

**Alternative Methoden in der Schweinemast:
Untersuchungen zum
leistungssteigernden Potential Seltener Erden und zur Jodanreicherung im
Gewebe durch die Verfütterung von Meeresalgen.**

Caudia Borger

München 2003

Aus dem Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung,
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Geschäftsführender Vorstand:
Univ.-Prof. Dr. H.-J. Gabius

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. Dr. habil. W.A. Rambeck

Alternative Methoden in der Schweinemast:
Untersuchungen zum
leistungssteigernden Potential Seltener Erden und zur Jodanreicherung im
Gewebe durch die Verfütterung von Meeresalgen.

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

von Claudia Borger
aus
München

München 2003

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. R. Stolla
Referent:	Prof. Dr. W. Rambeck
Korreferent:	Priv.-Doz. Dr. A. Scholz

Tag der Promotion: 18. Juli 2003

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Leistungsförderer	3
2.1.1 Definition	3
2.1.2 Leistungsförderer mit antimikrobieller Wirkung	3
2.1.2.1 Historischer Überblick	3
2.1.2.2 Wirksamkeit antimikrobieller Leistungsförderer	4
2.1.2.3 Wirkungsweise antibakterieller Leistungsförderer	5
2.1.2.4 Risiken des Einsatzes antibakterieller Leistungsförderer	7
2.1.2.5 Resistenzproblematik	8
2.1.3 Kupfer	9
2.1.3.1 Kupfer als Spurenelement	9
2.1.3.2 Kupfer als Leistungsförderer	10
2.1.3.3 Risiken durch die Kupferfütterung	12
2.1.4 Enzyme mit leistungsfördernder Wirkung	13
2.1.5 Organische Säuren und ihre Salze	15
2.1.6 Pro- und Prebiotika	17
2.1.7 Hormone	20
2.1.8 Ätherische Öle	21
2.1.9 Zusammenfassende Betrachtung leistungssteigernder Substanzen	22
2.2 Seltene Erden	23
2.2.1 Chemische und physikalische Eigenschaften	23
2.2.2 Vorkommen Seltener Erden	24
2.2.3 Biochemische und pharmakologische Eigenschaften	24
2.2.4 Verwendung Seltener Erden in der Landwirtschaft	27
2.2.4.1 Einsatz in der chinesischen Pflanzenproduktion	28
2.2.4.2 Einsatz Seltener Erden in der chinesischen Tierproduktion	29
2.2.4.3 Einsatz Seltener Erden unter westlichen Haltungsbedingungen	31
2.3 Jod	32
2.3.1 Jodstoffwechsel	32
2.3.2 Schilddrüsenhormone	34
2.3.3 Wirkung der Schilddrüsenhormone	35
2.3.4 Jodbedarf des Menschen	36
2.3.5 Aktuelle Situation der Jodversorgung	37
2.3.5.1 Situation in Europa	38
2.3.5.2 Jodmangel in Deutschland	38
2.3.6 Strategien zur Bekämpfung des Jodmangels	40
2.3.6.1 Änderung der Ernährungsgewohnheiten	40
2.3.6.2 Verwendung von jodiertem Speisesalz	41
2.3.6.3 Anreicherung von Lebensmitteln mit Jod	43
2.3.6.4 Medikamentöse Jodprophylaxe	46
2.3.7 Folgen des Jodmangels	47

2.3.8 Jod in der Schweinefütterung	48
2.3.9 Meeresalgen als Jodquelle	50
2.3.9.1 Systematik der Algen	50
2.3.9.2 Ernährungsphysiologische Aspekte der Meeresalgen	50
3. Material und Methoden	52
3.1 Fütterungsversuch	52
3.1.1 Versuchstiere und Tierhaltung	52
3.1.2 Fütterungsmodus und Futterzusammensetzung	52
3.2 Probennahme	54
3.3 Schlachtleistung	55
3.3.1 Schlachtgewicht	55
3.3.2 pH-Werte	55
3.3.3 Fleischhelligkeit	56
3.3.4 Fleisch/Fettverhältnis	56
3.3.5 Handelsklassen	56
3.4 Bestimmung der REE-Konzentration	57
3.4.1 Analyseverfahren	57
3.4.2 Bestimmung der Seltenen Erden in Organ- und Futterproben	57
3.5 Serumuntersuchung	58
3.5.1 Probenvorbereitung	58
3.5.2 Elektrolytbestimmung	58
3.5.3 Bestimmung der Leberenzyme, Lipide, Proteine, Glucose und Phosphat	59
3.5.4 Bestimmung der Schilddrüsenhormone	59
3.6 Bestimmung der Jodkonzentration	59
3.6.1 Analyseverfahren	59
3.6.2 Jodbestimmung in Futter- und Organproben durch alkalische Veraschung	60
3.6.3 Jodbestimmung in den Urinproben	64
3.7 Statistische Analysen	66
4. Ergebnisse	67
4.1 Serumanalysen	67
4.1.1 Serumelektrolyte	67
4.1.2 Leberenzyme	68
4.1.3 Cholesterin-, Triglycerid-, Gesamtprotein-, Albumin- und Glucosewerte	69
4.2 Schlachtergebnisse	69
4.2.1 Einteilung in Handelsklassen	69
4.2.2 PH-Werte	70
4.2.3 Fleischhelligkeit	71
4.2.4 Fleisch-Fett-Verhältnis	71
4.3 Einfluss der Zulage von Seltenen Erden zum Futter	72
4.3.1 Fütterungsversuch	72

4.3.1.1 Entwicklung des Körpergewichtes und der täglichen Gewichtszunahmen	72
4.3.1.2 Entwicklung und Vergleich des Futtermittelsverbrauchs	73
4.3.1.3 Entwicklung und Vergleich der Futtermittelsverwertung	74
4.3.2 Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse	75
4.3.2.1 Gehalt an Seltenen Erden im Futter	75
4.3.2.2 Gehalt an Seltenen Erden in Muskel, Leber und Niere	76
4.3.3. Ergebnisse der Organvermessung	76
4.3.4 Ergebnisse der Messung der Schilddrüsenhormone	78
4.4 Einfluss variierender Jodzulagen zum Futter	78
4.4.1 Fütterungsversuch	78
4.4.1.1 Entwicklung des Körpergewichtes und der täglichen Gewichtszunahmen	78
4.4.1.2 Entwicklung und Vergleich des Futtermittelsverbrauchs	80
4.4.1.3 Entwicklung und Vergleich der Futtermittelsverwertung	81
4.4.2 Ergebnisse der Jodanalysen	82
4.4.2.1 Jodkonzentration im Futter	82
4.4.2.2 Jodkonzentration im Muskelfleisch und den Organen	84
4.4.2.3 Jodkonzentration im Urin	84
4.4.3 Vergleich von Trijodthyronin und Thyroxin	85
5. Diskussion	87
5.1 Zum Fütterungsversuch	87
5.2 Zur Bestimmung der Seltenen Erden	87
5.3 Zu den Jodbestimmungsmethoden	88
5.4 Zur Untersuchung der Blutproben	89
5.5 Zum Versuch mit Seltenen Erden	90
5.5.1 Einfluss Seltener Erden auf die Mastleistung	90
5.5.2 Mögliche Wirkmechanismen Seltener Erden	93
5.5.3 Zum Gehalt an Seltenen Erden der Organe	95
5.5.4 Zur Verwendbarkeit Seltener Erden	96
5.6 Zum Versuch mit Algen	97
5.6.1 Einfluss algenreicher Fütterung auf die Mastleistung	97
5.6.2 Jodkonzentration im Schweinefutter	99
5.6.3 Jodkonzentration in den Geweben	100
5.6.4 Jodkonzentration im Urin	102
5.6.5 Zur Verwendbarkeit der Algen	103
6. Zusammenfassung	105
7. Summary	106
8. Literaturverzeichnis	108
9. Danksagung	133
10. Lebenslauf	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Schema der Wirkungsweise von Leistungsförderern, Gropp J. 1986

Abbildung 2: Eichkurve zur Berechnung der Jodkonzentration im Futter und den Organ- und Muskelproben ($y = 1,4989e^{-0,0027x}$, $R = 0,9992$)

Abbildung 3: Natriumkonzentration im Serum von Schweinen bei Fütterung mit Kaliumjodid, Algen oder Seltenen Erden (Reihe 2 = 1. Messung, Reihe 1 = 2. Messung, Reihe 3 = oberer Wert des Referenzbereiches)

Abbildung 4: Entwicklung der Gewichtszunahme bei Mastschweinen bei Fütterung mit Seltenen Erden während des gesamten Versuches.

Abbildung 5: Steigerung der täglichen Zunahmen eines Schweins bei Fütterung mit Seltenen Erden (1 = Fütterungsabschnitt 1, 2 = Fütterungsabschnitt 2, 3 = Gesamtmast)

Abbildung 6: Versuch mit Seltenen Erden: Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge je Schwein im Gesamtversuch

Abbildung 7: Versuch mit Seltenen Erden: Entwicklung der Futtermittelnutzung (g/g) je Schwein während des gesamten Versuches

Abbildung 8: Gehalt der einzelnen Organe an Seltenen Erden im Versuch mit Schweinen

Abbildung 9: Tägliche Gewichtszunahme eines Schweins bei Fütterung von Kaliumjodid bzw. Algen im ersten Fütterungsabschnitt

Abbildung 10: Tägliche Gewichtszunahmen eines Schweins bei Fütterung von Kaliumjodid bzw. Algen im zweiten Fütterungsabschnitt

M mmäAbbildung 11: Futterverwertung der Schweine bei Verfütterung von Jod in Form von Kaliumjodid bzw. Algen im Fütterungsabschnitt 1, Fütterungsabschnitt 2 und während des gesamten Versuches.

Abbildung 12: Vergleich der Jodgehalte in den untersuchten Geweben der Versuchsgruppen Kontrolle, KI-niedrig, KI-hoch, Alge-niedrig und Alge-hoch

Abbildung 13: Jodkonzentration im Urin von Schweinen nach Anreicherung des Mastfutters mit Jod in Form von KI oder jodreichen Algen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In der EU zugelassene Leistungsförderer (Mindest- /Maximalgehalte in mg/kg Futter) (aus Kamphues und Hebeler, 1999)

Tabelle 2: Effekte von Leistungsförderern auf Tageszunahmen und Futteraufwand (kg Futter je kg Zunahme) (aus Kamphues 1997)

Tabelle 3: Infektionen mit Vancomycin-resistenten Enterokokken (VRE) beim Menschen in Beziehung zum Avoparcin-Einsatz in der Tierproduktion (Kirst et al., 1998)

Tabelle 4: Einflussfaktoren auf die Leistungsverbesserung durch Kupferzulagen und deren Auswirkung (Meyer und Kröger, 1973a)

Tabelle 5: Veränderung der Fütterungsparameter durch NSP-spaltende Enzyme unter Berücksichtigung der Futtermischung und der Lebendmasse der Schweine (FVZ = Futterverzehr, LMZ = Lebendmassezunahme, FA = Futteraufwand) (Haberer und Schulz, 1998)

Tabelle 6: Wirkung von Säurezusätzen auf die Leistungsparameter Futterverzehr FVZ, Lebendmassezuwachs LMZ und Futteraufwand FA bei der Ferkelfütterung

Tabelle 7: Einfluss verschiedener Probiotika auf die Leistung einiger landwirtschaftlicher Nutztiere (aus Busch et al., 1999)

- Tabelle 8: Multifaktorielle Hormonwirkung auf Wachstum, Protein- und Fettansatz (modifiziert nach Karg, 1986)
- Tabelle 9: Vergleich konventioneller und alternativer Leistungsförderer
- Tabelle 10: Eigenschaften von Ca^{2+} und Lanthanoiden im Vergleich, nach Evans, 1990
- Tabelle 11: Leistungsdaten verschiedener chinesischen Untersuchungen in Versuchen mit Schweinen verschiedenen Alters (GZ = Gewichtszunahme, TZ = tägliche Gewichtszunahme, FV = Futtermittelverwertung)
- Tabelle 12: Empfohlene tägliche Jodzufuhr in verschiedenen Altersabschnitten (DGE, 2000)
- Tabelle 13: Kriterien für die Gradeinteilung des endemischen Jodmangels (Großklaus, 1993)
- Tabelle 14: Jodgehalt verschiedener Lebensmittel (Heseker, 1999)
- Tabelle 15: Meilensteine auf dem Weg zu einer besseren Jodversorgung (modifiziert nach Hötzel und Scriba, 1997)
- Tabelle 16: Spektrum der Iodine Deficiency Disorders (IDD) (nach Hetzel, 1993)
- Tabelle 17: Zusammensetzung der Basisration in der Aufzucht- und Mastperiode des Schweineversuches
- Tabelle 18: Versuchsaufbau: Gehalte der einzelnen Rationen an Jod bzw. Seltenen Erden
- Tabelle 19: Einteilung der Handelsklassen im EUROP-System
- Tabelle 20: Elektrolytkonzentration im Serum der Schweine aus den einzelnen Rationsgruppen mit Abschluss des Fütterungsabschnittes 1 und 2 im Versuch mit Algen und Seltenen Erden (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $P < 0,05$)

- Tabelle 21: Konzentration der Leberenzyme im Serum der Schweine in den einzelnen Rationsgruppen nach dem Fütterungsabschnitt 1 und 2 (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $P < 0,05$)
- Tabelle 22: Konzentration an Cholesterin, Triglyceriden, Gesamtprotein, Albumin und Glucose im Serum der Schweine der einzelnen Rationsgruppen nach dem ersten und zweiten Fütterungsabschnitt
- Tabelle 23: Einteilung der Schlachtkörper in Handelsklassen im Versuch mit Algen und Seltenen Erden
- Tabelle 24: Vergleich der pH-Werte im Rückenmuskel und im Schinken von Schweinen der verschiedenen Gruppen im Versuch mit Algen und mit Seltenen Erden.
- Tabelle 25: Ergebnisse der Messung der Fleischhelligkeit in Punkten der verschiedenen Gruppen im Versuch mit Algen und Seltenen Erden
- Tabelle 26: Ergebnisse der Fleischfläche (cm^2) und Fettfläche (cm^2) und des sich daraus ergebenden Verhältnisses für Mastschweine im Versuch mit Algen und Seltenen Erden.
- Tabelle 27: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliches Gewicht in kg der Schweine in den beiden Rationsgruppen nach 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 Wochen
- Tabelle 28: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 1 (*bedeutet signifikanter Unterschied $p < 0,05$ zur Kontrolle)
- Tabelle 29: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 2
- Tabelle 30: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während des gesamten Versuches
- Tabelle 31: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittlicher Futtermittelverbrauch (in kg) je Schwein der beiden Rationsgruppen im Fütterungsabschnitt 1

- Tabelle 32: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittlicher Futtermittelverbrauch (in kg) je Schwein der beiden Rationsgruppen im Fütterungsabschnitt 2
- Tabelle 33: Versuch mit Seltenen Erden. Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge in g je Schwein im gesamten Fütterungsversuch
- Tabelle 34: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliche Futtermittelverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 1
- Tabelle 35: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliche Futtermittelverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 2
- Tabelle 36: Versuch mit Seltenen Erden. Entwicklung der Futtermittelverwertung (g/g) der beiden Rationsgruppen während des gesamten Versuches
- Tabelle 37: Versuch mit Seltenen Erden. Gehalt in mg/kg an Seltenen Erden in Futtermischung 1 und 2 für Schweine der beiden Rationsgruppen
- Tabelle 38: Versuch mit Seltenen Erden. Gehalt an Seltenen Erden ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in Muskulatur, Leber und Nieren der Schweine aus den beiden Rationsgruppen
- Tabelle 39: Versuch mit Seltenen Erden. Vergleich des Gewichtes in g und des Verhältnisses Organgewicht zu Körpergewicht KG in g/kg des Herzens, der Leber und der Niere der Schweine aus den beiden Rationsgruppen (Anzahl der Proben = 4)
- Tabelle 40: Versuch mit Seltenen Erden. Vergleich des Gewichtes in g, des Verhältnisses Darmgewicht zu Körpergewicht in g/kg und der Länge in m des Dünndarmes der Schweine aus den beiden Rationsgruppen (Anzahl der Proben = 4)
- Tabelle 41: Versuch mit Seltenen Erden. Konzentration der Schilddrüsenhormone T3 und T4 im Serum der Schweine der beiden Rationsgruppen nach Fütterungsabschnitt 1 und 2 (* symbolisiert signifikanten Unterschied $p < 0,05$)

- Tabelle 42: Algenversuch. Durchschnittliches Gewicht in kg der Schweine in den einzelnen Rationsgruppen nach 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 Wochen
- Tabelle 43: Algenversuch. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 1
- Tabelle 44: Algenversuch. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 2
- Tabelle 45: Algenversuch. Durchschnittlicher Futterverbrauch (in kg) je Schwein im Fütterungsabschnitt 1
- Tabelle 46: Algenversuch. Durchschnittlicher Futterverbrauch (in kg) je Schwein im Fütterungsabschnitt 2
- Tabelle 47: Algenversuch. Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge je Schwein im gesamten Fütterungsversuch
- Tabelle 48: Algenversuch. Durchschnittliche Futterverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 1
- Tabelle 49: Algenversuch. Durchschnittliche Futterverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 2
- Tabelle 50: Algenversuch. Durchschnittliche Futterverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des gesamten Versuches
- Tabelle 51: Algenversuch. Jodkonzentration im Schweinefutter der Futtermischung 1 für die einzelnen Rationen mit um die Kontrolle korrigierten Werten und die sich ergebende Wiederfindungsrate
- Tabelle 52: Algenversuch. Jodkonzentration im Schweinefutter der Futtermischung 2 für die einzelnen Rationen mit um die Kontrolle korrigierten Werten und die sich ergebende Wiederfindungsrate

- Tabelle 53: Algenversuch. Jodkonzentration ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in Muskulatur, Fettgewebe, Herz, Leber und Nieren der Schweine aus den einzelnen Rationen (Werte ohne übereinstimmende Buchstaben unterscheiden sich signifikant mit $p < 0,05$)
- Tabelle 54: Algenversuch. Jodkonzentration im Urin in den einzelnen Rationsgruppen des Schweineversuchs
- Tabelle 55: Algenversuch. Konzentration der Schilddrüsenhormone T3 und T4 im Serum der Schweine der einzelnen Rationsgruppen nach Fütterungsabschnitt 1 und 2 (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $p < 0,05$)
- Tabelle 56: Erwarteter und gefundener Jodzusatz in mg/kg zu den Futtermischungen 1 und 2 der Schweine der mit KI bzw. Algen supplementierten Rationsgruppen
- Tabelle 57: Die Veränderung des Jodgehaltes in den einzelnen Geweben verglichen mit der Kontrollgruppe in %
- Tabelle 58: Die Veränderung des Jodgehaltes im Urin verglichen mit der Kontrollgruppe in %

Abkürzungsverzeichnis

ALT	Alaninaminotransferase
AMG	Arzneimittelgesetz
AP	Alkalische Phosphatase
As	Arsen
As ₂ O ₃	Arsenoxid
AST	Aspartataminotransferase
Ca	Calcium
Ce	Cer
Cl	Chlor
Cu	Cupfer
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DIT	Dijodthyrosin
dl	Deziliter
DNA	Desoxyribonucleinsäure
Eds.	Verleger
et al.	und Mitarbeiter
FMG	Futtermittelgesetz
FMVO	Futtermittelverordnung
FV	Futterverwertung
FVZ	Futterverzehr
g	Gramm
GZ	Gewichtszunahme
H ⁺	Wasserstoffion, Proton
HCl	Salzsäure
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
Hrsg.	Herausgeber
I ₂	elementares Jod
I ⁻	Jodid
IO ₃ ⁻	Jodat
ICCIDD	International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders
IDD	Iodine Deficiency Disorders
i.v.	intravenös
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht

KI ⁻	Kaliumjodid
KIO ₃ ⁻	Kaliumjodat
KOH	Kalilauge, Kaliumhydroxid
l	Liter
La	Lanthan
LD ₅₀	Mittlere letale Dosis
ME	umsetzbare Energie
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
MIT	Monojodthyrosin
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
n	normal (chemisch)
N	Stickstoff
Na	Natrium
NAA	Neutronenaktivierungsanalyse
nm	Nanometer
nmol	Nanomol
NaOH	Natriumhydroxid
NPS	Nicht-Stärke-Polysaccharide
P	Phosphor
p	Signifikanzwert
ppm	Parts per Million
REE	Rare Earth Elements
rT ₃	Reverses Trijodthyronin
t	Tonne
T ₃	Trijodthyronin
T ₄	Thyroxin
TRH	Thyreotropin-Releasing-Hormon
TS	Trockensubstanz
TSH	Thyreoidea-stimulierendes Hormon
TZ	Tageszunahmen
VRE	Vancomycin-resistente Enterokokken
WHO	World Health Organisation
ZnSO ₄	Sinksulfat

1. Einleitung und Aufgabenstellung

In der vorliegenden Arbeit sollten zwei verschiedene Fragestellungen behandelt werden. In ein und demselben Fütterungsversuch sollte die Wirksamkeit zweier verschiedener Stoffgruppen untersucht werden. Zum einen handelte es sich um Seltene Erden, die mit dem Ziel die Leistung von Mastschweinen zu verbessern, eingesetzt werden sollten. Zum anderen sollten dem Futter Algen zugesetzt werden, um zu überprüfen, ob auf diesem Weg eine Verbesserung der menschlichen Jodversorgung über den Umweg Lebensmittel tierischen Ursprungs zu erreichen sei.

Die verschiedenen Lebensmittelskandale der letzten Jahre verbunden mit dem häufigen Nachweis von Rückständen in Lebensmittel tierischen Ursprungs führten zu einer zunehmenden Sensibilisierung der Verbraucher gegenüber der Verwendung verschiedener Futterzusatzstoffe. In diesem Zusammenhang rückten v. a. antibiotische Leistungsförderer, die in den Verdacht gerieten für die Ausbildung und Ausbreitung multiresistenter Bakterien verantwortlich zu sein, in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Daraufhin kam es, im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes, zu einem Verbot bzw. dem Widerruf der Zulassung verschiedener antibiotischer Leistungsförderer. Seither sind lediglich noch vier Substanzen als Leistungsförderer auf dem Europäischen Markt zugelassen und diese werden bis Ende 2006 auch vom Markt verschwinden. Dies hatte ein steigendes Interesse an der Entwicklung alternativer Stoffe und Maßnahmen zur Folge, die auf einem ähnlichen Niveau die Leistung der Nutztiere zu steigern vermögen ohne dabei negativ auf die Resistenzentwicklung und die Rückstandsproblematik zu wirken.

Durch Zufall wurde das Augenmerk auf eine weitere Gruppe von Stoffen gelenkt. Hierbei handelte es sich um die Gruppe der Seltenen Erden. Sie finden mit geradezu sensationellen Ertrags- und Leistungssteigerungen seit mehreren Jahrzehnten in China Verwendung in der Tier- und Pflanzenproduktion. Trotz der erstaunlichen Erfolge in China fanden sich in der europäischen und amerikanischen Literatur bis vor kurzem keinerlei Hinweise auf diese Art der Leistungsförderung. Da die Wirkung von Leistungsförderern mitunter nur unter suboptimalen Bedingungen erzielt wird (Riedel-Caspari, 1988) und in direktem Zusammenhang mit Fütterungs-, Haltungs- und Hygienebedingungen steht (Greife und Berschauer, 1988a), ist eine direkte Übertragung der Ergebnisse der chinesischen Studien auf westliche Verhältnisse nicht möglich.

Einen Hinweis auf die leistungsfördernden Effekte Seltener Erden auch unter westlichen Bedingungen ergab sich auch in einem ersten Fütterungsversuch mit Ferkeln

(Rambeck et al., 1999). In diesem Versuch konnten die Gewichtszunahmen der Ferkel um 2 – 5 % und die Futtermittelverwertung um bis zu 7 % verbessert werden.

Ausgehend von den positiven Ergebnissen dieses Versuches war das Ziel dieser Dissertation die Wirkung der Seltenen Erden bei Mastschweinen über die gesamte Mastperiode zu erproben. Neben einer möglichen Beeinflussung der Leistung der Mastschweine sollte auch abgeklärt werden, ob und in welcher Höhe sich die Seltenen Erden in den lebensmittelrelevanten Geweben anreichern und welche Auswirkungen sich auf den Gesundheitszustand und die Eigenschaften des Schlachtkörpers ergeben würden.

In einem zweiten Teil der vorliegenden Dissertation sollten Meeresalgen als natürliche Jodquelle für Mastschweine untersucht werden.

Jod stellt für Mensch und Tier ein essentielles Spurenelement dar, dessen Mangel zu einer Reihe von Krankheiten führt. Trotz einer Verpflichtung im Jahre 1990 auf dem Welt-Kinder-Gipfel von 159 Regierungen bis zum Jahr 2000 eine ausreichende Jodversorgung aller Frauen und Kinder zu erreichen, müssen immer noch eine Reihe von Ländern als Jodmangelgebiet eingestuft werden. Zur Behebung des Jodmangels wurde als Mittel der Wahl die Einführung von jodiertem Speisesalz angesehen, was zu einer deutlichen Verringerung dieses Problems führte. Dennoch ist es u. a. auch in Deutschland noch nicht völlig gelöst worden. Es sind also unterstützende Maßnahmen erforderlich, um den Jodmangel weiter zu reduzieren. Eine Möglichkeit hierzu, die auch erfolgreich in Großbritannien praktiziert wurde, stellt die Anreicherung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs durch die Verfütterung von jodangereichertem Futter dar.

Das Futtermittelgesetz erlaubt für alle Tierarten eine Jodkonzentration von 10 mg/kg Futter. Ausnahmen bilden hier die Equiden (4 mg/kg) und die Fische (20 mg/kg) (FMV, 2000). Eine Reihe von Untersuchungen zeigte, dass durch die Anhebung des Jodgehaltes innerhalb dieser Grenzen eine deutliche Steigerung der Jodkonzentration in lebensmittelrelevanten Geweben ermöglicht. Eine Alternative zur Verfütterung von Jodsalzen stellen jodreiche Meeresalgen als natürliche Jodquelle dar.

In früheren Untersuchungen konnte schon erfolgreich nachgewiesen werden, dass durch die Verwendung von Algen der Jodgehalt in unterschiedlichen Lebensmitteln tierischen Ursprungs gesteigert werden, so z. B. in Hühnereiern (Ungelenk, 2000) oder im Fischfleisch (Kuznik, 2001 und Burkard, 2002).

In der vorliegenden Dissertation sollte nun überprüft werden, ob dies auch im Falle von Mastschweinen möglich sei. Ebenfalls sollten die Folgen für die Leistung, den Gesundheitszustand der Tiere und die Eigenschaften des Schlachtkörpers untersucht werden.

2. Literaturübersicht

2.1 Leistungsförderer

2.1.1 Definition

Leistungsförderer gehören laut Futtermittelgesetz (siehe § 2 des FMG) zu den Zusatzstoffen. Diese lassen sich in Zusatzstoffe mit und ohne Nährstoffcharakter unterteilen, wobei Leistungsförderer zu den letztgenannten gehören.

Unter Leistungsförderern versteht man Stoffe, die zu einer Minderung des Futterraufwandes bzw. zur Steigerung der Tageszunahmen führen. Bei den verwendeten Substanzen handelt es sich um chemisch-synthetisch oder fermentativ hergestellte Verbindungen, die ihre Wirkung über die Beeinflussung der mikrobiellen Aktivität im Magen-Darmtrakt oder über direkte Effekte auf den Intermediärstoffwechsel erzielen können (Greife und Berschauer 1988a).

Im Folgenden sollen auch Stoffe, die zu anderen Zusatzstoffgruppen gehören, aber auch einen leistungsfördernden Charakter besitzen (z.B. Kupfer), angesprochen werden.

2.1.2 Leistungsförderer mit antimikrobieller Wirkung

2.1.2.1 Historischer Überblick

Durch Verfütterung der bei der industriellen Antibiotikaherstellung anfallenden proteinreichen Pilzmycelien wurden Antibiotika ohne Wissen um ihren Nutzen als Leistungsförderer dem Tierfutter beigegeben. 1946 wurde bekannt, dass die Verfütterung von Antibiotika in subtherapeutischer Dosis eine erhöhte Gewichtszunahme und einen verminderten Futterraufwand zur Folge hat (Moore et al., 1946). In der folgenden Zeit wurden als Leistungsförderer die gleichen Wirkstoffe eingesetzt wie auch in der Therapie von Mensch und Tier allerdings in einer 10- bis 50mal geringeren Dosis, die später auf ein Hundertstel reduziert wurde.

Die Problematik der Zunahme resistenter Bakterienstämme und die Erkenntnis, dass die Antibiotikaresistenz übertragen werden kann, führte 1969 im so genannten Swann-Report zu der Forderung, die Verwendung für den nutritiven Einsatz auf solche Stoffe zu beschränken, die kaum oder keine therapeutische Bedeutung besitzen. Ebenso wurde gefordert, Stoffe auszuschließen, die zu Kreuzresistenzen mit therapeutisch wichtigen Stoffen führen.

Seit 1970 ist für Futterzusatzstoffe eine EU-Zulassung nötig (Richtlinie des Rates der EG über Zusatzstoffe in der Tierernährung; 70/524 EWG vom 23. November 1970).

Dieser folgte 1976 in Deutschland ein Verbot von Tetracyklinen als Futteradditiva (Futtermittelverordnung vom 16. Juni 1976).

Leistungsförderer als Futterzusatzstoffe sind in Schweden generell seit 1986 verboten. Die Schweiz folgte diesem Vorbild im Jahre 1999.

Zurzeit (Stand April 2003) stehen in der EU noch vier Stoffe (siehe Tabelle 1) als Leistungsförderer zur Verfügung, nachdem 1996 Avoparcin und im Juli/September 1998 die übrigen verboten bzw. ihre Zulassung widerrufen worden war. Aber auch diese vier Substanzen werden bis Ende 2006 als Leistungsförderer aus dem Verkehr gezogen.

Substanz	Geflügel ¹⁾	Schwein- Aufzucht	Schwein- Mast	Mastrinder- Aufzucht	Mastrinder - Mast
Avilamycin	2,5/10	20/40	10/20	--	--
Flavophospholipol	1/20	10/25	1/20	6/16	2/10
Monensin-Na	--	--	--	--	10/40
Salinomycin-Na	--	30/60	15/30	--	--

1) Art- und Altersunterschiede

Tabelle 1: In der EU zugelassene Leistungsförderer (Mindest- /Maximalgehalte in mg/kg Futter) (aus Kamphues und Hebel, 1999)

2.1.2.2 Wirksamkeit antimikrobieller Leistungsförderer

Wie bereits ausgeführt werden unter der Bezeichnung Leistungsförderer Stoffe zusammengefasst, die den Futteraufwand reduzieren und die täglichen Zuwachsraten erhöhen. Das Ausmaß der leistungssteigernden Effekte ist dabei von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Diese sind u. a. Art und Dosierung der verwendeten Substanz, Tierart und -alter, Haltungs- und Hygienebedingungen (Greife und Berschauer, 1988a). So lassen sich z.B. altersabhängige Unterschiede erkennen. Die erzielten Leistungsverbesserungen nehmen mit zunehmendem Alter ab. Der leistungssteigernde Effekt ist zudem in einer hinsichtlich Hygiene und Futterzusammensetzung suboptimalen Umgebung weitaus höher (Richter et al., 1996). Über die Höhe der Leistungsverbesserung liegen eine Vielzahl von Publikationen vor (siehe Tabelle 2)

Tierart	Tageszunahmen (%)	Futterraufwand (%)	Autoren
Schwein			Birzer u. Gropp 1991
<25 kg	+ 16	- 9,0	
25 - 50 kg	+ 9,0	- 5,5	
>50 kg	+ 3,5	- 3,0	
Huhn (Broiler)	3,6	-3,4	Rosen 1995
Rind (Mastbulle)	3,4	-7,1	Flachowsky et al. 1994

Tabelle 2: Effekte von Leistungsförderern auf Tageszunahmen und Futterraufwand (kg Futter je kg Zunahme) (aus Kamphues 1997)

Die Futtereinsparung führt wiederum zu einer Erniedrigung der Ausscheidung von Nährstoffen über den Kot und zu einer Reduzierung der Methanbildung beim Wiederkäuer. Ein Verzicht auf Leistungsförderer würde in Deutschland zu einer jährlichen Mehrbelastung von 30700 t Stickstoff und 6400 t Phosphor aus der Broiler-, Legehennen-, Schweine- und Rinderhaltung führen (Birzer und Gropp, 1991).

Neben den Effekten auf die Fütterungsparameter lassen sich folgenden Wirkungen erzielen (Birzer und Gropp 1991):

- Verringerung der Mortalität, v. a. in der Aufzuchtphase
- Rückgang der Krankheitsanfälligkeit
- einheitlichere Entwicklung der Tiergruppen (Anzahl der Kümmerer sinkt, Gleichförmigkeit des Mastendgewichtes nimmt zu)

2.1.2.3 Wirkungsweise antibakterieller Leistungsförderer

Zur Erklärung der Wirkung der antibakteriellen Leistungsförderer wurden zwei verschiedene Theorien entwickelt: die Darmfloratheorie und die Intermediärtheorie.

Darmfloratheorie

Die antibakterielle Eigenschaft der oben genannten Leistungsförderer ließ den Schluss auf eine direkte Beeinflussung der Darmflora nahe liegen. Diese lokale Wirkung im Gastrointestinaltrakt zeigt sich in einer Veränderung der Zusammensetzung der Darmflora durch Begünstigung bestimmter Bakterienspezies, in einer Veränderung der lokalen bakteriellen Besiedlung einzelner Darmabschnitte und einer Verringerung der mikrobiellen Stoffwechselaktivität (Henderickx, 1981). Insgesamt ist letztere von größter Bedeutung.

Durch die Beeinflussung der Darmflora ergeben sich folgende Veränderungen:

- Verbesserung der Nährstoffausnutzung durch eine Verringerung des bakteriellen Abbaus, z.B. geringerer Abbau von Glucose zu Milchsäure durch Verringerung der Anzahl an Lactobazillen durch Virginiamyzin (Henderickx, 1981) und Verbesserung der biologische Wertigkeit einer Futtermischung durch den geringeren Abbau von limitierenden Aminosäuren wie Lysin (Rattay, 1998).
- Verringerung der Toxinbildung, wie beim Proteinabbau anfallender Ammoniak, biogener Amine (z.B. Cadaverin, Tyramin) und dadurch verringerte Belastung des tierischen Organismus (Henderickx, 1981).
- Steigerung der Synthese von essentiellen Nährstoffen wie B-Vitaminen
Von Monson et al. wurde 1953 an folsäuremangelernährten Küken nach Antibiotikafütterung eine Vermehrung von folsäuresynthetisierenden Coli-Bakterien im Dünndarm beobachtet. Diese Folsäure konnte von den Küken genutzt werden, wie der Anstieg der Vitaminkonzentration in der Leber bei gleich bleibender Konzentration im Darminhalt zeigte.
- Anatomische Veränderungen am Darm, die zu einem Zustand ähnlich dem keimfrei gehaltener Tiere führt. Dazu gehören verringerte Dicke der Lamina propria des Dünndarms und des lymphatischen Bindegewebes, verlängerte Halbwertszeit der Mucosazellen (Flachowsky und Schulz, 1997) und geringere narbige Veränderungen durch subklinische Infektionen wie sie bei konventionell gehaltenen Tieren zu finden sind. Die Folgen sind eine verbesserte Resorption und geringerer Energie- und Nährstoffaufwand für die Instandhaltung eines intakten Epithels.

Intermediärtheorie

Neben der Theorie, die den Hauptangriffspunkt der antibakteriellen Leistungsförderer in der Beeinflussung der Darmflora sieht, entwickelten Kaemmerer und Schole die Intermediärtheorie. Die erzielte Steigerung der Proteinsynthese in verschiedenen Geweben und die Dämpfung von Stress-Spitzen konnte auch durch inaktivierte Antibiotika und deren Abbauprodukte (Kaemmerer und Fink, 1982) erreicht werden.

Schöle geht in seiner Theorie davon aus, dass wachstumsfördernde Substanzen wie ein Hormon wirken können, dies aber ohne Gewebespezifität (Schöle et al., 1985). Durch Hemmung von membranständigen Flavinenzymen kommt es zu einer verminderten Oxydation des Gluthathionsystems und somit kann die reversible Inaktivierung verschiedener Synthesysteme wieder aufgehoben werden. Eingeleitet wird die Flavinenzyminhibierung durch ein im Co-Enzym intermediär auftretendes N-Radikal (Schöle, 1982), zu dessen

Interferenz so unterschiedliche Substanzen wie einfache Schwermetallionen, Naturstoffe (z.B. Knoblauch und Meerrettich) oder Antibiotika fähig sind. Die Aktivierung dieser „anabolen Kaskade“ zieht eine katabole Gegenregulation über Nebenniere und Schilddrüse nach sich. Durch eine die Reizschwelle langsam erreichende und überschreitende acrobat Flavinenzymhemmung durch die Leistungsförderer kommt es auch zu einer langsam einsetzenden katabolen Gegenregulation, durch deren Energiebereitstellung zusammen mit der erhöhten Syntheserate das Wachstum erst ermöglicht wird (Schole, 1971).

Aus beiden Theorien lässt sich ein sich gegenseitig ergänzendes Schema (siehe Abbildung 1) mit der Folge eines Futtermehrverzehr erstellen.

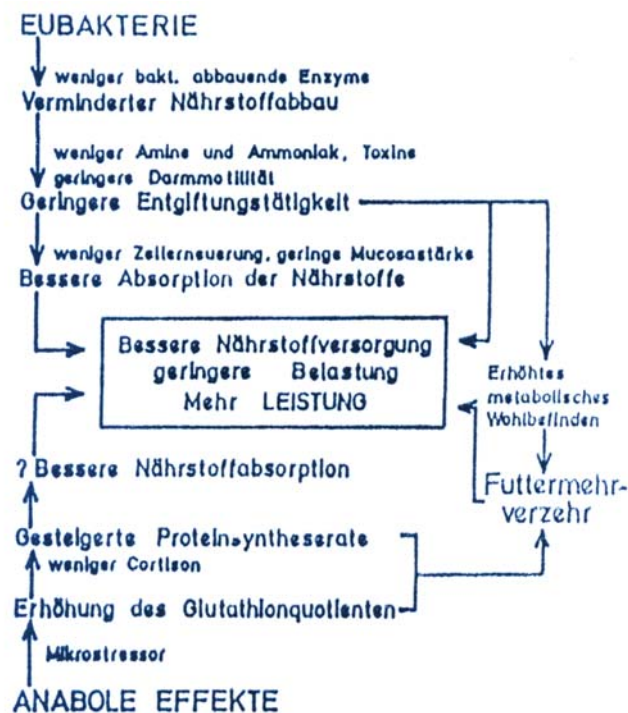


Abbildung 1: Schema der Wirkungsweise von Leistungsförderern, Gropp J. 1986

2.1.2.4 Risiken des Einsatzes antibakterieller Leistungsförderer

Unspezifische Risiken

Wie für andere Futterzusatzstoffe und Arzneimittel gilt auch für Leistungsförderer, dass ihr Einsatz mögliche Effekte und Gefahren für Mensch und Tier beinhaltet. Folgende unspezifische Risiken können von antibakteriellen Leistungsförderern ausgehen:

- Allergische Potenz der Substanz

Beim intensiven Hautkontakt mit Olaquinox (seit 01.09.1999 verboten) kann es beim Menschen zu photoallergischen Reaktionen mit der möglichen Folge einer chronisch photosensitiven Dermatitis kommen (Schauder, 1991).

- Toxische Wirkung nach Überdosierung
Überdosierungen mit Carbadox oder Olaquinox können bei Schweinen zu Degenerationen in der Nebenniere führen. Von Kamphues (1994) wurde bei Untersuchung von insgesamt 1396 Futterproben in knapp 2 % der Fälle eine Überdosierung eines Leistungsförderers nachgewiesen.
- Anwendung bei nicht zugelassener Tierart
Die Anwendung eines Leistungsförderer bei einer nicht zugelassenen Tierart kann schwerwiegende, in manchen Fällen sogar letale Folgen haben, wie bei der Verfütterung eines für Schweine oder Rinder bestimmten Ionophoren-haltigen Futters (z.B. mit Monensin-Natrium) an Pferde oder Kaninchen (Dost, 1980).
- Unverträglichkeit mit Therapeutika
Diese sind wiederholt bei Schweinen und Hühnern aufgetreten, die mit Tiamulin behandelt wurden und gleichzeitig ein Futter mit Monensin oder Salinomycin erhielten (Kamphues, 1993).
- Rückstände im Lebensmittel
Zu diesen Rückständen kann es durch Überdosierung, Futtermittelverwechslung (z.B. Verfütterung eines Rindermastfutters an Milchkühe), Schlachtung vor Ende der Wartezeit oder vor Erreichen des üblichen Mastendgewichtes kommen. Auch bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen ist die Rückstandsbildung nicht ausgeschlossen.

