

Einsatz von Raufuttermitteln (Silage, Weidelgras, Topinambur und Stoppelrüben) im Vegetationsverlauf in der ganzjährigen Freilandhaltung von Mastschweinen

Use of roughage (silages, ryegrass, Jerusalem artichoke, and turnip) during vegetation course in year round free range production of fattening pigs

FKZ: 03OE407

Projektnehmer:

Universität Kassel
FB 11 Ökologische Agrarwissenschaften
Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen
Tel.: +49 5542 98 1707
Fax: +49 5542 98 1581
E-Mail: sundrum@wiz.uni-kassel.de
Internet: <http://www.uni-kassel.de>

Autoren:

Sappok, Maria; Pellikaan, Wilbert; Schenkel, Hans; Sundrum, Albert

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Schlussbericht: Projekt 03OE407

„Einsatz von Raufuttermitteln (Silage, Weidelgras, Topinambur und Stoppelrüben) im Vegetationsverlauf in der ganzjährigen Freilandhaltung von Mastschweinen“

Berichtszeitraum: 1. Januar 2006 – 30. September 2008

Projektleitung: Prof. Dr. A. Sundrum
Projektbearbeitung: Maria Sappok (Dipl. Ing. agr.)

in Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. Hans Schenkel
Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie
Universität Hohenheim
Emil-Wolff-Str. 14, 70599 Stuttgart

Dr. Wilbert Pellikaan
Institute of Animal Sciences (WIAS)
Animal Nutrition Group
Wageningen University, Marijkeweg 40
6709 PG Wageningen
The Netherlands

Prof. Dr. Rainer Jörgensen
FG Bodenkunde
FB Ökologische Agrarwissenschaften
Universität Kassel, Nordbahnhofstr. 1a
37213 Witzenhausen

FG Tierernährung und Tiergesundheit, FB Ökologische Agrarwissenschaften, Universität
Kassel, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZIELE UND AUFGABENSTELLUNG DES PROJEKTS, BEZUG DES VORHABENS ZUM PROGRAMM ZUR FÖRDERUNG VON FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSVORHABEN.....	5
1.1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	5
1.2	ZIEL DES PROJEKTS UND BEZUG DES VORHABENS ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN	5
1.3	PLANUNG UND ABLAUF DES PROJEKTES.....	6
2	WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE	9
2.1	RAUFUTTERMITTEL	9
2.1.1	<i>Stoppelrübe</i>	9
2.1.2	<i>Topinambur</i>	10
2.1.3	<i>Weidelgras</i>	11
2.1.4	<i>Kleegrassilage</i>	12
2.1.5	<i>Maissilage</i>	13
2.2	VERWERTUNG VON FUTTERMITTELN.....	13
2.2.1	<i>Quantifizierung der Raufutteraufnahme durch Marker</i>	13
2.2.2	<i>In vitro Verdaulichkeit von Raufuttermitteln</i>	14
2.2.3	<i>Einfluss von Raufuttermitteln auf die mikrobielle Aktivität im Schweinekot</i>	15
3	MATERIAL UND METHODEN.....	16
3.1	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.....	16
3.1.1	<i>Haltung</i>	16
3.1.2	<i>Versuchstiere</i>	17
3.1.3	<i>Fütterung und Tränke</i>	18
3.1.4	<i>Erfasste Parameter und Analysen (Feld)</i>	20
3.1.5	<i>Erfassung von Leistungs- und Gesundheitsdaten am Schlachthof</i>	22
3.2	UNTERSUCHUNGEN ZUR <i>IN VITRO</i> VERDAULICHKEIT	23
3.2.1	<i>Enzymatische in vitro Verdaulichkeit (Boisen und Fernandez, 1997)</i>	24
3.2.2	<i>Dickdarmsimulierte in vitro Fermentation (Williams et al., 2005)</i>	24
3.2.3	<i>Enzymatische Vorbehandlung mit anschließender Fermentation</i>	25
4	ERGEBNISSE.....	26
4.1	PRODUKTIONSLEISTUNGEN.....	26
4.1.1	<i>Nährstoffgehalte der Aufwüchse und der Futtermittel</i>	26
4.1.2	<i>Lebendmasseentwicklung</i>	28
4.1.3	<i>Schlachtleistung</i>	30
4.1.4	<i>Salmonellenbefunde</i>	32
4.2	KOT- UND BODENPROBENANALYSE.....	33
4.2.1	<i>Trockenmasse und Rohaschegehalte</i>	33
4.2.2	<i>pH-Werte im Kot</i>	34
4.2.3	<i>Titangehalte im Kot</i>	35
4.2.4	<i>Titangehalte im Boden</i>	37
4.2.5	<i>Gehalte an Seltenen Erden im Kot und im Boden</i>	37
4.2.6	<i>Mikrobielle Aktivität im Kot</i>	38
4.3	VERDAULICHKEITSBESTIMMUNGEN <i>IN VITRO</i>	39
4.3.1	<i>Analyse von Rohnährstoffen, Rohfaser und Stärke</i>	39
4.3.2	<i>Verlust an Organischer Masse</i>	41
4.3.3	<i>Fermentationscharakteristika</i>	43
4.3.4	<i>Gasbildungskinetik</i>	45
4.4	BESTIMMUNG DER FUTTERAUFNAHME VON RAUFUTTER UNTER FREILANDBEDINGUNGEN	48
4.5	VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	49
5	ZUSAMMENFASSUNG	51
6	GEGENÜBERSTELLUNG DER URSPRÜNGLICHEN GEPLANTEN ZU DEN TATSÄCHLICH ERREICHTEN ZIELEN; HINWEISE AUF WEITERFÜHRENDE FRAGESTELLUNGEN	53
7	ÜBERSICHT ÜBER ALLE IM BERICHTSZEITRAUM VOM PROJEKTNEHMER REALISIERTEN VERÖFFENTLICHUNGEN ZUM PROJEKT	54
8	LITERATURVERZEICHNIS	55

