-Traktes von Sauen im peripartalen Zeitraum. Universität Leipzig, Dissertation.

Jadamus A., Vahjen W., Simon O. (1999)

Untersuchungen zur Wirkungsweise eines *Bacillus cereus toyoi* Probiotikum beim Ferkel. *Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier.* 7. Symposium, 22./23.11.1999, Jena/Thüringen.

Jeroch H. (1991)

Enzyme in der Geflügelernährung. Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 3. Symposium, 26.-27.9.1991, Jena/Thüringen.

Jeroch H. (1993)

Zur Wirksamkeit von Nicht-Stärke-Polysaccharide spaltenden Enzyme in der Geflügelernährung. Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 4. Symposium, 30.9.-1.10.1993, Jena/Thüringen.

Ji Y. (1985)

Toxicological study on safety evaluation of rare earth elements used in agriculture. New frontiers in rare earth science and application. Proceedings of the international conference on rare earth development and application, Su G., Xiao J. (Eds.): 4-10.

Johnston S. L., Williams S. B., Southern L. L., Bidner T. D., Bunting L. D., Matthews J. O., Olcott B. M. (2004)

Effect of phytase addition and dietary calcium and phosphorus levels on plasma metabolites and ileal and total-tract nutrient digestibility in pigs. J. Anim. Sci. 82(3): 705-714.

Jones G. (2001)

Leistungsstarke Tiere und Verbraucherschutz stehen nicht im Widerspruch. Kraftfutter 12: 468-473.

Kamphues J. (1997)

Mit oder ohne Leistungsförderer – Zielkonflikte sind unvermeidbar. Schubert R., Flachowsky G., Bitsch R. und Jahreis G. (Eds.): Vitamine und weitere Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 6. Symposium, 24.-25.09.1997, Jena/Thüringen: 75-90.

Kamphues J. (1999)

Leistungsförderer – der Status Quo aus der Tierernährung. Übers. Tierern. 27: 1-28.

Kamphues J., Coenen M., Kienzle E., Pallauf J., Simon O., Zentek J. (2004)
Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 10.,
überarbeitete Auflage, Verlag M. & H. Schaper Alfeld-Hannover.

Karg H., Meyer H.H.D. (1999)

Aktualisierte Wertung der Masthilfsmittel Trenbolonacetat, Zeranol und
Melengestrolacetat. Überlegungen zum „Hormonstreit“ zwischen der EU und den
USA bei der WTO. Archiv für Lebensmittelhygiene, 50: 28-37.

Kessler J. (2004)

Lanthanoide-Wachstumspförderer mit Zukunft. LBL-Kurs Schweinehaltung,
04.255, 22.-23.06.2004, Sursee/Oberkirch, Schweiz.

Kirchgeßner M., Roth F.X. (1998)

Organic acids as feed additives for young pigs: Nutritional and gastrointestinal
effects. J. Anim. A. Feed Sci. 7: 25-33.

Kluth H., Schulz E., Halle I., Rodehutsord M. (2003)

Zur Wirksamkeit von Kräutern und ätherischen Ölen bei Schweinen und Geflügel.
Lohmann Inf. 2: 1-6.

Knebel C. (2004)

Untersuchungen zum Einfluss Seltener Erd-Citrate auf Leistungsparameter beim
Schwein und die ruminale Fermentation im künstlichen Pansen (RUSITEC).
München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Kraatz M., Taraz D., Männer K., Simon O. (2004)

Eine Untersuchung zur Wirksamkeit Seltener Erden bei Ferkeln. 8. Tagung
Schweine- und Geflügelernährung am Institut für Ernährungswissenschaften, 23.-
25.11.2004, Halle.

Kraatz M., Taraz D., Männer K., Simon O. (2006)

Weaning pig performance and faecal microbiota with and without in-feed addition
of rare earth elements. J. A. Physiol. A. Nutr. 90: 361-368.

Kühn I. (1998)

Neue Erkenntnisse über die Wirkung von Probiotika in der Tierernährung. Kraftfutter 4: 140-144.

Kühn I., Jacobs S., Müller A. (1999)

Fütterungsstrategien für eine sichere Tierproduktion. Kraftfutter, 4: 116-127.

Kulpys J., Janciene I., Stankevicius R. (2005)

Zum Einfluss eines Kombinationspräparats auf Basis organischer Säuren und ätherischer Öle auf die Mastleistung von Schweinen unter litauischen Verhältnissen. 4. BOKU-Symposium Tierernährung, Tierernährung ohne antibiotische Leistungsförderer, 27.10. Wien, Tagungsband: 186-193.

Langhans W., Scharrer E. (2000)

Regulation der Nahrungsaufnahme. Physiologie der Haustiere. Enke, Stuttgart: 409-421.

Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB)

Vom 26.04.2006.

Lee S.E., Hwang H.J., Ha J.S., Jeong H.S., Kim J.H. (2003)

Screening of medical plant extracts for antioxidant activity. Life Sci. 73, 167-179.

Lessard, M., Dupuis, M., Gagnon, N., Nadeau, E., Matte, J. J., Goulet, J., Fairbrother, J. M. (2009)

Administration of *Lactobacillus acidilactici* or *Saccharomyces cerevisiae* boulardii modulates development of porcine mucosal immunity and reduces intestinal bacterial translocation after *Escherichia coli* challenge. J. Anim. Sci. 87 (3): 34-922.

Lewin C. (1924)

Über die Verwendung einer Cerium-Jodverbindung (Introcid) in der Therapie der Geschwulstbildung. Med. Klinik 20: 1319-1323.