2.1.2.5 Resistenzproblematik

Die Diskussion über ein Verbot aller antibakteriellen Leistungsförderer wird v. a. auf dem Hintergrund ihrer möglichen Beteiligung bei der Bildung multiresistenter Keime geführt.

Bakterielle Resistenzen können durch Spontanmutation im Genom oder durch übertragbare Resistenz auf einem Plasmid oder Transposon verursacht werden (Smith und Lewin, 1993).

Plasmide sind doppelsträngige extrachromosomale DNA - Sequenzen, die sich unabhängig von der chromosomalen DNA vermehren und über den Vorgang der Konjugation zwischen Keimen derselben und verschiedenen Spezies ausgebreitet werden (Werckenthin und Schwarz, 1997). Trägt das Plasmid ein resistenzvermittelndes Gen, so wird es auch als R-Plasmid bezeichnet.

Transposone sind ebenfalls doppelsträngige DNA - Elemente, die sich aber nicht eigenständig vermehren können. Sie werden auch als „springende Gene“ bezeichnet, da sie zum Ortwechsel z.B. von der chromosomalen DNA auf ein Plasmid fähig sind (Werckenthin und Schwarz, 1997).

Unter dem Einfluss eines Antibiotikums besitzen Bakterien mit einer Resistenz gegen dieses einen Selektionsvorteil und können sich vermehren. Solange nach dem Einsatz von Antibiotika diese Resistenzen auf den Leistungsförderer beschränkt bleiben, sind sie von untergeordneter Rolle. Da aber auch Kreuzresistenzen gegenüber für die Humanmedizin und die Tiermedizin wichtiger Antibiotika entstehen können, wie z.B. zwischen dem Leistungsförderer Avoparcin und dem Humantherapeutikum Vancomycin, ist ihr Einsatz kritisch zu beurteilen. Ein eindeutiger allgemeingültiger Beweis für den Zusammenhang zwischen dem Einsatz als Leistungsförderer und der Resistenzentwicklung steht allerdings noch aus, wie das Beispiel der Vancomycin-resistenden Enterokokken und der Einsatz von Avoparcin als Leistungsförderer zeigt (Tabelle 3) (Kirst et al., 1998)

	USA	GB	DK
Häufigkeit von VRE-Infektionen beim Menschen	++++	+	0
Gebrauch von Avoparcin	0	+++	+++
Verbrauch von Vancomycin - in 1996 (kg/Jahr) - pro Einwohner (mg/Person)	11279 42,5	320 5,4	60 11,4

Tabelle 3: Infektionen mit Vancomycin-resistenten Enterokokken (VRE) beim Menschen in Beziehung zum Avoparcin-Einsatz in der Tierproduktion (Kirst et al., 1998)

Als Hinweis für eine mögliche Beteiligung der Leistungsförderer soll der Zusammenhang zwischen dem Verzehr von Hamburgern aus mit Chlortetracyclinen in subtherapeutischen Dosen gefütterten Rinder und dem Auftreten von Infektionen mit Salmonella newport bei Menschen in den USA dienen (Holmberg et al. 1984).

2.1.3 Kupfer

2.1.3.1 Kupfer als Spurenelement

Kupfer, ein rotgoldfarbiges Edelmetall, steht an der 29. Stelle des Periodensystems. Für alle Säugetiere stellt es ein essentielles Spurenelement dar, das in der Größenordnung von 5 - 10 ppm im Futter von Schweinen benötigt wird. Jedes in der Praxis gebräuchliche Schweinefutter erfüllt diese Anforderung.

Von dem mit dem Futter aufgenommenen Kupfer werden nur 2 – 10 % (Bowland et al. 1961) aus dem Darm resorbiert, wobei der Prozentsatz mit steigender Kupferkonzentration im Futter sinkt (Kirchgessner et al., 1963). Im Blut ist der Kupfergehalt mit 0,12 - 0,15 mg/100 ml relativ gering. Ein Überschuss an Kupfer wird in der Leber und in geringerem Anteil auch in den Nieren gespeichert, wobei es kurze Zeit nach Absetzen des kupferhaltigen Futters in beiden Organen wieder in physiologischer Konzentration vorliegt. Die Ausscheidung erfolgt zu 40 % über die Galle und nur zu einem geringen Anteil über den Harn (Braude, 1967).

Kupfer erfüllt im Organismus verschiedene Aufgaben (Braude, 1967):

- wichtiges Spurenelement für die normale Erythropoese
- Teil einer Reihe von Enzymen, deren Aufgaben erst zum Teil bekannt sind
- Funktion bei Pigmentation, Keratinisation der Haare, Knochenbildung, Fortpflanzung. Myelisierung des Rückenmarkes

2.1.3.2 Kupfer als Leistungsförderer

Die leistungsfördernde Potenz von Kupfer wurde in etwa zeitgleich mit der von Antibiotika entdeckt. Seitdem wird es in großem Ausmaß mit vergleichbaren bzw. besseren Ergebnissen (Barber et al., 1955, Meyer und Kröger, 1973b) in der Schweinefütterung eingesetzt. Futtermittelrechtlich zugelassen ist ein Höchstgehalt von 175 mg/kg Futter bis zu einem Alter von 16 Wochen und bei älteren Tieren 35 mg/kg Futter (Anlage 3 zu FMVO). Eingesetzt werden können Kupferacetat, -carbonat, -chlorid, -oxid, -sulfat und -methionat.

Die erreichbaren Leistungsverbesserungen sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig (siehe Tabelle 4).

Einflussfaktor	Auswirkung
Cu-Dosierung	Zulagen von 62,5 ppm nahezu wirkungslos, 100 - 150 ppm bei 15 - 60 kg schweren Tieren Gewichtszunahme GZ + 11,6 % und Futtermittelverwertung FV - 7,9 % ab 375 ppm erste Leistungsdepressionen
Alter	Ferkel: GZ + 6,3 %, FV - 2,6 % bei 125 - 150 ppm Mast: im Abschnitt 15/30 bis 90/110 kg GZ + 7,4 %, FV - 4,6 % (250 ppm)
Art und Höhe der Eiweißergänzung	Anfangsmast tierisches Protein und geringer Proteinanteil, Endmast Sojaextraktionsschrot bessere Ergebnisse
Zn- und Fe- Gehalt	Einfluss zusätzlicher Gaben abhängig von Gehalt in Ration und von Eiweißart (bei Mais-Sojaextraktionsschrot von Vorteil)
Fütterungstechnik	nur geringe Beeinflussung; bei semirestriktiver und restriktiver Fütterung günstiger als ad libitum

Tabelle 4: Einflussfaktoren auf die Leistungsverbesserung durch Kupferzulagen und deren Auswirkung (Meyer und Kröger, 1973a)

Die Schlachtleistung und die Qualität der gewonnenen Lebensmittel werden nur geringfügig beeinflusst. Durch die Kupferzulage kommt es zu einer geringen Verkürzung des Schlachtkörpers und einer Vergrößerung (im Mittel um 3,6 %) der Fleischfläche auf dem Querschnitt hinter der letzten Rippe (Meyer und Kröger, 1973a). Durch die Fütterung von 250 ppm Kupfer wird der Wassergehalt der Muskulatur und der Organe um 1 -2 % erhöht. Die Leber verliert nicht nur 4,3 % ihres Gewichtes im Vergleich zu Kontrollen (Barber et al., 1957), auch ihr Eisengehalt verringert sich um ca. 50 %. Daneben kann es zu einer Veränderung der Fettzusammensetzung und damit auch der Fettkonsistenz kommen (Meyer und Kröger, 1973a).

Die Wirkungsweise der Kupferzulage ist noch nicht genau geklärt. Z.T. scheint wie bei Ferkeln die Futtermittelaufnahme deutlich gesteigert zu sein, wobei aber der Grund für die Stimulierung des Futtermittelverzehr nicht bekannt ist (Meyer und Kröger, 1973a).

Eine mögliche Beeinflussung der Darmflora mit ähnlichen Folgen wie für Antibiotika beschrieben lässt sich nicht ausschließen. Allerdings liegen noch keine eindeutigen Versuchsergebnisse vor, die diese Theorie beweisen würden. Bei Untersuchung der Auswirkung von Kupfer auf die Darmflora wurden z. T. keine Veränderungen in

Bakterienspezies und -zahl beobachtet (Smith und Jones, 1963). In anderen Versuchen wurden dagegen eine Verringerung der Streptokokken und eine Verschiebung hinsichtlich des vorherrschenden Typs von nicht-laktose-fermentierenden zu laktose-fermentierenden Streptokokken dokumentiert. Außerdem verringerte sich die Anzahl von *Lactobacillus acidophilus* zugunsten anderer *Lactobacillus*-Typen, v. a. *L. brevis* und *L. cellobiosus* (Fuller et al., 1960). Bei einer vergleichenden Untersuchung über die Wirkung von Kupfersulfat und -sulfid wurde außerdem eine durch ersteres hervorgerufene Verringerung der Anzahl der Pilze nachgewiesen (Barber et al. 1960).

2.1.3.3 Risiken durch die Kupferfütterung

Die Risiken, die von der Kupferfütterung ausgehen, lassen sich unterteilen in solche für das Tier und für den Menschen als Lebensmittelkonsumenten.

Risiken für das Tier

Die folgenden Risiken für das Tier entstehen v. a. ab einer Kupferdosierung von 250 ppm (Meyer und Kröger, 1973a):

- Erhöhung des Eisenbedarfes und als Folge bei nicht genügender Ergänzung Senkung des Hämoglobingehaltes im Blut und Entstehung einer microzytären hypochromen Anämie.
- Zn-Mangelsymptome, wie Parakeratose durch die Konkurrenzsituation an der Darmschranke und auf zellulärer Ebene.
- Cu-Vergiftung, die sich durch ungenügendes Wachstum, Appetitlosigkeit, Ikterus, in schweren Fällen auch Atembeschwerden und Übererregbarkeit äußert. Als Ursache wird eine Leberzellschädigung als Folge des Überschreitens eines kritischen Blutkupferspiegels angesehen.
- Magengeschwüre, die als Folge der Ätzwirkung der Kristalle v. a. nach deutlicher Überdosierung oder in seltenen Fällen bei Verwendung zu großer Sulfatkristalle auch bei nutritiver Dosis beobachtet werden.
- Gefahr der Kupfervergiftung anderer Spezies, z.B. Schafe bei Weidegang auf mit kupferhaltiger Schweinegülle gedüngten Wiesen oder durch falsche Dosierung von Kupfer im Mineralfutter.

Risiken für den Menschen

Da das absorbierte Kupfer zu einem Teil im Organismus gespeichert wird, entsteht hieraus für den Verbraucher eine Gefährdung durch eventuell vorliegende Rückstände in den Organen und im Muskel. Der Hauptspeicherort für Kupfer ist die Leber. Die hier retinierte Menge ist allerdings von einer Vielzahl von Faktoren, wie Kupferdosierung, Dauer der Beifütterung, Einfluss anderer Spurenelemente abhängig und zwischen den Leberlappen und verschiedenen Tieren sehr unterschiedlich (Meyer und Kröger, 1973a). Die Beschränkung der Kupferfütterung auf 16 Wochen ermöglicht einen deutlichen Rückgang der Kupferkonzentration in der Leber bis zum Zeitpunkt der Schlachtung.

Als Nebeneffekt tritt durch die Kupferzulage eine Erhöhung der Cadmiumkonzentration in Nieren, Leber und Muskulatur auf (Rambeck et al., 1991). Eine Verringerung der Konzentration dieses für Mensch und Tier toxischen Schwermetalls ist durch Zusatz von Vitamin C zum Futter möglich (Rothe et al., 1994).

Bei der Betrachtung der Gefahren für den Menschen, aber auch Tiere ist eine mögliche Beteiligung von Kupfer bei der Entstehung von Antibiotika resistenten Bakterien ähnlich der, wie sie für Schwermetalle beschrieben wurde (Joly und Cluzel, 1975). So konnte gezeigt werden, dass bedarfsüberschreitende Kupferkonzentrationen die Selektion von Escherichia-coli-Keimen mit Resistenz gegen Chloramphenicol begünstigen.

2.1.4 Enzyme mit leistungsfördernder Wirkung

Bis vor 15 Jahren bestand zwischen den Herstellungskosten und dem Nutzen von leistungssteigernden Enzymen ein zu großes Missverhältnis. Erst durch die Fortschritte in der Biotechnologie wurde die Produktion kostengünstiger und substratspezifischer Präparate möglich und somit ihr breitflächiger Einsatz wirtschaftlich (Broz, 1991).

NSP-spaltende Enzyme

Mit der Abkürzung NSP wird die Gruppe der Nicht-Stärke-Polysaccharide, die auch unter anderen Bezeichnungen wie Rohfaser oder Ballaststoffe bekannt sind, bezeichnet. Zu dieser gehören u. a. Arabinoxylan und beta-Glucan, die sich als Gerüstkohlenhydrate in unterschiedlichem Anteil (z.B. Gerste: hoher Anteil Arabinoxylan und beta-Glucan, Weizen: hoher Anteil Arabinoxylan und niedriger beta-Glucan) in den Getreidekörnern befinden. Ihre

antinutritive Wirkung entsteht aus dem Fehlen endogener Verdauungsenzyme. Die unverdauten Nicht-Stärke-Polysaccharide führen zu einer erhöhten Viskosität des Chymus, dem so genannten Käfigeffekt (Einschluss von Nährstoffen und damit Unzugänglichmachung für Verdauungsenzyme) und einer Beeinflussung der Darmflora (Haberer und Schulz, 1998).

NSP-spaltende Enzyme gehören zu den Hydrolasen, z.B. Xylanase oder Cellulase, die von verschiedenen Mikroorganismen, wie *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis* oder *Penicillium funiculosum* synthetisiert werden. Ihre Verfütterung ist ebenfalls in Anlage 3 der Futtermittelverordnung festgelegt. Eingesetzt werden Enzympräparate, die Aktivitäten mit unterschiedlicher NSP-Spezifität in variierendem Verhältnis enthalten, wobei meist nur die Hauptaktivitäten angegeben werden (Haberer und Schulz, 1998).

Die Wirkung der NSP-spaltenden Enzyme ist beim Schwein von geringerem Umfang als beim Broiler. Ihr Ausmaß ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie der verwendeten Ration und dem Alter der Tiere. Die erzielten Verbesserungen der Leistungsparameter zeigen erhebliche Schwankungen, z.B. von nicht signifikant bis zu einer 15 % erhöhten Lebendmassezunahme (Vahjen und Simon, 1997).

Haberer und Schulz (1998) werteten 157 Literaturangaben aus und kamen dabei zu folgenden Ergebnissen:

Getreideart	Mastabschnitt	FVZ	GZ	FV
Gerste- betont	< 60 kg	+ 1,9 %	+ 4,4 %	- 2,3 %
dto.	> 60 kg	+ 0,6 - 0,7 %	+ 3,3 - 3,7%	- 2,4 %
Weizen-Gerste	< 60 kg	+ 1,5 %	+ 4,4 %	- 2,2 %
dto.	> 60 kg	+ 2,8 %	+ 5,1 %	- 2,7 %
Weizenmischun g	< 60 kg	+ 2 %	+ 9,3 %	- 6,6 %
dto.	> 60 kg	+ 1,8 %	+ 5 %	- 2,9 %
Roggenmischun g	< 60 kg	+ 2,5 %	+ 5,9 %	- 3,6 %
dto.	> 60 kg	+ 2,5 %	+ 4,9 %	- 3,3 %
Hafermischung	< 60 kg	- 6 %	+ 3,7 %	- 9,6 %

Tabelle 5: Veränderung der Fütterungsparameter durch NSP-spaltende Enzyme unter Berücksichtigung der Futtermischung und der Lebendmasse der Schweine (FVZ = Futterverzehr, GZ = Gewichtszunahme, FV = Futterverwertung) (nach Haberer und Schulz, 1998)

Neben der Beeinflussung der Fütterungsparameter wurde außerdem von einem Rückgang der Durchfallshäufigkeit berichtet (Inbarr und Ogle, 1988).

Der der Leistungsverbesserung zugrunde liegende Mechanismus ist der partielle Abbau der NSP im vorderen Verdauungstrakt (Simon, 1998). Daraus folgt:

- Abnahme der Viskosität des Darmchymus (Burnett, 1966)
- Aufschluss von Zellwandstrukturen, die die Nährstoffe umgeben (Minderung des Käfigeffektes) (Hesselmann und Aman, 1986)
- Beeinflussung der Darmflora (Vahjen und Simon, 1997) durch Beeinflussung des Nahrungsangebotes und Beschleunigung der Darmpassage

Phytase

Pflanzliches Phytat bindet einen Teil des Phosphors, den das Tier mit der Nahrung aufnimmt. Durch den Einsatz von Phytase kann das Phytat abgebaut und so Phosphor freigesetzt werden. Dadurch konnte bei Ferkeln mit 0,48 % Phosphor im Futter das gleiche Wachstum erreicht werden wie bei Ferkeln mit 0,6 % Phosphor (Birzer und Gropp, 1991). Aus diesem Phosphor-Spareffekt resultiert eine um 35 % erniedrigte P-Ausscheidung, was bei 37 Millionen Schlachtschweinen jährlich eine um 9250 t niedrigeren Belastung des Bodens ergäbe.

Durch Abbau des Phytats wird außerdem die Pufferkapazität des Futters gesenkt, was eine raschere Durchsäuerung im Magen ermöglicht und es kommt zu einer besseren Verfügbarkeit z.B. Calcium und Zink.

2.1.5 Organische Säuren und ihre Salze

Zu den organischen Säuren und ihren Salzen, deren Verfütterung als Konservierungsstoffe in Anlage 3 der Futtermittelverordnung geregelt ist, die aber auch der Leistungsverbesserung dienen können, gehören Ameisensäure, Essig-, Propion-, Fumar-, Zitronensäure, Na- und Ca-Formiat und Ca-Propionat. Sie unterscheiden sich durch ihre Säurestärke, Energiegehalt, Geschmack- bzw. Geruch und ihre Löslichkeit.

Abhängig von Art der Säure, Dosierung und Alter der Tiere sind Leistungsverbesserungen möglich, die vergleichbare Höhe wie bei antibiotischen Leistungsförderern erreichen (siehe Tabelle 6) Insgesamt lassen sich die höchsten Leistungssteigerungen in der Ferkelaufzucht gefolgt von Kälberhaltung und Rindermast erzielen. Die geringsten Auswirkungen erreicht man in der Schweinemast. (Freitag et al., 1999a)

Säure	Dosis	FVZ	GZ	FV	Autor
Fumarsäure	2 %	+ 5,2 %	+ 11,6 %	- 7 %	Kirchgessner Roth 1976
Zitronens.	2 % bis 21. d 1 % bis Ende	- 3 %	+/- 0 %	- 3 %	Bolduan et al. 1990
Ca-Formiat	1,3 %	o. A.	+ 7,1 %	- 3,8 %	Kirchgessner Roth, 1987

Tabelle 6: Wirkung von Säurezusätzen auf die Leistungsparameter Futterverzehr FVZ, Gewichtszuwachs GZ und Futterverwertung FV bei der Ferkelfütterung

Neben der Leistungsverbesserung wird auch von einer sinkenden Mortalität und Morbidität der Ferkel berichtet. So konnten in einem Versuch von Bolduan et al. (1990) die Anzahl der Ferkelverluste um bis zu 50 % verringert werden. In diesem Versuch wurden organische Säuren auch zur Ergänzung des Sauenfutters verwendet. Dabei ergaben sich Verbesserungen im Gesundheitszustand der Sauen und der Ferkel und bessere Zunahmen der Ferkel.

Die Entstehung der Leistungsverbesserung lässt sich folgendermaßen erklären (Kirchgessner und Roth, 1988):

- Absenkung des pH-Wertes im Futter und damit Hemmung der Bakterien in Futter und Verdauungstrakt. Bei Ferkeln ist die Salzsäureproduktion im Magen häufig nicht ausreichend mit der Folge einer unzureichenden Pepsinogenaktivierung und Wegfallen der Barrierefunktion des Magens gegenüber Bakterien, die sich nun ungehindert bis in den Dünndarm vermehren können.
- Erhöhung der Verdaulichkeit der Nährstoffe
- positive Beeinflussung des Mineralstoffhaushaltes durch Erhöhung der scheinbaren Absorption
- Auswirkungen auf den Intermediärstoffwechsel
- Energetische Nutzung der Säuren, die wie Fumarsäure ähnlich effizient wie Glucose abgebaut werden.

Gegen den Einsatz von Zitronen- und Fumarsäure sprechen die hohen Kosten, die hiermit verbunden sind. Durch Entdeckung der ergotropen Effekte der bei weitem billigeren Ameisensäure und ihren Salzen, konnte dieser Nachteil beseitigt werden.

2.1.6 Pro- und Prebiotika

Schon Anfang des 20. Jahrhunderts wurde von Metchnikoff der Zusammenhang zwischen der hohen Lebenserwartung der Kosaken und ihrem Konsum durch *Lactobacillus bulgaricus* fermentierter Milchprodukte erkannt. Erst in den 60ern und 70ern dieses Jahrhunderts beschäftigte man sich eingehender mit Probiotika und Mitte der 80er kamen schließlich erste leistungsfähige Produkte für die Tierernährung auf den Markt.

Im Laufe der Jahre veränderte sich die Definition des Begriffes Probiotika bis zu der heute geläufigen. Danach versteht man unter Probiotika lebende, mikrobielle Zusatzstoffe, die die Darmflora für das Wirtstier günstig beeinflussen (Fuller, 1992).

Eingesetzt werden in der Tierernährung Probiotika aus drei verschiedenen Gruppen:

- Milchsäurebakterien der Gattungen *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* und *Enterococcus*, die bestimmte Zuckerarten zu Milchsäure vergären.
- Sporen der Gattung *Bacillus*
- Hefen wie *Saccharomyces cerevisiae*

Die Folgen einer Probiotikafütterung sind Leistungsbeeinflussung, gleichmäßigeres Wachstum innerhalb der Gruppe, Herabsetzung der Durchfallhäufigkeit und der Tierverluste und dadurch u. a. geringerer Kostenaufwand für Arzneimittel (Busch et al., 1999).

In der Literatur finden sich sowohl Angaben über Leistungsverschlechterung als auch –verbesserungen, die sogar die der antibiotischen Leistungsförderer übertreffen (siehe Tabelle 7).

Produktionszweig	Tägliche Zunahmen	Futtermittelverbrauch
Ferkelaufzucht	+ 4,8 % (- 8,1 bis + 24,3)	- 1,5 % (+ 3,1 bis - 9,3)
Kälberaufzucht	+ 5,4 % (- 5,3 bis + 21,7)	- 2,5 % (+ 3,6 bis - 7,9)
Schweinemast	+ 3,7 % (- 0,3 bis + 6,7)	- 5,1 % (- 1,4 bis - 7,1)
Rindermast	+ 3,4 % (- 4,3 bis + 7,2)	- 2,7 % (+ 7,6 bis - 4,7)

Tabelle 7: Einfluss verschiedener Probiotika auf die Leistung einiger landwirtschaftlicher Nutztiere (aus Busch et al., 1999)

Zur Wirkungsweise der Probiotika ergeben sich folgende Erklärungsansätze, die v. a. aus der Erforschung von Lactobazillen stammen, welche allerdings in der Tierernährung nur eine untergeordnete Rolle spielen:

- Förderung erwünschter Keime der Darmflora
- Hemmung unerwünschter Bakterien durch verschiedene Mechanismen wie Bildung eines Biofilms, kurzkettiger Fettsäuren, Absenkung des pH-Wertes, Besetzung der Anheftstellen und Abgabe von antibiotisch wirkenden Stoffwechselprodukten (Gedek, 1986, Fuller, 1989 und Kühn, 1998)
- Erhöhung der Aktivität bestimmter Enzyme, z.B. beta-Galactosidase mit der Folge einer verbesserten Laktoseverdauung (Garvie et al., 1984)
- Verringerung der Konzentration an unerwünschten Stoffen durch Bindung und/oder Abbau
- Stimulation der lokalen Immunität im Darm (Kühn, 1998)
- Erhöhung der Nährstoffaufnahme, z.B. von Glukose und Alanin bei Hefezugabe zum Futter (Breves et al., 1998)
- verringerter Abbau von Gallensäuren und damit ein positiver Einfluss auf die Fettresorption
- Verringerung der Darmschleimhautdicke und Abflachung der Darmzotten (Gedek, 1993)
- Verminderter Wasserverlust über den Darm durch Abdichtung der parazellulären und transzellulären Barriere (Breves et al., 1998)

Als Problem bei der Fütterung von Probiotika ergibt sich die Notwendigkeit der Lebensfähigkeit der Bakterien, Hefen und Sporen. Diese ist durch eine je eingesetzte Art entsprechende Behandlung und Verfütterung in trockener oder flüssiger Form zu

gewährleisten. Beeinflusst wird die Probiotikawirkung außerdem durch die Futterherstellung. So wird z.B. bei Verfütterung von isolierter Maisquellstärke der pH-Wert deutlich abgesenkt, während er bei Verfütterung von Maisschrot unverändert bleibt (Kienzle et al., 1999).

Bei der praktischen Anwendung muss wie bei jedem Futterzusatzstoff der Verbraucherschutz Priorität besitzen. Eine Gefährdung von Mensch und Tier durch den Einsatz von Probiotika liegt in keinem Fall vor, von der Resistenzproblematik bleiben sie unberührt und beim Verbraucher haben sie eine hohe Akzeptanz. Die heute erhältlichen Präparate sind allerdings noch relativ teuer.

Eine Alternative zur Verfütterung von Keimen stellt die Zugabe von Prebiotika zum Futter dar. Prebiotika sind von Säugetieren nicht verdaubare Futterinhaltsstoffe, die Wachstum und Aktivität einer bzw. einer geringen Anzahl von Bakterienarten der Darmflora fördern (Gibson und Roberfoid, 1995). Verwendung finden v. a. Inulin und andere Oligofruktosen daneben besitzen auch andere natürliche und synthetische Oligosaccharide prebiotischen Charakter. Oligofruktosen sind in einer Reihe von Gemüse z. T. in großen Mengen enthalten. Dazu gehören Spargel, Schwarzwurzel, Porree, Zwiebeln, Lauch, Artischocke, Topinambur und Chicoreewurzeln, aus der Inulin in großen Mengen extrahiert wird (Hamm, 2000).

Prebiotika gelangen wegen fehlender körpereigener Enzyme unverdaut in den Dickdarm und werden dort v. a. von Bifidusbakterien und Lactobazillen verstoffwechselt. Dies führt zu einer deutlichen Vermehrung dieser Bakterien und einem Rückgang potentiell krankmachender Keime (Wang und Gibson, 1993).

Als Endprodukt der bakteriellen Fermentation entstehen aus Oligofruktosen wie Inulin kurzkettige Fettsäuren (v. a. Acetat, Propionat und Butyrat), organische Säuren (Lactat, Succinat und Pyruvat) und Ethanol (Cummings et al., 1989). Diese werden u. a. für die durch Probiotika zu erreichenden positiven Effekte verantwortlich gemacht.

Des Weiteren wird für die günstige Wirkung der Prebiotika die Verhinderung der Anheftung pathogener Keime an das Darmepithel verantwortlich gemacht. Ungeklärt ist allerdings, ob sie Anheftungsstellen des Darmepithels besetzen oder die Bindungsstellen an der Bakterienoberfläche. Erzielt wird dadurch die v. a. bei Jungtieren erhöhte Resistenz gegenüber Durchfallserkrankungen (Kühn et al., 1999).

Über den Einsatz von Prebiotika als Leistungsförderer liegen nur wenige, widersprüchliche Arbeiten vor. Die Ergebnisse reichen von sehr guten Leistungsverbesserungen hinsichtlich Gewichtszunahme, der Futtermittelverwertung, Mortalität und Durchfallhäufigkeit (Wu et al., 1999) bis hin zu keinerlei ergotropen Effekte (Peet-Schwering et al., 1999).

2.1.7 Hormone

Das Wachstum wird durch eine Vielzahl von Hormonen beeinflusst. Eine Übersicht über die daran beteiligten Hormonsysteme und ihre Wirkung ist in Tabelle 8 dargestellt.

Hormon	Einfluss auf Wachstum und Proteinansatz	Einfluß auf Fettansatz
Insulin	+	+
Glukagon	(-)	(-)
Somatotropin Releasinghormon	(+)	(-)
Somatotropin	+	-
Somatomedine	+	(+)
Somatostatin	-	(-)
Adrenalin, Noradrenalin	(+)	-
Trijodthyronin, Thyroxin niedrig dosiert hoch dosiert	+	(-)
	-	-
Glucocorticiode niedrig dosiert hoch dosiert	(+)	(+)
	-	-
Androgene	+	(-)
Östrogene niedrig dosiert hoch dosiert	+	(-)
	-	+

Tabelle 8: Multifaktorielle Hormonwirkung auf Wachstum, Protein- und Fettansatz (modifiziert nach Karg, 1986)

Von den oben aufgeführten Hormonen werden folgende zur Leistungsverbesserung verwendet:

- Anabole Steroide: Östrogen, Progesteron und Testosteron als natürliche und Zeranol, Trenbolonacetat und Melengestrolacetat als synthetische Vertreter werden allein oder in Kombination in der Rinder- und Lämmermast mit Verbesserung der Gewichtszunahme und der Futtermittelverwertung bis zu 20 % verwendet. Eine konstante Verbesserung dieser Parameter beim Schwein konnte nicht nachgewiesen werden. (Beermann, 1989)
- Exogenes Somatotropin mit der Folge eines Anstieges der Somatomedinkonzentration. Auf die meisten Körpergewebe wirkt es anabol, am Fettgewebe dagegen katabol. Die in der Schweinemast zu erzielenden Leistungsverbesserungen belaufen sich auf ca. 20 % sinkende Futteraufnahme, ca. 13 % erhöhte Tageszunahmen, ca. 27 % verbesserte Futtermittelverwertung, 50 % weniger Rückenspeck und 6 - 16 % vergrößerter Muskelanteil. (Brenner, 1990)

- Beta-Agonisten, wie Cimaterol, Ractopamin und Clenbuterol mit einer Wachstumssteigerung der Mastschweine um 3 - 8 %, einer um 7 - 11 % verbesserten Futtermittelverwertung und einer Verringerung des Fettanteils bei gleichzeitiger Zunahme der Muskelmasse. (Brenner, 1990)

Da ein Einsatz von Hormonen für Mastzwecke in der EU nicht erlaubt ist, wird auf eine ausführliche Behandlung dieses Themas verzichtet.

2.1.8 Ätherische Öle

Schon in der Antike waren bestimmte Pflanzen, wie z.B. Knoblauch für ihre gesundheitsfördernde Wirkung bekannt. Viele ätherische Öle z. B. aus Zimt und Nelke sind antibakteriell und antimykotisch wirksam.

Verwendet werden einheimische Pflanzen wie Kamille, Holunder oder Schafgarbe (Fritz et al., 1993, Stenzel et al., 1998), verschiedene Küchenkräuter (Stenzel et al., 1998), aber auch Gemische von verschiedenen chinesischen Heilkräutern (Xue et al., 1997) und chinesischer Gewürze (Yan und Su, 1998).

Der Einsatz von ätherischen Ölen in der Tierernährung wird im Futtermittelgesetz geregelt, wonach sie unter die Rubrik der Zusatzstoffe als aroma- und appetitanregende Stoffe fallen.

Hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Leistung von Mastschweinen ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse:

Günther und Adiaro (1991) konnten mit einer speziellen Mischung natürlicher Pflanzeninhaltsstoffe (die genaue Zusammensetzung wird nicht erwähnt) die Verdaulichkeit organischer Nährstoffe signifikant verbessern. Die Tageszunahmen konnten um 7 - 12 % erhöht und die Futtermittelverwertung um 2 - 5 % verbessert werden.

Ähnliche Ergebnisse erzielten Geier und Oster (2001) bei Verfütterung einer Komposition aus mehreren Kräuterextrakten, ätherischen Ölen und Rohstoffen mit emulgierender Wirkung (Poly-Mix K 950).

Als mögliche Ursache für die Leistungssteigerung gelten Aktivitätssteigerung verschiedener Verdauungsenzyme, Sekretionssteigerung der Verdauungsdrüsen und eine bakteriostatische oder bakteriozide Wirkung auf Mikroorganismen der Darmflora (Günther und Adiaro, 1991).

Rückstands- und Resistenzbildung sind bei der Verfütterung von Kräuterzusätzen nicht zu erwarten. Grund für die nur geringe Anwendung ist sicherlich der hohe Preis bei unsicherer Wirkung.

2.1.9 Zusammenfassende Betrachtung leistungssteigernder Substanzen

Die Leistung landwirtschaftlicher Nutztiere lässt sich durch eine Vielzahl von Substanzen beeinflussen, die sich alle durch verschiedene Eigenschaften auszeichnen und dadurch eine unterschiedliche Verbreitung gefunden haben. Sie lassen sich einteilen in die Gruppe der konventionellen Leistungsförderer, zu denen Antibiotika und Kupfer gehören und die alternativen Leistungsförderer wie Probiotika, Prebiotika, Säuren und Kräuterzusätze. Die Eigenschaften beider Gruppen werden in Tabelle 9 einander gegenüber gestellt:

Eigenschaft	konventionelle Leistungsförderer	alternative Leistungsförderer
Resistenzförderung	nachgewiesen	nicht vorhanden
Rückstände im Lebensmittel	nicht auszuschließen, v. a. bei Missbrauch oder Fehldosierung	nicht vorhanden
toxische Potenz	abhängig von benutzter Substanz und Spezies	nicht vorhanden
Umweltbelastung	massive Ausscheidung und damit Belastung von Boden, Wasser, Pflanzen	nicht vorhanden
Wirksamkeit	seit Jahrzehnten erprobt, noch kein totaler Wirkungsausfall auch in Langzeitstudien beobachtet	große Schwankungen, z. T. wirkungslos
Verbraucherakzeptanz	schlecht	besser
Preis	billig	z. T. teuer

Tabelle 9: Vergleich konventioneller und alternativer Leistungsförderer

Die zurzeit auf dem Markt befindlichen Leistungsförderer haben also alle eine Reihe von für Verbraucher oder Landwirt negative Folgen, die die Suche nach einer möglichen Alternative nötig machen. Die Berichte über Seltenen Erden aus der chinesischen Literatur lassen hoffen, dass diese Stoffe eine zuverlässige, billige, gesundheits- und umweltverträgliche Möglichkeit bieten.

2.2 Seltene Erden

2.2.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Zu den Seltenerdelementen gehören 17 Übergangsmetalle aus der 3. Nebengruppe des Periodensystems, wobei es sich um die Gruppe der Lanthanoide erweitert um die Elemente Scandium (Symbol Sc, Ordnungszahl 21) und Yttrium (Y, 39) handelt. Die Gruppe der Lanthanoide besteht aus Lanthan (La, 57) und den folgenden 14 Elementen: 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). Eine Unterteilung ist möglich in die Leichten Seltenen Erden oder Ceriterden (La bis Eu) und die Schweren Seltenen Erden oder Yttererden (Ga bis Lu und Y). Scandium wird in keine dieser Gruppen eingeschlossen (Gschneidner, 1978).

Eine weitere Bezeichnung für die Seltenen Erden ist der Begriff f-Elemente, da die mit steigender Ordnungszahl von La bis Lu hinzukommende Elektronen in die 4-f- Schale des eingebaut werden. Dadurch unterscheiden sich die verschiedenen Elemente lediglich im Bau der 4-f-Schale. Die chemischen Eigenschaften werden hingegen v. a. von der 3-d-Schale bestimmt. Ein weiterer Effekt der zunehmenden Kernladungszahl ohne Besetzung eines neuen Orbitals ist die stetige Abnahme des Ionenradius der Seltenerdmetalle mit steigender Ordnungszahl, was auch als Lanthanoiden-Kontraktion bezeichnet wird (Cotton und Wilkinson, 1966).

Bindungen gehen Seltene Erden v. a. in Form von ionischen Bindungen ein und liegen dann als dreiwertige Kationen vor. Daneben bilden sie auch Komplexverbindungen mit Komplexzahlen zwischen 6 und 12, in biologischen Molekülen meist 8 oder 9. Die Bildung von Chelatkomplexen herrscht vor, wobei ihre Stabilität mit zunehmender Ordnungszahl, also abnehmendem Radius zunimmt. In wässriger Lösung bildet sich eine Hydrathülle. Die Hydratationszahlen wurden durch Lumineszenzmessungen um die 10 (La bis Nd) bzw. 9 (Tb bis Lu) angenommen (Horrocks und Suknick, 1979).

2.2.2 Vorkommen Seltener Erden

Unter natürlichen Bedingungen kommt der Organismus hauptsächlich über das Trinkwasser mit Seltenen Erden in Kontakt. Weitere Quellen stellen die Luft, Pflanzen und tierische Lebensmittel dar. Die Konzentration an Seltenen Erden in Wasser und Luft ist abhängig von ihrem Vorkommen im Boden. Pflanzen hingegen sind z. T. in der Lage Seltene Erden anzureichern oder aber auch trotz ihres Vorkommens im Boden nicht aufzunehmen.

Seltenerdmetalle kommen zu 0,01 - 0,02 % in der Erdkruste vor und sind in verschiedenen Mineralien eingebaut. Die wichtigsten sind Thalenit, Thortveiti und Xenotim mit Hauptbestandteil Yttererden, Bastnäsit und Monazit, Cerit und Allnit, in denen Ceriterden vorherrschen.

Die größten Ablagerungsstätten von Monazit, das für den industriellen Abbau von Interesse ist, finden sich in Australien, Brasilien, Indien, Ceylon, in den USA und die weltweit größten Vorkommen in der Inneren Mongolei, Volksrepublik China.

2.2.3 Biochemische und pharmakologische Eigenschaften

Metabolismus Seltener Erden

Nach oraler Aufnahme werden i. a. von adulten Säugern weniger als 1 % der aufgenommenen Menge vom Körper resorbiert (Durbin et al., 1956). Der Rest wird mit den Fäzes ausgeschieden. Neugeborene Tiere dagegen nehmen eine weitaus größere Menge auf. So konnte bei neugeborenen Schweinen 91% einer $^{144}\text{Ce}^{3+}$ - Dosis in den Knochen wieder gefunden werden (Mraz und Eisele, 1977). Eine mögliche Erklärung für die höhere Absorptionsrate ist die größere unspezifische Phagozytoseaktivität bei Tieren vor dem Absetzen. Bei Mangel an Calcium, Phosphor, Vitamin A (Venugopal und Luckey, 1978) und Magnesium (Eapen et al., 1996) kommt es auch bei erwachsenen Tieren zu einer vermehrten Aufnahme aus dem Magen-Darm-Trakt.

Wenig ist über das Verhalten der Lanthanoide im Körper nach Aufnahme aus dem Gastrointestinaltrakt bekannt. Als Hauptspeicherorte gelten die Leber und die Knochen, wobei leichte Lanthanoide für erstere (Magnusson, 1963) und schwere und Yttrium für letztere eine größere Affinität besitzen. Daneben wurde über Aufnahme in Lunge, Milz und Nieren berichtet. All diese Untersuchungen wurden allerdings nach i.v.-Injektion der Seltenen Erden durchgeführt.

Vergleich zwischen Calcium und Lanthanoide

Lanthanoide können Calcium spezifisch und isomorph ersetzen. Dies ist möglich durch ihre Ähnlichkeit hinsichtlich der Größe, des Bindungsverhaltens, der Koordinationsgeometrie und der Bevorzugung bestimmter Donoratome (siehe Tabelle 10). Dadurch kann es sogar möglich sein, dass Enzyme durch die Bindung von Lanthanoiden in der gleichen Weise wie durch Ca^{2+} aktiviert werden. Allerdings ist nicht in allen Fällen ein Ersatz des Calciums möglich. Die Ca-Bindungsstellen mancher Proteine können nicht mit Lanthanoiden besetzt werden, z.B. in Cancanavalin A und umgekehrt kann Calcium nicht immer die Seltenen Erden aus ihrer Bindung verdrängen.

Eigenschaft	Ca^{2+} -Ion	Ion der Lanthanoiden
Koordinationsnummer	6 -12 6 oder 7 angenommen	6 - 12 8 oder 9 angenommen
Koordinationsgeometrie	extrem flexibel	extrem flexibel
bevorzugte Donoratome	O >> N >> S	O >> N >> S
Ionenradius in Å	1,00 - 1,18	0,86 - 1,22 abhängig von Ordnungszahl
Bindungstyp	ionisch	ionisch
Hydratationszahl	6	8 oder 9
Diffusionskoeffizient ($\text{cm}^2/\text{s} \times 10^5$)	1,34	La^{3+} , 1,30

Tabelle 10: Eigenschaften von Ca^{2+} und Lanthanoiden im Vergleich, nach Evans, 1990

Hanioka et al. (1994) fanden als mögliche Folge des Ersatzes von Calcium eine Veränderung des Calcium-Phosphor-Metabolismus. Eine orale Gabe von Lanthan führte zu einer Erhöhung der Ausscheidung von Calcium und Phosphor mit dem Kot. Gleichzeitig war ihre Ausscheidung im Urin erniedrigt. Ihre Konzentration im gesamten Organismus und auch in den untersuchten Organen war verringert. Diese Ergebnisse deuten auf eine durch Lanthan hervorgerufene Hemmung der Aufnahme von Calcium und Phosphor hin, die allerdings nach Beendigung der Lanthanaufnahme voll reversibel ist.