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.1: Versuchsdesign des Forschungsvorhabens	7
Tabelle 1.2: Übersicht über die Versuchsdurchgänge, eingesetzten Raufutter, Wachstumsstadien der Feldfutterpflanzen, Mengen des Kraftfutters sowie Dauer der Mastperioden.....	8
Tabelle 2.1: Mittlere Zusammensetzung der Stoppelrübe (<i>Brassica rapa var. rapa</i>).....	10
Tabelle 2.2: Mittlere Zusammensetzung der Topinambur-Knolle (<i>Helianthus tuberosus</i>)	11
Tabelle 3.1: Rassen und Anteile der jeweiligen Genetik der Tiere in den verschiedenen Mastdurchgängen.....	17
Tabelle 3.2: Richtwerte für die Nährstoff- und Energieversorgung von Mastschweinen (GfE, 2006) ¹	18
Tabelle 3.3: Tägliche Futtermenge pro Tier in den Kontroll- und Versuchs-Varianten	19
Tabelle 3.4: Parameter der Schlachtleistung	22
Tabelle 3.5: Befunderfassung an Schlachtkörper und Organen	23
Tabelle 3.6: Zusammensetzung der Standardration für Schweine	24
Tabelle 4.1: Mittlere Weender Roh Nährstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Futtermittel.....	26
Tabelle 4.2: Mittlere Tageszunahmen in Anfangs- und Endmast der Mastdurchgänge 1 und 3.....	28
Tabelle 4.3: Mittlere Tageszunahmen in Anfangs- und Endmast der Mastdurchgänge 2 und 4.....	29
Tabelle 4.4: Mittlere Schlachtleistungen der Tiere der Mastdurchgänge 1 und 3.....	31
Tabelle 4.5: Mittlere Schlachtleistungen der Mastschweine in den Mastdurchgängen 2 und 4.....	32
Tabelle 4.6: Salmonellenbefunde bei den Schlachtkörpern in den verschiedenen Mastdurchgängen ..	32
Tabelle 4.7: Mittlere Trockenmassegehalte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen.....	33
Tabelle 4.8: Mittlere Rohaschegehalte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen.....	34
Tabelle 4.9: Mittlere pH-Werte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen.....	35
Tabelle 4.10: Mittlerer Gehalt an Titandioxid im Kot nach Druckaufschluss in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen	35
Tabelle 4.11: Mittlere Gehalte an Seltenen Erden in den Kotproben der verschiedenen Fütterungsvarianten und in Bodenproben.....	38
Tabelle 4.12: Mittlere ATP-Gehalte im Kot von Schweinen bei der Verfütterung verschiedener Futterkomponenten in den verschiedenen Mastdurchgängen und -abschnitten	39
Tabelle 4.13: Analyse von Roh Nährstoffen, Rohfaser und Stärke der un- und vorbehandelten Substrate	40
Tabelle 4.14: Verlust an Organischer Masse in % in Abhängigkeit von den Inkubationsschritten und -methoden	42
Tabelle 4.15: Mittlere Abbaurate und Fermentationscharakteristika von unbehandelten und vorbehandelten Substraten.....	44
Tabelle 4.16: Parameter der Gasbildung bei unbehandelten und mit dem Kontroll-Inokulum vorbehandelten Substraten.....	46
Tabelle A1: Mittlere Lebendmasseentwicklung im gesamten Mastverlauf im 1. und 3. Mastdurchgang	58
Tabelle A2: Mittlere Lebendmasseentwicklung im gesamten Mastverlauf im 2. und 4. Mastdurchgang	58
Tabelle A 3: Mastdurchgang, Anzahl der Schlachtermine, Zeitraum der Schlachtermine pro Mastdurchgang, Tierzahl und Probenname	58
Tabelle A 4: Mittlere Handelsklasseneinstufungen der Mastdurchgänge 1 und 3	59
Tabelle A 5: Mittlere Handelsklasseneinstufungen der Mastdurchgänge 2 und 4	59
Tabelle A 6: Organbefunde bei der Schlachtung der verschiedenen Mastdurchgänge	59
Tabelle A 7: Mittlere Gehalte von Titan im Kot in den verschiedenen Kontroll- und Versuchsvarianten im Vergleich der Analysewerte nach Druck- und Kjeldahlaufschluss	61

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADF	Säure-Detergenz-Faser	N	Stickstoff
ADL	Säure-Detergenz-Lignin	NDF	Neutral-Detergenz-Faser
AM	Anfangsmast	NfE	N-freie Extraktstoffe
AS	Aminosäure	NH ₃	Ammoniak
Cys	Cystein	NIRS	Nah-Infrarot-Spektroskopie
DE	Deutsches Edelschwein	OM	Organische Masse
DL	Deutsche Landrasse	P	Phosphor
dt	Dezitonnen	Pi	Pietrain
DU	Duroc	pcv	praecaecal verdaulich
EL	Englische Landrasse	R	Raufuttervariante
EM	Endmast	RF	Raufutter
FFS	flüchtige Fettsäuren	RI	Raufutter-Inokulum
FM	Frischmasse	SEM	Standardfehler
FM	Fleischmaß	SG	Schlachtgewicht
ggr	geringgradig	SM	Speckmaß
GIT	Gastrointestinaltrakt	SR	Stoppelrübe
hgr	hochgradig	TG	Topinambur- Grün (bezeichnet das Topinambur-Kraut)
HKL	Handelsklasse	Thr	Threonin
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt	TK	Topinamburknollen
K	Kontrollvariante	TM	Trockenmasse
KF	Kraftfutter	Trp	Tryptophan
KI	Kontroll-Inokulum	UB	unbehandelt
KS	Kleegrassilage	VB	vorbehandelt
LW	Dänische Landrasse	w	weiblich
Lys	Lysin	WG	Weidelgras
m	männlich	XA	Rohasche
MD	Mastdurchgang	XF	Rohfaser
Met	Methionin	XL	Rohfett
MfA	Muskelfleischanteil	XP	Rohprotein
mgr	mittelgradig	XS	Stärke
MS	Maissilage	XZ	Zucker
m/w	gemischt geschlechtlich		

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

1.1 Einleitung und Problemstellung

Während in der herkömmlichen Schweinehaltung der Verabreichung von Raufutter in Form von Feldfutter, Silage und Zwischenfrüchten keine große Bedeutung beigemessen wird, schreibt die EG-Öko-Verordnung (EWG Nr. 834/2007) ökologisch wirtschaftenden Betrieben die tägliche Vorlage von Raufutter in der Schweinefütterung vor. Daher liegt es nahe, die Möglichkeiten des Einsatzes von Raufutter in der Schweinemast auszuloten und mögliche Nachteile auf ein Minimum zu beschränken. Grundsätzlich kann der Einsatz von Raufuttermitteln zur Erreichung verschiedener Ziele beitragen:

- Beschäftigung der Tiere durch ausgedehntes Nahrungsaufnahmeverhalten,
- Sicherstellung eines Sättigungsgefühls bei rationierter Kraftfutterfütterung,
- Erzeugung hochwertiger Wirtschaftsdünger durch Erhöhung des Anteiles organisch gebundenen Stickstoffs im Kot sowie
- Erhaltung und Verbesserung der Tiergesundheit, u.a. durch Stabilisierung von Verdauungsprozessen und Reduzierung des Risikos von Durchfallerkrankungen.

Als Nachteile der Raufutterfütterung schlägt insbesondere eine Verminderung der Verdaulichkeit der Ration durch einen erhöhten Rohfaseranteil in der Ration sowie eine Verschlechterung des Ausschachtungsgrades zu Buche. Hinzu kommen erhebliche arbeitszeitliche Mehraufwendungen, die insbesondere in der Stallhaltung mit der Verfütterung von Raufutter an Mastschweine verbunden sind.

In der Freilandhaltung können diese Mehraufwendungen auf ein Minimum reduziert werden. Um die Umsetzungsmöglichkeiten beim Einsatz betriebsspezifischer Ressourcen richtig einschätzen und optimieren zu können, fehlen jedoch bislang fundierte Daten. Im BLE-Projekt 03OE407 „Einsatz von Raufuttermitteln (Silage, Weidelgras, Topinambur und Stoppelrüben) im Vegetationsverlauf in der ganzjährigen Freilandhaltung von Mastschweinen“ sollte das Nährstoffpotential von Raufutter untersucht werden. Ferner sollte geprüft werden, welche Raufuttermittel sich am besten hinsichtlich der tierischen Leistung und der Tiergesundheit zur Nährstoffversorgung der Tiere eignen.