- Li D., She W., Gong L., Yang W., Yang S. (1992)
Effects of rare earth elements on the growth and nitrogen balance of growing pigs.
Feed BoLan 4: 3-4.
- Lindermayer H., Probstmeier G. (2002): Präbiotika im Ferkelfutter getestet, SUS
2/2002: 26.
- Lis-Balchin M., Deans S.G. (1997)
Bioactivity of selected plant essential oils against listeria monocytogenes. J. Appl.
Microbiol. 82: 759-762.
- Lloyd A.B., Cumming R.B., Kent R.D. (1977)
Prevention of salmonella typhimurium infection in poultry by pre-treatment of
chickens and poult with intestinal extracts. Austr. Vet. J. 53: 82-87.
- Locatelli F., D'Amico m., Pontoriero G. (2004)
Lanthanum carbonate. Drugs 6(7): 688-695.
- Loo Van J., Cunnings J., Delzenne N., Englyst H., Franck A., Hopkins M., Kok
N., Macfarlane G., Newton D., Quingly M., Roberfroid M., Van Nliet T., Van
Den Heuvel E. (1999)
Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report
from the ENDO project (DGXII AIRII-CT94-1095). Brit. J. Nutr. 81: 121-132.
- Lukassowitz, I. (2002)
Helfer mit Haken – Enterkokokken haben neben positiven auch einige negative
Eigenschaften. Innovations Report.
http://www.innovations-report.de/html/berichte/medizin_gesundheit/bericht-10416.html
- Lu K.W., Yang W.Z. (1996)
Effects of rare earth elements on availability of energy and amino acids in
broilers. Acta Agr. Shanghai (Chinese) 12: 78-82.

Manichanh C., Reeder J., Gibert P., Varela E., Llopis M., Antolin M., Guido R., Knight R., Guarner F. (2010)

Reshaping the gut microbiome with bacterial transplantation and antibiotic intake. *Genome Res.*, published 24/8/2010, doi: 101101/gr.107987.110. Cold Spring Harbor Laboratory Press.

Manners M.J. (1967)

The development of digestive function in the pig. *Proc. Nutr. Soc.* 35: 40-55.

Maribo H. (2002)

Test of Biogreen and Bio-Mos for weaners. Report no. 562 vom 27.6.2002, The national committee for pig production, Danish bacon and meat council.

Metzler B. U., Mosenthin R., Baumgartel T., Rodehutschord M. (2008)

The effect of dietary phosphorus and calcium level, phytase supplementation, and ileal infusion of pectin on the chemical composition and carbohydrase activity of fecal bacteria and the level of microbial metabolites in the gastrointestinal tract of pigs. *J. Anim. Sci.* 86 (7): 1544-1555.

Meyer H., Kröger H. (1973)

Kupferfütterung beim Schwein. *Übers. Tierern.* 1: 9-44.

Miguel J.C., Rodriguez-Zas S.L., Pettigrew J.E. (2002)

Practical effects of Bio-Mos in nursery pig diets: a meta-analysis. *Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Proc. Alltech's 18th Symp., From niche markets to mainstream*, Lyons T.P., Jacques K.A. (Eds.): 425-434.

Miller T. (2006)

Einfluss Seltener Erden in der Schweine- und Kälbermast. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Mines G.R. (1910)

The action of beryllium, lanthanum, yttrium and cerium on the frog's heart. *J. Physiol.* 40: 327-345.

Moore P.R., Evenson T.D., Luckey E. McCoy, Elvehjem C.A., Hart E.B. (1946)
Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with the chick. *J. Biol. Chem.* 165: 437-441.

Muroma A. (1958)

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

Muroma A. (1959)

The bactericidal action of the rare earth metals (further studies). *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.*, 37 (1-7): 336-340.

Nakamura Y., Hasegawa Y., Tonogai Y., Kanamoto M., Tsuboi N., Muratami K., Ito Y. (1991)

Studies on the biological effects of rare earth elements. III. Fate of chlorides of dysprosium, europium, ytterbium and yttrium in the rat after intravenous administration. *Eisei Kagaku* 37: 479-506.

Nathanson L.A., Freedman R., Hoffer B.J. (1976)

Lanthanum inhibits brain adenylate cyclase and blocks noradrenergic depression of pukinje cell discharge independent of calcium. *Nature* 261: 330-332.

Nationaler Rückstandskontrollplan für Lebensmittel tierischer Herkunft (1999, 2000, 2004)

Jahresberichte 1999, 2000, 2004

National Research Council (1998)

Nutrient Requirements of Swine: 10th Revised Edition. Nat. Ac. Press: 111.
<http://www.nap.edu/catalogu/6016.htm>

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.

Nemcova R., Bomba A., Gancarcikova S., Reiffova K., Guba P., Koscova J., Jonecova Z., Scirankova L., Bugarsky A. (2007)

Effects of the administration of lactobacilli, maltodextrins and fructooligosaccharides upon the adhesion of E. coli O8:K88 to the intestinal mucosa and organic acid levels in the gut contents of piglets.

Vet. Res. Commun. 31(7): 791-800.

Niba A. T., Beal J. D., Kudi A. C., Brooks P. H. (2009)

Bacterial fermentation in the gastrointestinal tract of non-ruminants: influence of fermented feeds and fermentable carbohydrates. Trop. Anim. Health Prod. 41 (7): 407-1393.

Ou X., Guo Z., Wang J. (2000)

The effects of rare earth element additive in feed in piglets. Livest. Poult. Ind. 4: 21-22.

Palasz A., Czekaj P. (2000)

Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action. Minireview. Acta Biochem. Pol. 47(4): 1107-1114.

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.

Parr J.F. Papendick R.I., Hornick S.B., Meyer R.E. (1992)

Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Am. H. Alternat. Agric. 7: 5-11.

Partanen K., Mroz Z. (1999)

Organic acids for performance enhancement in pig diets. Nutr. Res. Rev. 12 (1): 117-148.

Peng L., Yi L., Zhexue L., Jungcheng Z., Jiabin D., Daiwen P., Ping S., Songsheng Q. (2004)

Study on biological effect of La^{3+} on escherichia coli by atomic force microscopy. *J. Inorg. Biochem.* 98: 68-72.

Peng L., Weiyang Z., Xi L., Yi L. (2007)

Structural basis for the biological effects of Pr(III)ions: alteration of cell membrane permeability. *Biol. Trace Element Res.* 120(1-3): 141-147.