Unterschiede zwischen Lanthanoiden und Calcium bestehen darin, dass Calcium keinerlei spektroskopischen Signale abgeben. Seltene Erden lassen sich dagegen spektroskopisch sehr gut darstellen. Durch diese Eigenschaft ermöglicht der Ersatz von Ca^{2+} durch Seltene Erden die Untersuchung von Funktion und Struktur von Calcium und seiner Bindungsproteine.

Ein weiterer Unterschied ist die meist höhere Stabilität der Komplexe, die mit Lanthanoiden gebildet wurden. Dies scheint seine Ursachen in dem größeren Ladungs-Volumen-Verhältnis und der größeren Koordinationszahl der Seltenen Erden zu haben. Die Komplexe mit Seltenen Erden sind dabei um den Faktor 10^4 bis 10^5 stabiler (Horrocks, 1982).

Ionen von Lanthanoiden können darüber hinaus auch anderer Metallionen wie Magnesium oder Eisen in ihrer Bindung ersetzen (Evans, 1990).

Der Einfluss von Lanthanoiden auf Membranen

Seltene Erden haben eine hohe Affinität zur Zelloberfläche, ohne dass sie intakte Zellmembranen durchdringen können. Als Bindungsstellen für die Ionen der Seltenen Erden dienen dabei Ca^{2+} -Kanäle umgebende Rezeptoren (El-Fakahany, 1983). In vitro wurden außerdem eine Reihe weiterer Strukturen ermittelt, die eine Bindung mit Lanthanoiden eingehen können wie z. B. Acetylcholinrezeptoren (Rübsamen et al., 1978).

Durch die Bindung von Lanthanoiden kommt es zu einer Steigerung von Membranpotential, -widerstand und -rigidität. Die wichtigste Folge ist die Störung des transmembranalen Calciumfluxes, wobei der Efflux weniger beeinflusst wird. Dadurch werden v. a. die physiologischen Prozesse gehemmt, die von der Ca^{2+} -Aufnahme in die Zelle abhängig sind. Dies sind z.B. die Weiterleitung von nervalen Impulsen, die Kontraktion der Muskulatur, eine normale Funktion des retikuloendothelialen Systems und bestimmte Hormonantworten (Evans, 1990).

Einfluss Seltener Erden auf Mikroorganismen

Durch den Einsatz hoher Konzentrationen von Seltenen Erden konnte eine Hemmung des Wachstums von Bakterien, Pilzen und Hefen nachgewiesen werden, wobei der Effekt auf gram-negative Bakterien am größten ist. Allerdings führen nur Konzentrationen in einem Bereich von 10^{-4} bis 10^{-2} M zu einer Hemmung, niedrigere Dosen können dagegen wachstumsstimulierend wirken. Mikroorganismen scheinen auf schwere Seltenerdmetalle empfindlicher zu reagieren als auf leichte (Muroma, 1958).

Eine Reihe von Veränderungen wird in Mikroorganismen hervorgerufen. So kommt es über die Bindung an die Zelloberfläche zu einem Ladungsabfall und zum Verklumpen von Bakterien. Sie können außerdem zu einer Beeinträchtigung des bakteriellen Stoffwechsels, wie z.B. Verringerung bzw. Hemmung der CO_2 -Produktion, der Aufnahme von Sauerstoff und des Einbaus von Glucose in Zellbestandteile führen. Bei Pilzen können sie morphologische Veränderungen wie eine Membranzerstörung und auch Zelltod hervorrufen.

Diese antimikrobiellen Eigenschaften wollte man im 19. Jahrhundert für die Therapie von Lepra, Cholera und Tuberkulose ausnutzen. Die Resultate waren allerdings wenig überzeugend.

Toxizität Seltener Erden

Seltene Erden weisen eine sehr geringe Toxizität auf (Haley, 1965), die stark abhängig ist von der Art der Verbindung, dem Applikationsweg, Spezies und z. T. Geschlecht der Versuchstiere.

Nach Verfütterung von Seltenen Erden werden sie nur zu 1 % aus dem Magen-Darm-Trakt resorbiert (Durbin et al., 1956). Die orale LD₅₀ ist mit mehreren Gramm/kg Körpergewicht entsprechend hoch (Evans, 1990). Nur bei einer hochdosierten, langandauernden Verfütterung konnten nachteilige Effekte wie Wachstumsdepression beobachtet werden. Haley et al. (1979) testeten mit Ratten verschiedene Chloride Seltener Erden in Konzentrationen bis zu 1 % des Futters. Sie fanden keinerlei Veränderungen der Blutparameter und nur die höchste Konzentration von Terbium und Thulium führten zu einem verminderten Wachstum.

Bei einer Zugabe von 0,5 % verschiedener Oxide Seltener Erden zum Futter von Mäusen konnten selbst über drei Generationen hinweg keine negativen Effekte auf Wachstum, Lebensdauer, Entwicklung oder Blutparameter beobachtet werden. Auch in diesem Experiment war eine Konzentration von 1 % wachstumsdepressiv (Hutcheson et al., 1975).

Ji (1985) testete sowohl die akute Toxizität, als auch teratogene und mutagene Effekte der Lanthanoide als Nitrate nach oraler Administration. Er fand eine LD₅₀ von 1397 - 1832 mg/kg für Mäuse, Ratten und Meerschweinchen. Bei einer Dosis von 16 - 2000 mg/kg konnten keine nachteiligen Wirkungen für Fetus und Muttertier gefunden werden mit Ausnahme einer leichten Abnahme der Überlebensraten weiblicher Nachkommen bei Dosierungen zwischen 8 und 400 mg/kg. Die Untersuchungen auf die Mutagenität waren negativ.

Bei Vergleich bestimmter bioelektrischer Gehirnaktivität von Personen aus Gebieten mit bzw. ohne REE - Belastung in China fand Zhu et al. (1997) keine Veränderungen im Hirnstamm. Veränderte Aktivitäten in der Hirnrinde ließen darauf schließen, dass es hier zu einer Akkumulation der Seltenen Erden und als Folge zu subklinischen Schäden kommt. Auf die Toxizität nach i. v. Injektion und anderer Applikationswegen wird hier nicht weiter eingegangen.

2.2.4 Verwendung Seltener Erden in der Landwirtschaft

Neben ihrer Verwendung in der Metallurgie, in der Glas- und Keramikindustrie und in der Radiologie, werden Seltene Erden seit ca. 40 Jahren in der chinesischen Landwirtschaft als Düngemittel und Leistungsförderer eingesetzt (Chang et al., 1998). Dabei werden v. a. Gemische verschiedener Lanthanoide, die in China billig und leicht verfügbar sind, verwendet.

2.2.4.1 Einsatz in der chinesischen Pflanzenproduktion

In China wurden in verschiedenen Studien in jüngster Zeit die Auswirkungen verschiedener Verabreichungsformen und Dosierungen an einer Reihe von Pflanzen und Feldfrüchten untersucht. Die Behandlung der Pflanzen erfolgt durch Besprühen der Blätter, Einweichen der Samen oder direkter Zugabe als Dünger. Dabei wurden z. T. erstaunliche Ertragssteigerungen erzielt, ohne dass jedoch der genaue Wirkungsmechanismus bekannt wäre. Durch Chang et al. (1998) wurde eine Dosisabhängigkeit erkannt. So soll nur bis zu einer Konzentration von weniger als 1 g/kg Boden die Wachstumssteigerung möglich sein, bei einer Dosis von 1 bis 2 g/kg Boden kommt es bereits zu Wachstumssuppressionen.

Wan et al. (1998) berichten über Ertragssteigerungen beim Anbau u. a. von Reis (5 - 10,3 %), Orangen (7,9 - 38,5 %), Wassermelonen (22,9 %), Honigmelonen (75 - 111,4 %), Paprika (5,2 - 9,7 %), Tomaten (16 %) und Chinakohl (22,1 %). Dabei sollen auch Qualitätsmerkmale wie der Zuckergehalt von Orangen und Wassermelonen erhöht werden.

Ähnliche Ergebnisse erhielten auch Xia und He (1997) bei der Behandlung von Getreide wie Weizen oder Reis mit Steigerungen des Ernteertrages um 5 bis 30 %. Der Anbau von Raps, Sojabohnen und Erdnüssen verbesserte sich um 5 - 18 %, von Zuckerrüben und -rohr um 6 - 15 % mit einem erhöhten Zuckergehalt um 0,3 - 0,9 %. Das Ernteergebnis von Hafer wurde durch Einweichen des Saatgutes oder durch Besprühen der Pflanzen um 6,4 - 18,6 % verbessert.

Verschiedene Wirkungsmechanismen werden diskutiert. Über eine Stimulation des Pflanzenstoffwechsels, u. a. einer Erhöhung der Nährstoffaufnahme (Chang et al., 1998) kommt es zu einem vermehrten Wachstum von Wurzeln (Kuang et al., 1991), als auch oberirdischer Pflanzenteile (Wu et al., 1998). Sun et al. (1998) konnten nach Behandlung mit Seltenen Erden eine Erhöhung des Chlorophyllgehaltes und der Photosyntheserate nachweisen. Außerdem veränderte sich bei den untersuchten Pflanzen die Struktur der Blätter. Xia und He (1997) konnten bei Leguminosen eine Verbesserung der Stickstofffixierung und bei allen untersuchten Pflanzen eine Erhöhung der Widerstandskraft gegenüber Krankheiten beobachten.

Als mögliche biochemische Erklärungsansätze werden von Xia und He (1997) folgende Punkte angegeben. Seltene Erden könnten als Katalysator bei der Synthese von Wachstumsfaktoren beteiligt sein oder hierbei eine aktivierende Wirkung entfalten. In Enzymen könnten sie die Rolle eines Cofaktors übernehmen. Die Ähnlichkeit zwischen Calcium und auch anderen Metallionen ermöglicht es außerdem, dass Seltene Erden an deren Stelle in der Pflanze eingebaut bzw. von ihr verwendet werden können.

2.2.4.2 Einsatz Seltener Erden in der chinesischen Tierproduktion

In China werden Seltene Erden bei fast allen Nutztieren in nahezu jeder Altersstufe als Leistungsförderer mit z. T. erstaunlichen Leistungsverbesserungen eingesetzt. Neben den Fütterungsparametern sollen auch verschiedene Qualitätsmerkmale positiv beeinflusst werden.

Verwendung finden verschiedene Gemische aus Salzen und Oxiden Seltener Erden. Die Gemische unterscheiden sich sowohl in Zusammensetzung als auch in ihrem Reinheitsgrad, so dass ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen nur bedingt möglich ist. Im Folgenden soll nur auf die Versuche, die sich mit Schweinen beschäftigten, eingegangen werden.

Bei Versuchen mit Schweinen wurden Verbesserungen bis zu 23 % bei der Gewichtszunahme und bis zu 14 % bei der Futterverwertung erzielt. Die genauen Daten aufgeteilt nach Altersgruppen sind in Tabelle 11 zu ersehen.

Neben der Gewichtszunahme und der Futterverwertung wurde von verschiedenen Autoren auch die Verdaulichkeit verschiedener Rohstoffe untersucht.

Zhu et al. (1994) beschreiben den Einfluss einer hohen Lysinosis zusätzlich zu 150 ppm REE im Fütterungsversuch mit Ferkeln. Gegenüber der Kontrollgruppe ohne REE und Lysin erhöhte die Supplementierung mit REE und Lysin die Verdaulichkeit des Rohproteins um 3,0 %, die reine REE-Gabe um 0,1 %. Die Netto-Proteinverwendung wurde um 1,2 bzw. 0,1 % verbessert. Durch die REE-Zulage wurde außerdem unabhängig von der Lysin-Gabe die Gewichtszunahme um 5,4 % und die Futterverwertung um 4,3 % verbessert

In einer Versuch mit Mastschweinen (Anfangsmast) konnte durch Zugabe von 50 ppm die Verdaulichkeit von Rohprotein und Rohfett um 4,82 bzw. 13,13 % ($p > 0,05$) verbessert werden. Auch die Stickstoffverwertung konnte gesteigert werden (Li et al., 1992).

Altersgruppe	REE-Dosierung	Leistungssteigerung	Autor
Ferkel	10 g/kg	GZ 12,6%, FV 7%	Xia und He, 1997
	75 mg/kg	TZ 22,9%, FV 7,9%	He und Xia, 1998
	300 ppm	GZ 12,3%, FV 11,3%	Shen et al., 1991
	600 ppm	GZ 13,8%, FV 13,8%	
	900 ppm	GZ 7,3%, FV 6,3%	
150 ppm	GZ 5,4 %, FV 4,3%	Zhu et al., 1994	
Mastabschnitt I	10 g/kg	GZ 8,6%, FV 7,1%	Xia und He, 1997
	50 ppm	GZ 9,2%, FV 8,1 %	Li et al., 1992
Mastabschnitt II	10 g/kg	GZ 13,4%, FV 6,3%	Xia und He, 1997
Gesamte Mast	75 mg/kg	TZ 13 %, FV 6,1%	He und Xia, 1998

Tabelle 11: Leistungsdaten verschiedener chinesischen Untersuchungen in Versuchen mit Schweinen verschiedenen Alters (GZ = Gewichtszunahme, TZ = tägliche Gewichtszunahme, FV = Futtermittelverwertung)

Für Verbesserungen der Fütterungsparameter gibt es verschiedene Erklärungsansätze. Seltene Erden könnten zum einen die Verdaulichkeit und die Verfügbarkeit von Nährstoffen verbessern (Li et al., 1992, Zhu et al., 1994). Daneben wird eine lokale Darmwirkung diskutiert. Durch die geringe Resorption der Seltenen Erden aus dem Darm kommt es zu einer Anreicherung im Chymus. Über die bakteriostatische bzw. in höheren Konzentrationen auch bakteriozide Wirkung wäre eine Beeinflussung der Darmflora möglich.

Xie et al. (1995) konnten in einem Versuch mit Broilern eine Erhöhung der Konzentration an Wachstumshormonen und an Trijodthyronin feststellen. Außerdem erhöhte sich die Aktivität der Glutathionperoxidase im Blut. Dies legt ein Eingreifen in den Intermediärstoffwechsel mit einer Veränderung von Hormonkonzentrationen und Enzymaktivitäten nahe. So wurde auch eine Wirkung als Phosphatasen beobachtet (Eichhorn und Butzow, 1965), wobei die genaue Funktion ungeklärt ist. Möglicherweise kann es hierdurch zu Veränderungen im

Gesamtmetabolismus durch Aufspaltung wichtiger Phosphorverbindungen (Bamann et al., 1954)

Die Wirkung der Seltenen Erden könnte auch auf ihre Ähnlichkeit mit Calcium und anderen Metallionen bestehen. Interaktion mit Calcium konnte nachgewiesen werden (Nayler, 1975, Hanoika et al., 1994) und dadurch entsteht die Möglichkeit einer Beeinflussung von Zellfunktionen durch Blockierung von Ca^{2+} -Kanälen und anderer Mechanismen.

2.2.4.3 Einsatz Seltener Erden unter westlichen Haltungsbedingungen

Die in China eingesetzten Rassen stehen oft weit hinter den modernen westlichen Hochleistungstieren hinsichtlich der Produktivität und Futtermittelverwertung zurück (Xie et al., 1995). Dadurch kommt es zu längeren Mastperioden, was zur Folge haben könnte, dass die chinesischen Rassen über ein größeres Leistungssteigerungspotenzial verfügen könnten. Darüber hinaus ist die Wirksamkeit von Leistungsförderern in der Tiermast stark abhängig von den Fütterungs-, Haltungs- und Hygienebedingungen und eine Leistungssteigerung lässt sich u. U. nur unter suboptimalen Bedingungen erzielen. In China gewonnene Daten lassen sich also nicht einfach auf unsere Verhältnisse übertragen.

Obwohl die Seltenen Erden in China schon lange erfolgreich in der Landwirtschaft eingesetzt werden, wurde die Möglichkeit ihres Einsatzes als Leistungsförderer in Europa erstmals 1999 überprüft.

In einem ersten Versuch erhielten 72 Schweine ab 7,3 kg Körpergewicht ein Futter, dem pro kg 75 bzw. 150 mg 99 %iges Lanthanchlorid oder eines Gemisches zugesetzt worden waren (Rambeck et al., 1999). Das Gemisch bestand aus 38 % Lanthanchlorid, 52,1 % Cerchlorid und 3,0 % Praseodimchlorid. Nach fünf Wochen erfolgte die Schlachtung der Tiere und Muskel und innere Organe wurden auf den Gehalt an Seltenen Erden untersucht, der im Muskel nur wenig über dem der Kontrollgruppe lag. Auch die in inneren Organen gemessenen Konzentrationen waren sehr niedrig. Die Gewichtszunahme der Gruppen, die mit Seltenen Erden gefüttert worden waren, lag 2 bis 5 % über der Kontrollgruppe. Die Futtermittelverwertung verbesserte sich um 3 bis 7 %. Die Ergebnisse waren aber nicht signifikant.

In einem zweiten Versuch wurde die Wirksamkeit Seltener Erden bei Broilern und Wachteln getestet (Schuller, 2001, Schuller et al., 2001). Verwendet wurden eine Mischung mit einem 99 %igem Lanthananteil und das oben aufgeführte Gemisch. In diesem Versuch wurden Mast- und Legeleistung untersucht und keine wesentlichen Unterschiede zwischen supplementierten und unsupplementierten Tieren gefunden. Im Gegenteil ergab sich bei der

höchsten Dosierung (300 mg des Gemisches) im Broilerversuch eine signifikante Verschlechterung der Leistung. Bei auf der nach 6 Wochen folgenden Schlachtung der Broiler wurden Muskel und innere Organe auf den REE-Gehalt untersucht. Ähnlich wie im Ferkelversuch reicherten sich Seltene Erden nur in geringem Maße an. Zur Untersuchung einer möglichen Beeinflussung der Darmflora wurden in Digestaprobe der Broiler die Gesamtkeimzahl und die Anzahl bestimmter Keime bestimmt. Dabei ergaben sich keinerlei Hinweise auf eine gerichtete Beeinflussung der Mikroorganismen des Intestinaltraktes.

He et al. (2003) untersuchten außerdem den Einfluss Seltener Erden auf das Wachstum von Ratten. In diesem Versuch wurden 50 männliche Ratten über 18 Tage mit reinem Lanthanchlorid oder einer Mischung Seltener Erden in den Konzentrationen 75 und 150 mg/kg oder ohne Zusatz Seltener Erden gefüttert. Am Ende des Versuches lag das Körpergewicht der Tiere, die Seltene Erden erhalten hatten um bis zu 9 % über dem der Kontrolltiere und die Futtermittelverwertung war um bis zu 11 % verbessert. Die Untersuchung des Serums ergab eine Verringerung des Blutzuckerspiegels und eine Erhöhung der Konzentration von Kreatinin und Harnstoff. Auch die Aktivität der Leberenzyme wurde erhöht.

Auch unter westlichen Haltungsbedingungen können also zumindest bei Schweinen und Ratten die ergotropen Effekte der Seltenen Erden nachgewiesen werden. Die positiven Ergebnisse des Ferkelversuches waren Anlass für die in vorliegender Arbeit über die gesamte Mast durchgeführten Versuche.

2.3 Jod

Das chemische Element Jod (chemisches Symbol I) steht im Periodensystem an 53. Stelle und besitzt eine relative Atommasse von 126,9. In reinem Zustand bildet es grauschwarz glänzende Kristalle. Jod gehört zu den essentiellen Spurenelementen und liegt im menschlichen Körper zu 2×10^{-5} % des Körpergewichtes oder in einer Größenordnung von 15 - 20 mg vor. Seine biologische Halbwertszeit bezogen auf die Schilddrüse beträgt 138 Tage, für verschiedene andere kritische Organe 7 - 14 Tage.

Die Synthese der Schilddrüsenhormone Thyroxin T_4 und Trijodthyronin T_3 ist die einzige bekannte Funktion des Jods im Organismus.

2.3.1 Jodstoffwechsel

Jodaufnahme

Das mit Wasser und Nahrung aufgenommene Jod liegt in Form von anorganischem Jodid oder Jodat vor. Letzteres und Jod in anderer chemischer Bindung wird vor Resorption im Darm in Jodid umgewandelt (Manz, 1990) und von dort durchschnittlich innerhalb von zwei Stunden zu 80 – 92 % aufgenommen (DGE, 2000).

Neben der Nahrung und dem Wasser dienen auch Speichel, Gastrointestinalsekrete und Abbauprodukte der Schilddrüsenhormone als Jodquelle.

Jodverteilung im Körper

Das aus dem Darm resorbierte Jod gelangt in den gesamten Organismus. In der extrazellulären Flüssigkeit liegt es in Abhängigkeit von der aufgenommenen Menge vor. Da es innerhalb kurzer Zeit aus dem Plasma in die Schilddrüse aufgenommen bzw. über die Nieren ausgeschieden wird, ist die Plasmakonzentration sehr niedrig.

Im Falle einer regelmäßigen Zufuhr von 200 µg/Tag nimmt die menschliche Schilddrüse innerhalb von 24 Stunden 15 % des Jods auf (DGE, 2000). Geringere Jodaufnahme oder eine Jodverarmung der Schilddrüse haben durch die Möglichkeit der aktiven Selbstregulation eine Erhöhung des prozentual aufgenommenen Jods zur Folge. In der Schilddrüse werden bei ausreichender Jodversorgung um die 8 bis 10 mg organisches Jod gespeichert, was etwa 70 bis 80 % des gesamten Jodvorkommens des Organismus entspricht. Bei Schlachtschweinen stellt der Jodvorrat der Schilddrüse bei einer bedarfsdeckenden Jodversorgung ca. 4 mg Jod dar.

Auch andere Organe, wie Speicheldrüsen, Milchdrüse, Plazenta, Magenschleimhaut und Tubuluszellen können Jod aktiv anreichern.

Jodausscheidung

Jod wird sobald es nicht in die Schilddrüse zur Hormonsynthese aufgenommen wird über den Urin ausgeschieden. In geringen Mengen erfolgt die Ausscheidung auch über Schweiß und Kot, konjugiert an Glucuronide und Sulfat. Zwischen der Höhe der renalen Jodverluste, der Plasmajodkonzentration einerseits (Underwood, 1977) und der Jodversorgung andererseits besteht eine gute Korrelation.

In großen Mengen wird Jod von laktierenden Tieren über die Milch ausgeschieden. Die ausgeschiedene Jodmenge ist dabei abhängig von der Jodversorgung des Tieres bzw. des Menschen und dem Laktationsstadium. Erhöhte Jodgehalte finden sich u. a. auch bei Menschen im Kolostrum (Underwood, 1977).

2.3.2 Schilddrüsenhormon

Hormonsynthese

Durch einen aktiven Transport abhängig von der $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ wird Jodid aus dem kapillären Gefäßsystem in die Thyreozyten gepumpt (Jodination). Dieser Prozess wird durch Thyreoidea-stimulierendes Hormon TSH gefördert und kann durch große Mengen Jod gesättigt werden. Durch Ionen wie ClO_4^- , SCN^- , NO_3^- und TcO_4^- wird die Jodaufnahme verhindert. Nach Umwandlung in elementares Jod diffundiert es aus der Zelle ins Kolloid der Schilddrüsenfollikel. An der apikalen Zellmembran wird durch eine Peroxidase der Einbau von Jod in Tyrosinreste des Thyreoglobulins katalysiert (Jodisation)

Dadurch werden Monojodothyrosine (MIT) und Dijodothyrosine (DIT) gebildet. Durch eine intramolekulare Kopplung der Jodothyrosinreste entstehen unter Wasserabspaltung die Schilddrüsenhormone Thyroxin T_4 , Trijodthyronin T_3 und das inaktive reverse Trijodthyronin rT_3 . Die ans Thyreoglobulin gekoppelten Hormonvorstufen werden im Kolloid gespeichert. Die Stimulation durch TSH führt zur Pinozytose von Kolloid. Ins Zellinnere aufgenommenen Kolloidvesikel verschmelzen mit Lysosomen, die eine Vielzahl von proteolytischen Hormonen enthalten. Thyreoglobulin wird durch die Proteasen hydrolysiert, wobei die aktiven Hormone, DIT, MIT, Peptidfragmente und Aminosäuren entstehen (Groscurth und Kistler, 1987). T_3 und T_4 werden durch Exozytose in die Blutgefäße abgegeben. DIT und MIT werden noch in der Schilddrüse dejodiniert und das freiwerdende Jod zu einer erneuten Hormonsynthese weiterverwendet. Daneben wird auch eine geringe Menge an intaktem Thyreoglobulin, DIT und MIT in die Blutzirkulation entlassen.

Regulation der Hormonsynthese

Die Hormonsynthese in der Schilddrüse wird einerseits hormonell gesteuert. Über Freisetzung von TRH (Thyreotropin-Releasing-Hormon) aus dem Hypothalamus kommt es zu einer Stimulation der Sekretion von TSH aus der Hypophyse. TSH wiederum bewirkt eine gesteigerte Freisetzung der Schilddrüsenhormone T_3 und T_4 und eine vermehrte Aufnahme von Jod in die Schilddrüse. Die Freisetzung von TRH und TSH wird durch einen negativen Feedback-Mechanismus geregelt, so dass eine Erhöhung der T_3 - und T_4 - Konzentration im Blut zu einer geringeren Freisetzung von TRH und TSH führen (Silbernagel und Despopoulos, 1991).

Daneben wird die Synthese und Sekretion der Schilddrüsenhormone durch die Jodidkonzentration im Blut reguliert (Autoregulation der Schilddrüse). Geringe Jodidkonzentrationen führen hierbei unabhängig von TSH zu einer vermehrten Jodaufnahme

aus dem Magen-Darm-Trakt und einer Stimulation der Hormonsynthese. Im Gegensatz dazu werden durch eine hohe Jodkonzentration im Plasma die Synthese von T_3 und T_4 , ihre Freisetzung aus Thyreoglobulin und z. T. auch ihre Wirkung an Zielzellen gehemmt. Als Wolff-Chaikoff-Effekt wird die vorübergehende Blockade der Jodaufnahme in die Schilddrüse, der Synthese und Ausschüttung der Schilddrüsenhormone nach Aufnahme extrem hoher Joddosen bezeichnet (Wolff und Chaikoff, 1948). Eine wiederholte Verabreichung hoher Joddosen führt allerdings zur Aufhebung des hemmenden Effektes und somit zu einer erneuten Jodaufnahme in die Schilddrüse (Escape-Reaktion des Wolff-Chaikoff-Effekts) (Nagataki, 1991).

Transportmechanismen der Schilddrüsenhormone

Aus der Schilddrüse wird zu 90 % T_4 und nur zu 10 % das stoffwechselaktivere T_3 freigesetzt (Hämmerling, 1989). Im Serum werden diese Hormone hauptsächlich an Proteine gebunden transportiert. Je nach Spezies kann man verschiedene Transportproteine unterscheiden. Hierzu gehören Thyroxinbindendes Globulin, Thyroxinbindendes Präalbumin und Albumin. Nur 0,04 % T_4 und 0,4 % T_3 liegen in freier Form vor und sind für die hormonelle Aktivität und das Rückkopplungssystem verantwortlich. Die an Proteine gebundene Form und die freie Form befinden sich im Gleichgewicht. Insgesamt ist die Serumkonzentration an Thyroxin je nach Spezies unterschiedlich hoch. Für Menschen beträgt sie 8,2 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ und bei Schweinen 5,3 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ Serum (Scherzinger et al., 1972).

Hormonabbau

Die Schilddrüsenhormone werden durch Dejodination abgebaut. Diese Reaktion wird durch die 5(3)- und 5'(3')-Dejodinase (Visser et al., 1979) katalysiert. Als Zwischenprodukt entstehen aus Thyroxin das aktivere Trijodthyronin und das inaktive reverse Trijodthyronin. Durch eine weitere Dejodination werden diese zu 3,3'-Dijodthyronin abgebaut. Das freiwerdende Jod kann wieder von der Schilddrüse aufgenommen werden und erneut zur Hormonsynthese verwendet werden oder über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden werden. Ein geringer Teil der Hormone wird mit Urin oder Kot als freie Form oder an Glukuron- oder Schwefelsäure gebunden ausgeschieden.

2.3.3 Wirkung der Schilddrüsenhormone

Die im Blut frei zirkulierenden Hormone können die Zellmembran durch passive Diffusion oder durch spezifische Carrier passieren. Innerhalb der Zelle wird T_4 durch eine 5'-Dejodinase in das aktive T_3 umgewandelt. Im Zellkern wird T_3 an einen Rezeptor

gebunden und so die Transkription spezifischer Gene stimuliert, in seltenen Fällen aber auch gehemmt.

Folgende Wirkungen zeigen die Schilddrüsenhormone:

- In allen Organen außer Gehirn, Milz und Hoden wird der Sauerstoffverbrauch und die Wärmeproduktion z. T. über Stimulation der $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ erhöht.
- Die Kontraktilität des Herzmuskels und seine Kontraktion in der Diastole werden erhöht mit der Folge eines positiven ionotropen und chronotropen Effektes.
- Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Catecholaminen durch eine erhöhte Anzahl von beta-adrenergen Rezeptoren in Herzmuskel, Skelettmuskulatur, Fettgewebe und Lymphozyten bei gleichzeitiger Verringerung alpha-adrenerger Rezeptoren im Herzmuskel.
- Stimulation des Motilität des Magen-Darm-Traktes
- Erhöhung des Knochenumsatzes, mit erhöhtem Knochenabbau und zu einem geringeren Anteil vermehrter Knochenbildung
- Steigerung der Glucoseresorption, der Glycogenolyse und Gluconeogenese
- Senkung der Cholesterinkonzentration in Serum und Leber. Stimuliert wird durch die Schilddrüsenhormone sowohl die Cholesterinsynthese als auch der Abbau. Der Abbau wird allerdings in größerem Maße angeregt und reagiert sensibler auf die Hormonwirkung (Takeuchi et al., 1975)
- In fetalen und neugeborenen Organismen stellen Schilddrüsenhormone einen wichtigen Faktor für die normale körperliche und geistige Entwicklung dar.

2.3.4 Jodbedarf des Menschen

Um eine ausreichende Hormonsynthese gewährleisten zu können, benötigt die Schilddrüse täglich ca. 60 µg Jod. Der tägliche Jodbedarf eines Erwachsenen entspricht ungefähr 1 µg/kg

Körpergewicht. Um eine ausreichende Sicherheit, z.B. gegen die negative Auswirkung von verschiedenen goitrogenen Substanzen zu erreichen, wird von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung für Erwachsene eine Jodzufuhr von 180 - 200 µg Jod empfohlen. Für die übrigen Altersgruppen sind die empfohlenen Werte aus der Tabelle 12 zu entnehmen.

Alter	Jod in µg/Tag
Säuglinge	
0 bis unter 4 Monate	40
4 bis unter 12 Monate	80
Kinder	
1 bis unter 4 Jahre	100
4 bis unter 7 Jahre	120
7 bis unter 10 Jahre	140
10 bis unter 13 Jahre	180
Jugendliche/ Erwachsene	
13 bis unter 51 Jahre	200
51 Jahre und älter	180
Schwangere	230
Stillende	260

Tabelle 12: Empfohlene tägliche Jodzufuhr in verschiedenen Altersabschnitten (DGE, 2000)

2.3.5 Aktuelle Situation der Jodversorgung

In ca. 103 Ländern stellt Jodmangel für insgesamt ca. 740 Millionen Menschen ein signifikantes gesundheitliches Problem dar. Trotz zu verzeichnender Erfolge durch die Jodierung von Speisesalz, werden immer noch schätzungsweise 50 Millionen Menschen durch Jodmangel bedingte Gehirnschädigungen verschiedener Ausprägung beeinträchtigt (World Health Organisation WHO, 1999). Bevorzugt betroffen sind weite Teile Südasiens, Afrikas und Lateinamerikas und hier i. a. die Gebirgsregionen, die während der letzten Eiszeit mit Gletschern bedeckt waren. Durch das Abtauen der Gletscher wurde ein Großteil des vorhandenen Jods aus dem Boden gewaschen. Die Situation konnte seitdem in einigen Ländern durch eine Reihe von Maßnahmen zur Jodsupplementierung verbessert werden. Dennoch steht die Lösung des Problems in vielen Ländern, darunter auch einigen in Europa noch aus.

Als Maßstab zur Beurteilung der Jodversorgung dient die Konzentration im Urin, über den 90 % der aufgenommenen Jodmenge ausgeschieden werden. Die WHO stellte verschiedene Kriterien zur Einteilung des Jodmangels auf (siehe Tabelle 13)

Gradeinteilung	Jodausscheidung im Urin bei Erwachsenen (µg/Tag oder µg/g Kreatinin)	Jodgehalt der Muttermilch (µg/dl)	Jodausscheidung im Urin bei Neugeborenen (µg/dl)
Grad 0	> 100	> 5	> 5
Grad I	51 - 100	3,1 - 5,0	3,1 - 5,0
Grad II	25 - 50	1,5 - 3,0	1,5 - 3,0
Grad III	< 25	< 1,5	< 1,5

Tabelle 13: Kriterien für die Gradeinteilung des endemischen Jodmangels (Großklaus, 1993)

2.3.5.1 Situation in Europa

Noch heute herrscht in den meisten Ländern Europas ein leichter bis mittlerer Jodmangel. Von den 141 Millionen Menschen, die in Europa mit dem Risiko der Folgen des Jodmangels leben, haben 97 Millionen einen Kropf und 0,9 Millionen eine beeinträchtigte geistige Entwicklung (Vitti et al., 2001).

Die WHO veröffentlichte im Jahr 2000 die Ergebnisse einer europaweiten Umfrage über das Vorkommen und die Strategien zur Bekämpfung von Jodmangel. Anhand der so ermittelten Ergebnisse ergibt sich folgende Situation in Europa:

Von den 38 an der Studie teilnehmenden Ländern berichteten 30 (79 %) vom Vorliegen von Jodmangel. In Finnland, Irland, Norwegen, der Slowakei, Island und Großbritannien war die Jodversorgung ausreichend. Als Folge des Jodmangels wurden bzw. werden in einem Großteil der Länder Pläne zu dessen Beseitigung entwickelt.

Die bei der Studie veröffentlichten Daten stammen z. T. aus bis ins Jahr 1991 zurückreichenden Untersuchungen. Da sich die Situation der Jodversorgung allerdings sehr rasch ändert, ist es fraglich, in wie weit diese Studie die heutige Lage widerspiegelt.

So ergaben z.B. Untersuchungen in der Schweiz im Jahr 1999 an 600 Schulkindern im Alter von 6 bis 12 Jahren und 600 schwangeren Frauen eine ausreichende Jodversorgung nachdem die Jodkonzentration im Speisesalz auf 20 mg/kg angehoben worden war (Hess et al., 2001).

2.3.5.2 Jodmangel in Deutschland

Die Verpflichtung, die Deutschland beim Weltkindergipfel 1990 in New York einging, den Jodmangel bis 2000 in Deutschland zu überwinden, wurde bislang nicht völlig erfüllt. Trotz der deutlichen Verbesserungen in den letzten Jahrzehnten wird die Jodversorgung in Deutschland von einigen Wissenschaftlern noch heute als mangelhaft bezeichnet.

Bei einer gesamtdeutschen Untersuchung (Hampel et al., 1995), die die Daten von 5932 Personen im Alter zwischen 1 und 89 Jahren auswertete, betrug die Strumaprävalenz bei Erwachsenen 50 %, bei Mädchen in der Pubertät 55 %, bei Jungen in der Pubertät 48 % und bei Kindern unter zehn Jahren 21 %.

Diese Ergebnisse konnten in einer neueren Untersuchung von Hampel et al. (2001) dagegen nicht bestätigt werden. Die Messung der Urinjodausscheidung bei 3065 sechs- bis zwölfjährigen gesunden Schülern, die laut WHO die geeignete Indikatorgruppe darstellen, im Jahr 1999 ergab eine mediane Jodausscheidung in der Gesamtstichprobe von 148 µg/l (WHO-Empfehlung 100 - 200 µg/l als Optimalbereich) und eine ausreichende Jodversorgung bei 73 % der untersuchten Schüler. Allerdings wiesen 20 % einen milden (50 - 99 µg/l), 6 % einen moderaten (20 - 49 µg/l) und 1 % einen schweren (< 20 µg/l) Jodmangel auf. 8 % der untersuchten Kinder schieden mehr als 300 µg Jodid/l mit dem Urin aus.

In beiden Untersuchungen von Hampel et al., wie auch schon in vorangehenden konnte das angebliche Nord-Süd-Gefälle nicht bestätigt werden, auch wenn ein tendenzieller Anstieg der Strumaprävalenz von Nord nach Süd und West nach Ost zu erkennen war. Allerdings fanden sich auch im Norden Gebiete mit ausgesprochen hohem Strumavorkommen, ebenso wie solche mit extrem niedrigem Vorkommen im Süden. WHO und ICCIDD (International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders) stellten als Kriterien für eine ausreichende Jodversorgung eine Jodurie von über 100µg/l bei mehr als 50 % und von weniger als 50 µg/l bei weniger als 20 % der Bevölkerung auf. Diese Forderung wäre demnach erfüllt.

Auch andere Untersuchungen bestätigen eine Verbesserung der Jodversorgung in Deutschland:

Noch 1996 ergaben Untersuchungen von je 412 Frauen und Männern an zehn Orten der neuen Bundesländer eine Jodausscheidung von 51 bzw. 70 µg Jod/Tag. Somit herrschte damals ein Jodmangel ersten Grades in dieser Region (Anke et al., 1997).

Andere Untersuchungen weisen dagegen auf die stetige Verbesserung der Situation hin. So wurde in den Jahren 1996 und 1997 Studien an 1129 bzw. 1594 Erwachsenen im Freistaat Sachsen durchgeführt. Die festgestellte Strumaprävalenz lag 1996 noch bei rund 32 % und verbesserte sich innerhalb eines Jahres auf durchschnittlich 24 %. Beide Werte lagen z. T.

deutlich unter Angaben aus früheren Jahren, die ein Strumavorkommen von bis zu 69 % ergaben. Mit einer durchschnittlichen Jodausscheidung von 86,4 bei Männern bzw. 104 nmol Jod/ nmol Urin bei Frauen verbesserte sich auch dieser Parameter trotz der Abschaffung der generellen Speisesalzjodierung nach der deutschen Wiedervereinigung (Grüning et al., 2001)

Durch die Verbesserung der Jodversorgung während der Schwangerschaft durch die Verwendung von jodiertem Speisesalz, aber auch die zusätzliche Prophylaxe mit Jodtabletten konnte die Jodversorgung Neugeborener und junger Säuglinge im Zeitraum zwischen 1982 und 1998 deutlich verbessert werden. Die gemessene Jodidkonzentration im Urin der Säuglinge war 1998 mit 4,3 µg/dl mehr als doppelt so hoch wie 1983 (1,75 µg/dl). Der gemessene Wert liegt aber immer noch unter den von der WHO geforderten 10 µg/dl für eine gute Jodversorgung, weshalb weiterhin von einem leichten Jodmangel mit der daraus folgenden Gefahr von Jodmangelerkrankungen ausgegangen werden muss (Roth et al., 2001). Auch der deutsche Arbeitskreis Jodmangel geht noch immer von einer Unterversorgung von ca. 60 µg Jod pro Person und Tag aus. Da dies nur einen Durchschnittswert darstellt, sollen auch heute noch ein Viertel der deutschen Bevölkerung unter einem Jodmangel Grad I leiden (Wessel, 2002).

2.3.6 Strategien zur Bekämpfung des Jodmangels

2.3.6.1 Änderung der Ernährungsgewohnheiten

Da in Deutschland der Boden als Folge der Auswaschungen durch die Eiszeit einen sehr geringen Jodgehalt aufweist, müssen alle natürlichen, heimischen Lebensmittel, mit Ausnahme von Meeresprodukten als jodarm eingestuft werden. Einen Überblick über den Jodgehalt einiger Lebensmittel liefert die Tabelle 14.

Lebensmittel	µg/100g
Kabeljau	190
Seelachs	120
Garnele (Sandgarnele)	75
Käse	4 - 8
Fleisch	3 - 5
Milch	3
Kartoffel	2 - 3
Getreide	0,5 - 2

Tabelle 14: Jodgehalt verschiedener Lebensmittel (Heseker, 1999)

1992 betrug das Joddefizit eines durchschnittlichen deutschen Erwachsenen 1000 µg Jod/Woche (DGE, Ernährungsbericht 1992). Dieses Defizit ließe sich durch den Verzehr von ca. 300g Kabeljau oder 1000g Seelachs beseitigen, wobei der Jodgehalt dieser Fische durch die Zubereitungsart (Verluste durch Kochen in Wasser 50 - 85 %, durch Grillen 15 – 31 % und durch Braten 6 – 42 %) und Fanggebiet (unterschiedlicher Jodgehalt des Planktons) stark variiert.