1.2 Ziel des Projekts und Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Ziel des Forschungsprojektes war es, die Optimierungspotentiale für die Etablierung einer ganzjährigen Freilandhaltung von Mastschweinen unter ökologischen Rahmenbedingungen zu prüfen. Im Vordergrund stand dabei die Quantifizierung der Raufutteraufnahme mittels Indikatormethode. Basierend auf den Aussagen in der verfügbaren Literatur wurden folgende Arbeitshypothesen aufgestellt:

Arbeitshypothesen

1. Raufuttermittel können in relevanter Größenordnung zur Nährstoffversorgung von Mastschweinen beitragen.
2. Titandioxid ist als Marker zur Bestimmung der Aufnahmemengen von Raufutter im Freiland geeignet.
3. Der Einsatz von Raufutter sowie die Haltung im Freiland haben einen signifikanten Einfluss auf die Kotbeschaffenheit hinsichtlich pH-Wert und mikrobieller Aktivität.
4. *In vitro*-Verdaulichkeitsbestimmungen sind zur Ermittlung der Verdaulichkeit von Raufuttermitteln beim Schwein geeignet.

Um die Arbeitshypothesen zu prüfen, wurden Mastschweine im Freiland gehalten und mit betriebseigenen, entsprechend des Vegetationsverlaufes verfügbaren Feldfutter- und Zwischenfrüchten direkt von der Fläche bzw. im Winter mit Silage versorgt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Aufnahmevermögen verschiedener wirtschaftseigener Raufuttermittel durch Mastschweine und deren Verwertung. Mit den Ergebnissen sollten die Möglichkeiten einer optimierten Ressourcennutzung und Rationsgestaltung in ganzjähriger Freilandhaltung geprüft werden. Aus den Versuchsergebnissen sollen Handlungsempfehlungen bezüglich der Nährstoffversorgung und der Gestaltung der Futterflächen bei der Freilandhaltung für den ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieb abgeleitet werden.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Für die Versuchsdurchführung wurde zu Beginn des Jahres 2006 auf Ackerflächen der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (Versuchsbetrieb der Universität Kassel) eine Freilandanlage gemäß den Vorgaben der Schweinehaltungshygieneverordnung errichtet. Die Anlage wurde von der zuständigen Veterinärverwaltung genehmigt.

Für die Versuchsdauer von zwei Jahren waren zwei Versuchsdurchgänge mit jeweils zwei Mastdurchgängen vorgesehen. Der Versuchsdurchgang im Jahr 2007 wurde dabei analog zum Versuchsdurchgang im Jahr 2006 konzipiert (vgl. Arbeitsplan). Ein Versuchsdurchgang umfasste:

- eine Sommer-Mast von März bis August unter Nutzung von Frischfutter (Gras, Topinambur, Stoppelrübe) ab Feld und
- eine Winter-Mast von September bis März, bei der sowohl Feldfutter als auch Silage zum Einsatz kamen.

Jeder Mastdurchgang wurde in eine Anfangs- und eine Endmast unterteilt. Tabelle 1.1 enthält eine Übersicht des Versuchsdesigns.

Tabelle 1.1: Versuchsdesign des Forschungsvorhabens

	Kontrollvariante		Versuchsvarianten	
Genetik	Pi x (Du x DL)		Pi x (Du x DL)	
Geschlecht	männlich	weiblich	männlich	weiblich
Anzahl Tiere	20	20	20	20
Genutzte Fläche während der Vegetationszeit	Ohne Bewuchs		Gras / Topinambur / Stoppelrübe	
Grundfuttergabe außerhalb der Vegetationszeit	Keine		Stoppelrübe / Silage / Topinambur-Knolle	
Kraftfuttermenge nach GfE-Versorgungsempfehlungen (2006)	100%		85% (Anfangsmast) 70% (Endmast)	

Geplant waren fünf Fütterungsvarianten: Silage, Weidelgras, Topinambur, Stoppelrübe und eine Kontrollvariante ohne Feldaufwuchs. Jede Variante sollte mit jeweils 40 Tieren durchgeführt werden, die in zwei nach Geschlechtern getrennten Gruppen mit je 20 Tieren aufgeteilt wurden. Die Tiere entstammten einer Dreirassenkreuzung der Genetik Pietrain x (Duroc x Deutsche Landrasse). Die Tiere sollten zu Versuchsbeginn ein Anfangsgewicht von 30 kg aufweisen und in der Anfangsmast auf 70 kg und in der Endmast bis 120 kg Lebendmasse gemästet werden.

In der Vegetationszeit kamen die Komponenten Gras, Topinambur und Stoppelrübe in Kombination mit 85% (Anfangsmast) bzw. 70% (Endmast) Kraftfutter zum Einsatz. Außerhalb der Vegetationszeit wurde Silage vorgelegt. Als Kontrolle diente eine Gruppe von 40 Tieren, die kein Grundfutter, sondern eine Kraftfuttermischung (100% gemäß den Versorgungsempfehlungen der GfE (2006) zur Erreichung von 750 g Tageszunahmen unter Stallbedingungen) als Alleinfutter erhielt.

Zur Klärung der dem Versuch zugrunde liegenden Fragen wurden Proben sowohl des Kraft- als auch des Raufutters und vom Kot genommen und analysiert sowie Leistungsparameter und Schlachtdaten ausgewertet. Weitere Untersuchungsparameter waren die Verdaulichkeiten der Futtermittel, die Aufnahmemengen von Rau- und Kraftfutter sowie die Kotbeschaffenheit. Eine Übersicht über die Versuchsdurchgänge mit den Fütterungsvarianten in den jeweiligen Mastphasen und der Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen sowie Angaben zum Wachstumsstadium der Feldfutterpflanzen und zur Kraftfuttergabe wird in Tabelle 1.2 dargestellt.

Tabelle 1.2: Übersicht über die Versuchsdurchgänge, eingesetzten Raufutter, Wachstumsstadien der Feldfutterpflanzen, Mengen des Kraftfutters sowie Dauer der Mastperioden

Durchgang Mastdurchgang	2006		2007	
	MD 1	MD 2	MD 3	MD 4
Variante	K _w K _m MS/WG _w MS/WG _m	K _{m/w} SR/KS _{m/w} WG/KS _{m/w} TK _w TK _m	K _w K _m MS/WG _w MS/WG _m	K _{m/w} SR/KS _{m/w} WG/KS _{m/w} TG/TK _w TG/TK _m
Anfangsmast				
Zustand des Bewuchses	Weidelgras (Winterstadium)	Weidelgras Topinambur-Knollen Stoppelrübe (Wachstum)	Weidelgras (Winterstadium)	Weidelgras Topinambur-Grün Stoppelrübe (Wachstum)
Kraftfuttermenge	K ¹ 100% R ² 85%	K 100% R 85%	K 100% R 85%	K 100% R 85%
Mastdauer	9 Wochen	9 Wochen	9 Wochen	9 Wochen
Endmast				
Zustand des Bewuchses	Weidelgras (Wachstum)	Stoppelrübe Topinambur-Knollen	Weidelgras (Wachstum)	Stoppelrübe Topinambur-Knollen
Kraftfuttermenge	K 100% R 70%	K 100% R 70%	K 100% R 70%	K 100% R 70%
Mastdauer	16 Wochen	19 Wochen	17 Wochen	16 Wochen

¹ Kontroll-Variante (100% = Menge an benötigtem KF für 750 g TZ bei Stallhaltung nach GfE-Empfehlungen)

² Raufutter-Variante (70 bzw. 85% der KF-Menge, welche Kontroll-Variante erhält)

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In der Mastschweineproduktion wurde dem Einsatz von Raufutterkomponenten bislang wenig Bedeutung beigemessen, da Schweine aus den im Vergleich zu Getreidefuttermitteln energieärmeren und faserreichen Raufuttermitteln häufig weniger bis keine zusätzliche Wachstumsleistung erbringen. In der ökologischen Schweineproduktion ist jedoch gemäß der EG-Öko-Verordnung (EWG Nr. 834/2007) die tägliche Raufutternorm vorgeschrieben, da von der Raufutternorm positive Effekte auf das Verhalten der Tiere und auf gesundheitsrelevante Parameter erwartet werden.