Peet-Schwering C., van der Houdijk J., Binnendijk G. (1999)

Fructooligosaccharides in protein-rich piglet feed are not suitable as growth promoters. *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, 13: 25-27.

Perdok H., Langhout P., van Vugt P. (2003)

Stimulating appetite. *Feed Mix* 11: 10-13.

Prause B., Gebert S, Wenk C., Rambeck W.A., Wanner M (2004)

Seltene Erden – alternative Leistungsförderer beim Schwein – ein Überblick und erste Ergebnisse eines Gesamtstoffwechselforschunges. 3. BOKU Symposium für Tierernährung, Fütterungsstrategien und Produktqualität, 04.11.2004, Wien, Austria: 38-44.

Preeta R., Nair R.R. (1999)

Stimulation of cardiac fibroblast proliferation by cerium : a superoxide anion-mediated response. *J. Mol. Cell. Card.* 31: 1573-1580.

Rai R.M., Loffreda S., Karp C.L., Yang S.Q., Jin H.Z., Diehl A.M. (1997)

Kupfer cell depletion abolishes induction of interleukin-10 and permits sustained overexpression of tumor necrosis factor alpha messenger RNA in the regenerating rat liver. *Hepatology*. 25(4): 889-895.

Rambeck W.A., Brehm H.W., Kollmer W.E. (1991)

Der Einfluss erhöhter Kupferzulagen zum Futter auf die Rückstandbildung von Cadmium beim Schwein. *Z. Ernährungswiss.*, 30: 298-306.

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.-23.09.1999, Jena/Thüringen: 311-317.

Rambeck W.A., He M.L., Wehr U. (2004)
Influence of the alterantive growth promoter “Rare Earth Elements” on meat quality in pigs. In proceedings of the British Society of animal science pig and poultry meat quality – genetic and non-genetic factors, 14.-15.10.2004, Krakow, Poland.

Rambeck W.A. und Wehr U. (2005)
Use of rare earth elements as feed additives in pig production. Review article. Pig News Inf. 26(6): 41N-47N.

Rambeck W.A. (2009)
Persönliche Mitteilung 2009

Rambeck W.A. (2010)
Persönliche Mitteilung 2010

Randolph R.K., Gellenbeck K., Stonebrook K., Brovelli E., Qian Y., Bankaitis-Davies D., Cheronis L. (2003)
Regulation of human gene expression as influenced by a commercial blended echinacea product: preliminary studies. Exp. Biol. Med (maywood), 228(9): 1051-6.

Recht J. (2005)
Einfluss Seltener Erden in Verbindung mit phytogenen Zusatzstoffen auf Leistungsparameter beim Ferkel. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Redling K. (2006)
Rare earth elements in agriculture with emphasis on animal husbandry. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Renaud G., Soler Argilaga C., Rey C., Infante R. (1980)

Free fatty acid mobilization in the development of cerium-induced fatty liver. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 92: 374-380.

Richter G., Bargholz J., Leiterer M., Lüdke H. (2002)

Prüfung von Futterzusätzen bei Ferkeln und Mastschweinen. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2002*: 92-95.

Richter H. (2003)

Zur Toxikologie der Seltenen Erden. XVI. Tage der Seltenen Erden, 04.-06.12.2003, Berlin.

Richtlinie 2003/99/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.11.2003 zur Überwachung von Zoonosen und Zoonoseerregern und zur Änderung der Entscheidung 90/242/EWG des Rates sowie zur Aufhebung der Richtlinie 92/117/EWG des Rates.

Abl. L 325 vom 12.12.2003: 31.

Richtlinie 70/524/EWG des Rates über Zusatzstoffe in der Tierernährung vom 23.11.1970.

Abl. EG Nr. L 270.

Richtlinie 85/649/EWG des Rates vom 31.12.1985 zum Verbot des Gebrauchs von bestimmten Stoffen mit hormonaler Wirkung im Tierbereich.

Abl. EG Nr. L 382.

Riedel-Caspari G. (1988)

Unentbehrlich aber problematisch. *Kraftfutter* 11: 603-605.

Ritz E. (2004)

Managing mineral balance in end-stage renal disease. *Nephrology dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association – Europ. Renal Ass.* 19: 1-3.

Roth H. (1997)

Tiergesundheit fördern – mit Leistungsförderern und Bioregulatoren. Kraftfutter 4: 154-159.

Roth F.X. und Kirchgessner M. (1990)

Nutritive Wirksamkeit von Avilamycin bei Ferkeln und Mastschweinen. Agribiol. Res. 43: 26-35.

Rübsamen H., Hess G.P., Eldefrawi A.T., Eldefrawi M.E. (1976)

Interaction between calcium and ligand-binding sites of the purified acetylcholine receptor studied by use of a fluorescent lanthanide. Biochem. Biophys. Res. Comm. 68(12): 56-62.

Ruming Z., Yi L., Zhixiong X., Ping S., Sonsheng Q. (2002)

Microcalorimetric study of the action of Ce(III) ions on the growth of E. coli. Biol. Trace Element Res. 86(2): 167-175.

Savage T.F., Zakrzewska E.I. (1995)

Performance of male turkeys to 8 weeks of age when fed an oligosaccharide derived from yeast cells. Poultry Sci. 74(1), 53.

Schmidt, B., Spiecker-Hauser, U., Gropp, J. (2008a)

Effect of Lantharenol® on apparent phosphorus absorption from a conventional feline maintenance diet and a renal diet for cats. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17: 87.

Schmidt, B., Spiecker-Hauser, U., Murphy, M. (2008b)

Efficacy and safety of Lantharenol® on phosphorus metabolism in cats with chronic kidney disease. J. Vet. Intern. Med. 22(3): 798.

Schöne I. (2009)

Untersuchungen zur Wirksamkeit von Seltenen Erden beim Ferkel und Darstellung der gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich der Zulassung von Futtermittelzusatzstoffen. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Schole J., Grönert K., Eikemeyer J. (1985)

Untersuchungen über die direkte Wirkung von Wachstumsförderern auf den Synthesestoffwechsel der Leber. Z. Tierphys., Tierern. Futtermittelkde. 54: 27-41.