In einer deutschlandweiten Untersuchung gaben nur 36,6 % der Befragten an, einmal in der Woche Meeresfisch zu essen (Hampel et al., 1995). Um den Jodbedarf zu decken, müsste aber mindestens zweimal in der Woche Fisch gegessen werden.

2.3.6.2 Verwendung von jodiertem Speisesalz

Durch die Verwendung von jodiertem Speisesalz konnte weltweit die Jodversorgung verbessert werden. Zwischen 1990 und 1998 stieg die Zahl der Länder mit speziellen Salzjodierungsprogrammen von 46 auf 93. Zwei Drittel aller Haushalte in Jodmangelgebieten haben Zugang zu jodiertem Speisesalz (WHO, 1999). In 29 Ländern benutzen mehr als 90 % der Bevölkerung Jodsalz und in weiteren 36 Ländern zumindest 50 %. Allerdings gibt es immer noch 34 Länder, u. a. die Türkei, die Ukraine und Russland, mit insgesamt ca. 1 Billion Einwohnern, von denen 50 % oder weniger jodiertes Salz verwenden (UNICEF, 2000).

Untersuchungen in Polen wiesen eine hohe Effektivität des Einsatzes von jodiertem Speisesalz nach. Durch Einführung einer obligatorischen Jodkonzentration des Haushaltssalzes von 30 +/- 10 mg KI/kg Salz im Jahr 1997 ergab sich eine Verbesserung der Jodausscheidung von 60,4 auf 96,2 µg/l und eine Verringerung der Strumaprävalenz von 38,4 auf 7 % zwischen 1994 und 1999 (Szybinski et al., 2001).

Tabelle 15 zeigt die historische Entwicklung der Herstellung von jodiertem Speisesalz in der BRD nach 1981.

1981	Anhebung des Jodgehaltes im Speisesalz auf 20 mg/kg; Erhöhung der Stabilität durch Zulassung von Jodat anstelle von Jodid; Aufdruck auf Salzverpackung „nur bei ärztlich festgestelltem Jodmangel“ entfällt.
1989	Jodsalz nicht länger Diätlebensmittel, sondern Lebensmittel des allgemeinen Verzehrs; der Einsatz von Jodsalz in der Lebensmittelherstellung sowie in der Gastronomie und Gemeinschaftsverpflegung wird ermöglicht.
1991	Jodsalz für die Herstellung von Wurst-, Fleischwaren (als jodiertes Nitritpökelsalz) und von Käse wird erlaubt. Anreicherung von Säuglingsmilch und -breinahrung mit Jod
1993	Besondere Deklarationspflicht für mit Jodsalz hergestellte Lebensmittel entfällt.

Tabelle 15: Meilensteine auf dem Weg zu einer besseren Jodversorgung (modifiziert nach Hötzel und Scriba, 1997)

Die Verwendung von jodiertem Speisesalz erfolgt in Deutschland nach dem Freiwilligkeitsprinzip. Dennoch stieg die Verwendung von Jodsalz im Haushalt zwischen 1990 (Gutekunst, 1990) und 1995 (Hampel, 1995) von 30 % auf 83 % an. Bei der heutigen Jodkonzentration von 20 µg/g Salz, könnte das durchschnittliche Joddefizit von 100 µg/Tag mit 5 g Salz beseitigt werden. Eine von Weber et al. 1988 durchgeführte Studie zeigte, dass von einem durchschnittlichen Erwachsenen nur 2,2 g Salz/Tag zum Würzen im Haushalt verwendet werden. 61 % davon werden dem Kochwasser zugegeben. Durch das Kochgut wird aber nur ein geringer Anteil des Jods aufgenommen, z.B. durch Kartoffeln weniger als 1 %, durch Nudeln 10 - 16 % und durch Reis ca. 6 % (Ballauff et al., 1988).

Die zusätzliche Verwendung von Jodsalz in Industrie, Gemeinschaftsverpflegung und Gastronomie ist also sinnvoll. In der Gastronomie wird zu 70 % (DGE, Ernährungsbericht 1996), in Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung zu mehr als 80 % und in Bäckereien und Fleischereien zu 75 % Jodsalz verwendet. Dagegen findet es in der Lebensmittelindustrie nur zu 25 - 30 % Verwendung.

Allein die Verwendung von mit 20 mg Jod/kg Salz jodiertem Speisesalz ist aber nicht ausreichend, um den Jodmangel in Deutschland vollständig zu beheben. V. a. Risikogruppen wie schwangere Frauen und Kinder, aber auch Menschen, die aus medizinischen Gründen nur

wenig Salz verwenden dürfen, kann nicht angeraten werden, ihren Jodbedarf über einen gesteigerten Salzkonsum zu optimieren.

2.3.6.3 Anreicherung von Lebensmitteln mit Jod

Neben der Verwendung von jodiertem Speisesalz kann die Jodversorgung direkt durch Jodierung bestimmter Lebensmittel verbessert werden. So wird bzw. wurde in den USA, Niederlanden, Australien und Tasmanien Brot durch die Verwendung von jodiertem Salz oder Jodat bzw. Kaliumjodat mit Jod angereichert. Der Hauptnachteil dabei ist die starke Variabilität der verzehrten Menge jedes Einzelnen einer Gesellschaft. (Filetti et al., 1985).

Indirekt können Lebensmittel tierischen Ursprungs über die Verfütterung von jodreichem Futter an landwirtschaftliche Nutztiere mit Jod angereichert werden. Futtermittelrechtlich zugelassen sind zur Zeit für Equiden 4, für Fische 20 und für alle übrigen Tierarten 10 mg Jod/kg Alleinfutter in Form von Calciumjodat, Kalium- oder Natriumjodid (Richtlinie des Rates vom 23.11.1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung 70/524/EWG, zuletzt geändert durch die Richtlinie 96/7/EWG vom 21.2.1996).

Über einen positiven Zusammenhang zwischen der Jodsupplementierung des Futters, der Jodkonzentration im Lebensmittel und der Jodversorgung der Bevölkerung berichteten Untersuchungen aus der ehemaligen DDR, wo seit 1986 ein Jodgehalt des Mineralfutters für Rinder und Schweine von 10 mg/kg vorgeschrieben war. Mit der deutschen Wiedervereinigung bekam das EU-Futtermittelrecht in den neuen Bundesländern Geltung und somit die freiwillige Verwendung von Jodsalz. Die Folge hiervon war ein deutlicher Rückgang der Jodversorgung, die 1992 z. T. Werte erreichte vergleichbar mit denen vor Einführung der Supplementierung des Futters (Meng et al. 1994).

Jodanreicherung im Hühnerei

Der positive Zusammenhang zwischen dem Jodgehalt des Futters und des Hühnereis konnte in einer Reihe von Versuchen belegt werden. So stiegen bei einer Jodzufuhr von 0 bis 40 mg Jod/kg Futter die Jodkonzentration in Eidotter, Eiweiß und Gesamtei in Abhängigkeit vom Jodgehalt des Futters, wobei schon eine Zulage von 20 mg/kg zu einer für die menschliche Ernährung zu hohe Jodkonzentration von 700µg/100g Ei führte. Bei der Verfütterung von 40 mg/kg Futter zu einer Verringerung der Legeleistung möglicherweise bedingt durch Steigerung des Grundumsatzes, Hemmung der Ovulationstätigkeit und Begünstigung von Eileiterentzündungen (Richter, 1995).

In einem Versuch von Kaufmann (1997) wurde dem Futter von Legehennen 0,5, 1,0, 2,0 und 5,0 mg Jod in Form von KIO_3^- bzw. 5 und 10 % Algen (*Eucheuma spinosum*) zugesetzt. Auch hier war mit steigender Jodkonzentration im Futter ein Anstieg des Jodgehaltes von Eidotter, Eiklar und Gesamtei zu verzeichnen. Nach vier Wochen ergaben sich für das Gesamtei durch die Verfütterung von KIO_3^- Jodgehalte von bis zu 51 $\mu\text{g}/\text{Ei}$. Demgegenüber enthielt ein Ei einer Henne ohne Jodzulage im Futter nur 7 μg . Auch durch die Algenverfütterung konnte der Jodgehalt der Eier signifikant verbessert werden. Er stieg durch die Verfütterung von 5 % Algen im Futter auf 23 μg Jod/Ei und von 10 % Algen auf 34 μg Jod/Ei an.

Auch durch die Verfütterung der jodreichen Meeresalgen *Laminaria digitata* und *Ascophyllum nodosum* in Konzentrationen von 0,07, 0,14 und 0,6 % je kg Futter konnte der Jodgehalt des Hühnereis nach drei Wochen auf 7,6 mg Jod/kg TS gegenüber 2,0 mg/kg TS in Eiern der Kontrollgruppe ohne Jodzulage gesteigert werden (Ungelenk, 2000).

Jodanreicherung von Milch

Schon seit Jahrzehnten ist der positive Zusammenhang zwischen dem Jodgehalt der Milch und der Jodaufnahme der Milchkühe bekannt. Milch von Milchkühen, deren Futter nicht mit Jod supplementiert wird, enthält unter 100 μg Jod/l (Wiechen, 1986).

Verschiedene Maßnahmen haben eine Erhöhung der Jodkonzentration der Milch als Nebeneffekt:

Durch die Verfütterung von Ethylendiamindijodid mit einem Jodgehalt von 80,3 % zur Prophylaxe (20mg/Tag) bzw. Therapie (200 mg/Tag) der Klauenfäule erhöhte sich in der Milch der Jodgehalt auf bis zu 1551 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Miller und Swanson, 1973).

Durch die Reinigung von Euter und/oder Anlagen kann der Jodgehalt in der Milch noch deutlicher gesteigert werden. Bei unsachgemäßer Handhabung der Desinfektionslösungen kann es durch deren Aufnahme über die Haut zu Konzentrationen in der Milch bis zu 4000 $\mu\text{g}/\text{l}$ kommen. (Hemken, 1979).

Aufgrund der Möglichkeit über eine Erhöhung des Jodgehaltes im Futter einen positiven Einfluss auf die Leistung und Reproduktion von Milchkühen auszuüben, wurde in Großbritannien der Jodgehalt des Futters innerhalb der letzten 35 Jahre erhöht (Kaufmann et al., 1995). Die damit verbundene Erhöhung des Jodgehaltes in der Milch auf durchschnittlich 150 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Lee et al., 1994) führte zu einer Verdreifachung der Jodaufnahme der Bevölkerung und dazu, dass Milch und -produkte eine der wichtigsten Jodquellen in Großbritannien darstellen.

Inzwischen liegen allerdings auch die Ergebnisse von Untersuchungen vor, die sich gezielt mit dem Zusammenhang zwischen der Erhöhung des Jodangebotes im Futter und der Steigerung der Jodkonzentration der Milch beschäftigen:

Durch Supplementierung des Futters mit Kaliumjodat konnte eine signifikante und von der Höhe der Jodzulage abhängige Steigerung des Milchjodgehaltes erreicht werden. Die Zugabe von 20, 60 und 150 mg KIO_3 /Tag führte zu einer Erhöhung auf 174 $\mu\text{g/l}$, 419 $\mu\text{g/l}$ bzw. 473 $\mu\text{g/l}$ Milch. Die Qualität der Milch wurde durch die Jodzulage nicht beeinträchtigt und auch die Höhe der Schilddrüsenhormonkonzentration im Serum wurde nicht beeinflusst (Kaufmann, 1997).

Ähnlich wie bei Legehühnern wurde auch bei Milchkühen die Möglichkeit den Milchjodgehalt durch die Verfütterung von jodreichen Algen zu erhöhen untersucht. Durch die Supplementierung von Milchleistungsfutter mit 0,5 bzw. 1 % Algen der Gattung *Laminaria digitata* mit einem Jodgehalt von 5348 mg/kg Algen konnte die Jodkonzentration der Milch auf durchschnittlich 924 bzw. 1819 $\mu\text{g/l}$ erhöht werden. Auch in diesem Versuch konnte keine Beeinträchtigung der Milchqualität oder Veränderung der Serumkonzentration der Schilddrüsenhormone festgestellt werden (Hornauer, 2001).

Jodanreicherung von Fleisch

Obwohl Muskelgewebe nicht in der Lage ist ähnlich wie die Schilddrüse und die Milchdrüse Jod aktiv anzureichern (Hemken, 1980), besteht die Möglichkeit durch die Erhöhung des Jodgehaltes des Futters die Jodkonzentration des Fleisches von Broilern, Rindern und Schweinen zu steigern.

Durch die Gabe von Ethylendiamindijodid wurde nach vier Wochen der Jodgehalt verschiedener Muskeln von Milchkühen durchschnittlich von 91 auf 406 $\mu\text{g/kg}$ erhöht (Downer et al., 1981).

Groppel et al. (1991) zeigten, dass die Jodierung von Mastkühenfutter mit 0,1, 1, 10 und 100 mg Jod/kg als KIO_3^- oder KI^- zu einer signifikanten Erhöhung der Jodkonzentration in Brustmuskel, Herz, Leber und Niere führt. In der Brustmuskulatur erhöhte sich bei einer Dosierung von 10 mg Jod/kg der Jodgehalt von 32 $\mu\text{g/kg}$ TS auf 385 $\mu\text{g/kg}$ TS, wobei allerdings schon deutliche Anzeichen eines Jodexzesses wie vergrößerte Schilddrüsen zu beobachten waren. Eine geringere Jodzufuhr wurde dagegen ohne nachteilige Auswirkungen von den Tieren vertragen.

Neben der Bestimmung der Jodkonzentration im Hühnerfleisch untersuchte Kaufmann (1997) auch den Jodgehalt der Brustmuskulatur der Legehühner. Dieser erhöhte sich durch die Supplementierung des Futters mit 0,5, 1,0, 2,0 und 5,0 mg Jod/kg bzw. mit 5 und 10 % Algen unabhängig von Höhe und Form der Jodgabe auf durchschnittlich 47 µg/kg. Ohne Jodsupplementierung enthielt der Brustmuskel mit 20 µg/kg deutlich weniger Jod.

In einem früheren Versuch mit Mastschweinen konnte die Jodkonzentration in Muskulatur und verschiedenen Organen durch Anreicherung des Aufzucht- und Mastfutters mit 30 mg KIO₃/kg deutlich gesteigert werden. Der Jodgehalt der Muskulatur (Musculus longissimus dorsi) erhöhte sich von 23 µg/kg auf 138 µg/kg. Durch die Jodzulage wurden weder Mast- noch Schlachtleistung oder Fleischqualität gemindert (Rambeck et al., 1997).

Auch in der Fütterung von Forellen konnten die Braunalgen *Laminaria digitata* mit positiven Auswirkungen auf den Jodgehalt des Muskelfleisches eingesetzt werden. Eingesetzt wurden Forellen mit einem Anfangsgewicht von durchschnittlich 100 g über einen Fütterungszeitraum von bis zu 24 Wochen. Durch die Anreicherung des Futters mit 16 mg Jod/kg konnte der Jodgehalt des Fischfilets auf mehr als das Doppelte erhöht werden ohne dabei Gewichtszunahme, Futtermittelverwertung und Fleischqualität zu beeinflussen. Zwei Gruppen erhielten Futter mit 0,5 und 1 %igem Zusatz von *Ascophyllum nodosum*, wodurch allerdings keine wesentliche Erhöhung des Jodgehaltes im Fischfilet erzielt wurde (Kuznik, 2001).

Burkard (2002) verfütterte über neun Monate ein Fischfutter mit einem Algenzusatz von 0,8 % an Saiblinge und untersuchte sie alle vier Wochen auf ihren Jodgehalt und die Fleischqualität. Dabei ergab sich im Filet der mit Algen supplementierten Fische ein ca. drei- bis vierfacher Jodgehalt wie im Fleisch der Kontrollfische. Die Qualität des Fleisches wurde nicht beeinträchtigt. In dieser Arbeit wurde auch der Jodverlust in Folge des Räucherns als gängige Weiterverarbeitung von Saiblingen untersucht. Dabei wurde ein Rückgang des Jodgehaltes um 20 % verzeichnet.

2.3.6.4 Medikamentöse Jodprophylaxe

Da alle Maßnahmen zur Verbesserung der Jodversorgung bislang nur bedingt erfolgreich waren, müssen Risikogruppen wie schwangere und stillende Frauen, Kinder sowie Patienten mit ärztlich verordneter Kochsalzrestriktion weiterhin mit Jodidtabletten versorgt werden.

Auch die zunehmende Verordnung von Jodidtabletten seit 1986 auf ca. 181 Millionen Tagesdosen im Jahr 1993 führte erst zu einer Versorgung von ca. eine halbe Million Deutscher mit reinem Jodid (Pfannenstiel, 1995). Trotz der guten Wirksamkeit dieser Maßnahme bleibt sie als Jodprophylaxe für die breite Bevölkerung ungeeignet, da Tabletten immer die Mitarbeit des Einzelnen erfordern. Eine Rolle hierbei spielt auch das schlechte Image von Tabletten i. a. hervorgerufen durch die Angst vor möglichen Nebenwirkungen (Filetti et al., 1985).

In schwer zugänglichen Gebieten, wie z.B. abgelegene Gebiete Asiens besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (Kinder und Frauen in gebärfähigem Alter) mit hohen Joddosen versorgt. Verwendet wird jodiertes Öl, das im Abstand von einem oder mehreren Jahren oral oder intramuskulär appliziert wird. Das so aufgenommene Jod wird im Fettgewebe eingebaut, langsam freigesetzt und für die Produktion von Schilddrüsenhormonen verwendet (Delange, 1996).

2.3.7 Folgen des Jodmangels

Als Folgen des dauerhaften Unterschreitens des physiologischen Jodbedarfes kommt es zu einer Vielzahl von Störungen, die unter der Abkürzung IDD für Iodine Deficiency Disorders zusammengefasst werden (Hetzel, 1983) und in Tabelle 16 aufgliedert nach Vorkommen in den verschiedenen Alterstufen dargestellt sind.

Altersstufe	IDD
Fetus	Abort Totgeburt Angeborene Anomalien Vermehrt perinatale Todesfälle Erhöhte Säuglingssterberate Kretinismus Psychomotorische Ausfälle
Neugeborenes	Neugeborenenstruma Neugeborenenhypothyreose
Kindheit und Jugend	Struma Juvenile Hypothyreose Verringerte geistige Funktion Verzögerte körperliche Entwicklung
Erwachsene	Struma und seine Komplikationen Hypothyreose Verringerte geistige Funktion Durch Jod hervorgerufene Hyperthyreose

Tabelle 16: Spektrum der Iodine Deficiency Disorders (IDD) (nach Hetzel, 1993)

Struma und Kretinismus stellen also nur die auffälligsten Folgen des Jodmangels dar.

Auch der in Europa herrschende gering- bis mittelgradige Jodmangel hat nicht nur die erhöhte Strumaprävalenz zur Folge. Bei einer Untersuchung an Schulkindern in Italien, die während der fetalen und neonatalen Lebensperiode unter Jodmangel litten, konnte eine gegenüber der Kontrollgruppe signifikant langsamere Reaktionszeit beobachtet werden. Keinerlei signifikanten Unterschiede fanden sich bei der körperlichen Entwicklung und bei kognitiven Leistungen (Vitti et al., 1992).

In Europa war 1980 die reversible Neugeborenenhypothyreose achtmal so häufig wie in den USA. Die möglichen Folgen hiervon wurden von Calaciura et al. (1995) in einer Region mit endemischem Vorkommen von Struma im Iran untersucht. Sie verglichen die körperliche Entwicklung und den Intelligenzquotienten von Kindern mit bzw. ohne reversible Neugeborenenhypothyreose. Im Alter von 6 bis 9,5 Jahren waren alle Kinder körperlich dem Alter entsprechend entwickelt. Bei Untersuchung der geistigen Fähigkeiten allerdings blieben die Kinder mit Neugeborenenhypothyreose signifikant hinter der Kontrollgruppe zurück

Als sekundären Jodmangel bezeichnet man das Auftreten der oben beschriebenen Störungen trotz einer ausreichenden Versorgung mit Jod. Dies ist v. a. dann gegeben, wenn strumigene Substanzen in der Nahrung vorkommen. Hierher gehören z.B. Thioglycoside, die bei der Verdauung zu Thiozyant und Isothiozyanat abgebaut werden und in Pflanzen der Gattung Brassica gefunden werden. In Maniok (Grundnahrungsmittel in vielen tropischen Gebieten), Mais, Bambussprossen, Süßkartoffeln und Limabohnen sind Cyanoglycoside enthalten, die bei Verdauung Cyanid freisetzen, welches zu Thiocyanat entgiftet wird. Dieser Substanzen bewirken eine Verhinderung des Jodtransportes in die Schilddrüse, Ausbleiben der Umwandlung von Jodid in elementares Jod, Stimulation der Jodausscheidung und in höheren Dosen eine kompetitive Wirkung beim Einbau in die Schilddrüsenhormone (Ermans et al., 1980).

Weitere Ursachen für einen sekundären Jodmangel sind eine erhöhte Nitratbelastung, bestimmte nicht-thyreoidale Erkrankungen, die zu einer Supression der Hypothalamus-Hypophysen-Thyreoida-Achse führen, und eine Unterversorgung mit Proteinen.

2.3.8 Jod in der Schweinefütterung

Futtermittelrechtlich ist eine Jodergänzung des Schweinefutters von 10 mg/kg erlaubt (Richtlinie des Rates vom 23.11.1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung 70/524/EWG, zuletzt geändert durch die Richtlinie 96/7/EWG vom 21.2.1996).

Nach Untersuchungen von Schöne (1999) werden von Misch- bzw. Mineralfutterherstellern Jod in Dosierungen zwischen 130 bis 2500 µg /kg Futtertrockenmasse eingesetzt.

Die Bedarfsempfehlungen für die Jodversorgung variieren zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen Gesellschaften für Futternormierung stark. In Deutschland gelten die Angaben der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1987), die eine Bedarfsempfehlung von 600 µg/kg Futtertrockensubstanz für Zuchtsauen und 150 µg/kg für wachsende Schweine angibt.

Der Jodbedarf erhöht sich durch die Fütterung von glucosinolatreichen Futtermitteln wie Raps. Bei der Ölgewinnung aus Raps reichern sich im Rapsextraktionsschrot neben Proteinen Glucosinolate an, die durch das Enzym Myrosinase zu Thiozyant, Isothiozyanat oder Nitrile abgebaut werden. Seit Mitte der 80er Jahre stehen glucosinolatarme Rapssorten zur Verfügung. Die Folgen eines hohen Glucosinolatgehaltes in der Ration sind Hypothyreose, Wachstumsminderung und Veränderungen des Vitamin-A- und des Spurenelementstatus (Schöne et al., 1993, Schöne et al., 1997). Durch bedarfsüberschreitende Jodgaben konnten die diese nur bis zu ca. 1 g (= 2,4 mmol)/kg Glucosinolate verhindert werden (Schöne et al., 1993).

Noch heute wird von einer verbreiteten Unterversorgung der Nutztiere mit Jod ausgegangen. Besonders gefährdet sind neugeborene Ferkel von Sauen, die während der Trächtigkeit unter Jodmangel litten. Es kommt dann vermehrt zur Geburt lebensschwacher Ferkel mit partieller oder totaler Haarlosigkeit und mit einer rötlichen oder rötlich-braunen Verfärbung der Haut. Daneben sind eine starke Faltenbildung der Haut oder ödematöse Durchtränkung der Unterhaut, kurze Extremitäten und Kümern zu beobachten. Die Sauen zeigen meist bis auf Fruchtbarkeitsstörungen und eine verlängerte Trächtigkeit keine Symptome.

Schöne et al. (1999) überprüften verschieden Joddosierungen bis 10 mg/kg und konnten keine negative Beeinflussung der Futteraufnahme, der Wachstumsintensität oder des Futteraufwandes feststellen.

Bei Untersuchungen hinsichtlich einer möglichen Toxizität bedarfsüberschreitender Jodgaben kamen Newton und Clawson (1974) zu folgenden Ergebnissen. Bis zu einer Dosierung von 400 ppm kam es zu keinerlei Beeinflussung der Leistungsparameter. Bei noch höheren Jodbelastungen mit 800 und 1600ppm wurden die Wachstumsrate, Futteraufnahme und auch der Hämoglobingehalt des Blutes verringert. Dies konnte durch Eisenapplikation verhindert werden. Schon bei Dosierungen von 400ppm kam es zu einer signifikanten Verringerung des Eisengehaltes der Leber.

2.3.9 Meeresalgen als Jodquelle

Die zunehmende Verknappung von Rohstoffen und damit auch die steigenden Preisen machten v. a. in Entwicklungsländern die Suche nach neuen, möglichst billigen Nahrungsquellen notwendig. Algen können wertvolle Quellen für Rohfaser, Rohprotein, ungesättigte Fettsäuren und Spurenelemente darstellen (Metting et al., 1988).

2.3.9.1 Systematik der Algen

Der Begriff Algen beinhaltet eine sehr heterogene Gruppe von 13 verschiedenen Stämmen niederer Pflanzen, deren Lebensraum hauptsächlich das Wasser, aber auch das Festland, Vulkaninseln, Schnee- und Eisfelder darstellt.

Unterschieden werden sie mittels ihrer Farbe, chemischer Eigenschaften und ihrer Nährstoffe in Grünalgen (Chlorophyta), Braunalgen (Phaeophyta), Rotalgen (Rhodophyta) und Blaualgen (Cyanophyta), wobei es sich bei letzteren wegen ihres Zellaufbaus eigentlich um Cyanobakterien handelt.

In unseren Versuchen wurden Braunalgen der Gattung *Laminaria digitata* verwendet. Sie wachsen an felsigen Küsten und in Gewässern bis zu 30 Meter Tiefe, in denen sie zu weitausgedehnten Algenwiesen heranwachsen können. Ihr Vorkommen erstreckt sich auf alle Küsten Großbritanniens, Irlands und Islands, den Norden Russlands und den Nordosten Grönlands. Des Weiteren findet man sie in der Bretagne, wo sie u. a. für die Alginatproduktion und wie auch in Irland für die Algen-Gemüse-Produktion geerntet werden (Guiry, 2000).

2.3.9.2 Ernährungsphysiologische Aspekte der Meeresalgen

Algen besitzen die Fähigkeit über ihre Oberfläche selektiv Nährstoffe aus dem Meerwasser aufzunehmen. Dadurch lässt sich ihr im Vergleich zum umgebenden Meerwasser erhöhte Gehalt an Mineralien erklären.

In der vorliegenden Arbeit galt das Interesse dem hohen Jodgehalt der Algen und ihrer möglichen Ausnutzung als Jodquelle in der Schweinefütterung. Algen enthalten je nach Art und Herkunft eine unterschiedlich hohe Jodkonzentration. Hou et al. (1997) bestimmten in sieben Algenarten den Jodgehalt und die Art der chemischen Verbindung. In diesem Versuch variierte die Jodkonzentration zwischen 13 mg/kg TS (*Ulva pertusa*) und 3040 mg/kg TS (*Laminaria japonica*), wobei in letztere 99,2 % des Jods in löslicher Form vorlag. 61 bis 93 % des wasserlöslichen Jods liegen in Algen als Jodid vor, 5,5 - 37,4 % als organisch gebundenes Jod und nur 1,4 - 4,5 % als IO_3^- .

Daneben eignen sich Algen sehr gut als Lieferanten für Kalzium, Natrium, Magnesium, Kalium, Phosphor, Eisen, Zink und andere Spurenelemente. Außerdem stellen sie eine interessante Quelle für Vitamin A, B und C dar. Der Gehalt an Vitamin B und C liegt generell höher als in frischem Obst und Gemüse. Dieser hohe Gehalt an Mineralstoffen stellt allerdings ein Problem dar für die Verfütterung großer Mengen Algen. Die Entstehung weicher Fäzes bei Verfütterung von mehr als 5 % Algen wird damit in Zusammenhang gebracht. Dagegen zeigten Untersuchungen mit Broiler, dass eine Supplementierung mit bis zu 10 % keine negativen Folgen für Wachstum, Futtermittelverwertung und Qualität des Schlachtkörpers hatten. (Lipstein und Hurwitz, 1983).

Algen enthalten zu weniger als 4 % ihrer Trockenmasse Rohfett. Von diesen entfällt mehr als 50 % auf einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren, wobei langkettige Fettsäuren (C16, C18 und C20) dominieren (Herbreteau et al., 1997). Über die Verfütterung von mit ungesättigten Fettsäuren supplementierten Futter ist es möglich ihren Gehalt in Fleisch, Milch und Eiern zu erhöhen (Barlow und Pike, 1991). Mehrfach ungesättigte Fettsäuren scheinen sowohl für die Gehirnentwicklung (Neuringer et al., 1988), als auch für den Schutz vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen wichtig zu sein.

Durch die Fähigkeit Nährstoffe anzureichern ergibt sich jedoch auch eine mögliche Gefährdung durch den alimentären Einsatz von Algen, da es dadurch auch zu einer Anreicherung toxischer Stoffe wie Quecksilber, Blei, Arsen oder Benzpyren kommen kann.

3. Material und Methoden

3.1 Fütterungsversuch

3.1.1 Versuchstiere und Tierhaltung

Der Fütterungsversuch wurde mit jeweils 24 männlich-kastrierten und weiblichen Mastschweinen (Deutsche Landrasse x Pietrain) durchgeführt. Die Schweine stammten aus neun verschiedenen Würfen eines Ferkelerzeugers (Erzeugergemeinschaft für Ringferkel Mühldorf e.V. in Ampfing) und hatten zu Versuchsbeginn ein Gewicht von durchschnittlich 17,3 Kilogramm.

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere in sechs Gruppen eingeteilt, wobei auf eine gleichmäßige Verteilung hinsichtlich des Geschlechts, der Wurfzugehörigkeit und des Gewichtes geachtet wurde.

Die Haltung der Schweine erfolgte auf Betonboden mit Kotgitter in Einzelboxen der Stallungen des Institutes für Tierernährung am Oberwiesenfeld. Jede Box verfügte über eine Nippeltränke und einen eigenen Trog. Die einzelnen Tiere jeder Gruppe wurden gleichmäßig auf die Boxen verteilt, um so möglichst gleiche räumliche Bedingungen für jede Gruppe gewährleisten zu können.

3.1.2 Fütterungsmodus und Futterzusammensetzung

Die Fütterung der Schweine erfolgte zweimal täglich. Die ersten 8 Wochen wurden sie mit der Futtermischung 1 ad libitum und in den sechs folgenden Wochen vor der Schlachtung restriktiv mit Mischung 2 gefüttert. Die jeweils gefressenen Mengen wurden dabei festgehalten und die eventuell von der vorherigen Fütterung vorliegende Restmenge zurück gewogen.

Die Grundzusammensetzung beider Mischungen basierte auf Gerste, Weizen, Hafer und Sojabohnen (Tabelle 17). Sie entsprachen in Roh Nährstoff-, Vitamin- und Mineralstoffgehalt den geltenden Empfehlungen und waren für alle Gruppen gleich. Jod war dem Futter keiner Gruppe zugefügt worden.

Komponente (%)	Aufzuchtperiode	Mastperiode
Gerste	30,10	28,30
Weizen	33,22	35,00
Hafer	10,00	10,00
Stärke	1,00	1,00
Sojaextraktionsschrot	20,00	17,00
Sojaöl	2,00	5,00
Lysin	0,05	0,03
NaCl	0,30	0,30
Calciumcarbonat	1,50	1,60
Calciummonophosphat	0,90	1,00
Calciumpropionat	0,50	0,50
Errechnete Gehalte		
Rohprotein (g/kg)	172,50	164,00
Lysin (g/kg)	8,97	7,87
Methionin + Cystein (g/kg)	5,60	5,20
Umsetzbare Energie (MJ/kg)	13,17	13,78

Tabelle 17: Zusammensetzung der Basisration in der Aufzucht- und Mastperiode des Schweineversuches

Dem Futter (MI und MII) der Gruppen 2 und 3 wurde Jod in Form von Kaliumjodid (5 bzw. 8 mg/kg) und dem der Gruppen 4 und 5 eine 5 bzw. 8 mg/kg enthaltende Menge an Algen der Gattung Laminaria zugesetzt. Der Jodgehalt der Algen war zuvor bestimmt worden.

Die Gruppe 6 erhielt eine Mischung Seltener Erden (REE-B) bestehend aus Lanthan (45mg/kg) und Cer (62mg/kg) zugemischt. Der Zusatz an Jod bzw. Seltenen Erden ist der Tabelle 18 zu entnehmen.

Gruppe	Jodzusatz (mg/kg)	REE-zusatz	I-/ REE-Quelle	(mg/kg)
1 (Kontrolle)	0	0		
2 (KI-niedrig dosierte)	5	0	Kaliumjodid	6,54
3 (KI-hoch dosierte)	8	0	Kaliumjodid	10,46
4 (Alge-niedrig dosierte)	5	0	Laminaria digitata	1.160
5 (Alge-hoch dosierte)	8	0	Laminaria digitata	1.857
6 (REE)	0	La 45 Ce 62	REE-B	300

Tabelle 18: Versuchsaufbau. Gehalte der einzelnen Rationen an Jod bzw. Seltenen Erden

3.2 Probennahme

Vor Beginn des Fütterungsversuches wurden von allen Gruppen Futterproben beider Mischungen gewonnen.

Zur Bestimmung der Gewichtszunahme wurden alle Schweine im Abstand von zwei Wochen gewogen. Der Futterverzehr wurde morgens und abends festgehalten und vorliegende Futterreste zurück gewogen. Diese Einzelmengen konnten mit Ablauf der zwei Wochen addiert werden und so die Futtermittelverwertung bestimmt werden.

Mit Ende der ersten Fütterungsperiode und bei der Schlachtung wurden von jedem Tier Blutproben gewonnen. Nach vollständiger Gerinnung wurde das Blut vorsichtig mit einem Plastikspatel vom Rand des Röhrchens gelöst und bei 3000 Umdrehungen/Minute 10 Minuten lang zentrifugiert. Das so erhaltene Serum wurde in Portionen zu 1 ml abgefüllt und bis zu den Untersuchungen tiefgefroren.

Die Schlachtung erfolgte an zwei Terminen mit einwöchigem Abstand, wobei jeweils von jeder Gruppe die Hälfte der Tiere geschlachtet wurde. Direkt an die Schlachtung anschließend wurde der Urin durch Punktion der entnommenen Harnblase, eine Niere, ein Leberlappen, ein Teil des Herzens, die Schilddrüse, Bauchfett und ein Stück der Musculi adductores gewonnen. Von den Tieren der Gruppen eins (Kontrolle) und sechs (REE) wurden die ganze Leber und das ganze Herz entnommen.

3.3 Schlachtleistung

Von der Leistungsprüfungsanstalt für Schweine der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht in Grub wurden die Schlachtkörper auf folgende Parameter hin untersucht und die Daten erfasst.

3.3.1 Schlachtgewicht

30 Minuten nach der Schlachtung wurde der noch warme Schlachtkörper gewogen und das so ermittelte Gewicht festgehalten.

3.3.2 pH-Werte

Am Schinken (*Musculus semimembranosus*) wurde 24 Stunden nach der Schlachtung an zwei Stellen der pH-Wert elektrometrisch gemessen (pH₂₄-Schinken) und der Mittelwert davon errechnet. Am Kotelett (*Musculus logissimus dorsi*) erfolgte die Messung nach 45 Minuten (pH₁-Kotelett) und nach 24 Stunden (pH₂₄-Kotelett). Letztere wurde an drei verschiedenen Stellen durchgeführt und wiederum der Mittelwert errechnet.

Die Messung wird mittels eines Messgerätes mit einer Elektrode durchgeführt, die mit der Elektrodenspitze nach unten zeigend in das Muskelfleisch eingestochen wird. Zur Anpassung an die jeweilige Temperatur des Schlachtkörpers wird das Temperaturpotentiometer des Messgerätes auf die Temperatur des Fleisches eingestellt. Gemessen wird die Spannung zwischen der pH-Gaselektrode und der in der Muskulatur eingestochenen Bezugselektrode. Vor der Messung muss das Gerät mittels zweier Pufferlösungen, deren pH-Wert den zu erwartenden Messwert einschließt, geeicht werden.

Die gemessenen Werte dienen der Bewertung der Fleischbeschaffenheit. Diese wird maßgeblich durch die Geschwindigkeit des pH-Abfalles nach der Schlachtung des Tieres beeinflusst.

Der pH-Wert der Muskulatur lebender Tiere liegt bei etwa 7,0 und fällt bis zur ersten Messung nach 45 Minuten auf Werte über 5,8, solange es sich um eine normale Fleischbeschaffenheit handelt bzw. über 6,0 bei einer sehr guten. Dagegen bedeutet ein Wert von 5,6 und weniger auf eine Veränderung, die als PSE-Fleisch bezeichnet wird. PSE steht für pale, soft und exsudative. Ein pH₁-Wert zwischen 5,6 und 5,8 legt den Verdacht auf diese Veränderung nahe. Bei den Messungen nach 24 Stunden werden die gleichen Werte wie bei normalem Fleisch, nämlich zwischen 5,4 und 5,8 erreicht.

Eine weitere Veränderung der Fleischbeschaffenheit wird durch die Messungen nach 24 Stunden festgestellt. Diese trägt den Namen DFD-Fleisch (dark, firm and dry). Sie kennzeichnet sich durch einen langsamen und unvollständigen pH-Abfall. Eindeutig um DFD-Fleisch handelt es sich bei einem pH-Wert von über 6,2. Zwischen 6,0 und 6,2 besteht lediglich der Verdacht auf diese Veränderung.

3.3.3 Fleischhelligkeit

Neben dem pH-Wert dient auch die Fleischhelligkeit (Opto-Star) der Beurteilung der Fleischbeschaffenheit.

Das Ergebnis der Messung wird in Punkten angegeben, wobei eine normale Fleischbeschaffenheit einem Wert zwischen 61 und 65 Punkten entspricht. Sehr gutes Fleisch liegt bei 66 bis 80 Punkten. Eindeutig um PSE-Fleisch handelt es sich bei Werten unter 55 Punkten, dagegen legen 55 bis 60 Punkte einen PSE-Verdacht nahe. Bei einer Fleischhelligkeit von 81 bis 85 Punkten besteht der Verdacht, dass es sich um DFD-Fleisch handelt. Werten über 85 Punkten sind eindeutige Hinweise auf diese Veränderung des Fleisches.

3.3.4 Fleisch/Fettverhältnis

Dieser Parameter dient als Hinweis auf den Fleischanteil des Schlachtkörpers. Am Kotelettanschnitt zwischen der 13. und 14. Rippe wird die Fett- und die Fleischfläche gemessen. Das Verhältnis beider wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Fleisch : Fett} = 1 : \frac{\text{Fettfläche in cm}^2}{\text{Fleischfläche in cm}^2}$$

3.3.5 Handelsklassen

Für die Einteilung in Handelsklassen wird der Muskelfleischanteil gemessen. Dies erfolgt durch Messung der Rückenspecktiefe und der Muskelhöhe auf Höhe der zweit- und drittletzten Rippe. Aus beiden Ergebnissen errechnet man über eine Schätzformel den Muskelfleischanteil in Prozent. Die Einteilung in Handelsklassen ist in Tabelle 19 zu ersehen.

Handelsklasse	Muskelfleischanteil in %
E	>55
U	50 - 55
R	45 - 50
O	40 - 45
P	< 40

Tabelle 19: Einteilung der Handelsklassen im EUROP-System

3.4 Bestimmung der REE-Konzentration

3.4.1 Analyseverfahren

Mit Hilfe einer Neutronenquelle, in diesem Falle eines Forschungsreaktors, werden stabile Isotope des Probenmaterials durch Bestrahlung mit Neutronen zu Radionukliden aktiviert. Dadurch können verschiedene Kernreaktionen hervorgerufen werden. Bei der NAA kommt es vornehmlich zur Absorption eines Neutrons in den Atomkern. Dies führt zu einer Erhöhung der Massenzahl um eine Einheit und zur Entstehung eines instabilen Nuklids. Bei ihrem Zerfall senden sie gamma-Quanten aus, die spektrometrisch mittels verschiedener Detektorsystemen analysiert werden können. Durch die Messung der gamma-Energie und der Zerfallshalbwertszeit ist ein eindeutiger Rückschluss auf Art und Menge des ursprünglich in der Probe vorliegenden Elements möglich (Krafka, 1999).