Bei der Haltung von Mastschweinen im Freiland ist es nahe liegend, während der Vegetationszeit Feldfuttermittel anzubauen, die von den Tieren ab Feld aufgenommen werden können. Außerhalb der Vegetationszeit bieten sich silierte Raufuttermittel an, um den Vorgaben der Verordnung Rechnung zu tragen.

2.1 Raufuttermittel

Feldfuttermittel und Silagen werden in diesem Kontext unter dem Begriff Raufuttermittel zusammengefasst. Als Raufuttermittel kommen u.a. Stoppelrübe, Topinambur, Weidelgras, Kleegrassilage und Maissilage in der Schweinefütterung in Betracht. Die bisherigen Kenntnisse der Raufuttermittel hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten in der Schweinemast werden nachfolgend skizziert.

2.1.1 Stoppelrübe

Die Stoppelrübe (*Brassica rapa var. rapa*) gehört zu den Kreuziferen. Die Herbstzwischenfrucht zeichnet sich nach Berendonk (2001) durch niedrige Saatgutkosten sowie sehr hohe und sichere Erträge aus. Die Autoren charakterisieren Stoppelrüben als „Kühlklimapflanzen“ mit einem Ertragspotential von 55 bis 70 dt TM/ha. Durch Züchtung ist es gelungen, Sorten hervorzubringen, die eine höhere Frostbeständigkeit (bis -10°C) zeigen sowie ein winterfestes Blatt entwickeln. Die Rübe wächst nicht in der Erde, sondern an der Bodenoberfläche. Im Anbau ist die Stoppelrübe wenig anspruchsvoll, ein Direktsaatverfahren ist gut möglich. Je nach Höhenlage liegt der optimale Saatzeitpunkt zwischen dem 1. und dem 15. August. Die Nährstoffzusammensetzung ist in Tabelle 2.1 dargestellt.

Während noch in den ersten Jahrzehnten nach dem Weltkrieg Stoppelrüben mit Blatt an Schweine verfüttert wurden (Becker & Nehring, 1969), wird die Stoppelrübe gegenwärtig nur noch selten als Schweinefuttermittel eingesetzt. Stoppelrüben weisen bei einem TM-Gehalt von ca. 8% einen Gehalt an organischer Substanz von ca. 7% auf, welche im Mittel zu 86% verdaulich ist (Burgstaller, 1991).

Tabelle 2.1: Mittlere Zusammensetzung der Stoppelrübe (*Brassica rapa* var. *rapa*)

	nach DLG-Futterwerttabelle (1991)		nach BECKER und NEHRING (1969)
	g/kg TM		% in FM
	Rübe mit Blättern	Rübe ohne Blätter	Stoppelrübenblatt
n	219	180	-
TM	100 (g/kg FM)	90 (g/kg FM)	9,0
XA	180	133	2,2
OM	820	867	-
XP	199	142	1,8
XL	22	14	0,3
XF	140	120	1,0
NfE	459	591	3,7
XS	0	0	-
XZ	184	353	-

2.1.2 Topinambur

Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) ist im englischsprachigen Raum als *Jerusalem artichoke* bekannt und gehört zur Familie der Sonnenblumen. Ursprünglich ist Topinambur in Nordamerika beheimatet, Anfang des 17. Jahrhunderts kam die Pflanze nach Europa. Für Anbau und Ernte von *Helianthus tuberosus* ist die Kartoffellege- und -erntetechnik einsetzbar. Pflanzungen sind im November und im März möglich. Für das Legen der Saatknollen in Dammkultur sind ein Reihenabstand von 75 cm und eine Pflanztiefe von 5 - 7 cm üblich.

Knollenerträge von 45 bis 65 dt/ha mit TM-Gehalten von ca. 20% sind möglich. Der Masseertrag bei einer Krauternte im Herbst kann zwischen 10 und 20 dt/ha betragen. Die Pflanzen können Wuchshöhen von 2 bis 4 m erreichen. Das Sprosswachstum ist erst mit Beginn der Blüte abgeschlossen.

Von Topinambur-Pflanzen können sowohl der oberirdische Aufwuchs als auch die in der Erde sitzenden süßlich schmeckenden Knollen genutzt werden. Der Gehalt an NfE im Stängel kann mehr als 60% in der TM betragen. Die Knollen der Topinambur-Pflanzen werden nach Erreichen einer bestimmten Temperatursumme ausgebildet. Das Besondere an der Pflanze ist ihre hohe Frosthärte: im Boden bleiben die Knollen bei Temperaturen bis -30° C unverändert und sehr gut lagerfähig. Sobald die Knollen das Erdreich jedoch verlassen haben, setzen Veränderungen der Inhaltsstoffe ein. Die Rohnährstoffe der Knollen gemäß DLG-Futterwerttabelle (1991) und anderer Autoren sind in Tabelle 2.2 aufgeführt.

Die Verdaulichkeit der organischen Substanz durch das Schwein liegt je nach Sorte zwischen 86 und 89% (Friesecke, 1984; Ly et al., 1994). Das Kraut der Topinambur-Pflanzen ist durch einen hohen Kohlenhydrat-Gehalt (bis zu 40% der TM) des Stängels und hohen Rohprotein-Gehalt der Blätter (bis zu 28% der TM) charakterisiert. Die Knollen sind durch ihren hohen Kohlenhydrat-Gehalt gekennzeichnet.

Tabelle 2.2: Mittlere Zusammensetzung der Topinambur-Knolle (*Helianthus tuberosus*)

	BECKER und NEHRING (1969) % der FM	DLG-Futterwert- tabelle (1991) g/kg TM	Souci et al. (1989) % der FM	nach JOST (1991) %
n	-	33	-	-
TM	22,0	220 (g/kg FM)	18,7 - 33,0	16,0 - 24,0
XA	1,0	59	-	7,9
XP	1,8	92	1,9 - 3,2	9,7
XL	0,2	8	0,1 - 0,7	0,7
XF	1,0	41	0,6 - 0,8	4,8
XS	-	724	-	-
XZ	-	-	-	-
NfE	16,0	800	-	-

Im Rahmen einer Untersuchung von Ly et al. (1994) wurden frische Topinambur-Knollen an 25 kg schwere Ferkel verfüttert, die im Mittel 1,1 kg an Trockenmasse davon aufnahmen. Die Akzeptanz von Topinambur wurde ferner im Rahmen einer Untersuchung von Piloto et al. (1998) an 32 Absatzferkeln geprüft. Die Aufnahmemengen betragen im Durchschnitt 1,2 kg Frischmasse. Weitere Untersuchungen zur Aufnahme von Topinambur wurden im BLE-Projekt 02OE449 durchgeführt (Farke & Sundrum, 2005). Dabei wurde die Kraftfuttergabe um 20% reduziert. Die aus der freien Verfügbarkeit von Topinambur und 80% Kraftfutter resultierende Leistung war trotz reduzierter Kraftfuttergabe vergleichbar mit der einer 100%-igen Kraftfutterverabreichung (ca. 725 g Tageszunahmen). Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass Topinambur geeignet ist, Kraftfutter zu substituieren, ohne dabei Leistungseinbußen zu verursachen.