Schuller S. (2001)

Seltenen Erden als Leistungsförderer beim Geflügel. Untersuchungen an Broilern und Japanischen Wachteln. München, Tierärztliche Fakultät der LMU, Dissertation.

Schuller S., Borger C., He M.L., Henkelmann R., Jadamus A., Simon O., Rambeck W.A. (2002)

Untersuchungen zur Wirkung Seltener Erden als mögliche Alternative zu Leistungsförderern bei Schweinen und Geflügel. Berliner und Münchener Tierärztl. Wochenschr. 115: 16-23.

Schumacher A., Hofmann M., Boldt E., Gropp J.M. (2002)

Kräuter als alternative Leistungsförderer beim Ferkel. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2002.

Seskeviciene J., Martinavicius V., Rimkevicius S., Jeroch H. (2003)

Einfluss von phytoenen Futterzusatzstoffen auf die Mast- und Schlachtleistung von Schweinen. Veterinarija Ir. Zootechnika, T. 23(45): 96-98.

Shan X.Q., Lian J., Wen B. (2002)

Effect of organic acids on adsorption and desorption of rare earth elements. Chemosph. 47(7): 701-710.

Shan X.Q., Wang Z., Wang W., Zhang S., Wen B. (2003)

Labile rhizosphere soil solution fraction for prediction of bioavailability of heavy metals and rare earth elements to plants. Analyt. and Bioanalyt. Chem. 375(3): 400-407.

Shearer C. (1922)

Studies of the action of electrolytes on bacteria. J. Hyg. 21: 77-86.

Shen Y., Zhang J., Wang C. (1991)

Application of rare earth elements on animal production. Feed Ind. (Chinese) 12: 21-22.

Shigematsu T., Lanthanum Carbonate Research Group (2008)

Ther. Apher. Dial. 12(1): 55-61.

Shimada H., Nagano M., Funakoshi T., Kojima S. (1996)

Pulmonary toxicity of systemic terbium chloride in mice. J. Toxicol. Environ. Health 48(1): 81-96.

Simon O. (2005)

Mikroorganismen als Futterzusatzstoffe: Probiotika – Wirksamkeit und Wirkungsweise. Tagungsband 4. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien, 27.10.2005: 10-16.

Smith H.W. und Jones J.E.T. (1963)

The effect of the addition of copper sulphate to the diet on the bacterial flora of the alimentary tract of the pig. J. appl. Bact. 26(2): 262-265.

Sommer B., Bunge J. (2007)

Alternativen für antibiotische Leistungsförderer in der Ferkelfütterung. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/fuetterung/futterzusatz-ferkelfutter.htm>

Sommer W., Bunge J. (2004)

Was leisten pflanzliche Futterzusätze. SUS 4: 20-23.

Song Z., Zhao G., Zhang X., Li S. (2005)

The mechanism of the rare earths and safety of their application as feed additive. Ch. Feed 10: 24-25.

Spiecker-Hauser, U., Kraemer, F., Epe, C., Schmidt, B. (2007)

Efficacy of Lantharenol to reduce intestinal phosphorus absorption from feline renal diet. 11th Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, Leipzig: 133.

Spring P. (1996)

Effects of mannanoligosaccharides on different ceecal parameters and on ceecal concentrations of enteric pathogens in poultry. ETH Zürich No. 11897, Zürich, Dissertation.

Stalljohann G., Patzelt S., Rambeck W., Wehr U. (2006)

Seltene Erden in der Ferkelfütterung getestet. 9. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, 28.-30.11.2006, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Germany.

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2010)

Rinder- und Schweinebestand, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Fachserie 3 Reihe 4.1.

<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Viehbestand/Aktuell.psml>

Sticher O. (1999)

Ätherische Öle und Drogen, die ätherischen Öle enthalten. Hänsel R., Sticher O., Teindegger E.: Pharmakognosie – Phytopharmazie. 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Su D., Xiang L., Zhai Y., Shen W., Lin S. (1993)

Rare earth content in feed and its daily intake in man. Zhounghua Yu. Xue. Zazhi 27(1): 6-9.

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.

Teuscher E. (1997)

Biogene Arzneimittel. 5. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.

Thomke S. und Elwinger K. (1998)

Growth promotants in feeding pigs and poultry. III. Alternatives to antibiotic growth promotants. Ann. Zootech. 47: 245-171.

Tucher Von S., Schmidhalter U. (2005)

Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effect on plant growth. J. Plant Nutr. Soil Sci. – Z. Pflanzenern. Bodenkde. 168: 574-580.

Turner J.L., Dritz L.L., Minton J.E. (2001)

Review: Alternatives to conventional antimicrobials in swine diets. Profess. A. Sci. 17: 217-226.

Vahjen W., Simon O. (1997)

Mögliche Wirkungsebenen NSP-hydrolysierender Enzyme auf intestinale Mikroorganismenpopulationen bei Monogastriden. 6. Symposium Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 24.-25.9.1997, Jena/Thüringen.

Venugopal B., Luckey T.D. (1978)

Metal toxicity in mammals. Plenum Press, New York.

Verordnung (EG) Nr. 1249/2008 der Kommission vom 10. Dezember 2008 mit Durchführungsbestimmungen zu den gemeinsamen Handelsklassenschemata für Schlachtkörper von Rindern, Schweinen und Schafen und zur Feststellung der diesbezüglichen Preise.

Abl. EG Nr. L 337: 3-30.

Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung

Abl. EG Nr. L 268: 29-43.

Vincke E., Oelkers H.A. (1937)

Zur Pharmakologie der Seltenen Erden: Wirkung auf die Blutgerinnung. Arch. Exp. Pathol. 187: 594-603.

Visek W.J. (1978)

The mode of growth promotion of antibiotics. J. A. Sci. 46: 1447-1469.