3.4.2 Bestimmung der Seltenen Erden in Organ- und Futterproben

Probenvorbereitung

Von den Leber-, Nieren- und Muskelproben jedes Tieres wurden zunächst jeweils Äquivalente von 10 g abgewogen und zu einer respektiven Einzelprobe der Kontrollgruppe und der mit Seltenen Erden gefütterten Gruppe zusammengefügt. Diese wurden mittels eines handelsüblichen Zerkleinerers homogenisiert. Anschließend folgte die Gefriertrocknung in einem Lyophilisator (Fa. Christ).

REE-Bestimmung

Die eigentliche Bestimmung des Gehaltes an Seltenen Erden in den Proben erfolgte am Institut für Radiochemie der Technischen Universität München nach dem oben beschriebenen Prinzip.

3.5 Serumuntersuchung

Alle im Folgenden beschriebenen Parameter wurden im Labor der I. Medizinischen Tierklinik der Ludwig–Maximilians-Universität in München untersucht.

3.5.1 Probenvorbereitung

Nach Gerinnung der Blutproben wurde das Blut mit einem Plastikspatels vorsichtig vom Rand des Röhrchens gelöst. Anschließend wurde es bei 3000 Umdrehungen/Minute 10 Minuten lang in einer Tischkühlzentrifuge Typ 301 K (Firma Sigma, Osterode/Harz) zentrifugiert und das so gewonnene Serum zu je 1 ml in kleine Serumgefäße abpipettiert. Bis zur Analyse wurden die Serumporben bei - 18°C gelagert.

3.5.2 Elektrolytbestimmung

Natrium, Kalium und Calcium

Nach Verdünnung der Serumproben mit Aqua dest. wurden die Natrium-, Kalium- und Calciumkonzentrationen in einem Flammenphotometer der Firma Eppendorf Typ EFOX 5053 V2.73 bestimmt.

Dazu wird das verdünnte Probenmaterial in einem Brenner vernebelt. In der heißen, nicht leuchtenden Flamme emittieren die zu untersuchenden Kationen ein jeweils charakteristisches Spektrum, aus dem die jeweilige Messwellenlänge (z.B. 589nm für Natrium) ausgewählt wird. Diese wird der Fotozelle zugesendet und entsprechend der Konzentration des gemessenen Elements entsteht ein elektrisches Signal. Angezeigt wird es als Lichtemission, die direkt proportional zur Konzentration ist (Kraft, Dürr Labordiagnostik 5. Auflage 1999).

Chlorid

Die Messung der Chloridkonzentration erfolgte in einem Absorptionsphotometer (Corning Chloride Analyzer 925).

Durch Chlorid wird aus Quecksilberchloranilat Chloranilsäure frei. Diese ist rotviolett gefärbt und die Farbintensität ist entsprechend der Chloridkonzentration. Die Messung erfolgt bei 500 nm.

3.5.3 Bestimmung der Leberenzyme, Lipide, Proteine, Glucose und Phosphat

Die folgenden Werte wurden in einem Analysenautomaten der Firma Hitachi Böhringer GmbH, Mannheim Typ 717 Automatic Analyzer bestimmt.

Das Prinzip der Messung stellt immer die Photometrie dar, wobei der zu messende Farbstoff über verschiedenen Hilfsreaktionen entsteht bzw. abgebaut wird.

3.5.4 Bestimmung der Schilddrüsenhormone

Die Konzentration der Schilddrüsenhormone wurde mit dem Gerät ES 300 der Firma Böhringer GmbH, Mannheim gemessen. Bestimmt wurde sowohl der freie als auch der gebundene Anteil der Hormone Thyroxin (T_4) und Trijodthyronin (T_3) mit folgenden Testkits: Enzymun-Test T_3 , Enzymun-Test FT_3 , Enzymun-Test T_4 und Enzymun-Test FT_4 .

Das benützte Gerät stammt aus der Humanmedizin. Das Prinzip der Bestimmung ist der ELISA. Ein natürliches und ein mit Peroxidase markiertes Hormon konkurrieren um die Bindungsstellen an einem entsprechenden Antigen. Je höher die Konzentration des natürlichen Hormons ist, umso weniger des markierten wird gebunden. Nach Auswaschung des nicht gebundenen Anteils wird H_2O_2 und Chromogen zugegeben. Die Bildung eines Farbstoffes wird photometrisch gemessen und die Hormonkonzentration mit Hilfe einer Eichkurve bestimmt.

3.6 Bestimmung der Jodkonzentration

3.6.1 Analyseverfahren

Für die Jodbestimmung in organischem Material muss zunächst die Probe aufbereitet werden. Dazu erfolgen als erstes der Aufschluss der organischen Struktur und die Mineralisierung des Materials. Als nächstes wird Jod in Form des nichtflüchtigen Jodats oder Jodids in wässrige Lösung überführt.

Die eigentliche Jodbestimmung basiert auf einer von Sandell und Kolthoff (1937) entwickelter und von GROPPÉL (1987) modifizierter Methode zur Bestimmung kleiner Jodmengen. Dabei wird das gelbe Ce^{4+} im sauren Medium durch Beigabe von As^{3+} zum farblosen Ce^{3+} reduziert, wobei diese Farbabnahme sehr langsam verläuft. Durch Zugabe von I^- als spezifischen Katalysator kann die Reaktion beschleunigt werden. Dabei werden alle die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussenden Faktoren außer der Jodidkonzentration konstant gehalten. Somit wird die gelbe Cer-Lösung durch hohe Jodidkonzentrationen schneller entfärbt als durch niedrige. Die Farbabnahme wird mittels eines Photometers bei 405 nm

gemessen. Nach Ablauf eines festgesetzten Zeitraumes nach Zugabe der Cer-Lösung wird die verbleibende Extinktion der Proben gemessen. Mit Hilfe von Jodstandardlösungen muss für jeden Probendurchlauf eine neue Standardkurve (siehe Abbildung 2) erstellt werden. Mittels dieser Eichkurve ist es möglich für jeden gemessenen Extinktionswert die zugehörige Jodkonzentration zu berechnen.

3.6.2 Jodbestimmung in Futter- und Organproben durch alkalische Veraschung

Bei der Bestimmung von Jod in Futter- und Organproben werden die Proben mit Hilfe der alkalischen Trockenveraschung aufbereitet. Diese erfolgt durch eine mehrstündige Veraschung im Muffelofen und mit Hilfe von Kalilauge und Zinksulfat.

Reagenzien

- **4n KOH:** Auffüllen von 224,4 g KOH (Merck-Nr. 105032) mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1 l
- **20%ige ZnSO_4 :** 356,2 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck-Nr. 108883) wurden mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1 l aufgefüllt.
- **0,33n HCl:** Auffüllen von 33,33 ml 37 %iger HCl (Merck-Nr. 105021) auf 1 l mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$
- **As_2O_3 - Lösung:** Auflösung von 6 g NaOH (Merck-Nr. 106495) in ca. 50 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ und Aufschwemmung von 9,891 g As_2O_3 (Merck-Nr. 100120). Anschließend Zugabe von 160,8 ml 95 – 97 %iger H_2SO_4 (Merck-Nr. 100731) und ca. 500 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ unter ständigem Rühren und Kühlen. Auffüllung auf 1000 ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$, Abkühlen und Filtrieren. Aufbewahrung bei Raumtemperatur an einem dunklen Ort.
- **Ce^{4+} -Lösung:** Dazu wurden in 200 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ 5,377 g $(\text{NH}_4)_4\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck-Nr. 102273) aufgeschlämmt, mit 80,4 ml 95 – 97 %iger H_2SO_4 (Merck-Nr. 100731) gelöst und nach Abkühlen mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1000 ml aufgefüllt.

- **Jodstandards:** Lösung von 1,686 g KIO_3 oder 1,308 g KI in 1 l $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$. 1 ml dieser Lösung wurde wiederum mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1 l aufgefüllt, wodurch man eine Stammlösung mit der Konzentration von 1 μg Jod/ml erhielt. Durch weitere Verdünnung wurden hieraus die Arbeitsstandards mit Konzentrationen von 20, 50, 100, 200, 300, 400 und 500 μg I/l hergestellt. Als Blindwert diente Reinstwasser.

Apparate

- Pipetten
- Universalzerkleinerer Typ Speedy (Firma Krups Solingen)
- Pürierstab Typ Ultra-Turax T 25 (Firma Janke & Kunkel, IKA -Labortechnik, Staufen i. Br.)
- Beheizbarer Magnetrührblock (Firma Janke & Kunkel, IKA -Labortechnik, Staufen i. Br.)
- Faltenfilter 1573 $\frac{1}{2}$, Durchmesser 150 mm (Firma Schleicher & Schnell, Dassel)
- Laborwaage Typ Handy (Firma Sartorius, Göttingen)
- Trockenschrank Typ T12 Function Line (Firma Heraeus, Hanau)
- Muffelofen Typ M110 thermicon P (Firma Heraeus, Hanau)
- Rotator Typ REAX 2 (Firma Heidolph, Kehlheim)
- Tischkühlzentrifuge Typ 301 K (Firma Sigma, Osterode/Harz)
- Vortexer Typ L46 (Gesellschaft für Laborbedarf, Würzburg)
- Spektralphotometer Typ Spectronic 601 (Firma Milton Roy Company, New York)

Bestimmung

Probenvorbereitung

Die Organ- und Muskelproben wurden zunächst mit Hilfe eines handelsüblichen Zerkleinerers mit Schlagwerk und eines Pürierstabes homogenisiert. Die Futterproben wurden gemahlen.

Anschließend wurden Doppelproben (0,5 - 0,7 g abhängig vom verwendeten Material) in hitzeresistente Glaszentrifugengläser mit Rundboden (Wandstärke 15 mm, Firma Schmidt GmbH, Suhl) eingewogen. Die Einwaage wurde notiert.

Diese Doppelproben wurden mit 0,5 ml 4 N KOH und bis zu 1 ml Wasser versetzt. Das Ganze wurde dann mit einem Spatel gut durchgerührt und über Nacht bei Zimmertemperatur stehengelassen. Nach Zugabe von 0,5 ml 20 %iger ZnSO₄ und erneutem Umrühren wurden die Proben mindestens 24 Stunden bei 110°C getrocknet. Nach der Trocknung wurden die Proben mittels eines Spatels oder Schraubenziehers zu feinem Pulver gemörsert.

Alkalische Veraschung

Nach Trocknung und Pulverisierung der Proben wurden sie im Muffelofen verascht. Verwendet wurde ein Temperaturprogramm mit einer neunstündigen Vorveraschung bei 150°C. Anschließend wurde in mehreren Stufen bis auf 600 °C aufgeheizt. Die eigentliche Veraschung erfolgte bei 600 °C und dauerte eine Stunde und 45 Minuten. Als Endergebnis erhielt man eine gelbliche oder weiße Asche mit vom Ausgangsmaterial abhängig unterschiedlich vielen schwarzen Resten.

Vorbereitungen zur Bestimmung

Nach Abkühlung der Gläser wurde die Asche in 5 ml Wasser gelöst, zugestöpselt und für 20 Minuten im Rotator über Kopf geschüttelt. Anschließend wurden sie bei 3000 Umdrehungen pro Minute 10 Minuten lang zentrifugiert. 1 ml des Überstandes wurden in Einmal-Rundbodenröhrchen aus Polypropylen (Durchmesser 16mm, Fassungsvermögen 12ml, Firma Eurolab, Darmstadt) und mit 2,5 ml eines Gemisches aus einem Teil Arsenlösung und 1,5 Teilen 0,33 n HCl-Lösung auf dem Vortexer gemischt.

Zur Herstellung der Standardwerte wurden zu 1 ml der Arbeitsstandards (0 bis 500µg Jod/l) 0,5 ml 4n KOH, 0,5 ml 20%ige ZnSO₄ und 3 ml Wasser gegeben. Auch dies erfolgte als

Doppelansatz. Das Ganze wurde wie die Proben in Rotator und Zentrifuge behandelt und anschließend mit oben angeführtem Gemisch versetzt.

Eigentliche Jodmessung

Zu den Standards und den Proben wurde im Abstand von 30 Sekunden zwischen den einzelnen Proben 1 ml Cer-Lösung gegeben und sofort auf dem Vortexer gemischt. Ein Teil des Gemisches wurde nach ca. 10 Minuten in Einmal-Makro-Küvetten Nr. 1101 aus Polystyrol (Firma Müller ratiolab, Dreieich) abgefüllt. Nach genau 11 Minuten wurde die Extinktion bei einer Wellenlänge von 405 nm im Photometer gemessen und notiert.

Mit den gemessenen Extinktionswerten der Standards wurde eine Standardkurve (siehe Abbildung 2) erstellt und deren Steigung errechnet. Mittels dieser Formel und der Extinktion der Proben konnte deren Jodgehalt berechnet werden. Der berechnete Wert in ng bezog sich auf die Einwaage. Durch Division des Jodgehaltes durch das eingewogene Probenmaterial erhielt man den Jodgehalt in ng Jod/g bzw. μg Jod/kg ursprüngliche Substanz. Zur korrekten Berechnung der Jodgehalte war es notwendig, dass die gemessene Extinktion innerhalb eines annähernd linearen Bereiches der exponentiellen Funktion lag. War dies nicht der Fall oder lag die Extinktion sogar außerhalb der des höchsten verwendeten Jodstandards musste der zentrifugierte Überstand verdünnt werden

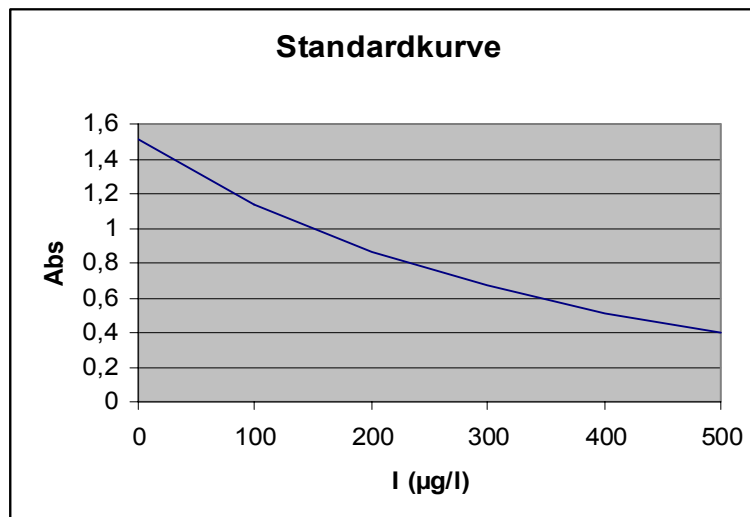


Abbildung 2: Eichkurve zur Berechnung der Jodkonzentration im Futter und den Organ- und Muskelproben ($y = 1,4989e^{-0,0027x}$, $R = 0,9992$)

3.6.3 Jodbestimmung in den Urinproben

Prinzip

Die Bestimmung der Jodkonzentration im Urin erfolgt nach einer von DUNN et al. (1993) beschriebener Methode. Auch diese basiert auf dem Prinzip der Sandell-Kolthoff-Reaktion und wurde für eigene Bedürfnisse geringfügig modifiziert.

Im Unterschied zu obiger Methode wird das Probenmaterial vor der Jodbestimmung einer sauren Nassveraschung unterworfen.

Reagenzien

- **Chlorsäure-Lösung:** Unter mehrstündigem Erhitzen wurden 500 g KClO_3 (Merck-Nr. 104944) in 910 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ in einem 2 l Erlenmeyer-Kolben gelöst. Zu dieser Lösung wurden unter ständigem Rühren 375 ml 70 %ige HClO_4 (Merck-Nr. 100519) langsam (ca. 15 ml/Min.) zugegeben und das Ganze wurde für 12 Stunden in den Gefrierschrank (ca. -18°C) gegeben. Anschließend wurde die Lösung filtriert und bei $+4^\circ\text{C}$ gelagert.
- **As_2O_3 -Lösung:** Unter ständigem Rühren wurden 20 g As_2O_3 (Merck-Nr. 100120) und 50 g NaCl (Merck-Nr. 106404) in 400 ml 5n H_2SO_4 in einem 2 l Erlenmeyer-Kolben gelöst. Anschließend wurde mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf ca. 1 l aufgefüllt und unter Rühren bei niedriger Hitze der Bodensatz aufgelöst. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur erfolgte die Auffüllung mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 2 l und Filtration. Die so erhaltene Lösung konnte bei Lagerung im Dunkeln bei Raumtemperatur mehrere Monate verwendet werden.
- Für die **Ce^{4+} -Lösung** werden 48 g $(\text{NH}_4)_4\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck-Nr. 102273.) in 1 l 3,5n H_2SO_4 in Lösung gebracht und anschließend bis zur Verwendung bei Raumtemperatur dunkel gelagert.
- **5n H_2SO_4 -Lösung:** Langsame Zugabe von 139 ml konz. H_2SO_4 (Merck-Nr. 100731) zu 700 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$. Anschließend Abkühlung und Auffüllung mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1 l.
- **3,5n H_2SO_4 -Lösung:** 97 ml konz. H_2SO_4 wurden langsam zu 800 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ gegeben und nach Abkühlung mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ auf 1 l aufgefüllt.

- **Jodstandards:** Die Jodstandards wurden entsprechend der oben angeführten Methode hergestellt in Konzentrationen von 20, 50, 100, 150, 200 und 250 µg Jod/l. Als Blindwert wurde Reinstwasser verwendet.

Apparate

- Pipetten
- Laborwaage Typ Handy (Firma Sartorius, Göttingen)
- Beheizbarer Magnetrührblock (Firma Janke & Kunkel, IKA-Labortechnik, Staufen i. Br.)
- Faltenfilter 1573 ½ , Durchmesser 150 mm (Firma Schleicher & Schnall, Dassel)
- Beheizbarer Metallblock für Reagenzgläser mit Thermostat-Steuerung Typ CHL-12-60-16 (Firma Liebisch, Bielefeld)
- Vortexer Typ L46 (Gesellschaft für Laborbedarf, Würzburg)
- Spektralphotometer Typ Spectronic 601 (Firma Milton Roy Company, New York)

Bestimmung

Probenvorbereitung und Nassveraschung

Nach Homogenisierung der Urinproben im Vortexer wurden die Aliquots entnommen. Im Urin enthaltene Bestandteile wie abgeschilferte Zellen wurden mit verwendet. Insgesamt wurden je Urinprobe je Doppelansatz 250 µl in ein hitzebeständiges Pyrex-Glas (Rundboden, 15cm hoch, Firma Bibby Sterilin LTd, Stone/Großbritannien) pipettiert und mit 750 µl Chlorsäure-Lösung versetzt. Die Veraschung erfolgte anschließend in einem Heizblock unter einem Abzug bei 110°C für eine Stunde. Die eventuell anfallende Gelbfärbung verschwand im Laufe der Abkühlung.

Von den Jodstandards wurden im Doppelansatz in einem Konzentrationsbereich von 0 bis 250 µg Jod/l ebenfalls 250 µl verwendet. Auch das weitere Verfahren entsprach dem der Urinproben.

Eigentliche Jodmessung

Das Prinzip der Jodmessung im Urin entsprach dem der Messung in Futter-, Organ- und Muskelproben.

Zu jeder Probe bzw. zu jedem Standard wurden nach Abkühlung 3,5 ml Arsen-Lösung pipettiert und sofort auf dem Vortexer gemischt. Nach mindestens 15 Minuten wurden 350 µl Cer-Lösung in jedes Reagenzglas gegeben und wiederum mit dem Vortexer gemischt. Aus den Reagenzgläsern schüttete man nach ca. 19 Minuten einen Teil der Probe in Einmal-Makro-Küvetten aus Polystyrol (Firma Müller ratiolab, Dreieich) und bestimmte die Extinktion bei 405 nm nach genau 20 Minuten. Die so erhaltenen Werte wurden notiert.

Über die Erstellung einer Eichgerade mittels der Extinktionswerte der Jodstandards wurden die in den Proben enthaltenen Jodmengen wie oben beschrieben errechnet. Die Einheit der Jodkonzentration entsprach ng Jod/ml bzw. µg Jod/l Urin.

3.7 Statistische Analysen

Die statistischen Auswertungen der Ergebnisse erfolgten mit dem Computerprogramm SAS. Folgende Werte wurden errechnet:

- arithmetischer Mittelwert zur Zusammenfassung der acht Einzelwerte jeder Gruppe
- Standardabweichung zur Abschätzung der Streuung
- Ermittlung der Signifikanzen mittels des T-Tests um die Mittelwerte miteinander zu vergleichen
- Varianzanalysen zum Vergleich der Werte mehrerer Gruppen anhand des LS-Means Tests

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Serumanalysen und der Schlachttieruntersuchung wurden für die beiden verschiedenen Versuchsteile zusammen aufgelistet. Lediglich für die Ergebnisse der Untersuchung der Schilddrüsenhormone erfolgte dies getrennt.

4.1 Serumanalysen

4.1.1 Serumelektrolyte

Bei der Untersuchung von Natrium, Calcium, Chlorid und Phosphat ergaben sich im Gegensatz zum Kaliumwert sowohl nach Fütterungsabschnitt 1, als auch nach Abschnitt 2 keinerlei signifikante Unterschiede. Die gemessenen Werte können der Tabelle 20 entnommen werden.

Gruppe	Natrium	Kalium	Calcium	Chlorid	Phosphat
<i>Fütterungsabschnitt 1</i>					
Kontrolle	165,31 +/- 6,12	6,77 +/- 0,57	3,20 +/- 0,12	112,33 +/- 4,31	3,74 +/- 0,22
KI - niedrig	160,70 +/- 5,32	6,28 ^a +/- 0,63	3,12 +/- 0,22	108,50 +/- 5,53	3,83 +/- 0,34
KI - hoch	161,26 +/- 5,08	7,11 ^a +/- 0,86	3,16 +/- 0,16	110,50 +/- 3,45	3,93 +/- 0,58
Alge - niedrig	160,33 +/- 4,42	6,59 +/- 0,46	3,05 +/- 0,09	110,00 +/- 4,15	3,97 +/- 0,37
Alge - hoch	165,55 +/- 9,20	6,49 +/- 0,72	3,12 +/- 0,23	108,20 +/- 1,47	3,96 +/- 0,46
REE	165,31 +/- 6,23	6,85 +/- 0,54	3,19 +/- 0,16	111,67 +/- 2,05	3,82 +/- 0,37
<i>Fütterungsabschnitt 2</i>					
Kontrolle	158,66 +/- 3,34	5,88 ^b +/- 0,38	2,89 +/- 0,17	108,29 +/- 2,49	3,81 +/- 0,49
KI - niedrig	156,31 +/- 6,23	6,20 +/- 0,95	2,83 +/- 0,17	105,57 +/- 3,06	4,05 +/- 0,61
KI - hoch	155,28 +/- 7,59	5,97 ^c +/- 0,51	2,89 +/- 0,20	104,17 +/- 2,19	4,08 +/- 1,08
Alge - niedrig	158,16 +/- 6,54	6,03 +/- 0,66	2,89 +/- 0,22	108,38 +/- 5,27	4,00 +/- 0,31
Alge - hoch	158,94 +/- 4,86	6,75 ^{bc} +/- 1,05	2,93 +/- 0,20	107,50 +/- 3,54	3,73 +/- 0,38
REE	159,91 +/- 7,94	6,37 +/- 0,40	2,89 +/- 0,21	106,57 +/- 3,54	3,94 +/- 0,50

Tabelle 20: Elektrolytkonzentration im Serum der Schweine aus den einzelnen Rationsgruppen mit Abschluss des Fütterungsabschnittes 1 und 2 im Versuch mit Algen und Seltenen Erden (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $p < 0,05$)

4.1.2 Leberenzyme

Folgende Leberenzyme wurden im Serum gemessen: Aspartataminotransferase (AST), Alaninaminotransferase (ALT) und alkalische Phosphatase (AP). Nach dem ersten Fütterungsabschnitt ergab sich bei Messung der AST zwischen den mit KI⁻ in hoher Dosierung und den mit der niedrigen Dosis Algen gefütterten Tiere bzw. bei Messung der ALT zwischen beiden mit KI⁻ supplementierten Gruppen ein signifikanter Unterschied. Die Werte sind in Tabelle 21 aufgeführt.

Gruppe	AST	ALT	AP
<i>Fütterungsabschnitt 1</i>			
Kontrolle	18,75 +/- 7,07	24,63 +/- 1,73	303,25 +/- 46,98
KI - niedrig	17,00 +/- 5,61	28,63 ^a +/- 7,02	306,25 +/- 52,90
KI - hoch	15,00 ^a +/- 4,64	23,63 ^a +/- 2,60	305,88 +/- 58,96
Alge - niedrig	23,25 ^a +/- 11,66	27,50 +/- 3,91	282,75 +/- 36,34
Alge - hoch	18,38 +/- 5,98	26,00 +/- 3,81	318,63 +/- 79,25
REE	19,75 +/- 8,36	28,13 +/- 5,16	282,63 +/- 44,28
<i>Fütterungsabschnitt 2</i>			
Kontrolle	45,00 +/- 9,49	28,86 +/- 5,99	324,14 +/- 69,24
KI - niedrig	60,25 +/- 22,90	27,63 +/- 4,00	332,75 +/- 58,49
KI - hoch	60,00 +/- 21,28	27,00 +/- 3,77	316,25 +/- 65,32
Alge - niedrig	71,75 +/- 35,54	29,00 +/- 3,67	285,88 +/- 67,95
Alge - hoch	66,50 +/- 41,43	28,88 +/- 4,59	292,00 +/- 60,22
REE	61,75 +/- 21,72	32,38 +/- 6,34	331,25 +/- 44,36

Tabelle 21: Konzentration der Leberenzyme im Serum der Schweine in den einzelnen Rationsgruppen nach dem Fütterungsabschnitt 1 und 2 (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $p < 0,05$)

4.1.3 Cholesterin-, Triglycerid-, Gesamtprotein-, Albumin- und Glucosewerte

Bei Messung des Cholesterins (Chol), der Triglyceride (Trigl), des Gesamtproteins (TP), des Albumins (Alb) und der Glucose (Gluc) ergab sich für keinen der Werte ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe. Dies gilt sowohl für die Messung nach dem ersten, als auch für die nach dem zweiten Fütterungsabschnitt (siehe Tabelle 22).

Gruppe	Chol	Trigl	TP	Alb	Gluc
<i>Fütterungsabschnitt 1</i>					
Kontrolle	2,76 +/- 0,38	0,37 +/- 0,11	77,16 +/- 7,95	44,03 +/- 2,13	6,78 +/- 0,69
KI - niedrig	2,87 +/- 0,31	0,34 +/- 0,08	75,66 +/- 4,46	43,99 +/- 3,87	6,97 +/- 0,56
KI - hoch	2,71 +/- 0,27	0,52 +/- 0,34	72,74 +/- 4,51	44,67 +/- 2,49	6,93 +/- 0,52
Alge - niedrig	2,81 +/- 0,34	0,40 +/- 0,07	75,61 +/- 4,43	45,72 +/- 3,13	7,00 +/- 0,63
Alge - hoch	2,81 +/- 0,44	0,44 +/- 0,16	74,63 +/- 3,13	44,97 +/- 1,87	6,74 +/- 0,87
REE	2,87 +/- 0,43	0,31 +/- 0,08	76,03 +/- 5,12	45,77 +/- 1,70	7,14 +/- 1,11
<i>Fütterungsabschnitt 2</i>					
Kontrolle	3,22 +/- 0,22	0,61 +/- 0,16	77,30 +/- 4,79	50,93 +/- 4,93	6,51 +/- 0,91
KI - niedrig	3,18 +/- 0,54	0,58 +/- 0,10	79,25 +/- 6,23	49,64 +/- 5,30	7,06 +/- 2,57
KI - hoch	3,16 +/- 0,33	0,71 +/- 0,09	76,25 +/- 2,58	50,01 +/- 5,76	6,79 +/- 1,89
Alge - niedrig	3,01 +/- 0,27	0,59 +/- 0,19	82,96 +/- 2,93	50,68 +/- 4,12	6,32 +/- 0,62
Alge - hoch	2,84 +/- 0,42	0,57 +/- 0,20	76,83 +/- 6,40	46,15 +/- 2,75	6,52 +/- 1,32
REE	3,21 +/- 0,29	0,57 +/- 0,12	79,44 +/- 5,17	48,84 +/- 5,41	7,28 +/- 0,95

Tabelle 22: Konzentration an Cholesterin, Triglyceride, Gesamtprotein, Albumin und Glucose im Serum der Schweine der einzelnen Rationsgruppen nach dem ersten und zweiten Fütterungsabschnitt

4.2 Schlachtergebnisse

4.2.1 Einteilung in Handelsklassen

Bei der Einteilung der Schlachtkörper nach dem Handelsklassensystem EUROP unterschieden sich die Gruppen nur geringfügig. Alle Tiere wurden in die Handelsklassen E oder U, also in die beiden besten Klassen eingeteilt. Bei der Kontrollgruppe erreichten vier

Schweine die Bestnote E und drei die Einteilung U. Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen sind der Tabelle 23 zu entnehmen.

Gruppe	Klasse E	Klasse U
Kontrolle	4	3
KI-niedrig	5	3
KI-hoch	5	3
Alge-niedrig	3	5
Alge-hoch	3	5
REE	5	3

Tabelle 23: Einteilung der Schlachtkörper in Handelsklassen im Versuch mit Algen und Seltenen Erden

4.2.2 PH-Werte

Zur Untersuchung des pH-Wertes wurden Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten und an verschiedenen Stellen des Schlachtkörpers durchgeführt. Daraus ergaben sich die folgenden Werte. Im Bereich des Rückenmuskels wurde pH1RM als Einzelmessung und pH24RM als Durchschnittswert dreier Messungen in verschiedenen Bereichen ermittelt. Am Schinken wurde aus zwei Messungen der Mittelwert errechnet (pH24S). Die Werte sind der Tabelle 24 zu entnehmen es ergaben sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Die gemessenen pH-Werte lagen bei allen Gruppen im normalen Bereich.

Gruppe	pH 1 Rückenmuskel	pH 24 Rückenmuskel	pH 24 Schinken
Kontrolle	5,81 +- 0,15	5,48 +- 0,08	5,62 +- 0,10
KI-niedrig	5,83 +- 0,06	5,43 +- 0,04	5,47 +- 0,04
KI-hoch	6,12 +- 0,14	5,69 +- 0,08	5,89 +- 0,16
Alge-niedrig	5,81 +- 0,05	5,48 +- 0,04	5,56 +- 0,06
Alge-hoch	5,84 +- 0,12	5,44 +- 0,08	5,70 +- 0,21
REE	5,94 +- 0,13	5,53 +- 0,14	5,71 +- 0,14

Tabelle 24: Vergleich der pH-Werte im Rückenmuskel und im Schinken von Schweinen der verschiedenen Gruppen im Versuch mit Algen und mit Seltenen Erden.

4.2.3 Fleischhelligkeit

Bei der Beurteilung der Fleischhelligkeit ergaben sich nur geringe, nicht signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Die Durchschnittswerte aller Gruppen bewegten sich im Bereich zwischen 66 und 80 Punkten und somit kann das Fleisch hinsichtlich der Fleischhelligkeit als sehr gut eingestuft werden.

Gruppe	Opto 1	Opto 2
Kontrolle	69,86 +- 7,30	69,80 +- 7,34
KI-niedrig	76,63 +- 1,84	76,98 +- 1,64
KI-hoch	67,70 +- 8,90	67,55 +- 9,55
Alge-niedrig	66,80 +- 4,50	66,80 +- 4,50
Alge-hoch	72,35 +- 9,15	73,05 +- 9,35
REE	66,95 +- 4,25	67,05 +- 3,90

Tabelle 25: Ergebnisse der Messung der Fleischhelligkeit in Punkten der verschiedenen Gruppen im Versuch mit Algen und Seltenen Erden

4.2.4 Fleisch-Fett-Verhältnis

Auch beim Fleisch-Fett-Verhältnis ergaben sich keinerlei signifikanten Unterschiede. Den größten Fleischanteil hatte die Gruppe KI-niedrig, den geringsten die Gruppe, die mit Seltenen Erden gefüttert worden waren.

Gruppe	Fleischfläche	Fettfläche	Fleisch : Fett
Kontrolle	40,55 +- 2,73	12,07 +- 2,74	1 : 0,298
KI-niedrig	38,66 +- 4,18	10,36 +- 1,40	1 : 0,268
KI-hoch	43,12 +- 1,68	14,28 +- 5,08	1 : 0,331
Alge-niedrig	47,24 +- 2,44	14,44 +- 1,47	1 : 0,306
Alge-hoch	40,74 +- 1,88	13,79 +- 0,64	1 : 0,338
REE	43,45 +- 4,06	18,08 +- 2,44	1 : 0,416

Tabelle 26: Ergebnisse der Fleischfläche (cm²) und Fettfläche (cm²) und des sich daraus ergebenden Verhältnisses für Mastschweine im Versuch mit Algen und Seltenen Erden.

4.3 Einfluss der Zulage von Seltenen Erden zum Futter

4.3.1 Fütterungsversuch

4.3.1.1 Entwicklung des Körpergewichtes und der täglichen Gewichtszunahmen

Das Körpergewicht der Kontrolltiere lag zu Beginn des Fütterungsversuches bei durchschnittlich 17,7 kg und das der REE-Gruppe bei 17,4 kg. Schon zwei Wochen später waren letztere durchschnittlich um 0,7 kg schwerer. Am Ende der Fütterungsperiode 1 wogen die Kontrolltiere durchschnittlich 53,2 kg und die Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert wurden 59,6 kg. Dieser Abstand vergrößerte sich im Laufe des Versuches auf 10 kg. Die Schweine der REE- Gruppe brachten so nach 12 Wochen durchschnittlich 86 kg auf die Waage. Die Kontrolltiere dagegen nur 76 kg. Dies entspricht einer Steigerung von rund 13 %.

Gruppe	Woche 0	Woche 2	Woche 4	Woche 6	Woche 8	Woche 10	Woche 12
Kontrolle	17,7 +/- 1,7	22,0 +/- 1,7	31,3 +/- 3,0	42,1 +/- 3,7	53,2 +/- 5,7	63,0 +/- 6,8	76,0 +/- 8,6
REE	17,4 +/- 2,4	22,7 +/- 2,2	32,6 +/- 3,1	45,3 +/- 3,9	59,6 +/- 4,8	70,5 +/- 4,7	86,0 +/- 6,4

Tabelle 27: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliches Gewicht in kg der Schweine in den beiden Rationsgruppen nach 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 Wochen

Ebenso gestaltet sich der Unterschied zwischen beiden Gruppen bei den täglichen Gewichtszunahmen. So nahm ein Schwein der Kontrollgruppe im Fütterungsabschnitt 1 durchschnittlich 635 g zu. Ein Schwein, das mit Seltenen Erden gefüttert wurde dagegen um 755 g schwerer. Dies bedeutet eine signifikante Steigerung ($p < 0,05$) von rund 19 %.

Gruppe	Tägliche Zunahme	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	635,1 +/- 85,1	100,0 %
REE	754,6 * +/- 62,7	118,8 %

Tabelle 28: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 1 (*bedeutet signifikanter Unterschied $p < 0,05$ zur Kontrolle)

Während des zweiten Fütterungsabschnittes verringerte sich der Unterschied in der täglichen Gewichtszunahme beider Gruppen ein wenig. Durch die Zulage von Seltenen Erden zum Futter erhöhte sie sich um rund 12 %. Dies entspricht einer täglichen Zunahme von durchschnittlich 941 g gegenüber 842 g ohne Seltene Erden.

Gruppe	tägliche Zunahme	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	841,7 +/- 129,1	100,0 %
REE	941,1 +/- 132,1	111,8 %

Tabelle 29: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 2

Über die gesamte Versuchsdauer hinweg ergab sich folgendes Bild: Die Schweine der Kontrollgruppe hatten durchschnittlich eine tägliche Gewichtszunahme von 694 g und lagen somit 14 % unter denen der REE-Gruppe, die täglich 788 g zunahmen (siehe Tabelle 30).

Gruppe	tägliche Zunahmen	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	694	100,0 %
REE	788	114,0 %

Tabelle 30: Versuch mit Seltenen Erden. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während des gesamten Versuches

4.3.1.2 Entwicklung und Vergleich des Futtermittelsverbrauchs

In den ersten acht Versuchswochen, also im Fütterungsabschnitt 1 ergab sich durch die Zulage von Seltenen Erden ein um 7 % gesteigerter Futtermittelsverbrauch. Ein Schwein der REE-Gruppe verbrauchte also rund 90 kg Futter (siehe Tabelle 31).

Gruppe	Futtermittelsverbrauch in kg	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	84,1 +/- 7,4	100,0 %
REE	90,1 +/- 6,6	107,4 %

Tabelle 31: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittlicher Futtermittelsverbrauch (in kg) je Schwein der beiden Rationsgruppen im Fütterungsabschnitt 1

Im Fütterungsabschnitt 2 verbrauchte die Kontrollgruppe je Tier durchschnittlich rund 64 kg und die REE-Gruppe 69 kg. Dies entspricht einer Steigerung des Verbrauches von rund 8 % (siehe Tabelle 32).

Gruppe	Futtermittelsverbrauch	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	63,5 +/- 7,0	100,0 %
REE	68,9 +/- 6,3	108,4 %

Tabelle 32: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittlicher Futtermittelsverbrauch (in kg) je Schwein der beiden Rationsgruppen im Fütterungsabschnitt 2

Bei der täglichen Futtermengeaufnahme ergab sich für beide Gruppen folgendes Bild (siehe Tabelle 33): In den ersten beiden Wochen verbrauchten die Tiere beider Gruppen mit 794 bzw. 791 g annähernd gleich viel. Dies änderte sich in der dritten und vierten Woche nur wenig. In diesem Zeitraum nahm ein Schwein der REE-Gruppe durchschnittlich 90 g mehr auf als eines der Kontrolle. Am Ende des ersten Fütterungsabschnittes betrug dieser Unterschied schon 200 g.

Mit Umstellung auf die Futtermischung 2 vergrößerte er sich auf 300 g. Ein Tier der Kontrollgruppe verbrauchte somit 1917 g, eines der REE-Gruppe 2223 g. In den letzten beiden Versuchswochen ergab sich wieder ein geringerer Abstand von rund 150 g.

Gruppe	Woche 1 - 2	Woche 3 - 4	Woche 5 - 6	Woche 7 - 8	Woche 9 - 10	Woche 11 - 12
Kontrolle	794 +/- 32	1409 +/- 137	1766 +/- 175	2042 +/- 261	1917 +/- 267	2565 +/- 288
REE	791 +/- 33	1497 +/- 120	1896 +/- 180	2240 +/- 219	2223 +/- 190	2696 +/- 274

Tabelle 33: Versuch mit Seltenen Erden. Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge in g je Schwein im gesamten Fütterungsversuch

4.3.1.3 Entwicklung und Vergleich der Futtermengeverwertung

In der Futtermengeverwertung zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Im ersten Fütterungsabschnitt lag die REE-Gruppe mit durchschnittlich 2,13 g verbrauchtem Futter pro g Gewichtszunahme um 10,5 % unter dem Ergebnis der Kontrollgruppe mit 2,38 (siehe Tabelle 34)

Gruppe	Futtermengeverwertung	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	2,38 +/- 0,11	100,0 %
REE	2,13 +/- 0,07	89,5 %

Tabelle 34: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliche Futtermengeverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 1

Bei der restriktiven Fütterung mit der Futtermischung 2 lag die Futtermengeverwertung beider Gruppen mit 2,71 und 2,64 auf nahezu demselben Niveau. Es ergab sich aber immer noch eine Verbesserung gegenüber der Kontrollgruppe von rund 2,5 % (siehe Tabelle 35).

Gruppe	Futtermittelnutzung	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	2,71 +/- 0,18	100,0 %
REE	2,64 +/- 0,17	97,4 %

Tabelle 35: Versuch mit Seltenen Erden. Durchschnittliche Futtermittelnutzung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 2

Für den gesamten Versuch ergab sich dadurch eine Erniedrigung des Futtermittelverbrauches der Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert wurden um 5 %. Sie verbrauchten pro g Körpergewicht nur 2,4 g Futter. Für die Schweine aus der Kontrollgruppe betrug die Futtermittelnutzung 2,53 g/g.

Die Entwicklung der Futtermittelnutzung während des gesamten Versuches zeigt die Tabelle 36. Den größten Effekt zeigten die Seltenen Erden während der ersten beiden Versuchswochen mit einer Verbesserung der Futtermittelnutzung um rund 20 %. In den nächsten beiden Wochen lagen beide Gruppen auf nahezu gleichem Niveau (2,14 bzw. 2,12). Im weiteren Versuchsverlauf behielt die REE-Gruppe die besseren Ergebnisse.