2.1.3 Weidelgras

Weidelgras (*Lolium perenne*) ist die vorherrschende Art des beweideten Grünlandes. Außerdem wird es zur Heu- und Silagegewinnung genutzt, oft auch in gemischter Form mit anderen Gräsern oder Klee. Weidelgras besitzt einen hohen Futterwert und kommt daher auch als Frischfutter für Schweine in Frage.

Ein Weideversuch mit wachsenden Mastschweinen im Freiland wurde von Gustafson & Stern (2003) durchgeführt. Hierbei wurde die Konzentratfuttergabe um 15% gegenüber den Empfehlungen für Stallhaltung erhöht. Die Tiere nahmen zusätzlich zum Konzentratfutter 8 bis 10% TM und 4 bis 6% ME über das Weidegras auf. Die Tageszunahmen reichten von 879 bis 912 g. Es fanden sich jedoch keine Angaben zu der vorherrschenden Vegetationszusammensetzung. Bellof et al. (1998) untersuchten den Einsatz von Grassilage unter Stallbedingungen. Die Tiere wurden mit 30 kg LM aufgestallt und hatten mit 105 kg LM ihr Mastendgewicht erreicht. Ab der Mittelmast mit 45 kg LM wurden 5 bis 11% (0,1 bis 0,3 kg) Kraftfutter durch 0,4 bis 1,6 kg Grassilage substituiert. In der Mittel- und Endmast konnten für 60 kg Zuwachs 19 kg Kraftfutter durch 70 kg Grassilage eingespart werden. Der Verdauungsquotient für die gefütterte Grassilage wurde mittels Differenzversuch ermittelt

und betrug für die Organische Masse 59%. In der Endmast lag die Grassilageaufnahme bei 16% des TM-Gehaltes der Gesamtration. Die täglichen Zunahmen lagen bei 639 g gegenüber 677 g, die im Mittel von den Tieren der Kontroll-Variante erreicht wurden.

2.1.4 Kleegrassilage

Konservate von Klee gras werden vor allem im Ackerbau der ökologischen Landwirtschaft erzeugt und stellen eine proteinreiche Nahrungsgrundlage dar. Klee gras gemenge werden ein- oder auch mehrjährig genutzt. Durch die Silierung kann eine gleichmäßige Versorgung der Tiere mit Grünfütter von gleich bleibender Qualität über möglichst lange Zeiträume erzielt werden.

Carlson et al. (1999) untersuchten die Aufnahme und die Verdaulichkeiten von geschnittenem Klee gras durch Schweine. Dieses wurde unter experimentellen Bedingungen *ad libitum* an 30 kg schwere Börgen verfüttert, wobei der nach einer Anfütterungsphase von 30 Tagen aufgenommene TM-Anteil durchschnittlich bei 19% der Gesamtration lag. Bei diesem Versuch fanden sich keine Angaben zu den täglichen Zunahmen der Tiere. Stern & Andresen (2003) weideten Schweine auf Klee gras flächen, wobei die Tiere der Kontrollvariante mit 100% Kraftfütter gemäß den Versorgungsempfehlungen gefüttert wurden. Eine weitere Variante erhielt nur 80% des Kraftfütters. Die Reduzierung des Kraftfütterangebotes führte zu einer Verringerung der Tageszunahmen um 15% und zu einer Erhöhung der Energieaufnahme durch Grünmasse um ca. 5%.

Danielsen et al. (1999) fütterten Mastschweine mit einem Anfangsgewicht von 25 kg bis zu einem Endgewicht von 100 kg mit Kraftfütter und Klee grassilage und Grassilage *ad libitum*. Außerdem wurde eine Vergleichsgruppe mit 70% der Kraftfüttermenge der Kontroll-Variante und ebenfalls mit Silage *ad libitum* gefüttert. Im ersten Fall betrug der Anteil an der Gesamtenergieaufnahme aus der Silage 4%, im zweiten Fall 5 bis 6%. Die Tageszunahmen der Variante mit geringerer Kraftfüttergabe reduzierten sich um 10%, die Futtermittelverwertung verbesserte sich dagegen um 9 bis 10%.

Die beschriebenen Versuche fanden sowohl unter Stall- als auch unter Freilandbedingungen statt, wobei die Raufütteraufnahme selbst nicht exakt erfasst wurde. Die Quantifizierung der Futtermittelaufnahme stellt jedoch eine maßgebliche Größe dar, um die Futtermittelverwertung und das Leistungspotential einer Ration einschließlich des Raufütterereinsatzes zu ermitteln.

Andresen & Redbo (1999) ermittelten, dass das Weideverhalten von Schweinen auf einer Klee gras fläche durch die Verfügbarkeit und Qualität des Aufwuchses sowie der Zeit, die auf der Fläche verbracht wird, beeinflusst wird. Der Rohproteingehalt im zusätzlich angebotenen Kraftfütter hatte in diesem Versuch keine Auswirkungen auf das Weideverhalten der Tiere. Nach Day et al. (1995) besteht ein Zusammenhang zwischen der Motivation der Tiere zu grasen und dem Fütterungsniveau bzw. dem Fasergehalt der Ration. Bei Braund et al. (1998) bestätigte sich dieser Zusammenhang: bei Freiland-Sauen kam es zu einem verringerten Weideverhalten, wenn der Weideaufwuchs einen hohen Rohfasergehalt aufwies.

2.1.5 Maissilage

Der Mais (*Zea mays*) gehört zur Familie der Gräser und wird heutzutage nur noch in Hybridsorten angebaut. Er bietet zahlreiche Einsatzmöglichkeiten in der Nutzung als Futtermittel. Bei Schweinen kommt Mais vorrangig in Form von Corn-Cob-Mix zum Einsatz. Zur Aufnahme von Ganzpflanzen- Maissilage durch Mastschweine ist bisher wenig bekannt. Durch ihren vergleichsweise hohen Energiegehalt stellt sie jedoch ein geeignetes Raufutter für Mastschweine dar.

2.2 Verwertung von Futtermitteln

2.2.1 Quantifizierung der Raufutteraufnahme durch Marker

Bei Verdaulichkeitsversuchen im Stall können durch die Haltung der Tiere in Einzelkäfigen zu verabreichende Futtermittelmengen und der dabei anfallende Kot und Harn durch Wägung und Sammlung erfasst und die Verwertung direkt ermittelt werden. Um unter Freilandbedingungen die Menge an aufgenommenen Futtermitteln zu bestimmen, ist zusätzlich ein interner Marker im Futtermittel oder die Bestimmung der Verdaulichkeit der eingesetzten Futtermittel durch *in vivo*- oder *in vitro*-Methoden erforderlich.

Die Quantifizierung der Futteraufnahme außerhalb von speziellen Versuchseinrichtungen erfordert einen höheren versuchstechnischen Aufwand und ist zudem häufig mit größeren Ungenauigkeiten verbunden. Zur Bestimmung der Futterverwertung wird den Tieren eine unverdauliche Substanz (Marker) verabreicht, welche sich homogen in Chymus und im Kot verteilt. Das Verhältnis des Markers in Futter und Kot kann in Beziehung gesetzt und auf diese Weise die Verdaulichkeit des Futters berechnet werden.

In der Vergangenheit wurde in verschiedenen Untersuchungen mit Schweinen die Alkan-Methode zur Bestimmung der Futteraufnahme unter Freilandbedingungen eingesetzt. Für die Grasaufnahme von Sauen im Freiland wurde die Alkan-Methode von Rivera Ferre et al. (2001) verifiziert. Als ein weiterer unverdaulicher Marker zur Bestimmung des Verhältnisses von Marker im Kot zu dem Verhältnis von Marker im Futter bietet sich Titanoxid an. Um die Futteraufnahme zu bestimmen, ist jedoch zusätzlich die Kenntnis der Verdaulichkeit des Futters erforderlich.