Wald C. (2003)

Gewürze und Co. – eine Übersicht. Lohmann Inf. 3: 1-5.

Wan Q., Jiang W., Luo L., Liu S., Ning J., Yuan F. (1997)

Studies on rare earth additives in pig feeding. J. Rare Earths Soc. 18: 38-42.

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 Environ. Sci. 19(2): 141-144.

Wang K., Cheng Y., Yang X., Li R. (2003)

Cell responses to lanthanides and potential pharmacological actions of lanthanides. Metal ions in biological systems (Eds. Sigel A., Sigel H., Sigel S.), 40: The lanthanides and their interrelations with biosystems. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel.

Wang M.Q., Xu Z.R. (2003)

Effect of supplemental lanthanum on growth performance of pigs and its security as a feed additive. Asian-Australasian J. A. Sci. 16: 1360-1363.

Wang X., Gibson G.R. (1993)

Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. J. Appl. Bact., 75: 373-380.

Wanner, M. (1999)

Antimikrobielle Leistungsförderer – Rückblick und Alternativen. Schweiz. Arch. Tierheilkde. 141: 93-97.

Watanabe T. (1963)

Infective heredity of multiple drug resistance in bacteria. *Bacteriol. Rev.* 27: 251-253.

Weber L., Zsak G. (2007)

Welt-Bergbau-Daten. Heft 23. Rohstoffproduktion. Wien.

<http://www.bmwa.gu.at/NR/rdonlyre/OC195A9A-A63B-455C-963B-34EOE494C740/0/WMD2008.pdf>

Wehr U., von Rosenberg S. (2009)

Lanthanverbindungen wirken einem erhöhten Knochenverlust im Osteoporosemodell der ovariektomierten Ratte entgegen. Tagungsband 8. BOKU-Symposium Tierernährung, 1.10.2009 Wien, Tagungsband: 246-249.

Wehr U. (2007)

Nutztierfütterung ohne antibiotische Leistungsförderer. Sind „Seltene Erden“ eine Alternative? Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Sachgebiet Futtermittel (LV8), Schwerpunktlabor Futtermittel (S3). Vortrag Erlanger Runde, Erlangen 19.10.2007.

Weiss G.B., Goodman R.R. (1969)

Effects of lanthanum on contraction, calcium distribution and Ca⁴⁵ movements in intestinal smooth muscle. *J. Pharmacol. Exp. Therap.* 169(1): 46-55.

Wenk C. (2002)

Herbs, spices and botanicals: 'Old fashioned' or the new feed additives for tomorrow's feed formulations? Concepts for their successful use. *Biotechnology in the Feed Industry* (Lyons T.P., Jacques K.A., eds.): 79-97.

Wenk C. (2005a)

Einsatz von Kräutern und deren Extrakten in der Tierernährung: Erwartungen und Möglichkeiten. 4. BOKU-Symposium Tierernährung, Tierernährung ohne antibiotische Leistungsförderer, 27.10.2005, Wien, Tagungsband: 17-27.

Wenk C. (2005b)

Are Herbs, Botanicals and other related substances adequate replacers of AGPs?
Worldwide Ban of AGPs, 01.2. Noordwijk.

Westendarp H. (2003)

Kräutereinsatz in der Schweinefütterung. Internationale Jubiläumskonferenz der Angewandten Wissenschaften: Gegenwärtige Probleme und Errungenschaften der Agrarwissenschaften in Viehhaltung und Pflanzenbau, Staatliche Altaier-Agrar-Universität Barnaul, 4: 236-246.

Wetscherek W., Dobretsberger M. (2002)

Einsatz von LIVOL in der Schweinemast. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 11: 111.

World Health Organisation, WHO (1974)

The public health aspects of antibiotics in foodstuffs. Report of the working group. Bremen, 1.-5.10.1973, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

Williams P.F., Turtle J.R. (1984)

Terbium, a fluorescent probe for insulin receptor binding. Evidence for a conformational change in the receptor protein due to insulin binding. Diabetes 33: 1106-1111.

WTO (World Trade Organisation) (1998)

EC measures concerning meat and meat products (Hormones). Report of the Appellate Body. WT/DS26/AB/R, WT/DS48/AB/R, Geneva, 16. January 1998.

Xiao B., Ji Y., Cui M. (1997)

Effects of lanthanum and cerium on malignant proliferation and expression of tumorrelated gene. Zhounghua Yu. Xue. Zazhi (Chinese) 31: 228-230.

Xia Z. und He R. (1997)

A review of applying REE in agriculture production. Chinese, unpublished.

Xie J., Xia Z., Wang Z. (1995)

Studies on the effects of rare earth compound added to diets of guangxi broiler chickens. Chinese, unpublished.

Xie J., Wang J. (1998)

The effect of organic rare earth compounds on production performance of chicken. In 2nd International Symposium on trace elements and food chain, 12.-15.11.1998, Wuhan, China: 74.

Xu X., Xia H., Rui G., Hu C., Yuan F. (2004)

Effect of lanthanum on secretion of gastric acid in stomach of isolated mice. *J. Rare Earths Soc.* 22(3): 427.

Xu Z.R., Chen L.M., Wang M.Q. (1998)

Effect of lanthanum on growth, digestion and carcass composition of growing pigs. *J. Zhejiang Univ.* 24: 395-397.

Xu Z., Wang M., Chen L. (1999)

Growth response of pigs fed supplemental lanthanum and approach of mechanism. *J. Rare Earth Soc.* 17: 53-59.

Yajima H., Sumaoka J., Sachiko M., Makoto K. (1994)

Lanthanide ions for the first non-enzymatic formation of adenosine 3'5'-cyclic monophosphate from adenosine triphosphate under physiological conditions. *J. Biochem.* 115(6): 1038-1039.

Yang Z., Dong M., Mao C., Zhang K., Zhang P. (1992)

Effects of rare earth elements on serum parameters in broiler. *Gansu A. Sci. Vet. Med.* 22: 7-8.