Gruppe	Woche 1 - 2	Woche 3 - 4	Woche 5 - 6	Woche 7 - 8	Woche 9 - 10	Woche 11 - 12
Kontrolle	2,64 +/- 0,32	2,14 +/- 0,13	2,30 +/- 0,17	2,59 +/- 0,20	2,77 +/- 0,20	2,68 +/- 0,27
REE	2,09 +/- 0,19	2,12 +/- 0,14	2,11 +/- 0,16	2,19 +/- 0,05	2,52 +/- 1,05	2,48 +/- 0,24

Tabelle 36: Versuch mit Seltenen Erden. Entwicklung der Futtermittelnutzung (g/g) der beiden Rationsgruppen während des gesamten Versuches

4.3.2 Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse

4.3.2.1 Gehalt an Seltenen Erden im Futter

Im Futter der Kontrollgruppe, dem keine Seltenen Erden zugefügt worden waren, konnte in beiden Futtermischungen mittels Neutronenaktivierungsanalyse ein Gehalt von 0,2 Lanthan und 0,3 mg/kg Cer nachgewiesen werden.

Dem Futter der REE-Gruppe waren 150 mg/kg der Mischung Seltener Erden (38 % Lanthanchlorid und 52,1 % Cerchlorid) zugefügt worden. Davon konnten in der Futtermischung 1 36,4 mg/kg Lanthan und 49,2 mg/kg Cer nachgewiesen werden. In der Futtermischung 2 lag der Anteil an beiden Elementen mit 43,1 mg/kg Lanthan und 57,7 mg/kg Cer etwas höher (siehe Tabelle 37).

Gruppe	Futtermischung 1		Futtermischung 2	
	La	Ce	La	Ce
Kontrolle	0,2	0,3	0,2	0,3
REE	36,4	49,2	43,1	57,7

Tabelle 37: Versuch mit Seltenen Erden. Gehalt in mg/kg an Seltenen Erden in Futtermischung 1 und 2 für Schweine der beiden Rationsgruppen

4.3.2.2 Gehalt an Seltenen Erden in Muskel, Leber und Niere

Bei der Analyse der Proben der Kontrollgruppe unterschied sich in Muskulatur, Leber und Niere der Lanthanwert nur geringfügig (siehe Tabelle 38). In Muskel und Niere wurden 3,0 und in der Leber 2,8 µg/kg Trockensubstanz TS nachgewiesen. Muskel und Niere enthielten 33,0 bzw. 34,0 µg/kg TS Cer. In der Leber fand sich dieses Element dagegen mit 52,0 µg/kg TS zu einem weitaus höheren Anteil.

In den Proben der Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert worden waren, vervielfachten sich die für Lanthan gemessenen Werte. Sie stiegen in der Muskulatur auf 19,0 µg/kg TS, in der Niere auf 22,3 µg/kg und in der Leber auf 53,4 µg/kg. Der Cergehalt lag dagegen auf einem ähnlichen Niveau wie in der Kontrollgruppe. In der Muskulatur und der Niere wurden 36 µg/kg TS gemessen. In der Leber verringerte sich der Cergehalt auf 47 µg/kg TS.

Gruppe	Muskel		Leber		Niere	
	La	Ce	La	Ce	La	Ce
Kontrolle	3	< 33	2,8	< 52	< 3	< 34
REE	19	< 36	53,4	< 47	22,3	< 36

Tabelle 38: Versuch mit Seltenen Erden. Gehalt an Seltenen Erden (µg/kg) in Muskulatur, Leber und Nieren der Schweine aus den beiden Rationsgruppen

4.3.3. Ergebnisse der Organvermessung

Bei der auf den zweiten Schlachttermin erfolgenden Vermessung des Herzens, der Leber, der Niere und des Darmes wurden folgende Ergebnisse erzielt (siehe Tabelle 39). Die Unterschiede zwischen beiden Gruppen waren in keinem Fall signifikant:

Ein Herz eines Schweins der Kontrollgruppe wog im Durchschnitt 310,7 g und war somit rund 6 g oder 2 % schwerer als eines der Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert worden waren. Dies entspricht bei Bezug auf das Körpergewicht 4,1 bzw. 3,7 g/g Körpergewicht.

Das durchschnittliche Gewicht der Leber der Kontrollgruppe lag mit 1054 g sogar um rund 7 % über dem der REE-Gruppe mit 977 g. Pro Gramm Körpergewicht ergab sich ein Gewicht der Leber von 14,0 bzw. 11,6 g.

Ein ähnliches Ergebnis ergab sich beim Wiegen der Niere. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen lag bei 5 %. Eine Niere eines Schweins der Kontrollgruppe wog durchschnittlich 127,5 g bzw. 1,69 g/g Körpergewicht. Die Niere eines Schweins, das mit Seltenen Erden gefüttert worden war dagegen nur 121,5 g bzw. 1,43 g/g.

Gruppe	Herz		Leber		Niere	
	Gewicht	Zu KG	Gewicht	Zu KG	Gewicht	Zu KG
Kontrolle	310,7 +/- 29,8	4,11 +/- 0,32	1054 +/- 109	13,98 +/- 1,57	127,5 +/- 26,2	1,69 +/- 0,32
REE	305,0 +/- 42,3	3,65 +/- 0,89	977,0 +/- 109,0	11,55 +/- 1,57	121,5 +/- 15,6	1,43 +/- 0,11

Tabelle 39: Versuch mit Seltenen Erden. Vergleich des Gewichtes in g und des Verhältnisses Organgewicht zu Körpergewicht KG in g/kg des Herzens, der Leber und der Niere der Schweine aus den beiden Rationsgruppen (Anzahl der Proben = 4)

Im Gegensatz dazu war der Dünndarm der Tiere aus der Kontrollgruppe leichter und auch kürzer als der der Tiere aus der REE-Gruppe (siehe Tabelle 40). Im Gewicht lag der Unterschied mit 897 g zu 1032 g bei 15 %. Bei Bezug auf das Körpergewicht ergab sich für die Tiere der Kontrollgruppe mit 12,1 g/kg ein besseres Ergebnis als für die Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert worden waren.

Die Darmlänge der Schweine aus der Seltenen Erden-Gruppe lag mit 20,9 m um rund 7 % über den 19,6 m der Kontrolltiere.

Gruppe	Darmgewicht	Gewicht/KG	Darmlänge
Kontrolle	897,0 +/- 84	12,1 +/- 0,87	19,62 +/- 0,86
REE	1032,0 +/- 48	11,7 +/- 1,23	20,9 +/- 1,17

Tabelle 40: Versuch mit Seltenen Erden. Vergleich des Gewichtes in g, des Verhältnisses Darmgewicht zu Körpergewicht in g/kg und der Länge in m des Dünndarmes der Schweine aus den beiden Rationsgruppen (Anzahl der Proben = 4)

4.3.4 Ergebnisse der Messung der Schilddrüsenhormone

Bei der Messung des Serumspiegels an Schilddrüsenhormonen ergaben sich für T3 nach dem ersten und nach dem zweiten Fütterungsabschnitt bei den mit Seltenen Erden gefütterten Tieren niedrigere Werte als bei den Kontrolltieren. Der erste Wert lag mit durchschnittlich 1,65 nmol/l signifikant ($p < 0,05$) unter den 2,38 nmol/l der Kontrollgruppe. Nach dem zweiten Fütterungsabschnitt unterschieden sich beide Gruppen nur geringfügig voneinander. Die Thyroxinkonzentration der REE-Gruppe lag zu beiden Probenahmen über der der Kontrollgruppe. Eine Signifikanz konnte nicht nachgewiesen werden.

Gruppe	Fütterungsabschnitt 1		Fütterungsabschnitt 2	
	T3	T4	T3	T4
Kontrolle	2,38 * +/- 0,60	53,35 +/- 14,16	1,28 +/- 0,39	55,55 +/- 22,92
REE	1,65 * +/- 0,12	58,17 +/- 13,64	1,20 +/- 0,36	69,99 +/- 7,86

Tabelle 41: Versuch mit Seltenen Erden. Konzentration der Schilddrüsenhormone T3 und T4 im Serum der Schweine der beiden Rationsgruppen nach Fütterungsabschnitt 1 und 2 (* symbolisiert signifikanten Unterschied $p < 0,05$)

4.4 Einfluss variierender Jodzulagen zum Futter

4.4.1 Fütterungsversuch

4.4.1.1 Entwicklung des Körpergewichtes und der täglichen Gewichtszunahmen

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere so auf die Gruppen verteilt, dass sich in jeder ein durchschnittliches Gewicht von 17,4 kg ergab.

Am Ende des ersten Fütterungsabschnittes unterschieden sich die einzelnen Gruppen z. T. deutlich, wenn auch nicht signifikant in ihrem Körpergewicht voneinander. Die Tiere der Kontrollgruppe waren mit 53,2 +/- 5,7 kg im Durchschnitt am leichtesten, gefolgt von denen der Gruppe Alge-hoch dosiert (53,6 +/- 4,5 kg). Die Gruppen KI-niedrig dosiert, Alge-niedrig dosiert und KI-hoch dosiert erreichten mit 55,9 +/- 6,5 kg, 56,0 +/- 3,0 kg und 56,1 +/- 4,2 kg deutlich höhere Ergebnisse.

Im Laufe des zweiten Fütterungsabschnittes veränderte sich die Reihenfolge der Gruppen nur geringfügig. Am Ende des Versuches ergab sich für die Kontrollgruppe ein durchschnittliches Gewicht von 76,0 +/- 8,6 kg. In der Gruppe Alge-niedrig dosiert war es mit 81,9 +/- 6,0 kg

am höchsten. Die übrigen Gruppen lagen mit 81,2 +/- 6,9 kg (KI-hoch dosiert), 80,4 +/- 10,9 kg (KI-niedrig dosiert) und 79,6 +/- 6,4 kg (Alge-hoch dosiert) nur knapp darunter. Die Gruppen unterschieden sich zu keinem Zeitpunkt signifikant voneinander.

Gruppe	Woche 0	Woche 2	Woche 4	Woche 6	Woche 8	Woche 10	Woche 12
Kontrolle	17,7 +/- 1,7	22,0 +/- 1,7	31,3 +/- 3,0	42,1 +/- 3,7	53,2 +/- 5,7	63,0 +/- 6,8	76,0 +/- 8,6
KI-niedrig	17,6 +/- 2,8	22,4 +/- 3,0	31,7 +/- 3,5	42,8 +/- 4,5	55,9 +/- 6,5	66,5 +/- 8,4	80,4 +/- 10,9
KI-hoch	17,3 +/- 1,4	22,0 +/- 1,4	31,8 +/- 1,5	43,0 +/- 2,3	56,1 +/- 4,2	67,0 +/- 4,8	81,2 +/- 6,9
Alge-niedrig	17,4 +/- 1,5	22,0 +/- 1,9	31,2 +/- 2,0	42,8 +/- 2,4	56,0 +/- 3,0	67,4 +/- 3,9	81,9 +/- 6,0
Alge-hoch	17,2 +/- 1,8	21,6 +/- 1,9	30,5 +/- 2,0	41,3 +/- 3,5	53,6 +/- 4,5	64,4 +/- 5,9	79,6 +/- 6,4

Tabelle 42: Algenversuch. Durchschnittliches Gewicht in kg der Schweine in den einzelnen Rationsgruppen nach 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 Wochen

Ebenso verhielten sich die täglichen Gewichtszunahmen. Während der gesamten Fütterungsperiode 1 nahm ein Schwein der Kontrollgruppe durchschnittlich 635,1 g zu, ein Schwein der Gruppe KI-hoch dosiert und Alge niedrig dosiert dagegen 691,6 bzw. 690,3 g, was einem Anstieg von rund 9 % entspricht. Bei der Gruppe KI-niedrig dosiert ist mit 683,4 g eine Steigerung von rund 8 % und bei der Gruppe Alge-hoch dosiert mit 651,4 g eine von 2,6 % zu verzeichnen.

Gruppe	tägliche Zunahme	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	635,1 +/- 85,1	100,0 %
KI - niedrig dosiert	683,4 +/- 104,5	107,6 %
KI - hoch dosiert	691,6 +/- 80,3	108,9 %
Alge - niedrig dosiert	690,3 +/- 56,1	108,7 %
Alge - hoch dosiert	651,4 +/- 60,6	102,6 %

Tabelle 43: Algenversuch. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 1

Im zweiten Fütterungsabschnitt lag die tägliche Gewichtszunahme der Kontrollgruppe bei 841,7 g. Das beste Ergebnis erzielten hier die beiden mit Algen gefütterten Gruppen mit 928,9 und 923,5 g bzw. einer Steigerung von rund 10 %. Die Zugabe von KI führte zu einer Erhöhung der täglichen Zunahmen um 4 (KI-niedrig dosiert) bzw. 6,6 % (KI-hoch dosiert). Dies entspricht 874,7 bzw. 897,3 g.

Gruppe	tägliche Zunahmen	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	841,7 +/- 129,1	100,0 %
KI - niedrig dosiert	874,7 +/- 168,4	103,9 %
KI - hoch dosiert	897,3 +/- 125,2	106,6 %
Alge - niedrig dosiert	923,5 +/- 115,5	109,7 %
Alge - hoch dosiert	928,9 +/- 83,4	110,4 %

Tabelle 44: Algenversuch. Die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen in g je Schwein während der Fütterungsperiode 2

4.4.1.2 Entwicklung und Vergleich des Futtermittelsverbrauches

Insgesamt wurden im Fütterungsabschnitt 1 durchschnittlich 86,6 kg Futter pro Schwein verbraucht. Der Futtermittelsverbrauch eines Tieres der Kontrollgruppe lag bei 84,1 kg. Ein Schwein der Gruppe Alge-niedrig verbrauchte 88,9 kg. Die übrigen Gruppen lagen nahe am Durchschnitt mit 86,3 kg (KI-niedrig), 86,7 kg (KI-hoch) und 87,1 kg (Alge-hoch).

Gruppe	Futtermittelsverbrauch	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	84,1 +/- 7,4	100,0 %
KI - niedrig dosiert	86,3 +/- 8,5	102,5 %
KI - hoch dosiert	86,7 +/- 6,0	103,0 %
Alge - niedrig dosiert	88,9 +/- 6,0	105,6 %
Alge - hoch dosiert	87,1 +/- 6,6	103,5 %

Tabelle 45: Algenversuch. Durchschnittlicher Futtermittelsverbrauch (in kg) je Schwein im Fütterungsabschnitt 1

Im Fütterungsabschnitt 2 ergab sich für die Gruppen KI-hoch dosiert, Alge-niedrig dosiert und Alge-hoch dosiert eine Steigerung des Verbrauches um rund 6 %. Die Kontrollgruppe verbrauchte mit 63,5 kg am wenigsten und die Gruppe KI-niedrig dosiert lag mit 64,9 kg bzw. einer Erhöhung des Futtermittelsverbrauches um 2 % dazwischen.

Gruppe	Futtermittelsverbrauch	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	63,5 +/- 7,0	100,0 %
KI - niedrig dosiert	64,9 +/- 8,5	102,2 %
KI - hoch dosiert	67,4 +/- 5,4	106,1 %
Alge - niedrig dosiert	67,6 +/- 7,1	106,5 %
Alge - hoch dosiert	67,3 +/- 6,3	105,9 %

Tabelle 46: Algenversuch. Durchschnittlicher Futtermittelsverbrauch (in kg) je Schwein im Fütterungsabschnitt 2

In Tabelle 47 ist die durchschnittlich von jedem Schwein pro Tag aufgenommene Futtermenge angegeben. In den ersten beiden Versuchswochen beliefen sie sich auf 788 g im

Durchschnitt. Den höchsten Futtermittelverzehr verzeichnete die Kontrollgruppe mit 794 g, den niedrigsten die Gruppe Alge-hoch dosiert. Dies veränderte sich im Laufe des ersten Fütterungsabschnittes derart, dass schon in der dritten und vierten Woche die Kontrollgruppe das niedrigste Ergebnis aufwies. Die Reihenfolge der übrigen Gruppen war inkonstant.

Gruppe	Woche 1 - 2	Woche 3 - 4	Woche 5 - 6	Woche 7 - 8	Woche 9 - 10	Woche 11 - 12
Kontrolle	794 +/- 32	1409 +/- 137	1766 +/- 175	2042 +/- 261	1917 +/- 267	2565 +/- 288
KI - niedrig	790 +/- 57	1467 +/- 156	1797 +/- 186	2107 +/- 268	2053 +/- 310	2583 +/- 318
KI - hoch	791 +/- 29	1449 +/- 77	1852 +/- 122	2096 +/- 229	2146 +/- 183	2667 +/- 218
Alge - niedrig	787 +/- 38	1460 +/- 74	1838 +/- 99	2193 +/- 207	2161 +/- 223	2670 +/- 328
Alge - hoch	776 +/- 65	1425 +/- 91	1885 +/- 137	2133 +/- 234	2054 +/- 276	2751 +/- 179

Tabelle 47: Algenversuch. Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge je Schwein im gesamten Fütterungsversuch

4.4.1.3 Entwicklung und Vergleich der Futtermittelverwertung

Die Futtermittelverwertung war während des ersten Fütterungsabschnittes besser als im gesamten Versuchszeitraum. Im Durchschnitt lag sie bei 2,32 g/g. Im Unterschied zum Gesamtversuch war das Ergebnis der Gruppe Alge-hoch dosiert mit 2,39 g/g um 0,5 % schlechter als das der Kontrollgruppe. Die übrigen Gruppen benötigten alle weniger Kilogramm Futter je Kilogramm Körperansatz. Sie erzielten folgende Werte: Alge-niedrig dosiert 2,31, KI-hoch dosiert 2,26 und KI-niedrig dosiert 2,27 g/g.

Gruppe	Futtermittelverwertung	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	2,38 +/- 0,11	100,0 %
KI - niedrig dosiert	2,27 +/- 0,15	95,4 %
KI - hoch dosiert	2,26 +/- 0,17	95,0 %
Alge - niedrig dosiert	2,31 +/- 0,12	97,0 %
Alge - hoch dosiert	2,39 +/- 0,09	100,4 %

Tabelle 48: Algenversuch. Durchschnittliche Futtermittelverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 1

Im Gegensatz zum ersten Fütterungsabschnitt erzielte die Gruppe Alge-hoch dosiert im zweiten mit 2,59 g/g das beste Ergebnis und die Gruppen KI- hoch dosiert und Kontrolle mit 2,71 g/g das schlechteste. Knapp unter diesem Ergebnis lag die Gruppe KI-niedrig dosiert mit

2,69 g/g. Die Futtermittelverwertung der Gruppe Alge-niedrig dosiert war nur etwas schlechter als die der Gruppe Alge-hoch dosiert und lag bei 2,62 g/g.

Gruppe	Futtermittelverwertung	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	2,71 +/- 0,18	100,0 %
KI - niedrig dosiert	2,69 +/- 0,20	99,3 %
KI - hoch dosiert	2,71 +/- 0,21	100,0 %
Alge - niedrig dosiert	2,62 +/- 0,11	96,7 %
Alge - hoch dosiert	2,59 +/- 0,06	95,6 %

Tabelle 49: Algenversuch. Durchschnittliche Futtermittelverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des Fütterungsabschnittes 2

Die Futtermittelverwertung über den gesamten Versuchszeitraum belief sich auf 2,45 g Futter pro 1 g Zuwachs im Durchschnitt. Die Kontrollgruppe erreichte mit 2,53 g/g das schlechteste Ergebnis gefolgt von der Gruppe Alge-hoch dosiert mit 2,47 g/g und Alge-niedrig dosiert mit 2,43 g/g. Die beste Futtermittelverwertung hatten die Tiere der beiden mit KI⁻ supplementierten Gruppen mit 2,41 g/g oder einer Verbesserung von 5 %.

Gruppe	Futtermittelverwertung	Vergleich zu Kontrolle
Kontrolle	2,53	100,0 %
KI - niedrig dosiert	2,41	95,1 %
KI - hoch dosiert	2,41	95,2 %
Alge - niedrig dosiert	2,43	95,8 %
Alge - hoch dosiert	2,47	97,7 %

Tabelle 50: Algenversuch. Durchschnittliche Futtermittelverwertung (g/g) je Schwein in den einzelnen Rationsgruppen während des gesamten Versuches

4.4.2 Ergebnisse der Jodanalysen

4.4.2.1 Jodkonzentration im Futter

Bei der Analyse des Futters ergaben sich für die verschiedenen Gruppen folgende Werte.

Das Futter der Kontrollgruppe, dem kein Jod zugefügt wurde, enthielt von Natur aus in beiden Fütterungsabschnitten 0,2 mg Jod pro kg.

Der zweiten Gruppe waren 5 mg/kg KI⁻ zugesetzt worden. Hiervon fanden sich in Mischung 1 4,1 mg und in Mischung 2 3,9 mg im Futter wieder.

Das Futter der Gruppe KI-hoch dosiert enthielt von den zugefügten 8 mg/kg in Mischung 1 7,3 mg/kg und in Mischung 2 8,5 mg/kg.

Bei den Tieren, die mit der niedrigen Dosis Algen gefüttert wurden befanden sich im Fütterungsabschnitt 1 4,8 mg/kg und im Abschnitt 2 4,5 mg/kg von den 5 mg Jod im Futter.

Dem Futter der fünften Gruppe waren soviel Algen zugegeben worden um im Futter eine Konzentration von 8 mg/kg zu erreichen. Bei der Analyse ergab sich ein Gehalt von 8,3 mg/kg in Futtermischung 1 und 8,7 mg/kg in Futtermischung 2.

Die Wiederfindungsrate schwankte zwischen 74 und 106 %.

Gruppe	Jod in mg/kg Futter	mg Jod/ kg Futter abzüglich Gehalt Kontrolle	Angestrebter Jodzusatz (mg/kg Futter)	Wiederfindungsrate in %
Kontrolle	0,2			
KI – niedrig	4,1	3,9	5	78
KI – hoch	7,3	7,1	8	88,75
Alge – niedrig	4,8	4,6	5	92
Alge - hoch	8,3	8,1	8	101,25

Tabelle 51: Algenversuch. Jodkonzentration im Schweinefutter der Futtermischung 1 für die einzelnen Rationen mit um die Kontrolle korrigierten Werten und die sich ergebende Wiederfindungsrate

Gruppe	Jod in mg/kg Futter	mg Jod/ kg Futter abzüglich Gehalt Kontrolle	Angestrebter Jodzusatz (mg/kg Futter)	Wiederfindungs- rate in %
Kontrolle	0,2			
KI – niedrig	3,9	3,7	5	74
KI – hoch	8,5	8,3	8	103,75
Alge – niedrig	4,5	4,3	5	86
Alge - hoch	8,7	8,5	8	106,25

Tabelle 52: Algenversuch. Jodkonzentration im Schweinefutter der Futtermischung 2 für die einzelnen Rationen mit um die Kontrolle korrigierten Werten und die sich ergebende Wiederfindungsrate

4.4.2.2 Jodkonzentration im Muskelfleisch und den Organen

Bei der Analyse der Jodkonzentration in Muskulatur, Fettgewebe und Organen ergaben sich die in Tabelle 53 dargestellten Werte. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die Mittelwerte aller Proben einer Ration.

In allen untersuchten Geweben ergaben sich für die Kontrollgruppe die niedrigsten Werte. Die höchsten Jodkonzentrationen fanden sich bei den Tieren, die hoch dosiert mit Algen gefüttert worden waren. Die Ergebnisse der übrigen Gruppen lagen zwischen den beiden Extremen, aber immer signifikant über der Kontrolle. Durch die Verfütterung der niedrigen Algenkonzentration wurden in allen Geweben Jodkonzentrationen erreicht, die über denen der mit der niedrigen Dosis KI⁻ supplementierten Tiere lagen und in Muskulatur und Leber übertrafen sie sogar die der mit der hohen Dosis KI⁻ gefütterten Tiere.

Gruppe	Muskel	Fettgewebe	Herz	Leber	Niere
Kontrolle	32,0 ^a +/- 2,0	15,1 ^a +/- 3,0	32,5 ^a +/- 3,7	53,3 ^a +/- 4,5	56,2 ^a +/- 12
KI - niedrig	38,5 ^b +/- 6,9	33,2 ^b +/- 5,8	50,6 ^b +/- 8,4	86,1 ^b +/- 6,4	94,1 ^b +/- 16,3
KI - hoch	41,7 ^{bc} +/- 5,4	41,6 ^{cd} +/- 9,1	62,7 ^{bc} +/- 16,8	115,1 ^c +/- 8,9	104,6 ^b +/- 9,9
Alge - niedrig	44,2 ^{bc} +/- 5,4	35,1 ^{bc} +/- 5,2	54,4 ^b +/- 14,9	126,6 ^c +/- 17,5	97,2 ^b +/- 24,8
Alge - hoch	46,4 ^c +/- 4,8	47,3 ^d +/- 8,7	72,7 ^c +/- 19,5	163,6 ^d +/- 23,0	127,8 ^c +/- 24,6

Tabelle 53: Algenversuch. Jodkonzentration ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in Muskulatur, Fettgewebe, Herz, Leber und Nieren der Schweine aus den einzelnen Rationen (Werte ohne übereinstimmende Buchstaben unterscheiden sich signifikant mit $p < 0,05$)

4.4.2.3 Jodkonzentration im Urin

In den Urinproben, die nach der Schlachtung direkt der Blase entnommen wurden ergaben sich folgende Jodkonzentrationen. Die Kontrollgruppe schied mit 25 μg pro Liter Urin am wenigsten Jod aus. Die mit Jod in Form von KI⁻ supplementierten Schweine erreichten deutlich höhere Werte, nämlich 866 $\mu\text{g}/\text{l}$ (KI-niedrig dosiert) bzw. 1030 $\mu\text{g}/\text{l}$ (KI-hoch dosiert).

Bei den mit Algen gefütterten Schweine ergaben sich trotz unterschiedlicher Dosierung nahezu die gleichen Ergebnisse, wobei es bei der Gruppe Alge-niedrig dosiert mit 1498 $\mu\text{g}/\text{l}$ etwas höher war als das der Gruppe Alge-hoch dosiert mit 1447 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Die Werte aller mit Jod supplementierten Gruppen lagen signifikant über dem der Kontrollgruppe.

Gruppe	Jodausscheidung ($\mu\text{g/l}$)
Kontrolle	25 ^a +/- 20
KI - niedrig dosiert	866 ^b +/- 461
KI - hoch dosiert	1030 ^b +/- 564
Alge - niedrig dosiert	1498 ^b +/- 730
Alge - hoch dosiert	1447 ^b +/- 761

Tabelle 54: Algenversuch. Jodkonzentration im Urin in den einzelnen Rationsgruppen des Schweineversuchs

4.4.3 Vergleich von Trijodthyronin und Thyroxin

Von den Schilddrüsenhormonen Trijodthyronin T_3 und Thyroxin T_4 unterschieden sich die mit Jod gefütterten Gruppen nur im T_4 -Wert gemessen nach dem ersten Fütterungsabschnitt signifikant von der Kontrollgruppe (siehe Tabelle 55). Bei der Kontrollgruppe lag er durchschnittlich bei 53,35 nmol/l. Die Gruppen KI-niedrig und Alge-niedrig (5 mg Jod pro kg Futter) hatten einen Hormonspiegel von 88,88 bzw. 89,51 nmol/l und die Gruppen KI-hoch und Alge-hoch (8 mg Jod pro kg Futter) 94,85 bzw. 92,85 nmol/L.

Nach dem zweiten Fütterungsabschnitt war T_4 deutlich aber nicht signifikant gegenüber der Kontrolle erhöht. Diese lag bei 55,55 nmol/l. Die höchste Konzentration an Schilddrüsenhormonen im Serum hatte die Gruppe KI-niedrig dosiert mit 68,11 nmol/l. Die Gruppe KI-hoch dosiert erreichte 65,47 nmol/l. Die mit Algen gefütterten Tiere erreichten durchschnittlich 63,5 nmol unabhängig von der Jodkonzentration im Futter.

Im Gegensatz zum T_4 -Wert war die T_3 -Konzentration im Serum der Kontrollgruppe mit 2,38 nmol/l höher als die der mit Jod gefütterten Tiere. Die mit KI supplementierten Tiere hatten durchschnittlich einen höheren T_3 -Spiegel als die mit Algen supplementierten. Der T_3 -Spiegel der Gruppe KI-niedrig dosiert lag bei 2,13 nmol/l und der der Gruppe KI-hoch dosiert bei 2,21 nmol/l. Die Werte der Algengruppen lagen beide mit 1,88 (Alge-niedrig dosiert) bzw. 1,93 nmol/l (Alge-hoch dosiert) deutlich darunter.

Nach Fütterungsabschnitt 2 zeigte sich eine deutliche Veränderung. Die höchste Hormonkonzentration hatte mit 1,51 nmol/l die Gruppe KI-niedrig dosiert gefolgt von der Gruppe KI-hoch dosiert mit 1,43 nmol/l. Der Wert der Kontrolle lag mit 1,28 nmol noch unter dem der mit der hohen Dosis Algen gefütterten Gruppe (1,30 nmol/l). Den niedrigsten

Hormonspiegel hatte auch nach dem zweiten Abschnitt die Gruppe Alge-niedrig dosiert mit 1,12 nmol/l.

Gruppe	T_3		T_4	
	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 1	Abschnitt 2
Kontrolle	2,38 +/- 0,60	1,28 +/- 0,39	53,35 ^{abcd} +/- 14,16	55,55 +/- 22,92
KI - niedrig	2,13 +/- 0,37	1,51 +/- 0,53	88,89 ^a +/- 11,38	68,11 +/- 19,67
KI - hoch	2,21 +/- 0,67	1,43 +/- 0,48	94,85 ^b +/- 14,26	65,47 +/- 16,39
Alge - niedrig	1,88 +/- 0,96	1,12 +/- 0,16	89,51 ^c +/- 6,57	63,46 +/- 13,26
Alge - hoch	1,93 +/- 0,29	1,30 +/- 0,35	92,85 ^d +/- 14,30	63,71 +/- 15,52

Tabelle 55: Algenversuch. Konzentration der Schilddrüsenhormone T_3 und T_4 im Serum der Schweine der einzelnen Rationsgruppen nach Fütterungsabschnitt 1 und 2 (Werte mit übereinstimmenden Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander $p < 0,05$)

5. Diskussion

5.1 Zum Fütterungsversuch

Der Fütterungsversuch wurde in den Stallungen des Lehrstuhls für Tierernährung und Dietätik in der Außenstelle am Oberwiesenfeld durchgeführt. Die Rasse der Schweine und das Alter bzw. das Gewicht zu Versuchsbeginn entsprach den für die Mast üblichen Verhältnissen. Die Haltungs- und Fütterungsbedingungen waren mit denen in Betrieben mit artgerechter Haltung vergleichbar. Die geringfügigen klimatischen Unterschiede zwischen den Boxen wurden durch eine entsprechende Aufteilung der Schweine ausgeglichen. So wurden die Schweine mit einem höheren Anfangsgewicht in der Boxenreihe mit der niedrigeren Temperatur aufgestellt.

Zu Beginn des Versuches wurden die Tiere so auf die Gruppen verteilt, dass sich ein Durchschnittsgewicht von 17,4 kg ergab. Dadurch sollte der Einfluss des Anfangsgewichtes auf die Durchschnittsergebnisse der Gruppen gering gehalten werden.

Als Jodquellen wurden Kaliumjodid bzw. eine jodreiche Algenart verwendet. Ein Anstieg des Jodgehaltes im Fleisch durch die Verfütterung von Kaliumjodat konnte bereits in früheren Arbeiten (Rambeck et al., 1997) nachgewiesen werden. In diesem Versuch sollte die Jodkonzentration im Fleisch der Schweine, die mit Kaliumjodat gefüttert worden waren, als Vergleich für den durch die Verfütterung von Algen erreichbaren Jodgehalt dienen.

Die verwendete Mischung Seltener Erden wurde aus China bezogen. Ihre Zusammensetzung und die gewählte Konzentration entspricht den dortigen Verhältnissen.

5.2 Zur Bestimmung der Seltenen Erden

In der Muskulatur, dem Herzen, den Nieren und dem Futter wurden die Seltenen Erden mittels der Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) bestimmt. Die meisten Elemente, die zu den Seltenen Erden gezählt werden, besitzen einen großen Neutroneneinfangsquerschnitt und eine hohe gamma-Emissionswahrscheinlichkeit und können somit durch die NAA besonders sensitiv erfasst werden (Krafka, 1999).

Für diesen Versuch wurde die Instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse (INAA) angewandt, die den Vorteil hat, dass sie mit einem geringen Zeitaufwand verbunden ist und relativ unkompliziert ist.

Nachteilig an diesem Verfahren sind Interferenzen mit anderen Elementen, wie Na^+ oder Cl^- Ionen. Hierzu kann es bei einem sehr niedrigen Gehalt der zu bestimmenden Elemente in

der Probe kommen und es kann dann für dieses Element kein absoluter Messwert, sondern nur ein Schwellenwert angegeben werden. Dieser stellt die kleinste Konzentration dar, die durch die INAA in der Probe ermittelt werden konnte und der wahre Gehalt kann u. U. nach unten deutlich abweichen. Ebenso von Nachteil ist die Gebundenheit an einen Kernreaktor und dadurch auch die begrenzten Messzeiten. Deshalb wurde im vorliegenden Versuch aus den Proben aller Tiere einer Ration Probenpools gebildet und jeweils nur eine Einfachmessung durchgeführt.

5.3 Zu den Jodbestimmungsmethoden

Die Bestimmung der Jodkonzentration ist durch eine Reihe von Methoden möglich. In unserem Versuch erfolgte sie katalytisch nach saurer (Urin) bzw. alkalischer (Futter, Organe, Muskel) Veraschung in Kombination mit der Sandell-Kolthoff-Reaktion.

Saure Nassveraschung

Diese Methode wurde von der WHO (1994) zur Untersuchung von Humanurinproben empfohlen. Unter Verwendung von Chlorsäure (HClO_3) wird die organische Struktur zerstört und das Probenmaterial bei 110°C mineralisiert. Die Anwendbarkeit dieser Methode zur Untersuchung von Schweineurin war schon in einem früheren Versuch überprüft worden (Rambeck et al., 1997).

Der Nachteil dieser Methode ist ein unkontrollierter Jodverlust bei hohen Temperaturen und/oder starker Säureeinwirkung während der Veraschung. Da im Urin Jod als Jodid vorliegt und nicht aus organischer Verbindung freigesetzt werden muss, genügen relativ niedrige Temperaturen, wodurch die Jodverluste gering gehalten werden.

Alkalische Trockenveraschung

Mit der alkalischen Trockenveraschung kann Jod in organischer Matrix nachgewiesen werden. Sie basiert auf die durch Groppe (1987) modifizierte trockene Oxidation nach Blödw (1969) unter Berücksichtigung einiger für die eigenen Bedürfnisse zweckmäßigen Veränderungen, wie sie schon von Löscher (1999) und Ranz (2000) beschrieben wurden.

Vor der eigentlichen Jodbestimmung ist eine Aufbereitung der Proben zur vollständigen Mineralisierung der organischen Strukturen nötig. Als geeignet erwiesen sich KOH und ZnSO_4 , wobei bei Zugabe der KOH-Lösung ein Aufschäumen vermieden werden muss, um einen möglichen Jodverlust zu vermeiden.

Durch eine fast waagerechte Lagerung der Röhrchen wird das pulverisierte Probenmaterial großflächig verteilt und somit eine für die Oxidation möglichst große Oberfläche erreicht.

Darüber hinaus ist für eine vollständige und gleichmäßige Veraschung eine zentrale Lagerung der Probengefäße im Muffelofen förderlich, da es dort im Vergleich zur Peripherie zu geringeren Temperaturschwankungen kommt. Durch die waagerechte Lagerung der Röhren kann es allerdings bei Temperaturen von 400 bis 500°C zu Spritz- und damit zu Substanzverlusten kommen. Diese lassen sich durch eine sorgfältige Trocknung und Pulverisierung des Probenmaterials und eine nur schrittweise Erhöhung der Temperatur gering halten.

5.4 Zur Untersuchung der Blutproben

Die Entnahme der Blutproben erfolgte nach beiden Fütterungsabschnitten. Nach der Mastperiode wurde das Blut direkt bei der Schlachtung im Zusammenhang mit dem Entbluten der Tiere gewonnen.

Die Untersuchung der Blutproben ergab bei den Durchschnittswerten nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Lediglich die Leberenzyme Aspartataminotransferase und Alaninaminotransferase ließen sich signifikant durch die Fütterung von Kaliumjodid und Algen beeinflussen, wobei sie in beiden Fällen gegenüber der Kontrollgruppe unauffällig waren.

Die Ergebnisse für die einzelnen untersuchten Parameter waren relativ uneinheitlich. So lag z. B. die Konzentration der Elektrolyte unbeeinflusst von der Fütterung bei allen Gruppen knapp unter bzw. auch über der oberen Grenze des jeweiligen Referenzwertes (siehe Abbildung 3). Bis auf den Phosphorgehalt war bei den übrigen Werten das Ergebnis der zweiten Messung niedriger als bei der ersten.

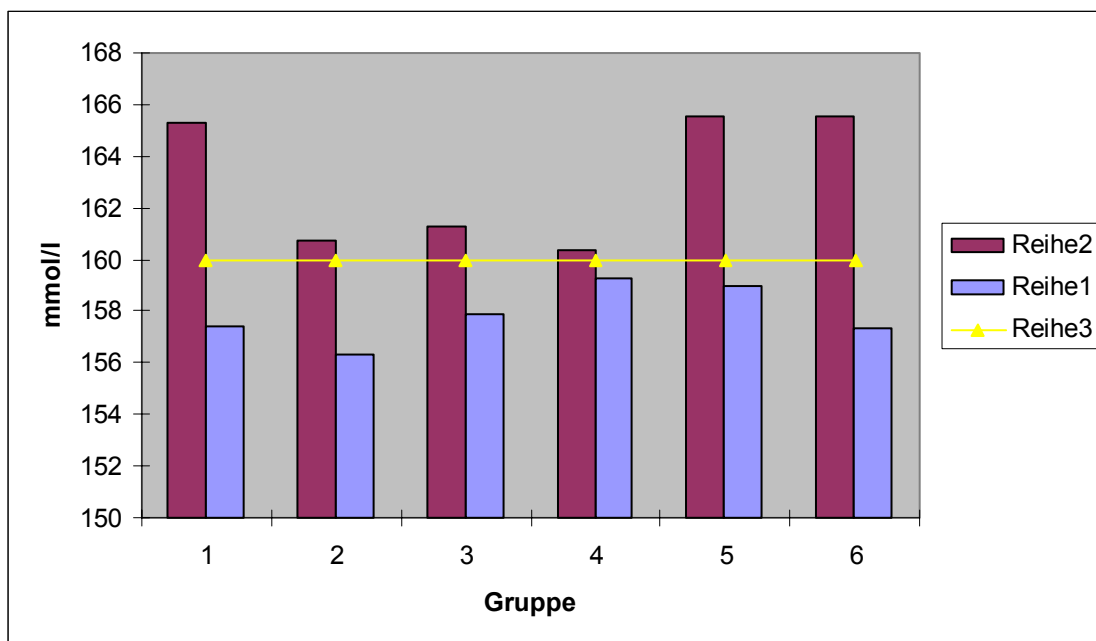


Abbildung 3: Natriumkonzentration im Serum von Schweinen bei Fütterung mit Kaliumjodid, Algen oder Seltenen Erden (Reihe 2 = 1. Messung, Reihe 1 = 2. Messung, Reihe 3 = oberer Wert des Referenzbereiches)

Andere Parameter wie die Alaninaminotransferase oder Cholesterin lagen bei beiden Messungen im Referenzbereich. Dagegen war die Konzentration der Alkalischen Phosphatase und des Albumins immer erhöht. Bei allen untersuchten Parametern mit Ausnahme der Glucose war wie schon bei den Elektrolyten der Wert der ersten Messung niedriger als der der zweiten.

Da die Veränderungen alle Gruppen gleichermaßen betrafen und somit angenommen werden kann, dass sie zu keiner Beeinflussung des Ergebnisses führen, soll auf sie nicht weiter eingegangen werden.

5.5 Zum Versuch mit Seltenen Erden

5.5.1 Einfluss Seltener Erden auf die Mastleistung

Bei der Betrachtung der Mastleistung fallen zwischen der Gruppe, die mit Seltenen Erden gefüttert wurde und der Kontrollgruppe deutliche Unterschiede auf (Abbildung 4). Innerhalb der 12 Wochen nahm ein Tier der REE-Gruppe durchschnittlich 10 kg mehr zu als ein Tier der Kontroll-Gruppe. Dies bedeutet eine Steigerung um 13 %. Dieser Wert liegt im Bereich der in China gewonnenen Daten (Xia und He, 1997).