Eine Möglichkeit der Verdaulichkeitsbestimmung beim Schwein stellt die *in vitro*-Dickdarmfermentation dar (Bauer et al., 2001). *In-vitro*-Methoden zur Verdaulichkeitsbestimmung über die Ermittlung des Fermentationsgeschehens im Dickdarm von Schweinen werden mit Hilfe von Faeces lebender Tiere als Inokulum durchgeführt. Inokula faekalen Ursprungs sind nach Bauer et al. (2001) repräsentativ für die Fermentation des gesamten Dickdarmes, auch wenn die mikrobielle Aktivität des Caecums überschätzt werden könnte.

Carlson et al. (1999) untersuchten den Unterschied zwischen dem Abbau der Organischen Substanz von drei verschiedenen Raufuttermitteln (frisches Klee gras, Klee grassilage und eine Mischung aus Klee gras und Erbsen/Gerste-Silage) *in vitro* und *in vivo* mit Hilfe der faekalen

Verdaulichkeit. Eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse lag bei den Verdaulichkeitswerten des frischen Klee-Gras-Gemisches vor. Unterschiede in den Werten traten dagegen bei der Kleegrassilage und der Ganzpflanzensilage auf. Die Arbeitsgruppe um Carlson erklärt diese Unterschiede mit der selektiven Aufnahme der Stängel, die eine geringere Verdaulichkeit aufweisen und der Blätter mit einer höheren Verdaulichkeit. Unter den spezifischen Bedingungen des Forschungsvorhabens erscheint die *in vitro* Methode besonders geeignet, weil mit ihrer Hilfe die Verdaulichkeit der aufgenommenen Futtermittel unter den spezifischen Feldbedingungen besser abgebildet werden kann als durch die *in vivo* Methode. Insbesondere ist es durch die *in vitro* Methode möglich, die Zahl der Proben und die Zahl der einbezogenen Tiere deutlich zu erhöhen und den Veränderungen der Verdaulichkeit des Feldaufwuchses im Vegetationsverlauf durch wiederholte Messungen Rechnung zu tragen.

2.2.2 *In vitro* Verdaulichkeit von Raufuttermitteln

Um die Verdaulichkeit von Futtermitteln für Mastschweine zu bestimmen, stehen verschiedene *in vitro* Methoden zur Verfügung. Die meisten Methoden wurden unter Verwendung von herkömmlichen Futtermischungen entwickelt. Diese sind in der Regel durch einen niedrigen Rohfasergehalt gekennzeichnet. Entsprechend wurde der Fokus vorrangig auf die enzymatischen Prozesse im Dünndarm gelegt, während die Abbauprozesse im Dickdarm ernährungsphysiologisch bislang wenig Beachtung fanden (Coles et al., 2005). Die Abbauprozesse im Dickdarm variieren jedoch beträchtlich und können zwischen 7 bis 40% zum Energieerhaltungsbedarf beitragen (Yen et al., 1991).

Im Allgemeinen werden faserreiche Futtermischungen bei Mastschweinen wegen ihrer negativen Effekte auf die Energieverdaulichkeit vermieden (Bach Knudsen & Hansen, 1991). Jedoch können von rohfaserreichen Rationen positive Effekte auf die Vermeidung von Stoffwechselstörungen und für die Verbesserung der Darmgesundheit ausgehen (Williams et al., 2001). In der ökologischen Schweinehaltung ist gemäß der EU-Verordnung 834/2007 der täglichen Futterration entweder frisches, getrocknetes oder siliertes Raufutter beizugeben. Um diese Vorgabe möglichst effizient umzusetzen, müssen die verschiedenen Raufuttermittel hinsichtlich der Verdaulichkeit untersucht werden.

Eine Methode zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit von Futtermitteln auf der ilealen und/oder faekalen Ebene stellt die enzymatische Inkubation (Filtrationsmethode) dar. Das enzymatische Inkubationsverfahren erfolgt in einem geschlossenen System mit nachfolgender Messung der ungelösten Nährstoffe. Es kann in ein einfaches, zweifaches oder mehrfaches Enzymsystem unterteilt werden, das in einem, zwei bzw. drei Inkubationsschritten erfolgt (Boisen & Eggum, 1991). Boisen & Fernandez (1997) entwickelten ein dreistufiges Verfahren zur Bewertung der Verdaulichkeit von Schweinerationen im Gesamtverdauungstrakt. Diese Methode wurde von Coles et al. (2005) wegen der hohen Korrelation zwischen *in vivo*- und *in vitro*-Daten empfohlen. Allerdings basiert diese Methode ausschließlich auf dem enzymatischen Abbau und vernachlässigt die mikrobiellen Abbauprozess im Dickdarm. In den zurückliegenden Jahren wurde jedoch deutlich, dass die Abbauraten im Dickdarm für die

Bestimmung des energetischen Wertes von Futtermitteln für Schweine bedeutsam sind (Le Goff & Noblet, 2001; Rijnen, 2003).

Diesem Aspekt wird durch die *in vitro* Dickdarmfermentation nach Williams et al. (2005) Rechnung getragen. Dabei wird sowohl der Verlust der OM als auch die Gasbildung einer mit faekalem Inokulum inkubierten Futterprobe erfasst. Gleichzeitig wird jedoch die enzymatische praecaecale Verdaulichkeit außer Acht gelassen. Aus diesem Grunde führten Bauer et al. (2003) einen Versuch durch, bei dem Futterproben zunächst mit Enzymen vorbehandelt wurden und das entstandene Substrat anschließend *in vitro* fermentiert wurde. Die Vorbehandlung bildete dabei die praecaecale und die Fermentation die caecale Verdaulichkeit ab. Mit dieser Vorgehensweise wurden die physiologischen Abläufe *in vivo* simuliert.

2.2.3 Einfluss von Raufuttermitteln auf die mikrobielle Aktivität im Schweinekot

In Untersuchungen von Trejo-Lizama et al. (2004) konnte durch Raufuttergabe an Mastschweine die mikrobielle Aktivität im Schweinekot und somit auch die mikrobielle Aktivität im Boden verbessert werden. Bei der Verfütterung von Topinambur bei gleichzeitig reduzierter Kraftfuttergabe konnte bei den mit Erdboden inkubierten Kotproben die höchste mikrobielle Aktivität im Vergleich zu Stoppelrüben und reiner Kraftfutterfütterung ermittelt werden.

Die Methodik zur Bestimmung der Aktivität der Mikroorganismen wird mit der Bestimmung der Adenylate Adenosinmono-, Adenosindi- und Adenosintriphosphat beschrieben (Raubuch 1998; Raubuch et al., 2002). Die Adenylate dienen zum einen als Summenparameter zur Beschreibung der mikrobiellen Biomasse. Zum anderen kann die Adenylate-Energy-Charge zur Beschreibung der mikrobiologischen Aktivität herangezogen werden. Im Boden konnte der Nachweis geführt werden, dass die Zugabe leicht verfügbarer Kohlenstoffquellen die Mikrobengesellschaft beeinflusst (Jørgensen & Raubuch, 2002).