Yu L., Dai Y., Yuan Z., Li J. (2007)

Effects of rare earth elements on telomerase activity and apoptosis of human peripheral blood mononuclear cells. *Biol. Trace Element Res.* 116(1): 53-59.

Yuan F. (1994)

Research group of apply oin type REE in agriculture. *Hunan Agric. Sci.* 2: 41-42.

Zehentmayer AG (2007)

Lancer® in Forschung und praxis. Vitlastoff-Forum „Forscher für Praktiker“ 11-2007.

[http://www.zehentmayer.ch/fileadmin/documents/Tier/Vitalstoff-Forum/VF Lancer.pdf](http://www.zehentmayer.ch/fileadmin/documents/Tier/Vitalstoff-Forum/VF_Lancer.pdf)

Zhang H., Feng J., Zhu W.F., Liu C., Gu J. (2000a)

Bacteriostatic effect of cerium-humic acid complex: An experimental study. Biol. Trace Element Res. 73(1): 29-36.

Zhang H., Feng J., Zhu W.F., Liu C., Xu S., Shao P., Wu D., Yang W., Gu J. (2000b)

Chronic toxicity of rare earth elements on human beings, Biol. Trace Element Res. 73(1): 1-17.

Zhu X., Li D., Yang W., Xiao C., Chen H. (1994)

Effects of rare earth elements on the growth and nitrogen balance of piglets. Feed Ind. 15: 23-25.

9 ANHANG

Abbildung 6: Schlachtabrechnung vom 17.10.2006 der Erzeugergemeinschaft Oberbayern-West für Schlachtvieh Pfaffenhofen, 200 Schweine

REE-Gruppe						
	Gewicht (kg)	Mfl(%)	Spe (mm)	Fle (mm)	Pr./kg (€)	Betrag (€)
E	96,8	63,8	12,0	82,4	1,50	145,20
E	101,4	63,5	11,1	77,2	1,50	152,10
E	106,8	62,9	10,8	72,0	1,48	158,06
E	103,0	62,8	10,8	71,5	1,50	154,50
E	91,6	62,5	10,4	68,0	1,50	137,40
E	95,0	61,6	12,4	72,0	1,50	142,50
E	102,0	61,4	14,8	82,0	1,50	153,00
E	95,4	61,0	12,4	68,7	1,50	143,10
E	84,4	61,7	11,5	68,7	1,50	126,60
E	93,6	61,1	11,5	66,0	1,50	140,40
E	97,6	60,9	12,4	68,4	1,50	146,40
E	104,6	60,8	14,0	75,2	1,50	156,87
E	98,6	60,8	12,4	68,0	1,50	147,90
E	98,6	60,4	13,5	70,7	1,49	146,91
E	98,6	60,2	14,4	73,5	1,49	146,91
E	103,2	60,0	13,5	68,7	1,49	153,77
E	94,0	59,9	13,5	68,0	1,49	140,06
E	94,0	59,7	14,0	69,2	1,48	139,12
E	100,8	58,0	15,1	65,2	1,45	146,16
E	94,6	61,7	12,4	72,7	1,50	141,90
E	105,4	59,6	12,8	62,7	1,48	155,99
E	98,6	59,3	13,5	65,2	1,48	145,93
E	98,4	59,3	13,5	65,2	1,48	145,63
E	95,2	59,0	14,4	66,7	1,47	139,94
E	95,8	58,9	14,4	66,4	1,47	140,83
E	93,4	58,9	13,1	60,7	1,47	137,30
E	102,6	58,7	14,0	63,6	1,46	149,80
E	104,8	58,7	14,8	67,2	1,46	153,01
E	94,2	58,6	13,1	59,2	1,46	137,53
E	99,0	58,4	14,4	63,6	1,46	144,54
E	100,6	58,1	14,0	60,0	1,45	145,87
E	105,0	58,1	16,0	69,2	1,45	152,25
E	96,6	58,0	14,4	61,6	1,45	140,07
E	99,8	57,9	16,0	68,4	1,45	144,71
E	91,2	57,8	15,5	65,5	1,44	131,33
E	96,2	57,8	14,8	62,3	1,44	138,53
E	94,6	57,8	16,3	69,2	1,44	136,22
E	94,8	57,3	15,1	61,2	1,43	135,56
E	99,2	57,2	16,0	64,4	1,43	141,86
E	102,8	56,7	16,0	61,6	1,41	144,95
E	95,0	56,5	16,3	62,3	1,40	133,00
E	96,8	58,2	14,8	64,4	1,45	140,36
E	101,8	57,7	16,8	70,7	1,44	146,59
E	97,8	57,6	15,1	62,7	1,44	140,83
E	97,6	57,6	16,0	66,7	1,44	140,54