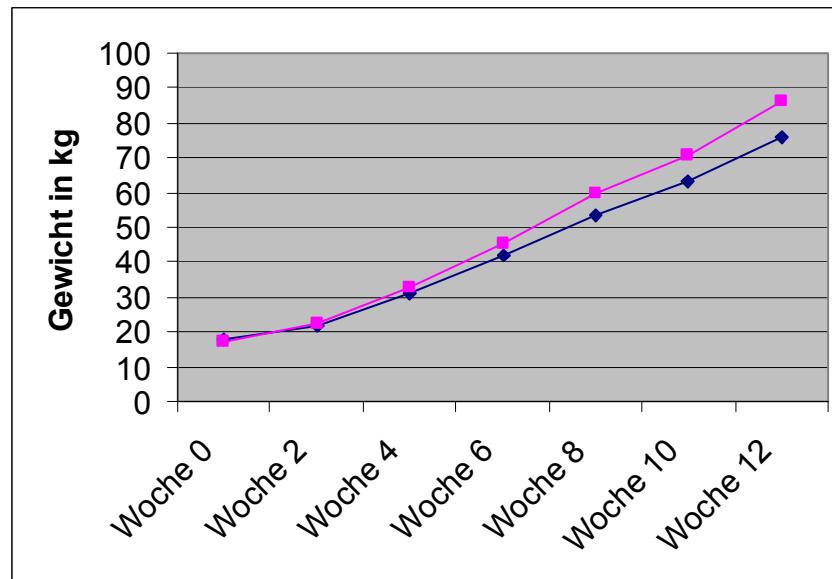


Abbildung 4: Entwicklung der Gewichtszunahme bei Mastschweinen bei Fütterung mit Seltenen Erden während des gesamten Versuches.

Auch der Unterschied bei den täglichen Zunahmen der Kontroll-Gruppe und der REE-Gruppe fällt in einer Größenordnung aus, wie sie aus der chinesischen Literatur bekannt ist. He und Xia (1998) berichten von einer Steigerung von rund 13 % durch die Fütterung von Seltenen Erden während der gesamten Mastdauer. In unserem Versuch betrug sie 14 % oder eine tägliche Mehrzunahme von 94 g. Abbildung 5 verdeutlicht diesen Unterschied.

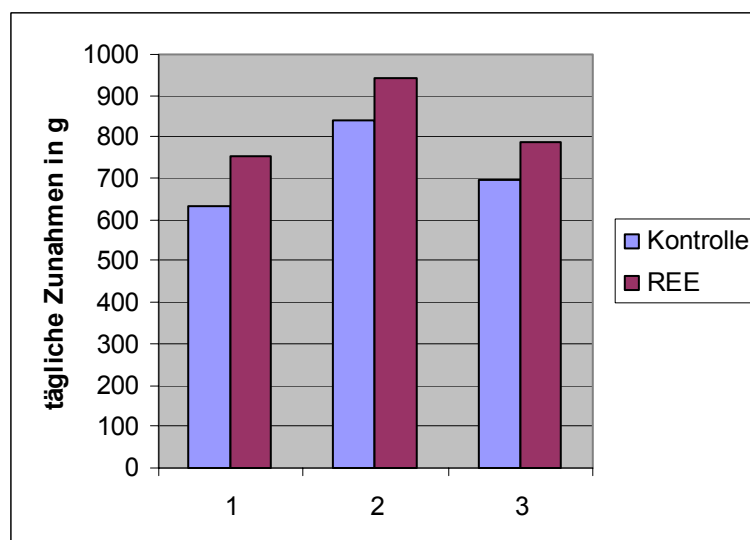


Abbildung 5: Steigerung der täglichen Zunahmen eines Schweins bei Fütterung mit Seltenen Erden (1 = Fütterungsabschnitt 1, 2 = Fütterungsabschnitt 2, 3 = Gesamtmast)

Während des Fütterungsabschnittes 1 fiel der Unterschied mit 119 g oder 18 % noch deutlicher aus. Dies lässt sich durch das größere Wachstumspotential jüngerer Tiere im Vergleich zu älteren Tieren erklären. Die in diesem Versuch erzielte Verbesserung der Tageszunahmen fällt deutlich höher aus als die mit antibakteriellen Leistungsförderern erreichbare (Birzer und Gropp, 1991). Auch durch die Gabe von Kupfer ließ sich in einem mit unserem Versuch vergleichbaren Gewichtsbereich eine mit 7,4 % deutlich geringere Steigerung erreichen (Meyer und Kröger, 1973a).

Bis zum Ende des Versuches benötigte ein Tier der REE-Gruppe 159 kg Futter. Dies sind 7,7 % mehr als die Kontrolltiere verbrauchten. Abbildung 6 zeigt, dass bis auf die ersten beiden Wochen die tägliche Futtermenge der Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert wurden, stets größer war als die der Kontrollgruppe.

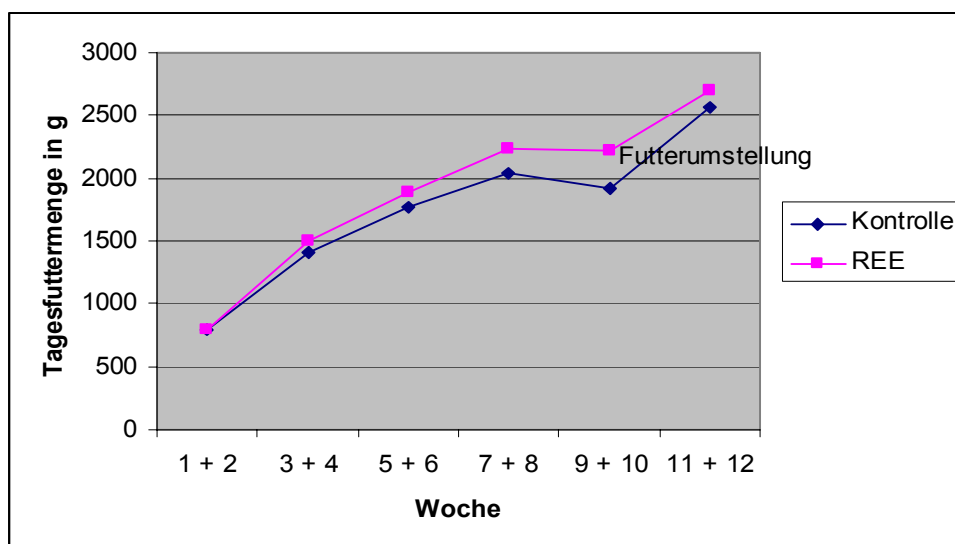


Abbildung 6: Versuch mit Seltenen Erden: Entwicklung der täglich aufgenommenen Futtermenge je Schwein im Gesamtversuch

Von Interesse war nun, ob die erzielte Steigerung der Gewichtszunahme allein eine Folge des erhöhten Futterverbrauches war. Um dies zu klären wurde die Futterverwertung errechnet. Sie gibt an wie viel Futter für den Körperzuwachs verbraucht wird. Abbildung 7 veranschaulicht, dass die Futterverwertung der Tiere, die mit Seltenen Erden gefüttert wurden z. T. deutlich über der der Kontrolltiere lag. Lediglich in der 3. und 4. Woche bewegten sich die Werte beider Gruppen auf ähnlichem Niveau.

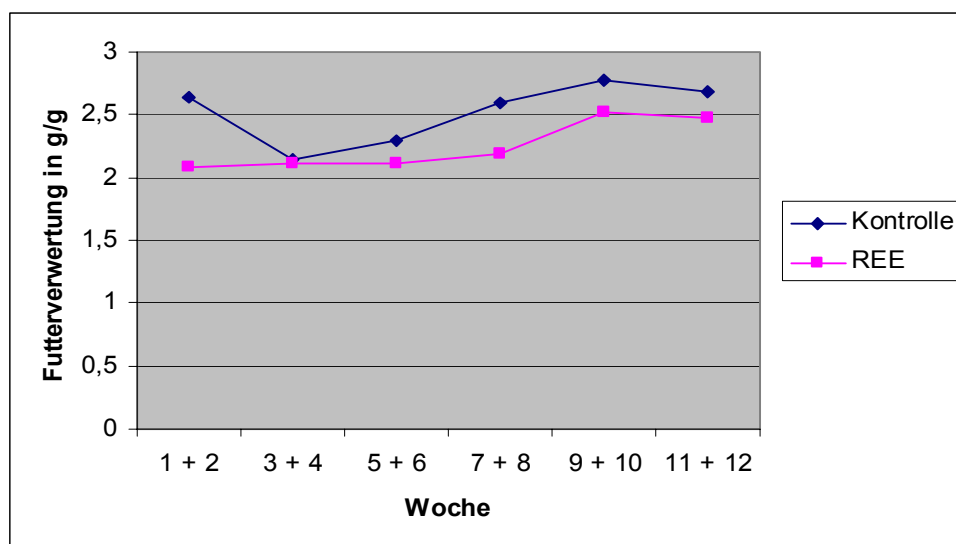


Abbildung 7: Versuch mit Seltenen Erden: Entwicklung der Futterverwertung (g/g) je Schwein während des gesamten Versuches

Birzer und Gropp (1991) berichteten über die Möglichkeit, die Futterverwertung bei Schweinen im ersten Mastabschnitt durch den Einsatz von antibakteriellen Leistungsförderern um 5,5 % zu verbessern. In vorliegendem Versuch konnte mit einer 10,5 % geringeren Futterverwertung dies deutlich gesteigert werden. Auch gegenüber der Verwendung von Kupfer fällt die Leistungsverbesserung höher aus. In der chinesischen Literatur finden sich Angaben von einer durch Seltenen Erden erreichbare Steigerung über 7 bis 8 % (Xia und He, 1997 und Li et al., 1992), die somit auch unter der in diesem Versuch erzielten Verbesserung liegen.

Im zweiten Fütterungsabschnitt hingegen konnte die Futterverwertung durch die Gabe von Seltenen Erden lediglich um 2,6 % gegenüber der Kontrollgruppe verbessert werden. Hier liegen sowohl die durch antibakterielle Leistungsförderer mit 3 % (Birzer und Gropp, 1991) als auch die durch Seltene Erden in China mit 6,3 % (Xia und He, 1997) erzielten Leistungsverbesserungen darüber.

Während des gesamten Versuches ergab sich daraus mit 5 % eine Verbesserung der Futterverwertung, die sich auf ähnlichem Niveau bewegt wie sie durch die Futtersupplementierung mit Kupfer zu erreichen ist.

5.5.2 Mögliche Wirkmechanismen Seltener Erden

Durch die Vermessung der Organe und die Ermittlung der Konzentration an Schilddrüsenhormonen im Serum wurde versucht, eine mögliche Erklärung für die leistungsfördernde Wirkung Seltener Erden zu finden.

Die Vermessung der Organe ergab bei den absoluten Werten nur geringe Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Bezogen auf das Körpergewicht allerdings wogen Herz, Leber und Nieren der mit Seltenen Erden gefütterten Tiere um 12 bis 18 % weniger. Ohne Bezug auf das Körpergewicht lagen Darmgewicht und – länge dieser Tiere geringfügig über der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied wird allerdings durch Bezug auf das Körpergewicht relativiert. Eine Aussage zur möglichen Wirkungsweise konnte durch die Auswertung dieser Ergebnisse nicht erfolgen.

He et al. (2003) konnte bei Ratten, die 18 Tage mit Seltenen Erden gefütterten worden waren, eine Erhöhung der Konzentration von Harnstoff und Kreatinin im Serum beobachten. Dies lässt den Rückschluss auf einen Eingriff Seltener Erden in den Proteinstoffwechsel zu. In unserem Versuch wurden diese Parameter nicht gemessen, sondern lediglich die Gesamtproteine und Albumin, die wie auch bei den Untersuchungen mit Ratten keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufwiesen. Wie auch im Versuch mit Ratten und in früheren Untersuchungen (Salas et al., 1979) war die Aktivität der Leberenzyme AST und ALT bei den mit Seltenen Erden gefütterten Tieren leicht erhöht. Es scheint also ein Einfluss auf die Leber vorzuliegen. Bei den Untersuchungen von He et al. (2003) konnte eine Erhöhung der Alkalischen Phosphatase festgestellt werden. In vorliegendem Versuch lag nur nach dem zweiten Fütterungsabschnitt ein geringfügiger Unterschied vor. Aussagen über eine mögliche Beeinflussung des Knochenstoffwechsels können also nicht gemacht werden.

Bei der Messung der Schilddrüsenhormone ergab sich in beiden Mastabschnitten für T_3 ein niedrigerer und für T_4 ein höherer Wert bei den Tieren, die mit Seltenen Erden gefütterten worden waren. Diese Ergebnisse stehen somit im Widerspruch zu denen von Xie et al. (1995), der die wachstumssteigernde Wirkung der Seltenen Erden über die Erhöhung u. a. der T_3 -Konzentration zu erklären versuchte. Bei der Messung der Schilddrüsenhormone zeigen eine Reihe von Faktoren Auswirkungen auf die Höhe des Ergebnisses. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist also nur bedingt möglich.

Da das Ziel dieser Arbeit sich auf die Feststellung einer Leistungsförderung beschränkte, soll im Weiteren nicht auf die möglichen Wirkmechanismen eingegangen werden.

5.5.3 Zum Gehalt an Seltenen Erden der Organe

Anhand der INAA wurden die Futtermischungen, Muskulatur, die Leber und die Nieren auf ihren Gehalt an Seltenen Erden untersucht.

Die Abbildung 8 verdeutlicht den unterschiedlichen Gehalt der einzelnen Proben.

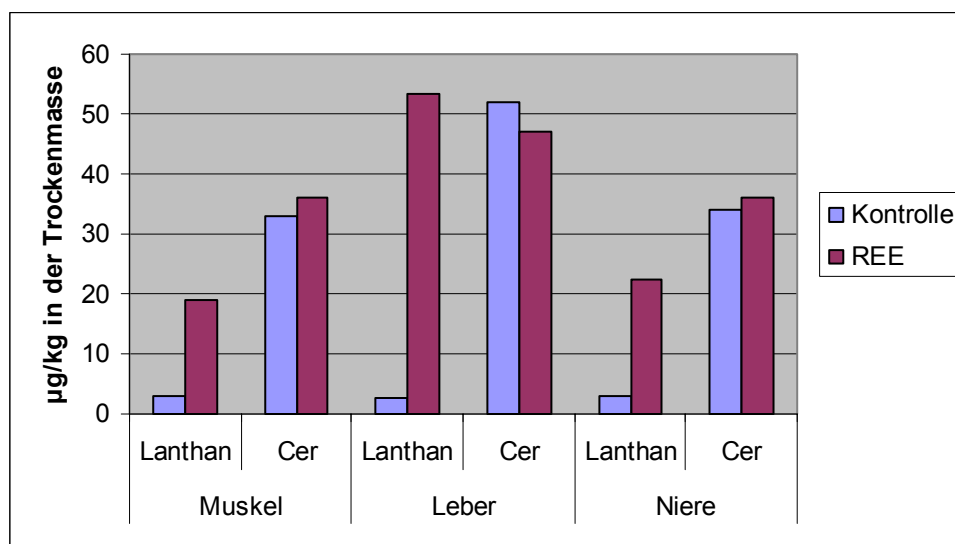


Abbildung 8: Gehalt der einzelnen Organe an Seltenen Erden im Versuch mit Schweinen

Seltene Erden kommen ubiquitär im Boden vor. Deshalb konnten auch im Futter der Negativgruppe Lanthan mit 0,2 mg/kg und Cer mit 0,3 mg/kg in Spuren nachgewiesen werden. Bei Tieren und Menschen, die normale Nahrung aufnehmen, bewegt sich der Gehalt an Seltenen Erden in den Organen in einem Bereich von einigen µg/kg bis einigen mg/kg KGW (Evans, 1990). Dementsprechend wurden sie auch in den Organen der Kontrollgruppe wieder gefunden, wobei sich der Gehalt an Lanthan in Muskulatur, Leber und Niere mit 2,8 bzw. 3 µg/kg auf dem gleichen Niveau bewegte. Cer wurde in einem deutlich höheren Maße gespeichert.

Beim Vergleich der beiden Gruppen fiel auf, dass sich Lanthan gegenüber der Kontrollgruppe in der Muskulatur um den Faktor 6,3, in der Leber um 19,1 und in der Niere um 7,4 anreicherte. Ji (1985) und Nakamura et al. (1991a und b) wiesen bei Ratten die Leber und die Knochen als Hauptspeicherorte für Seltene Erden nach, wodurch sich die größere Akkumulation des Lanthans in der Leber erklären lässt. Bei Cer, das sich schon in den Organen der Negativgruppe in einer höheren Konzentration nachweisen ließ, fiel der Unterschied mit 3 µg/kg in der Muskulatur und 2 µg/kg in den Nieren deutlich geringer aus. Auffällig war, dass sich Cer in der Leber der Kontrollgruppe in einem höheren Maße anreicherte und um 5 µg/kg über dem der mit Seltenen Erden gefütterten Gruppe lag.

Durch die Verfütterung von Seltenen Erden kam es somit nur zu einer geringgradigen Akkumulation in den untersuchten Geweben. Die gemessenen Gehalte lagen zwischen 19 und 53,4 µg/kg Trockensubstanz. Von Ji (1985) wurde die für den Menschen annehmbare Tagesdosis auf 0,1 bis 1,0 mg/kg KGW unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von 100 festgelegt. Dem zu Folge wäre keine Gefährdung des Verbrauchers durch hohe Gehalte Seltener Erden in lebensmittelrelevanten Geweben zu erwarten.

5.5.4 Zur Verwendbarkeit Seltener Erden

In diesem Versuch sollte überprüft werden, in wie weit Seltene Erden in der Lage sind auch unter westlichen Bedingungen einen positiven Einfluss auf die Leistung von Mastschweinen auszuüben. Schon in einem ersten Versuch mit Ferkeln ergaben sich innerhalb von nur fünf Wochen hierfür Hinweise. Es sollte nun über die gesamte Mast mit der im Vorversuch wirksamsten Dosierung die Veränderung der Wachstumsparameter untersucht werden. Die gewonnenen Daten lassen sich durchaus mit denen herkömmlicher Leistungsförderer vergleichen oder sie liegen sogar noch darüber.

Für den Landwirt von Interesse sind neben der positiven Beeinflussung des Wachstums außerdem die Auswirkungen auf die Gesundheit und die Qualität des Schlachtkörpers. In beiden Punkten konnten keine negativen Veränderungen beobachtet werden.

Für die Verwendbarkeit Seltener Erden spricht außerdem, dass sie nur zu einem geringen Teil aus dem Darm aufgenommen werden. Die in der Muskulatur und auch in Organen gemessenen Konzentrationen lagen z. T. zwar deutlich über denen der Kontrollgruppe, aber immer noch unter denen des unbehandelten Futters. Die gemessenen Konzentrationen lagen auch deutlich unter den für Menschen als gefährlich angesehenen Werten und von einer Gefährdung kann somit nicht ausgegangen werden.

Zusammenfassend ist also festzustellen, dass die Ergebnisse des vorliegenden Versuches durchaus auf eine Verwendbarkeit hindeuten. Allerdings müsste ihre Übertragbarkeit auf große Tierzahlen z. B. in einem Feldversuch getestet werden. Ebenso müssten die Auswirkungen der ausgeschiedenen Seltenen Erden, die durch Düngung auf die Felder gelangen, auf die Pflanzen zuvor getestet werden.

5.6 Zum Versuch mit Algen

5.6.1 Einfluss algenreicher Fütterung auf die Mastleistung

Die Fütterung von Jod in Form von Kaliumjodid und Algen hatte eine Verbesserung aller Fütterungsparameter zur Folge.

Wie die Abbildungen 9 und 10 zeigen, wurde durch die Jodfütterung die tägliche Gewichtszunahme in beiden Fütterungsabschnitten z. T. deutlich gesteigert. Im ersten Fütterungsabschnitt wird die tägliche Gewichtszunahme durch die Verfütterung von Algen in niedriger Dosierung in ähnlichem Maße erhöht wie durch die Verfütterung von Kaliumjodid. Bei den Tieren, die mit Algen in hoher Konzentration gefüttert wurden, fällt die Steigerung gegenüber der Kontrollgruppe geringer aus. Im zweiten Fütterungsabschnitt erzielten beide mit Algen gefütterten Gruppen die besten Ergebnisse, wobei sich die Steigerung von rund 10 % in einem Bereich bewegte, wie es von den herkömmlichen antibakteriellen Leistungsförderern zu erwarten ist.

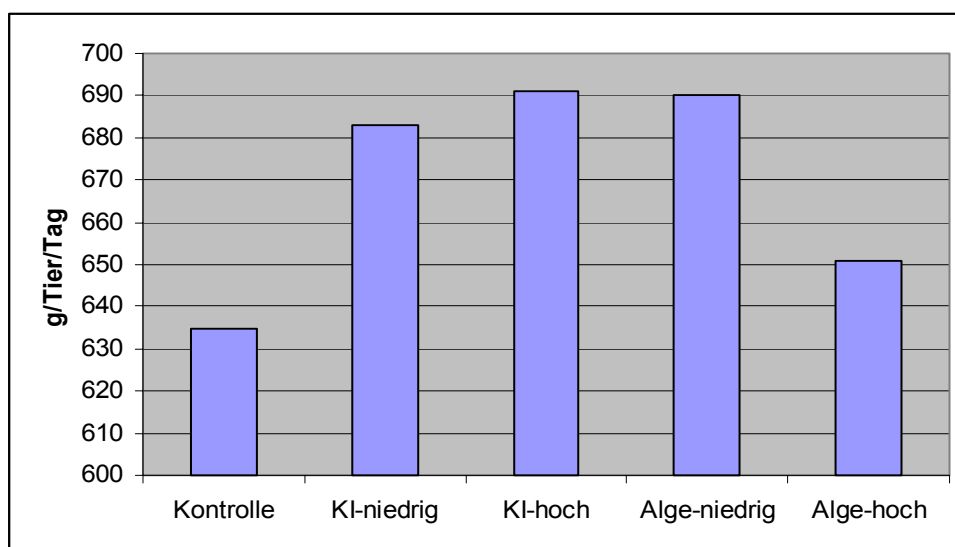


Abbildung 9: Tägliche Gewichtszunahme eines Schweins bei Fütterung von Kaliumjodid bzw. Algen im ersten Fütterungsabschnitt

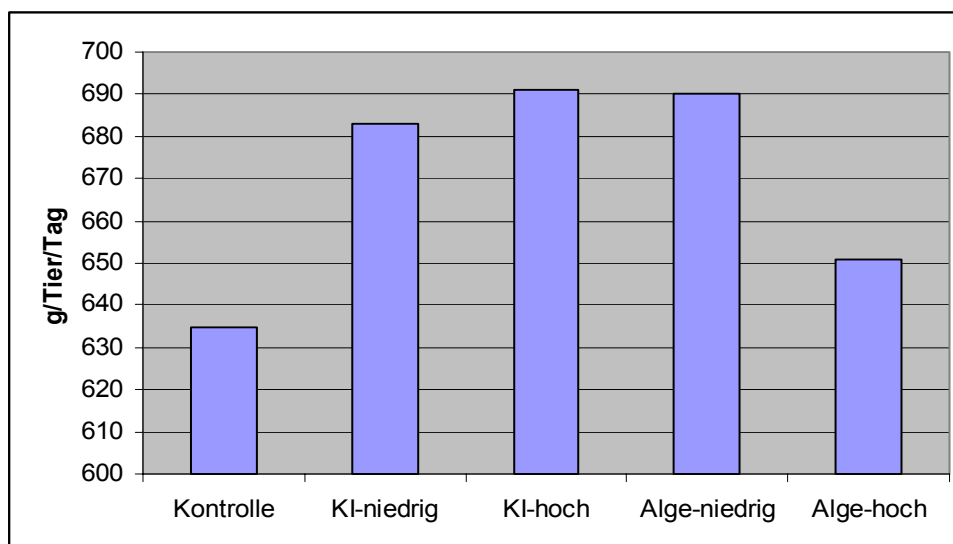


Abbildung 10: Tägliche Gewichtszunahmen eines Schweins bei Fütterung von Kaliumjodid bzw. Algen im zweiten Fütterungsabschnitt

Auch die Futtermittelverwertung konnte durch die Jodfütterung z. T. deutlich gesteigert werden. Bezogen auf die gesamte Versuchsdauer lag sie in allen mit Jod supplementierten Gruppen unter der Kontrollgruppe, wobei die mit Algen gefütterten Tiere etwas schlechter abschnitten als die mit Kaliumjodid gefütterten (siehe Abbildung 11).

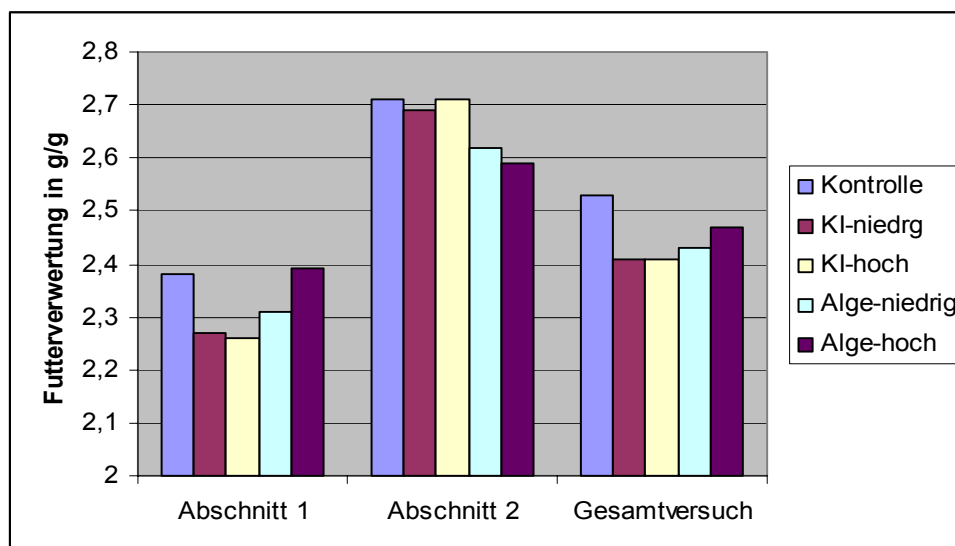


Abbildung 11: Futterverwertung der Schweine bei Verfütterung von Jod in Form von Kaliumjodid bzw. Algen im Fütterungsabschnitt 1, Fütterungsabschnitt 2 und während des gesamten Versuches.

In der Literatur finden sich ebenfalls Berichte, die Jod als einen möglichen Leistungsverbesserer in Betracht ziehen. So ergab sich bei Untersuchungen von Stanley et al. (1989) ein größeres Wachstum von Broilern durch die Gabe von jodangereichertem Wasser. Der Einsatz der Algen wäre demnach nicht nur wegen ihres hohen Jodgehaltes, sondern auch ihres Einflusses auf die Leistung der Mastschweine von Interesse.

5.6.2 Jodkonzentration im Schweinefutter

Für den Schweinefütterungsversuch wurden in der institutseigenen Futtermischanlage spezielle Mischungen hergestellt. Sie setzte sich aus Gerste, Weizen, Hafer, Sojabohnen und einer Vitamin- und Mineralstoffmischung zusammen.

Das gewünschte jodhaltige Futter wurde durch die Zugabe von Kaliumjodid bzw. Algen erhalten. Dabei wurden soviel KI⁻ bzw. Algen dem Futter beigemischt, um dessen Jodkonzentration um 5 bzw. 8 mg/kg zu erhöhen.

Futtermischung 1 und 2 der Kontrollgruppe enthielten von Natur aus 0,2 mg Jod/kg Futter. Unter Berücksichtigung dieses Wertes ergaben die tatsächlich zugefügten Jodmengen und somit die Wiederfindungsraten (siehe Tabelle 56).

	KI-niedrig	KI-hoch	Alge-niedrig	Alge-hoch
<i>Mischung 1</i>				
Jodzusatz erwartet	5	8	5	8
Jodzusatz gefunden	3,9	7,1	4,6	8,1
<i>Mischung 2</i>				
Jodzusatz erwartet	5	8	5	8
Jodzusatz gefunden	3,7	8,3	4,3	8,5

Tabelle 56: Erwarteter und gefundener Jodzusatz in mg/kg zu den Futtermischungen 1 und 2 der Schweine der mit KI⁻ bzw. Algen supplementierten Rationsgruppen

Es ergaben sich folgende Wiederfindungsraten: KI-niedrig 78 bzw. 74 %, KI-hoch 89 bzw. 104 %, Alge-niedrig 92 bzw. 86 % und Alge-hoch 101 bzw. 106 %, wobei der erste Wert die Wiederfindungsrate der Futtermischung 1 und der zweite die der Futtermischung 2 darstellt.

Die Bestimmung der Jodkonzentration im Futter zeigen, dass trotz des Versuches die gleichen Mengen Jod ins Futter zu mischen, durch die Verwendung der Algen z. T. deutlich mehr Jod in der Futtermischung nachweisbar war. Der Unterschied betrug bis zu 1 mg/kg. Eine Erklärung konnte dafür nicht gefunden werden. Möglicherweise könnte es die Folge geringfügiger Schwankungen des Jodgehaltes der Algen sein. Er wurde zuvor bestimmt und betrug in der untersuchten Probe 4,3 mg Jod/kg TS.

5.6.3 Jodkonzentration in den Geweben

In einer früheren Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Anreicherung des Aufzucht- und Mastfutters mit Jod eine Erhöhung der Jodkonzentration in der Muskulatur möglich war (Rambeck et al., 1997). In vorausgegangenen Untersuchungen mit anderen Tierarten, wie Forellen und Milchkühen, ergab sich, dass sich bei auch bei diesen der Jodgehalt durch die Verfütterung von Algen erhöhten ließ (Hornacher, 2001, Kuznik, 2001, Burkard, 2002). Ziel dieser Arbeit war es nun, herauszufinden, ob Algen auch in der Schweinefütterung Verwendung finden können. Die Jodbestimmung in der Muskulatur und den für die Lebensmittelherstellung wichtigen Organen war somit der wichtigste Teil im Versuch mit Algen.

Die Jodsupplementierung erfolgte sowohl mit Kaliumjodid und *Laminaria digitata* in Dosierungen zu 5 bzw. 8 mg/kg. Dadurch sollte ein direkter Vergleich der erreichbaren Erhöhung der Jodkonzentration in den Geweben möglich werden.

Wie Abbildung 12 zeigt, ergab sich durch die Jodanreicherung des Futters z. T. eine deutliche Steigerung der Jodkonzentration in den untersuchten Organen.

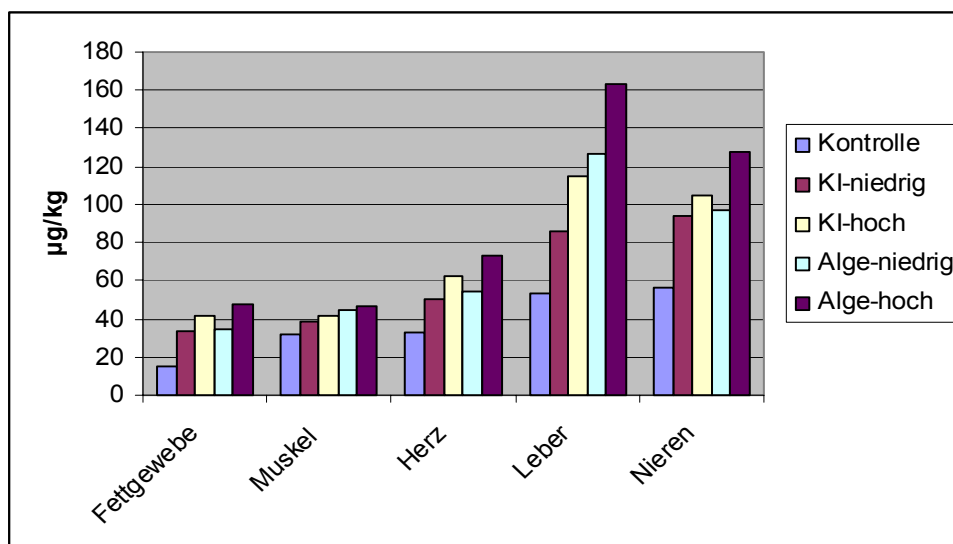


Abbildung 12: Vergleich der Jodgehalte in den untersuchten Geweben der Versuchsgruppen Kontrolle, KI-niedrig, KI-hoch, Alge-niedrig und Alge-hoch

Tabelle 57 verdeutlicht die beobachteten Veränderungen des Jodgehaltes in Prozent. Sie veranschaulicht, dass der Jodgehalt in den untersuchten Geweben der Schweine durch Anreicherung des Futters mit KI oder Algen gesteigert wird. Darüber hinaus fiel auf, dass durch die Verwendung von *Laminaria digitata* die Steigerung der Jodkonzentration z. T. deutlich höher ausfiel. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte der höhere Jodgehalt des Futters darstellen (s. o.). Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass ein Unterschied besteht in der Verfügbarkeit der verschiedenen Formen, in denen Jod vorliegt. So enthalten Algen Jod in Form von wasserlöslichem Jod, löslichem organischen Jod, I^- und IO_3^- (Hou et al., 1997). Für eine Klärung der Ursache für den höheren Gehalt in den Geweben der mit Algen gefütterten Tiere sind weitere Versuche notwendig.

Gruppe	Muskel	Fettgewebe	Herz	Leber	Niere
Kontrolle	100	100	100	100	100
KI-niedrig	121	220	156	161	167
KI-hoch	130	276	193	216	186
Alge-niedrig	138	233	168	238	173
Alge-hoch	145	313	224	307	227

Tabelle 57: Die Veränderung des Jodgehaltes in den einzelnen Geweben verglichen mit der Kontrollgruppe in %

Die Erhöhung der Jodkonzentration im Futter hatte in der Muskulatur nur eine relativ geringe Steigerung des Jodgehaltes zur Folge. In den übrigen untersuchten Organen fiel sie dagegen z. T. sehr viel deutlicher aus. Dies steht teilweise im Einklang mit den Ergebnissen einer Studie mit Ratten und den beobachteten Veränderungen im Jodgehalt verschiedener Organe nach der Fütterung von radioaktiv markiertem Jod (Kirchgessner et al., 1999). Hier ließ sich die unterschiedliche Jodaufnahme der einzelnen Organe in Unterschieden in der Fähigkeit Jod zu speichern oder in den Mechanismen die Homeostase aufrechtzuerhalten erklären.

5.6.4 Jodkonzentration im Urin

Die Ausscheidung des Jods, das nicht in die Schilddrüse aufgenommen wurde, erfolgt hauptsächlich über den Harn und nur in geringen Mengen über Kot und Schweiß. Beim Menschen stimmt die renale Jodausscheidung i. a. gut mit der Plasmajodkonzentration und der Jodaufnahme überein (Underwood, 1977), so dass eine Abschätzung der Jodversorgung über die Jodkonzentration im Harn möglich ist. Dies konnte schon in Untersuchungen an Hund (Löscher, 1999) und Katze (Ranz, 2000) nachgewiesen werden.

Für Schweine finden sich nur in geringem Umfang Daten über die Jodversorgung und die Korrelation zwischen Jodkonzentration in Plasma und Urin. In einer früheren Untersuchung wurde allerdings durch die Anreicherung des Schweinemastfutters mit 30 mg Jod/ kg Futter eine Erhöhung der Jodkonzentration im Harn um rund 780 % von 125,7 µg/l auf 983, µg/l erreicht (Rambeck et al., 1997)

Auch in unserem Versuch kam es zu einer deutlichen Steigerung der Jodausscheidung über die Nieren (Abbildung 13)

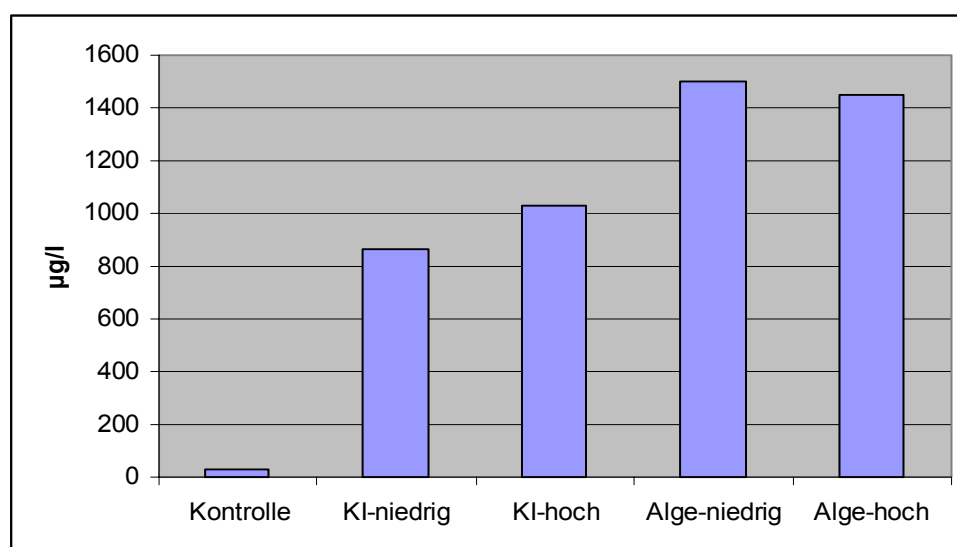


Abbildung 13: Jodkonzentration im Urin von Schweinen nach Anreicherung des Mastfutters mit Jod in Form von KI oder jodreichen Algen

Die entsprechende Steigerung in Prozent ist der Tabelle 58 zu entnehmen. Trotz einer annähernd gleichen Jodzulage in den mit KI und Algen gefütterten Tieren wurde durch die Algenfütterung die Jodkonzentration im Urin deutlicher erhöht. Die Ursache hierfür ist nicht bekannt. Eventuell spielen auch hier die unterschiedlichen Formen, in denen Jod in Algen vorliegen kann, eine Rolle.

Auffällig ist, dass sich der Jodgehalt im Urin in beiden mit Algen gefütterten Gruppen unabhängig von der Höhe der Jodzulage nahezu auf gleichem Niveau befindet. Im Falle einer Verfütterung von Algen bestand in diesem Versuch also keinerlei Zusammenhang zwischen der Jodkonzentration im Futter und im Harn.

Gruppe	Urin
Kontrolle	100
KI-niedrig	3464
KI-hoch	4120
Alge-niedrig	5992
Alge-hoch	5788

Tabelle 58: Die Veränderung des Jodgehaltes im Urin verglichen mit der Kontrollgruppe in %

5.6.5 Zur Verwendbarkeit der Algen

Trotz weltweiter Bemühungen herrscht noch immer in vielen Teilen der Erde Jodmangel. Betroffen sind hiervon viele arme Länder, aber auch einige Länder in Europa, in denen durch ein steigendes Gesundheitsbewusstsein natürliche Zusatzstoffe immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses treten. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Algen *Laminaria digitata* durchaus eine v. a. für Länder mit Meeresküste kostengünstige Alternative zur Futteranreicherung mit Kaliumjodid darstellen und die erreichten Jodkonzentrationen im Schweinefleisch sich auf einem vergleichbaren Niveau bewegen. Eine Verbesserung der Jodkonzentration durch Anreicherung im Schweinefleisch könnte somit auch durch die Verfütterung von Algen erfolgen.

Neben der Erhöhung der Jodkonzentration im Fleisch spricht auch die Beobachtung eines positiven Einflusses auf die Leistungsparameter der Schweine für ihren Einsatz. Sie könnten also vielleicht auch als eine Alternative zu den herkömmlichen Leistungsförderern in Betracht gezogen werden. Dies müsste dann allerdings noch in einem größeren Versuch unter Praxisbedingungen bestätigt werden. Die Algen zeigten auch keinerlei negative Effekte auf die Gesundheit und die Qualität des Schlachtkörpers.

Die erzielten Ergebnisse sprechen also durchaus für die Verwendung jodreicher Algen anstelle von Kaliumjodid.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden in einem Schweinefütterungsversuch zwei auf den ersten Blick völlig unterschiedliche Themengebiete untersucht. Zum einen sollte abgeklärt werden, ob Seltene Erden leistungsfördernde Effekte zeigen. Falls dies der Fall ist, sollte die unter hiesigen Verhältnissen erzielten Ergebnisse mit den in China, wo Seltene Erden seit mehreren Jahrzehnten dem Futter zugesetzt werden, gewonnenen Daten verglichen werden. Zum anderen wurden jodreiche Meeresalgen (*Laminaria digitata*) als natürliche Jodquelle eingesetzt und der Jodgehalt im Urin, der Muskulatur und einer Reihe von Organen untersucht.

Die Fütterungsstudie wurde mit 48 Schweinen in sechs Gruppen durchgeführt. Die Einteilung erfolgte anhand des Futterzusatzes: ohne bzw. mit Kaliumjodid in niedriger (5mg/kg Futter) und in hoher (8 mg/kg) Dosierung, Algen in niedriger (5 mg Jod/kg Futter) und hoher (8mg Jod/kg Futter) Dosierung, ein Gemisch verschiedener Seltener Erden (150 mg/kg Futter).

Es zeigte sich, dass Seltene Erden eine deutliche, mit antibiotischen Leistungsförderern vergleichbare Leistungsverbesserung mit einer Steigerung der täglichen Zunahmen um 19 (Aufzuchtperiode) bzw. 12 % (Mastperiode) und einer Verbesserung der Futtermittelverwertung um 11 bzw. 3 % aufwies. Die Gesundheit der Tiere und die Eigenschaften des Schlachtkörpers wurden in keiner Weise beeinträchtigt. Die Messung der Gehalte verschiedener Seltener Erden in der Muskulatur und in inneren Organen mittels Neutronenaktivierungsanalyse ergab eine geringfügige Anreicherung von Lanthan und kaum Veränderung im Gehalt von Cer. Dadurch kann eine Gefährdung des Verbrauchers durch erhöhte Werte ausgeschlossen werden. Seltene Erden könnten also durchaus eine Alternative zu den bisher verwendeten antibiotischen Leistungsförderern darstellen.