Mit steigenden Gehalten von bakteriell fermentierbaren Substanzen in der Futtermitteln nimmt das Mikrobewachstum im Dickdarm und damit die Menge an organisch gebundenen Kot-N zu (Kirchgessner et al., 1991; Kreuzer et al., 1998). Die N-Ausscheidung verschiebt sich vom Harn zum Kot, wodurch die Menge an weniger leicht-emittierbarem Harnstickstoff bezogen auf die gesamte ausgeschiedene Stickstoffmenge deutlich reduziert wird (Canh et al., 1998). Der mit dem Kot ausgeschiedene Stickstoff ist dagegen überwiegend im bakteriellen Eiweiß gebunden und gegenüber Abbauprozessen deutlich widerstandsfähiger.

3 Material und Methoden

Um den oben skizzierten Fragestellungen nachzugehen, wurden auf dem Versuchsbetrieb der Universität Kassel Freiland Schweine auf ausgewählte Ackerflächen verbracht und in regelmäßigen Abständen sowohl Futtermittel- als auch Kotproben gezogen, um die Raufutteraufnahme mittels einer Indikatormethode abschätzen zu können. Ein weiteres Teilprojekt diente der Ermittlung der Verdaulichkeit der eingesetzten Raufuttermittel mittels *in vitro*-Verfahren. Ferner wurden die Leistungsparameter der Freilandmastschweine erhoben und nach Ablauf der Mast die Schlachtdaten ausgewertet.

3.1 Versuchsdurchführung

Die Versuchsfelder befanden sich auf einem erhöht gelegenen Schlag nördlich der Wirtschaftsgebäude, um ein möglichst schnelles Abtrocknen der Flächen nach hohen Niederschlägen zu gewährleisten. Seit Übernahme des Betriebs durch die Universität Kassel im Jahre 1998 werden die Flächen nach den Richtlinien der Ökologischen Landwirtschaft bewirtschaftet.

3.1.1 Haltung

Die Größe der genutzten Flächen orientierte sich an dem gemäß den Biolandrichtlinien maximal erlaubten Nährstoffeintrag und der im Versuchsdesign vorgesehenen Tierzahl. Die Richtlinien legen eine jährliche Nährstofffracht von 112 kg N/ha bzw. 43 kg P/ha zugrunde und schreiben für Mastschweine eine Besatzstärke von 10 Tieren/ha und Jahr vor. Daraus errechnet sich für ein Mastschwein ein täglicher Flächenanspruch von mindestens 2,74 m². Da die Mast aus zwei Mastphasen mit jeweils unterschiedlichen Fütterungsvarianten bestand, wurden zwei Parzellen pro Variante eingezäunt. Die Länge einer Mastphase mit jeweiliger Fläche war auf ca. neun Wochen kalkuliert. Für die geplanten Gruppengrößen von 20 Tieren errechnete sich aus den Richtlinien ein Flächenbedarf pro Gruppe von 3452 m². Die Zaunführung mit entsprechender Parzellengröße wurde durch die Nutzung eines Geo-Informationssystems und eines differentiellen Global-Positioning-Systems unterstützt und realisiert.

Die Flächen wurden doppelt stromführend eingezäunt. Der Innenzaun bestand aus zwei 60 cm hoch gespannten Breitbandlitzen, der Außenzaun aus sieben bis zu 180 cm hoch gespannten Rundlitzen. Zwischen Außen- und Innenzaun blieb ein 3 bis 4 m breiter Versorgungsweg frei. Die einzelnen Gruppen wurden durch einen mit zwei Breitbandlitzen gespannten, ebenfalls an den Stromkreislauf angeschlossenen Zaun voneinander getrennt. Außerdem wurde für jede Tiergruppe ein einleitiger Elektrozaun gespannt, der im einwöchigen Turnus versetzt werden konnte. Die einzelnen Parzellen der jeweiligen Tiergruppen wurden mit einer Hütte ohne Boden (13,5 m² Grundfläche), einem Wassertrog, zwei Längströgen für die Kraftfuttergabe sowie im Sommer mit einer Suhle und einem Schattendach bestückt. Für die angesetzten Phasen der Probenahme wurden Fressstandareale angelegt.

Für jede Tiergruppe stand ein für den Versuch konzipierter Fressstand mit 20 Plätzen inklusive Selbstfangvorrichtung zur Einzeltierfütterung und Probenahme zur Verfügung, der den Zu- und Austritt für jedes einzelne Tier unabhängig von den anderen Abteilen ermöglichte. Die auf diese Wege durchführbare Einzeltierfütterung und -fixierung ermöglichte während der Probenahme eine exakte Futterzuteilung pro Tier sowie die Kotprobenentnahme. Um dem Wachstum der Tiere Rechnung zu tragen, wurden Fressstände zweier unterschiedlicher Größen für Anfangs- und Endmast angefertigt und eingesetzt.

3.1.2 Versuchstiere

Alle Tiere eines Mastdurchganges stammten von einem Ferkelerzeuger, der die Tiere im Freiland aufzog. Auf diese Weise konnte eine weitgehend homogene Ausgangssituation sichergestellt und gesundheitliche Probleme, die aus dem Zusammenführen von Tieren aus unterschiedlichen Beständen resultieren können, vermieden werden. Als Versuchstiere kamen Kastraten und weibliche Tiere einer Dreirassenkreuzung zum Einsatz. Der Genotyp war charakterisiert durch die Rasse Pietrain auf der Vaterseite sowie einer Kreuzung aus Deutscher Landrasse mit Duroc auf der Mutterseite (Tab. 3.1). Allerdings musste nach dem ersten Mastdurchgang bedingt durch Lieferschwierigkeiten der Ferkellieferant gewechselt werden. Dadurch kam es zu geringfügigen Änderungen in den Anteilen der den Genotyp prägenden Rassenkreuzung mit Pietrain auf der Vaterseite sowie einer Kreuzung aus Dänischer oder englischer Landrasse mit Duroc auf der Mutterseite. Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass die geringfügigen Änderungen keinen maßgeblichen Einfluss auf die Leistungen der Tiere zur Folge hatten.

Einen genauen Überblick über die eingesetzte Genetik in den jeweiligen Mastdurchgängen gibt Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Rassen und Anteile der jeweiligen Genetik der Tiere in den verschiedenen Mastdurchgängen

Mastdurchgang	Rassen	Anteil jeweilige Genetik
1	Pietrain x (Duroc x Deutsche Landrasse)	Pi = 50%, DL = 25%, Du = 25%
2, 3, 4	Pietrain x (Large White x (Englische Landrasse x Duroc))	Pi = 50%, LW = 18,75%, EL = 18,75%, Du = 12,5%

Bei jedem Mastdurchgang wurde wie folgt verfahren: die Tiere wurden mit einem Gewicht von ca. 23 bis 25 kg geliefert und in 20er-Gruppen in einem Stall untergebracht. Unmittelbar nach der Anlieferung wurden die Ferkel gewogen und mit Ohrmarken versehen, um eine Einzeltiererkennung zu ermöglichen. Die Tiere wurden entsprechend der Lebendmasse gleichmäßig auf die Varianten verteilt, um eine homogene Verteilung in den Varianten zu erreichen. Um die Tiere möglichst ohne Wurmbelastung auf die Flächen zu bringen, wurde den Ferkeln ein bis zwei Tagen nach der Eingewöhnung das Entwurmungsmittel Frommex[®] mit dem Wirkstoff Flubendazol über 10 Tage in das Anfangsmastfutter eingemischt. Anschließend wurden die Schweine auf die für jede Variante vorgesehene Fläche verbracht.