E	96,4	57,4	16,0	65,2	1,43	137,85
E	89,4	57,4	13,1	52,7	1,43	127,84
E	87,8	57,3	15,1	61,2	1,43	125,55
E	96,4	57,3	15,1	61,2	1,43	137,85
E	101,6	57,1	16,0	64,0	1,42	144,27
E	79,0	57,0	11,5	43,2	1,33	105,07
E	96,6	56,7	16,0	61,6	1,41	136,21
E	91,0	56,5	15,1	56,7	1,40	127,40
E	101,2	56,4	17,1	65,2	1,40	141,68
E	100,2	56,2	16,3	60,7	1,40	140,28
E	93,0	55,9	16,0	57,2	1,39	129,27
E	91,6	55,6	15,5	54,0	1,38	126,41
E	95,4	57,0	16,3	64,7	1,42	135,47
E	97,4	56,9	15,5	60,7	1,42	138,31
E	100,6	56,7	16,8	65,2	1,41	141,85
E	96,6	56,4	17,6	67,2	1,40	135,24
E	91,4	56,4	14,8	54,3	1,40	127,96
E	107,2	56,2	16,8	62,3	1,37	146,86
E	88,8	56,1	17,1	64,0	1,39	123,43
E	94,8	55,9	16,3	58,7	1,39	131,77
E	93,0	55,9	16,8	60,7	1,39	129,27
E	97,2	55,7	16,3	58,0	1,38	134,14
E	100,6	55,5	18,8	67,5	1,38	138,83
E	92,4	55,3	17,6	61,2	1,37	126,59
E	98,6	55,3	18,0	63,2	1,37	135,08
E	97,2	55,3	17,6	61,2	1,37	133,16
E	102,0	56,2	18,3	70,0	1,40	142,80
E	97,2	55,6	18,0	64,7	1,38	134,14
U	104,6	54,9	18,8	64,4	1,36	142,26
U	101,4	54,5	18,8	62,0	1,35	136,89
U	99,2	54,4	16,8	52,7	1,34	132,93
U	100,4	54,1	18,8	60,0	1,33	133,53
U	103,8	53,7	18,3	56,0	1,32	137,02
U	91,2	52,3	21,1	61,2	1,28	116,74
U	97,8	54,0	18,8	59,6	1,33	130,07
U	104,0	53,4	20,3	63,6	1,31	136,24
U	99,2	53,3	20,0	61,2	1,31	129,95
U	102,0	52,9	19,6	57,2	1,30	132,60
U	88,8	52,5	20,8	60,3	1,29	114,55
U	87,4	52,4	19,6	54,3	1,28	111,87
U	97,4	52,2	19,1	51,6	1,28	124,67
U	94,4	52,0	19,6	52,0	1,27	119,89
U	98,4	51,9	22,0	62,7	1,27	124,97
U	96,0	51,9	21,1	58,7	1,27	121,92
U	92,6	51,8	20,3	54,7	1,26	116,68
U	98,8	51,7	20,0	52,3	1,26	124,49
U	97,8	51,2	20,3	51,6	1,24	121,27
U	92,6	50,9	20,3	50,0	1,23	113,90
U	94,0	50,7	21,6	54,0	1,22	114,68
U	101,0	50,6	22,0	55,6	1,21	122,21
U	90,6	52,5	19,6	54,7	1,29	116,87
U	91,8	52,4	20,8	59,6	1,28	117,50
U	102,0	52,0	20,0	54,0	1,27	129,54
U	99,6	50,9	22,0	57,2	1,23	122,51
U	99,6	50,5	21,6	53,2	1,21	120,52
U	95,8	50,3	21,1	50,3	1,20	114,96

U	95,8	50,6	21,1	51,6	1,21	115,92
R	97,0	49,4	24,3	59,6	1,17	113,49
R	100,8	48,7	24,0	54,0	1,14	114,91
R	92,2	46,4	26,0	50,3	1,05	96,81
Binneneber	100,2	58,9	14,4	66,4	0,00	0,00
Gesamt	10297,2					14142,32
Durchschnitt	97,1	56,4	16,5	62,4	1,37	133,42
STABW	4,84	3,60	3,30	6,92	0,10	12,22
n	106,00					
Kontrolle						
E	102,2	63,3	11,1	76,0	1,50	153,30
E	96,2	61,9	12,0	72,0	1,50	144,30
E	95,0	61,1	10,8	62,0	1,50	142,50
E	97,8	60,6	14,0	74,0	1,50	146,70
E	102,2	60,3	13,5	70,4	1,49	152,28
E	99,2	60,2	12,8	66,4	1,49	147,81
E	102,8	59,9	14,8	73,5	1,49	153,17
E	100,4	59,5	13,1	64,0	1,48	148,59
E	101,4	59,5	14,0	67,5	1,48	150,07
E	98,0	58,8	15,5	71,2	1,47	144,06
E	91,6	59,9	12,8	64,7	1,49	136,48
E	102,2	59,7	14,0	68,7	1,48	151,26
E	94,4	59,7	12,0	60,0	1,48	139,71
E	102,6	59,6	12,8	62,7	1,48	151,85
E	98,8	59,4	14,0	67,2	1,48	146,22
E	89,8	59,2	14,8	69,5	1,47	132,01
E	99,2	59,1	14,4	67,5	1,47	145,82
E	101,8	58,5	14,8	66,0	1,46	148,63
E	95,8	58,5	15,1	67,5	1,46	139,87
E	99,6	58,2	15,1	66,4	1,45	144,42
E	90,8	58,2	14,4	62,3	1,45	131,66
E	93,8	58,2	13,5	59,2	1,45	136,01
E	94,4	58,1	13,1	56,7	1,45	136,88
E	109,8	58,0	16,3	70,4	1,40	153,72
E	100,2	57,2	15,5	62,3	1,43	143,29
E	101,2	57,2	17,1	69,5	1,43	144,72
E	103,6	57,1	16,8	67,2	1,42	147,11
E	96,6	56,4	15,5	58,3	1,40	135,24
E	89,2	55,6	15,1	52,0	1,38	123,10
E	79,0	59,7	9,1	47,2	1,33	105,07
E	92,0	57,5	15,1	62,3	1,43	131,56
E	97,0	57,4	15,5	63,6	1,43	138,71
E	108,8	57,1	17,6	70,7	1,38	150,14
E	92,2	56,6	16,0	61,2	1,41	130,00
E	92,8	56,5	16,8	64,0	1,40	129,92
E	91,0	56,3	15,1	55,6	1,40	127,40
E	90,4	56,0	16,0	58,0	1,39	125,66
E	91,6	55,7	16,0	56,0	1,38	126,41
E	90,2	55,5	16,3	56,7	1,38	124,48
E	96,6	57,1	16,3	65,5	1,42	137,17
E	99,4	56,5	16,3	62,3	1,40	139,16
E	90,4	56,3	15,1	56,0	1,40	126,56
E	97,4	56,1	18,0	67,2	1,39	135,39
E	105,2	56,0	19,1	72,4	1,39	146,23
E	98,2	55,8	17,1	62,0	1,38	135,52