Im Versuch mit Algen ergab sich in Muskulatur und inneren Organen eine z. T. deutliche Steigerung der Jodkonzentration nach der Verfütterung der jodreichen Rationen. So konnte im Muskel der Jodgehalt um bis zu 45 % erhöht werden. Die Steigerung des Jodgehaltes fiel dabei bei der Verfütterung der Algen etwas höher aus. Die Anreicherung des Futters mit Kaliumjodid oder Algen hatte keinen Einfluss auf die Gesundheit und die Schlachtleistung der Tiere. Es zeigte sich sogar eine positive Beeinflussung der Tageszunahmen, der Futtermittelverwertung und der Fleischqualität durch den Zusatz von Algen. Sie könnten also nicht nur durch ihren Jodgehalt für die Verringerung des globalen Jodmangels, sondern auch wegen der Verbesserung verschiedener Leistungsparameter von Interesse zu sein.

7. Summary

Alternative methods in pig production: Studies on the growth-promoting potential of rare earth elements and on iodine-enrichment as a result of feeding marine algae.

In this study, two subjects which at first sight seem totally different were examined in a single feeding experiment with pigs. On the one hand, the aim was to clarify whether rare earth elements (REE) are effective in promoting growth. If this is the case, the results obtained under Western conditions were to be compared with those obtained in China, where REE has been added to feed for several decades. On the other hand, iodine-rich marine algae (*Laminaria digitata*) were used as a natural source of iodine and the iodine content in the urine, the muscular system and a number of organs was examined.

The feeding experiment was carried out on 48 pigs, divided into six groups. This grouping was based on the feed supplement: with/without KI in a low concentration (5 mg/kg feed) and in a high concentration (8 mg/kg); algae in a low concentration (5 mg iodine/kg feed) and in a high concentration (8 mg iodine/kg feed); a mixture of different rare earth elements (150 mg/kg feed).

The study indicated that REE showed clear growth-promoting effects comparable with those of antibiotic growth promoters with an increase in the daily weight gain of 19% (feeding period 1) or 12% (feeding period 2) and an improvement in feed conversion by 11% and 3% respectively. Neither the health of the animals nor the quality of the carcass was affected in any way. Measurement of the REE content in the muscular system and in the internal organs using Neutron Activating Analysis (NAA) revealed a slight enrichment of lanthan and little change in the cerium content. Accordingly, there is absolutely no risk for the consumer as a result of high levels of REE. REE could thus represent a genuine alternative to the antibiotic growth promoters which have been in use up to now.

The study with algae showed in some cases a distinct increase in the iodine content in the muscular system and the internal organs after feeding iodine-rich rations. Iodine content in the muscular system increased by as much as 45%. The rise in iodine content turned out to be higher after feeding algae. The supplementation of feed with potassium iodide or algae had no influence on the health of the animals or on the quality of the carcass. It was also shown that the addition of algae to feed had a positive effect on daily weight gain, the feed conversion

ratio and the quality of the meat. Thanks to their high iodine content, algae could be of interest not only as a means of reducing the global iodine deficiency but also as a means of improving pig production.

8. Literaturverzeichnis

Anke, M., Rother, C., Arnhold, W., Hötzel, D., Peiker, G., Bauch, K., Gleis, M., Scholz, E., Gonzales, D., Müller, M., Hartmann, E., Röhrig, B., Pilz, K., Cibis, M. und Holzinger, S. (1997)

Die Iodversorgung Erwachsener Deutschlands in Abhängigkeit von Geschlecht, Zeit, Jahreszeit, Lebensraum, Stillperiode, Alter, Körpermasse und Form des Iodzusatzes.

In: Mineralstoffe und Spurenelemente - Molekularbiologie - Interaktion mit dem Hormonsystem, Köhrle, J. (Hrsg.), Analytik. Verlag Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart

Ballauf, A., Rost-Reichert, I., Kersting, M., Weber, P. und Manz, F. (1988)

Erhöhung der Jodzufuhr durch die Zubereitung von Kartoffeln, Nudeln und Reis mit jodiertem Speisesalz.

Ernährungs-Umschau 35, 1: 16 – 18

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

Über die biologischen Wirkungen der Salze Seltener Erdmetalle, vornehmlich des Lanthans und des Cers, bei intravenöser Zufuhr.

Klin. Wschr. 32: 588 - 590

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

Antibiotic and copper supplements for fattening pigs.

Br. J. Nutr. 9: 378 - 381

Barber, R.S., Bowland, J.P., Braude, R., Mitchell, K.G. und Porter, J.W.G. (1960)

Copper sulphate and copper sulphide (CuS) as supplements for growing pigs.

Brit. J. Nutr. 15: 189 - 197

Barlow, S. und Pike, I.H. (1991)

The effect of PUFAs on man and animal.

Feedstuffs 63 (19): 18

Beermann, D.H. (1989)

Status of current strategies for growth regulation.

In: Animal growth regulation, Campion, D.R., Hausman, G.J., Martin, R.J. (Hrsg.), Plenum Press, New York

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

Futterzusatzstoffe im Rampenlicht 1 und 2.

Kraftfutter 10: 436 - 440 und Kraftfutter 11: 518 – 523

Blöadow, G. (1969)

Untersuchungen zur Methodik der Jodbestimmungen und zum Jodvorkommen in biologischem Material sowie zu einigen Problemen des Jodstoffwechsels der Milchkuh.

Promotion A, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin.

Bolduan, G., Morgenthum, R., Jung, H. und Nitz, H. (1990)

Säureeinsatz bei Ferkeln und Sauen.

Kraftfutter 7: 286 - 288

Bowland, J.P., Braude, R., Chamberlain, A.G., Glascock, R.F. und Mitchell, K.G. (1961)

The absorption, distribution and excretion of labelled copper in young pigs given different quantities, as sulphite or sulphide, orally or intravenously.

Brit. J. Nutr. 15: 59

Braude, R. (1967)

Copper as a stimulant in pig feeding (cuprum pro pecunia).

World rev. anim. prod. 3: 69 - 82

Brenner, K.-V. (1990)

Wirkungsmechanismus und Effekte von Repartitioning-Substanzen in der Schweinemast.

Dtsch. tierärztl. Wschr. 97: 196 - 202

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

Untersuchungen zur gastrointestinalen Wirksamkeit von Probiotika beim Schwein.

Lohmann Information 2: 16 - 17

Broz, J. (1991)

Enzymes as feed additives in poultry nutrition - current applications and future trends.

Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier, 3. Symposium, 26./27.9.1991, Jena

Burkard, S. (2002)

Jodanreicherung im Süßwasserfisch durch Supplementierung mit Meeresalgen. Ein Beitrag zur Verbesserung der Jodversorgung des Menschen.

Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München

Burnett, G.S. (1966)

Studies of viscosity as the probable factor in the improvement of certain barleys for chickens by enzyme supplementation.

British Poultry Sci. 7: 55 - 75

Busch, A., Herrmann, H.-H., Kühn, I., Simon, O., Struck, J. und Süphke, E. (1999)

Probiotika in der Tierernährung.

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

Calaciura, F., Mendorla, G., Distefano, M., Castorina, S., Fazio, T., Motta, R.M., Sava, L., Delange, F. und Vigneri, R. (1995)

Childhood IQ measurements in infants with transient congenital hypothyroidism.

Clinical Endocrinology 43: 473 – 477

Chang, J., Zhu, W., Zhang, L., Xiong, J., Zhang, J. und 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

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

Advanced inorganic chemistry.

Interscience Publishers, Wiley & Sons (Eds.)

Cummings, J.H., Gibson, G.R. und Macfarlane, G.T. (1989)

Quantitative estimates of fermentation in the hindgut of man.

Acta Vet. Scand. 86: 76 - 82

Delange, F. (1996)

Iodine deficiency disorders and their prevention: A worldwide problem.

In: Braverman, L.E., Köhrle, J., Eber, O. und Langsteger, W. (Hrsg.): Thyroid and trace elements. 6th thyroid symposium. Blackwell Wissenschaft, Wien: 93 - 103

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.) (1992)

Ernährungsbericht 1992

Druckerei Henrich GmbH, Frankfurt

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.) (1996)

Ernährungsbericht 1996

Druckerei Henrich GmbH, Frankfurt

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2000)

Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr.

1. Auflage, Umschau, Frankfurt

Dost, G. (1980)

Salinomycin, ein neuer Polyäther-Antibiotikum als Wachstumsförderer bei Schweinen.

Landwirtsch. Forsch. Sonderheft 37: 392 - 402

Downer, J.V., Hemken, R.W., Fox, J.D. und Bull, L.S. (1981)

Effect of dietary iodine on tissue iodine content in the bovine.

J. Anim. Sci. 52: 413 – 417

Dunn, J.T., Crutchfield H.E., Gutekunst, R. und Dunn, AD. (1993)

Two simple methods for measuring iodine in urine.

Thyroid 3: 119 - 123

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

Metabolism of the Lanthanides in the Rat.

Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 91: 78 - 85

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

Levels of cerium in the tissues of rats fed a magnesium-restricted and cerium-adulterated diet.
Bull. Environ. Contam. Toxicol. 56: 178 – 182

Eichhorn, G.L. und Butzow., J.J. (1965)

Interactions of metal ions with polynucleotides and related compounds. III. Degradation of polyribonucleotides by lanthanum ions.
Biopolymers 3: 79 - 91

El-Fakahany, E., Lopez, J.R. und Richelson, E. (1983)

Lanthanum binding to murine neuroblastoma cells.
J. Neurochem. 40: 1687 - 1691

Ermanns, A.M., Mbulamoko, N.M., Delange, F. und Ahluwalia, R. (1980)

Role of cassava in the etiology of endemic goitre and cretinism.
International development research centre publ., Ottawa: 1 – 182

Evans, C.H. (1990)

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

Filetti, S., Squatrito, S. und Vigneri, R. (1985)

Iodine supplementation methods other than by iodized salt.
In: Hall, R. und Köbberlin, J. (Hrsg.): Thyroid disorders associated with iodine deficiency and excess, Raven, New York (Serono symposia publications, vol. 22: 95 - 110)

Flachowsky, G. und Schulz, E. (1997)

Beitrag der Futterzusätze zu einer nachhaltigen standortsicheren Tierproduktion.
Mühle und Mischfuttertechnik 134: 101 - 107

Freitag, M., Hensche, H.-U., Schulte-Sienbeck, H. und Reichelt, B. (1999a)

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

Fritz, Z., Schleicher, A. und Kinal, S. (1993)

Heilpflanzen als Bestandteile der Futtermischungen für Broiler.

Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier

4.Symposium, 30.09. - 01.10.1993, Jena

Fuller, R., Newland, L.G.M., Briggs, C.A.E., Braude, R. und 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. abc. 23 (2): 195 -205

Fuller, R. (1989)

A review: Probiotics in man and animals.

Journal of Applied Bacteriology 66: 365 - 378

Fuller, R. (1992)

History and development of probiotics.

In: Probiotics. The scientific basis (Hrsg. Fuller, R.) Chapman & Hall, London, 1 – 8

Futtermittelgesetz und Futtermittelverordnung

In der Fassung der Bekanntmachung vom 16.7.1999, Stand August 1999

Parey Buchverlag, im Blackwell-Wissenschaftsverlag, Berlin

Garvie, E.I., Cole, C.B., Fuller, R. und Hewitt, D. (1984)

The effect of yoghurt on some components of the gut microflora and the metabolism of lactose in the rat.

Journal of Applied Bacteriology 56: 237 - 245

Gedeck, B. (1986)

Probiotika in der Tierernährung - Wirkung auf Leistung und Tiergesundheit.

Kraftfutter 3: 80 - 84

Gedeck, B. (1993)

Probiotika als Bioregulatoren.

Jena 1993

Geier, U. und Oster, A. (2001)

Kräuter- Eine Alternative zu antibiotischen Leistungsförderern?

[http://www.landwirtschaft-mlr.baden-](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lasz/fachinfo/schweinefutter/kraeuter.htm)

[wuerttemberg.de/la/lasz/fachinfo/schweinefutter/kraeuter.htm](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lasz/fachinfo/schweinefutter/kraeuter.htm)

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1987)

Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Schweine.

DLG-Verlag, Frankfurt (Main)

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

Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics.

J. Nutr. 125: 1401 - 1412

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

Leistungsförderer in der Tierproduktion: Stand und Perspektiven.

Übers. zur Tierernährung 16: 27 - 77

Gropp, J. (1986)

Leistungsförderer: Wirkung und Einsatz beim Nutztier.

In: VDLUFA-Schriftenreihe, 20: 99 – 134

Groppel, B. (1987)

Jodmangelerscheinungen, Jodversorgung und Jodstatus des Wiederkäuers (Rind, Schaf, Ziege).

Promotion B, Wissenschaftlicher Rat der Karl-Marx-Universität , Leipzig

Groppel, B., Rambeck, W.A. und Gropp, J. (1991)

Iodanreicherung in Organen und Geweben von Mastkühen nach Iodsupplementation des Futters.

Jena 12. bis 13. Dezember 1991

Groscurth, P. und Kistler, B. (1987)

The thyroid gland, Part B.

In: Clinical endocrinology.

Labhart A. (Hrsg.), Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Großklaus, R. (1993)

Ernährungsrisiko durch Jodmangel und Strategien der Beseitigung.

Hrsg. Bundesgesundheitsamt Jhrg. 36 Nr. 1 Sonderdruck, Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin, Bonn, München

Grüning, T., Zöphel, K., Wunderlich, G. und Franke, W.-G. (2001)

Strumaprävalenz und Joddefizit in Sachsen geringer als bisher angenommen.

Med. Klin. 96: 1 – 8

Gschneider, K.A. (1978)

Handbook on the physics and chemistry of rare earths.

Eyring, L.R. und Gschneider, K.A.jr. (Eds.)

Amsterdam, North Holland Publ. Co., 1978

Günther, K.D. und Adiarto (1991)

Ätherische Öle als Futterzusatzstoffe mit verdauungsfördernden Eigenschaften.

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

Guiry, M.D. (2000)

<http://www.seaweed.ie/defaultwednesday.html>

Gutkunst, R. (1990)

Möglichkeiten und Ergebnisse der Jodprophylaxe.

In: Köbberling, J. und Pickardt, C.R. (Hrsg.), Struma, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg: 199 - 206

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

Zum Einfluss NSP-hydrolysierender Enzyme in der Schweinefütterung.

Übers. Tierernährg. 26: 25 - 64

Hämmerling, R. (1989)

Schilddrüse. Physiologische Hormonsynthese, klinisches Bild, Diagnose und Therapie funktioneller Störungen der Schilddrüse.

Collegium Veterinarium 20: 70 – 74

Haley, T. (1965)

Pharmacology and Toxicology of the Rare Earth Elements.

J. Pharm. Sci. 54: 663 – 670

Haley, T. (1979)

Toxicity.

In: Gschneidner, K.A. und Eyring, L.R. (Hrsg.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth, Vol. 4, North-Holland, Amsterdam: 553 - 585

Hamm, M. (2000)

Pre- und Probiotika.

Mosaik-Verlag, München, 2000

Hampel, R., Kühlberg, T., Klein, K., Jerichow, J.-U., Pichmann, E.-G., Clausen, V. und Schmidt, I. (1995)

Strumaprävalenz in Deutschland größer als bisher angenommen.

Medizinische Klinik, 6: 4 - 12

Hampel, R., Beyersdorf-Radeck, B., Below, H., Demuth, M. und Seelig, K. (2001)

Jodidurie bei Schulkindern in Deutschland 1999 im Normbereich.

Med. Klin. 96: 125 - 128

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

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

Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health 40 (1): 26 - 33

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

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

J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr. 87: 1 – 7

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, Wuhan, China, 12 – 15.11.98

Hemken, R.W. (1979)

Factors that influence the iodine and performance of dairy cattle.

F. Anim. Sci. 48. 981 - 985

Hemken, R.W. (1980)

Milk and meat iodine content: relation to human health.

JAVMA 176: 1119 - 1121

Henderickx, H.K. (1981)

Zur Wirkungsweise von Wachstumsförderern am Beispiel von Virginiamycin.

In: Aktuelle Themen zur Tierernährung. Wiss. Tag. 21./22. Oktober 1981, Cuxhaven, Lohmann Tierernährung GmbH: 25 - 32

Herbreteau, F., Coiffard, L.J.M., Derrien, A. und De Roeck-Holtzhauer, Y (1997)

The fatty acid composition of five species of macroalgae.

Botanica Marina 40: 25 - 27

Heseker, H. (1999)

Jod: Funktionen, Physiologie, Stoffwechsel, Empfehlungen und Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland.

Ernährungs-Umschau 46: 55 - 59

Hess, S.Y., Zimmermann, M.B., Torresani, T., Bürgi, H. und Hurrell, R.F. (2001)

Monitoring the adequacy of salt iodization in Switzerland: a national study of school children and pregnant women.

European Journal of Clinical Nutrition 55: 162 - 166

Hesselmann, K. und Aman, P. (1986)

The effect of beta-glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chicks fed on barley of low- or high-viscosity.

Anim. Feed Sci. Tech. 15: 83 - 93

Hetzel, B.S. (1983)

Iodine deficiency disorders (IDD) and their eradication.

The Lancet 8359: 1126 - 1129

Hetzel, B. S. (1993)

The iodine deficiency disorders.

In: Delange, F. (Hrsg.), Iodine deficiency in Europe, Plenum Press, New York, 25 - 31

Hötzel, D. und Scriba, P.C. (1997)

Fakten zur Jodversorgung in Deutschland - Derzeitige Situation und zukünftiger Handlungsbedarf.

Arbeitskreis Jodmangel (Hrsg.), Groß-Gerau

Holmberg, S.D., Osterholm, M.T., Senger, K.A. und Cohen, M.L. (1984)

Drug-resistant salmonella from animals fed antimicrobials.

The New England Journal of Medicine Vol. 311 Nr. 10: 617 - 622

Hornauer, W. (2001)

Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Iod aus Algen (*Laminaria* spp.) bei Milchkühen.

Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München

Horrocks, W., DeW. (1982)

Lanthanide ion probes of biomolecular structure.

In: Advances in Inorganic Biochemistry.

Eichborn G.L. und Marzilli, L.G. (Eds.), Vol. 4, Elsevier, New York: 201 - 261

Horrocks, W., DeW. und Sudnick, D.R. (1979)

Lanthanide ion probes of structure in biology. Laser-induced luminescence decay constants provide direct measure of the number of metal-coordinated water molecules.

J. Am. Chem. Soc. 101: 334 - 340

Hou, X., Chai, C., Qian, Q., Yan, X. und Fan, X. (1997)

Determination of chemical species of iodine in some seaweeds (I).
The Science of the Total Environment 204: 215 - 221

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

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

Inbarr, J. und Ogle, R.B. (1988)

Effect of enzyme treatment of piglet feeds on performance and post weaning diarrhoea.
Swed. J. Agric. Res. 18: 129 - 133

Ji, Yunjing (1985)

Toxicological study on safety evaluation of rare earths used in agriculture.
Chines Journal of Rare Earth Elements (Special) 1:4 - 10

Joly, B. und Cluzel, R. (1975)

Rôle des métaux lourds et de leurs dérivés dans la sélection de bacilles à gram négatif résistants aux antibiotiques.
Ann. Microbiol. (Inst. Pasteur) 126 B: 51 - 61

Kaemmerer, K. und Fink, J. (1982)

Untersuchungen mit inaktiviertem Zinkbacitracin.
Dtsch. tierärztl. Wschr. 89: 74 – 77

Kamphues, J. (1993)

Nutzen und Risiken von Leistungsförderern für Schweine.
Prakt. Tierarzt, (Coll. Veterinar. XXIV) 74: 96 – 100

Kamphues, J. (1994)

Futterzusatzstoffe – auch aus klinischer Sicht für den Tierarzt von Interesse.
Wiener Tierärztl. Monatsschrift 81: 86 - 92

Kamphues, J. (1997)

Mit oder ohne Leistungsförderer - Zielkonflikte sind unvermeidbar.

Jena, 24. - 25.09.1997

Kamphues, J. und Hebeler, D. (1999)

Leistungsförderer - der Status Quo aus Sicht der Tierernährung.

Übers. Tierernährg. 27: 1 - 28

Karg, H. (1986)

Hormone als Leistungsförderer.

VDLUFA-Schriftenreihe, 20. Kongreßband: 29 - 47

Kaufmann, S. (1997)

Ergänzende Strategien zur Bekämpfung von Jodmangel in Deutschland und Südostasien.

Dissertation der technischen Universität München

Kaufmann, S., Linseisen, J. und Wolfram, G. (1995)

Vergleich der Jodversorgung in Deutschland und Grossbritannien.

Z. Ernährungswiss. 34: 59 - 60

Kienzle, E., Geiser, G., Henke, J., Thielen, C. und Erhardt, W. (1999)

Eine Zufallsbeobachtung zum Einfluß der Fütterung auf die Wirkung von Probiotika.

Tierärztliche Praxis Großtiere 27: 302 - 305

Kirchgessner, M., Weser, U. und Friesecke, H. (1963)

Cu and Mo metabolism of growing pigs.

Z. Tierphysiol. Tierernähr. 18: 239

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

Ergotrope Effekte durch organische Säuren in der Ferkelaufzucht und Schweinemast.

Übers. Tierernährg. 16: 93 - 108

Kirchgessner, M., He, J. und Windisch, W. (1999)

Homeostatic adjustments of iodine metabolism and tissue iodine to widely varying iodine supply in ¹²⁵I labelled rats.

J Anim Physiol a Anim Nutr 82: 238 – 250

Kirst, H.A., Thompson, D.G. und Nicas, T.I. (1998)

Historical yearly usage of vancomycin.

Antimicrob.Agents Chemotherap. 42: 1303 – 1304

Krafka, B. (1999)

Neutronenaktivierungsanalyse an Boden- und Pflanzenproben – Untersuchungen zum Gehalt an Lanthanoiden sowie Vergleich der Multielementanalytik mit aufschlussabhängigen Analysemethoden.

Dissertation an der Technischen Universität München

Kuang, Y., Liu, Q. und Zheng, Y. (1991)

Studies on the absorption, distribution of rare earth elements and its effect on absorption of phosphorus and potassium in sugarcane.

Acta Agriculature Nucleaiae Sinica 5: 146 - 152

Kühn, I. (1998)

Neue Erkenntnisse über die Wirkung von Probiotika in der Tierernährung.

Kraftfutter 4: 140 - 144

Kühn, I., Jacobs, S. und Müller, A. (1999)

Fütterungsstrategien für eine sichere Tierproduktion.

Kraftfutter 4: 116 - 127

Kuznik, M. (2001)

Fütterung von Süßwasserfischen mit Meeresalgen als natürliche Jodquelle.

Dissertation der Ludwig - Maximilians - Universität München

Lee, S.M., Lewis, J. und Buss D.H. (1994)

Iodine in British foods and diets.

Brit. J. Nutr. 72: 435 - 446

Li, D, She, W., Gong, L., Yang, W. und Yang, S. (1992)

Effects of rare earth element on the growth and nitrogen balance of growing pigs.

Feed Ao Lan (chinese) 4: 3 – 4

Lipstein, B. und Hurwitz, S. (1983)

The nutritional value of sewage-grown samples of *Chlorella* and *Micractinium* in broiler diets.

Poultry Science 62: 1254 - 1260

Löscher, S. (1999)

Untersuchungen zur Jodversorgung des Hundes.

Dissertation der Ludwig-Maximilians–Universität, München

Magnusson, G. (1963)

The behavior of certain lanthanons in rats.

Acta Pharmacol. Toxicol. Suppl., 3, 20: 1 - 95

Manz, F. (1990)

Jod und Ernährung.

In: Köbberling, J. und Pickardt, C.R. (Hrsg.), Struma, Springer Verlag, Berlin: 181 - 196

Meng, W., Schindler, A., Bednar, J., Krabbe, S., Tuschy, U. und Ermisch, U. (1994)

Die alimentäre Jodversorgung der Bevölkerung in den neuen Bundesländern nach dem Erliegen der allgemeinen Strumaprophylaxe

Akt. Ernähr.-Med. 19: 18 - 24

Metting, B., Rayburn, W.R. und Reynaud, P.A. (1988)

Algae and agriculture.

In: Algae and human affairs. Lembi, C.A. und Waaland, J.R. (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge: 357 - 361

Meyer, H. und Kröger, H. (1973a)

Kupferfütterung beim Schwein.

Übers. Tierernährg. 1: 9 - 44

Meyer, H. und Kröger, H. (1973b)

Vergleichende Untersuchungen über Wachstumswirkungen von Kupfer- und Antibiotikazulagen bei Ferkeln.

Züchtungskunde 45: 439 - 446

Miller, J.K. und Swanson, E.W. (1973)

Metabolism of ethylenediamine dihydriodide and sodium or potassium iodide by dairy cows.

J. Dairy Sci. 56: 378 - 384

Moore, P.R., Enenson, A., Luckey, T.D., McCoy, E., Elvehjem, C.A. und Hart, E.B. (1946)

Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with the chick.

J. Biol. Chem. 16: 437 – 441

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

Gastrointestinal absorption and distribution of ¹⁴⁴Ce in the suckling pig.

Health Phys. 33: 494-495

Muroma, A. (1958)

Studies on the bactericida action of salts of certain rare earth metals.

Ann. Med. Exp. Biol. Fenn. 36 (Suppl. 6): 1 - 54

Nagataki, S. (1991)

Autoregulation: Effects of iodide.

In: Werner and Ingbar's The Thyroid (Hrsg: Braverman, L.E. und Utiger, R.D.), 6. Aufl., J.B.

Lippincott, Philadelphia: 306 – 312

Nakamura, Y., Tsumura Hasegawa, Y, Tonogai, Y, Kanamoto, M., Tsuboi, N., Murakami, K. und Ito, Y. (1991a)

Studies on the biological effects of rare earth elements. II. Distribution and the histological effects of Dy, Eu, Yb and Y in the rats after intravenous administration.

Eisei Kagaku (Japanese) 37: 489 – 496

Nakamura, Y., Tsumura Hasegawa, Y, Tonogai, Y, Kanamoto, M., Tsuboi, N., Murakami, K., Ikebe, K. und Ito, Y. (1991b)

Studies on the biological effects of rare earth elements. III. Fate of chlorides of Dy, Eu, Yb and Y in the rat after intravenous administration.

Eisei Kagaku (Japanese) 37: 497 - 506

Nayler, W.G. (1975)

Some factors which influence the amount of calcium stored at the superficially located sites in cardiac muscle cells.

Recent Adv. Stud. Cardiac Struct. Metab. 5: 73 - 79

Neuringer, M., Anderson, G.J. und Connor, W.E. (1988)

The essentiality of n-3 fatty acids for the development and function of retina and brain.

Ann. Rev. Nutr. 8: 517 - 541

Newton, G.L. und Clawson, A.J. (1974)

Iodine toxicity: physiological effects of elevated dietary iodine on pigs.

J. Anim. Sci. 39: 879 - 884

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

Fructooligosaccharides in protein-rich piglet feed are not suitable as growth promoters.

Praktijkonderzoek Varkenshouderij, 13: 25 - 27

Pfannenstiel, P. (1995)

Jod und Ernährung.

Der Nuklearmediziner Nr. 5, 18: 257 - 265

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

Der Einfluß erhöhter Kupferzulagen zum Futter auf die Rückstandsbildung von Cadmium beim Schwein.

Z. Ernährungswiss. 30: 298 - 306

Rambeck, W.A., Kaufmann, S., Feng, J., Hollwich, W. und Arnold, R. (1997)

Verbesserung der Jodversorgung des Menschen durch Jodierung von Schweinefutter.

Tierärztliche Praxis 25: 312 – 315

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

Possible role of Rare Earth Elements as growth promoters.

Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, 7. Symposium, Jena:
311 – 317

Ranz, D. (2000)

Untersuchungen zur Jodversorgung der Katze.

Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München

Rattay, D. (1998)

Einfluss eines antimikrobiellen Zusatzstoffes (Avilamycin) und eines Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-hydrolysierenden Enzyms (Xylanase) allein und in Kombination auf die Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt beim Schwein.

Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Richter, G. (1995)

Einfluss der Jodversorgung der Legehennen auf den Jodgehalt im Ei.

In: Anke, M., Bergmann, H., Bitsch, R., Dorn, W., Flachowsky, G., Gleis, M., Groppe, B., Grün, M., Hürtler, H., Lombeck, I., Luckas, B., Meißner, D., Merbach, W., Müller, M. und Schneider, H.J. (Hrsg.): Mengen- und Spurenelemente - 15. Arbeitstagung, Verlag Harald Schubert, Leipzig: 457 - 464

Richter, A., Löscher, W. und Witte, W. (1996)

Leistungsförderer mit antibakterieller Wirkung: Probleme aus pharmakologisch-toxikologischer und mikrobiologischer Sicht.

Der praktische Tierarzt 7: 603 – 624

Riedel-Caspari, G. (1988)

Unentbehrlich aber problematisch.

Kraftfutter 11: 603 - 605

Roth, C., Meller, J., Bobrzik, S., Thal, H., Becker, W., Kulenkampff, D., Lakomek, M. und Zappel, H. (2001)

Die Jodversorgung von Neugeborenen - Vergleich der Jodaufnahme und Jodausscheidung von Mutter und Kind.

Dtsch. Med. Wschr. 126: 321 - 325

Rothe, S., Gropp, J., Weiser, H. und Rambeck, W.A. (1994)

Der Einfluß von Vitamin C und Zink auf die durch Kupfer erhöhte Rückstandsbildung von Cadmium beim Schwein.

Z. Ernährungswiss. 33: 61 – 67

Rübsamen, H., Hess, G.P., Eldefrawi, A.T. und 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. Commun. 68: 56 - 62

Salas, M., Tuchweber, B., Kovacs, K. und Garg, B.D. (1976)

Effect of cerium on the rat liver. An ultrastructural and biochemical study.

Beitr. Pathol. Biol. 157: 23 – 44

Sandell, E.B. und Kolthoff, I.M. (1937)

Mikrodetermination of iodine by a catalytic method.

Mikrochimica Acta 1: 9 - 25

Schauder, S. (1991)

Photocontact dermatitis and persistent light reaction from Oloquinox in piglet feed.

In: New Trends in Allergy III, Springer Verlag

Scherzinger, E., Guzy, J.K. und Lörcher, K. (1972)

Schilddrüsenhormonkonzentration im Blut und Thyroxinbindung an Serumproteine bei verschiedenen Spezies.

Vet. Med. A. 19: 585 - 593

Schöne, F., Geinitz, D., Grün, M. und Hennig, A. (1993)

Einfluß der Glucosinolat- und Iodzufuhr auf den Schilddrüsenhormon-, Vitamin-A- und Spurenelementstatus Rapsextraktionsschrot gefütterter Schweine.

Mh. Vet.-Med. 48: 75 - 78

Schöne, F., Groppel, B., Hennig, A. und Jahreis, G. (1997)

Rapeseed meals, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig.

J. Sci Food Agric 74: 69 - 80

Schöne, F. (1999)

Jodunterversorgung, Jodbedarf und Jodübersorgung des Nutztieres - Untersuchungen mit wachsenden Schweinen.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 112: 64 - 70

Schole, J. (1971)

Einsatz wachstumsfördernder Verbindungen in der Tierernährung.

Kratfutter 54: 110 - 114

Schole, J. (1982)

Theory of metabolic regulation including hormonal effects on the molecular level.

J. Theor. Biol. 96: 579 - 615

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

Untersuchungen über die direkte Wirkung von Wachstumsförderern auf den Synthesestoffwechsel der Leber.

Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 54: 27 - 41

Schuller, S. (2001)

Seltene Erden als Leistungsförderer beim Geflügel. Untersuchungen an Broilern und Japanischen Wachteln.

Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München

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

Untersuchungen zur Wirkung Seltener Erden als mögliche Alternative zu Leistungsförderern bei Schweinen und Geflügel.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 115: 16 – 23

Shen, Q., Zhang, J. und Wang, C. (1991)

Application of Rare Earth Elements on animal production.

Feed Industry 12: 21 – 22 (chinese)

Silbernagel S. und Despopoulos, A. (1991)

Taschenatlas der Physiologie, 4. Auflage

Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York; Deutscher Taschenbuch Verlag

Simon, O. (1998)

Auf dem Weg zu neuen Erkenntnissen über die Wirkungsweise NSP-hydrolysierender Enzyme.

Lohmann Information 1: 9 - 14

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

Smith, J.T. und Lewin, C.S. (1993)

Mechanisms of antimicrobial resistance and implications for epidemiology.

Vet. Microbiol. 35: 233 – 242

Stanley, V.G., Bailey, J.E. und Krueger, W.F. (1989)

Tesearch note: effect of iodine-treated water on the performance of broiler chickens reared under various stocking densities.

Poultry Science 68: 435 - 437

Stenzel, R., Widenski, K. und Saba, L. (1998)

Growth and development of calves receiving mash with addition of herb for 3 month.
Annales Universitatis Marie Curie Sklodowska 16: 101 – 106

Sun, T., Yu, J. und Mao, J. (1998)

Effect of Rare Earth Elements on Physiological properties of Jun Date (Z. Jujuba Mill).
2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain,
12.-15.11.1998, Wuhan, China, 38

Szybinski Z., Delange, F., Lewinski, A., Podoba, J., Rybakowa, M., Wasik, R., Szewczyk, L, Huszno, B., Golkowski, F., Przybylik-Mazurek, E., Karbownik, M., Zak, T., Pantoflinski, J., Trofimiuk, M. und Kinalska, I. (2001)

A programme of iodine supplementation using only iodised household salt is efficient - the case of Poland.
European Journal of Endocrinology 144: 331 - 337

Takeuchi, N., Ito, M., Uchida, K. und Yamamura, Y. (1975)

Effect of modification of thyroid function on cholesterol 7 α -hydroxylation in rat liver.
Biochem. J. 148: 499 - 503

Underwood, E.J. (1977)

Trace elements in human and animal nutrition.
Academic Press, Inc, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 281 - 322

Ungelenk, B. (2000)

Algen als Jodquelle in der Legehennenfütterung. Möglichkeit zur Verbesserung der Jodversorgung des Menschen.
Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München

UNICEF (2000)

The progress of nations 2000 - Time to sow - Victory possible against iodine deficiency.
[http:// www.unicef.org/pon00/ts7.htm](http://www.unicef.org/pon00/ts7.htm)

Vahjen, W. und Simon, O. (1997)

Mögliche Wirkungsebenen NSP-hydrolysierender Enzyme auf intestinale Mikroorganismenpopulationen bei Monogastriden.

Jena 24. - 25. 09. 1997

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

Metal toxicity in mammals.

Plenum Press, New York

Vitti, P., Agnini Lombardi, F., Antonangeli, L., Rago, T., Chiovato, L., Pinchera, A., Marcheschi, M., Bargagna, S., Bertuccelli, B., Ferretti, G. und Sbrana, B. (1992)

Mild iodine deficiency in fetal/neonatal life and neuropsychological performances.

Acta medica Austriaca 19 Sonderheft 1: 57 - 59

Vitti, P., Rago, T., Aghini-Lombardi, F. und Pinchera, A. (2001)

Iodine deficiency disorders in Europe.

Public Health Nutrition 4(2B): 529 – 535

Wan, Q., Tian, J., Peng, H., Zhang, X., Lee, D., Woo, C., Ryu, J. und Park, C. (1998)

The effects of rare earth on increasing yield, improving quality and reducing agricultural chemical remained in crop products.

2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain, 12.-15.11.1998, Wuhan, China

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

Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine.

J. Appl. Bacteriol. 75: 373 - 380

Werckenthin, C. und Schwarz, S. (1997)

Resistenzen gegenüber Proteinbiosyntheseinhibitoren bei Staphylokokken: Resistenzgene und ihre Ausbreitung – Übersichtsreferat.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 110: 324 - 332

Wessel, C. (2002)

„Es fehlen 60 Mikrogramm Jod pro Tag“.

Süddeutsche Zeitung Nr. 46, Dokumentation, 23./24.2.2002: 10

Wiechen, A. (1986)

Der Jodgehalt von Sammelmilch in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1984 und 1985.

Ern. Umschau 33: 271 - 274

Wolff, J. und Chaikoff, I.L. (1948)

Plasma inorganic iodide as a homeostatic regulator of thyroid function.

Journal of Biological Chemistry 174: 555 – 564

World Health Organisation (1994)

Indicators for assessing Iodine Deficiency Disorders and their control through salt iodization.

WHO/NUT/Micronutrient Series 94/6

World Health Organisation (1999)

World Health Organization sets out to eliminate iodine deficiency disorder.

Press Release WHA/17

<http://www.who.int/inf-pr-1999/en/pr99-wha17.html>

World Health Organization (2000)

Comparative analysis of progress on the elimination of iodine deficiency disorders.

European Health 21 Target 11

Wu, G., Chen, G. und Wang, G. (1998)

Effect of rare earth element on tissue culture of *Chaenomeles Spiciosa*.

2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain,

12.-15.11.1998, Wuhan, China, 40

Wu , T.T., Dai, X.J. und Wu, L.Y. (1999)

Effects of fructooligosaccharide on the broiler production.

Acta Agriculturae Zhejiangensis, 11: 85 – 87

Xia, Z. und He, R. (1997)

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

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

Studies on the effects of Rare earth compound added to diets of Guangxi Broiler Chickens.
chinese, unpublished

Xue, H.M., Sun, S.X. und Zhao, G.Y. (1997)

Effect of feeding additives of Chinese medicinal herbs on young rabbits increasing weight and analysis of economic benefit.
J. Econ. Anim. 1: 28 - 30

Yan, S.S. und Su, A.K. (1998)

Effects of spice on the growth performance of Black Belly sheep and nubian crossbred native black goat.
Journal of Taiwan Livestock Research 31,4: 355 - 360

Zhu et al., (1997):

Bioelektrical activity of the central nervous system among population in rare earth element area.
Biological Trace Element Research 57 (1): 71 – 77

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

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

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bedanken bei

Herrn Prof. Dr. W.A. Rambeck für die Überlassung des Themas, seine stets freundliche und verständnisvolle Betreuung während der Anfertigung dieser Dissertation und v. a. seiner Geduld während der letzten Jahre bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Dr. M.L.He für die große Unterstützung in allen Phasen des Versuches, für die Übersetzung der chinesischen Literatur und die geduldige Hilfestellung in allen Sachfragen.

Herrn Prof. Heinritzi und seinen Mitarbeitern für die Unterstützung bei der Blutabnahme.

Herrn Dr. Henkelmann vom Institut für Radiochemie der TU München für die Durchführung der Neutronenaktivierungsanalysen.

Herrn Dr. Hollwich und dem Team des Schlachthofes in Grub für die Durchführung der Schlachtung und der damit verbundenen Untersuchungen.

Frau Wetzels für die freundliche und hilfreiche Betreuung im Labor.

Frau Stadler, Uli, Walter und dem gesamten Team vom Oberwiesenfeld für die Mischung des Futters und der tatkräftigen Unterstützung bei der Durchführung des Versuches.

dem Team des Labors der 1. Medizinischen Tierklinik für die Untersuchung der Serumproben

Simone für die Hilfe bei der Planung und der Durchführung des Fütterungsversuches.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bedanken bei meinem Mann Markus für seine Unterstützung, Zuwendung und sein Verständnis und bei meinen Kindern Pascal, David und Jasmin für die Ablenkung.

Mein Dank gilt auch meinen Eltern und Schwiegereltern für ihre Unterstützung meiner Arbeit und v. a. auch meiner Mutter für ihre Mithilfe bei der Betreuung der Kinder.

10. Lebenslauf

Name: Claudia Borger, geb. Luck

Geburtsdatum: 24. Januar 1974

Geburtsort: München

Eltern: Rudi Luck
Ingrid Luck, geb. Pangerl

Familienstand: seit 19. Dezember 1997 verheiratet mit Markus Borger

Kinder: Pascal, 18. März 1998
David, 2. September 2000
Jasmin, 18. April 2002

Schulbildung: 1980 – 1984
Grundschule an der Kirchenstraße in Germering
1984 – 1993
Max – Born – Gymnasium Germering

Hochschulbildung: 1993 – 1999
Studium der Tiermedizin
Ludwig-Maximilians-Universität, München
September 1996 – Mai 1997
Auslandssemester an der Ecole Vétérinaire de Toulouse,
Frankreich, im Rahmen des ERASMUS-Programms

Approbation: 20. Oktober 1999

Promotion: Beginn Oktober 1999 der vorliegenden Dissertation am Institut
für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung,
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik der Ludwig-
Maximilians-Universität, München