E	93,6	55,7	17,6	63,2	1,38	129,17
E	97,6	55,7	16,8	60,0	1,38	134,69
E	95,8	55,6	17,1	60,7	1,38	132,20
E	91,0	55,4	16,8	58,0	1,37	124,67
E	91,8	55,3	17,6	61,2	1,37	125,77
E	88,0	55,2	17,1	58,7	1,37	120,56
E	87,8	55,1	15,5	51,2	1,36	119,41
E	99,0	55,0	17,1	57,6	1,36	134,64
E	67,2	58,4	11,5	50,7	1,09	73,25
U	94,4	54,6	17,1	55,6	1,35	127,44
U	100,6	54,1	19,1	62,0	1,33	133,80
U	89,4	53,3	20,0	61,2	1,31	117,11
U	107,6	53,3	17,6	50,3	1,28	137,73
U	93,4	54,9	19,1	66,0	1,36	127,02
U	98,8	54,6	18,3	60,7	1,35	133,38
U	92,4	53,9	18,8	59,2	1,33	122,89
U	99,6	53,9	18,0	55,2	1,33	132,47
U	91,6	53,7	18,0	54,3	1,32	120,91
U	98,6	53,5	19,1	58,3	1,32	130,15
U	95,6	53,3	19,6	59,2	1,31	125,24
U	90,6	53,2	19,1	57,2	1,31	118,69
U	92,2	52,9	16,8	44,3	1,30	119,86
U	96,2	52,8	21,1	63,6	1,29	124,10
U	99,2	52,7	20,3	59,6	1,29	127,97
U	93,0	52,6	21,1	62,7	1,29	119,97
U	100,4	52,6	20,8	60,7	1,29	129,52
U	96,6	52,2	19,6	53,2	1,28	123,65
U	100,0	51,5	22,0	60,3	1,25	125,00
U	97,0	51,4	18,8	45,2	1,25	121,25
U	91,6	51,4	20,3	52,3	1,25	114,50
U	101,4	51,4	20,3	52,3	1,25	126,75
U	104,6	52,8	20,8	62,0	1,29	134,93
U	100,0	51,8	22,3	64,0	1,26	126,00
U	94,0	51,7	20,8	56,0	1,26	118,44
U	98,0	51,6	20,8	55,6	1,25	122,50
U	105,0	51,5	20,8	55,2	1,25	131,25
U	97,0	51,3	20,8	53,6	1,24	120,28
U	97,2	50,9	20,3	50,0	1,23	119,56
U	95,8	50,9	20,3	49,6	1,23	117,83
U	101,8	50,9	22,0	57,2	1,23	125,21
U	97,0	50,4	23,6	61,6	1,21	117,37
R	92,2	49,8	23,6	58,3	1,18	108,80
R	93,6	49,5	20,3	42,0	1,17	109,51
R	98,8	49,3	24,8	61,2	1,16	114,61
R	95,4	48,6	24,0	53,6	1,13	107,80
R	99,4	48,2	25,6	58,3	1,12	111,33
R	103,2	48,1	25,1	56,3	1,11	114,55
R	93,0	47,8	25,1	54,3	1,10	102,30
R	96,0	47,1	25,6	52,7	1,07	102,72
Gesamt	9056,8					12238,91
Durchschnitt	96,3	55,2	17,5	60,3	1,35	130,20
STABW	5,91	3,6	3,59	6,87	0,11	13,89
N	94					

10 DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank richtet sich an Herrn Prof. Dr. W.A. Rambeck für die Idee und den Vorschlag den Feldversuch bei mir im Familienbetrieb durchzuführen. Die hervorragende Betreuung umfasste nicht nur ständige Zusammenarbeit und Erreichbarkeit, Motivation und unendliche Geduld, sondern auch interessante und unterhaltsame Fahrten zu Versuchsorten nach Krakau und Prag, Besuch der „Langen Nacht der Tierernährung“ in Nürtingen uvm. Selbst bei der harten Arbeit beim Wiegen der zahlreichen Schweine legte er selbst Hand an und verbrachte viel Zeit bei uns. Zwischen allem war immer Zeit für persönliche Worte. Danke!

Ebenso bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. E. Kienzle für die kompetente Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit.

Außerdem ein herzliches Dankeschön an meine Betreuerin Frau Dr. Sylvia von Rosenberg, die ebenfalls jedes Mal beim Wiegen und Organisieren mitgeholfen hat und immer mit Ratschlägen, Informationen und lieben Worten einen großen Teil zu dieser Arbeit beigetragen hat. Vielen Dank für das große Engagement und all die netten Gespräche.

Vielen Dank auch Herrn Dr. Ulrich Wehr für die kompetente Unterstützung bei Planung und Bearbeitung und viele Informationen.

Ebenfalls ein großer Dank geht an meinen Bruder Hans, der die Schweinemast organisiert und betreut und damit auch während des Versuchs sich ständig um Tiere und Technik gekümmert hat. Ein Dankeschön auch an Viktoria für die Hilfe beim Eingeben der Zahlen.

Meinem lieben Praxisteam und vor allem Familie Eberhard danke ich von ganzem Herzen für die ständige Motivation und Unterstützung in jeder Richtung, ohne die alles gar nicht möglich gewesen wäre.

Weiterhin möchte ich mich bei meinen Mit-Doktoranden, vor allem Susanne Kehrle* und Fabian Wendel, für die produktive und schöne Zusammenarbeit und die lustigen gemeinsamen Stunden bedanken. Sowie bei allen, die beim Wiegen der Schweine mitgeholfen haben, Frau Stadler, Moro, Andreas, Hans, Hubert und Viktoria.

Ein großer Dank geht auch an unseren LKV-Berater Michael Hoppmann, für die kompetente Beratung, ständige Verfügbarkeit und die freundliche Überlassung aller benötigten Informationen.

Schließlich ein ganz besonderes Dankeschön an meine Eltern, die mir immer zum rechten Zeitpunkt, mit was auch immer gerade nötig war, zur Seite gestanden sind, um den Weg zur Promotion zu erleichtern. Sie haben mir immer Rückhalt und Sicherheit gegeben, so dass ich alle Chancen und Möglichkeiten des Lebens nutzen konnte.