Zum Ende der Anfangsmast erreichten die Tiere ein Durchschnittsgewicht von 65 bis 70 kg Lebendmasse. Nach Ablauf von 9 Wochen wurden die Tiere gewogen und auf die Endmastflächen verbracht. Nach Ablauf der Endmast wurden die Tiere in regelmäßigen Abständen gewogen und bei Erreichen des vorgesehenen Endgewichts von 120 kg LM zum Schlachthof transportiert. Durch ein Auseinanderwachsen der Tiere verteilten sich die Schlachtungen auf mehrere Termine.

3.1.3 Fütterung und Tränke

Kraftfuttermittel

Die Tiere erhielten je nach Mastperiode über den gesamten Versuchszeitraum eine auf dem Versuchsbetrieb erstellte Kraftfuttermischung. Die Futtermischungen wurden hinsichtlich der Versorgungsempfehlungen der GfE (2006) für Mastschweine zusammengestellt. Zu Beginn eines jeden Mastdurchganges wurden die eingesetzten Getreidekomponenten, die zugemischt werden sollten, einzeln beprobt und analysiert. Die zugekauften Einzelkomponenten wie Öl, Mineralfutter und Kartoffeleiweiß wurden anhand ihrer ausgewiesenen Nährwerte in die Ration einberechnet. Die Analysen-Ergebnisse wurden in das Fütterungsprogramm Piggi-Win[®] eingespeist und die Ration berechnet. Eine Übersicht über die Richtwerte der Versorgungsempfehlungen für die Anfangs- bzw. Endmast ist in Tabelle 3.2 dargestellt.

Tabelle 3.2: Richtwerte für die Nährstoff- und Energieversorgung von Mastschweinen (GfE, 2006)¹

Parameter	Anfangsmast (30-70 kg LM)	Endmast (70-120 kg LM)
ME (MJ/Tag)	18 - 27	27 - 36
pcv Rohprotein (g/Tag)	197 - 196	196 - 192
pcv Lys zu pcv essentielle AS	1 (Lys) : 0,53-0,56 (Met+Cys) : 0,63-0,66 (Thr) : 0,18 (Trp)	
pcv Lysin (g/Tag)	13,6 - 13,2	13,2 - 12,9
pcv Methionin/Cystein (g/Tag)	7,2 - 7,4	7,4 - 7,5
pcv Threonin (g/Tag)	8,4 - 8,6	8,6 - 8,7
pcv Tryptophan (g/Tag)	2,3	2,3 - 2,4

¹ Die Werte entsprechen den GfE-Empfehlungen für Schweine mit einer Lebendmassezunahme von 700 g/d.

Als Bestandteile der Rationen kamen Winterweizen, Wintergerste, Ackerbohnen, Lupinen, Kartoffeleiweiß, Mineralfutter und Öl zum Einsatz.

Das Futter wurde einmal täglich in Längströgen zugeteilt. Das Tier-Fressplatz-Verhältnis betrug 1:1 bei einer Fressplatzbreite von 40 cm. Die gefütterten Mengen zu den einzelnen Gewichtsabschnitten für die jeweiligen Varianten werden in Tabelle 3.3 wiedergegeben.

Tabelle 3.3: Tägliche Futtermenge pro Tier in den Kontroll- und Versuchs-Varianten

Mastwoche	Gewichtsbereich (kg)		Futtermenge (kg)	
	von	bis	Kontroll-Variante ¹	Versuchs-Variante ²
1.	23,0	26,5	1,10	0,95
2.	26,5	30,5	1,30	1,10
3.	30,5	35,0	1,45	1,25
4.	35,0	39,5	1,60	1,35
5.	39,5	44,5	1,75	1,50
6.	44,5	49,5	1,90	1,60
7.	49,5	54,5	2,00	1,70
8.	54,5	60,0	2,20	1,85
9.	60,0	65,5	2,35	2,00
10.	65,5	71,0	2,50	2,00
11.	71,0	76,5	2,60	2,00
12.	76,5	82,0	2,70	2,00
13.	82,0	87,5	2,80	2,00
14. bis Mastende	87,5	Endgewicht	2,90	2,00

¹ Menge entspricht dem benötigtem KF für 750 g TZ bei Stallhaltung nach GfE-Empfehlungen

² Menge entspricht in der Anfangsmast 85% bzw. in der Endmast 70% der KF-Menge der Kontroll-Variante

Auf den Flächen wurde die Futtermischung einmal täglich zugeteilt, um eine maximale Raufutteraufnahme zu erreichen. Vor dem Umtrieb auf die Endmastflächen wurden alle Tiere nochmals über einen Zeitraum von 10 Tagen mit Frommex[®] entwurmt.

Fütterung zur Probenahme

Die exakte Bestimmung der Aufnahme von Raufuttermitteln durch Schweine mit Hilfe der Markermethode in Kombination mit der *in vitro*-Verdaulichkeitsbestimmung ist maßgeblich von der Gewährleistung standardisierter Bedingungen hinsichtlich der Aufnahme der Kraftfuttermischung und der Markersubstanz abhängig. Die tierindividuelle Erfassung der Aufnahme des zugeteilten Kraftfuttermischung und der Markersubstanz wurde durch die Installation von mobilen Fressständen sichergestellt, in denen die Tiere während der Fütterungszeit fixiert wurden. Auf diese Weise konnten die Tiere ungestört von den Nachbartieren die restriktiv zugeteilte Kraftfuttermischung aufnehmen.

Pro Mastdurchgang wurden vier Probennahmephasen durchgeführt, jeweils zu Beginn und am Ende der Anfangs- bzw. Endmast. Jeder Termin erstreckte sich über eine fünftägige Anfütterungsperiode und eine fünftägige Probenahme. Hierzu wurde das Kraftfutter beim Mischvorgang zu 0,1% mit einem Marker versetzt. Als Marker diente das Titandioxid. Das mit dem Marker vermischte Futter wurde problemlos akzeptiert. Futterreste, die bei sehr kleinen Tieren im Trog verblieben, wurden zurück gewogen, um den tatsächlichen Verbrauch pro Tier und Tag zu ermitteln.

Raufutter

Den Mastschweinen in den Raufutter-Varianten wurden die verschiedenen Raufuttermittel Weidelgras, Stoppelrüben und Topinambur wöchentlich portionsweise durch Versetzen der Einzäunung zugeteilt. Bei der Zufütterung von Klee gras- und Maissilage wurde diese täglich von Hand *ad libitum* vorgelegt.

Tränke

Im Sommer wurden die Tiere aus Metallwannen getränkt, die wegen Verschmutzung regelmäßig gesäubert werden mussten. Pro Tier und Tag wurden 10 l Wasser veranschlagt. Im Winter während der Frostperiode befand sich in jeder Hütte ein Wassertank mit einem nutzbaren Wasservolumen von 800 Litern. Durch die Wärmebildung in den Hütten konnte ein Einfrieren des Tränkwassers verhindert werden. Die Tanks waren mit je zwei Tränkenippeln ausgestattet und wurden nach Bedarf gefüllt.

3.1.4 Erfasste Parameter und Analysen (Feld)

3.1.4.1 Wiegun gen

Die Wiegun gen fanden nach Ankunft, bei Auftrieb, zu den Probenahmen, beim Umtrieb und vor dem Schlachten statt. Auf Basis der jeweiligen Lebendmasse wurden die Tageszunahmen in den Mastphasen und die Gesamtzunahmen errechnet. Ferner wurde die durchschnittliche Mastdauer in Form von Masttagen pro Gruppe berechnet.

3.1.4.2 Nährstoffanalysen der Futterproben

Die zur Analyse bestimmten Futtermittelproben wurden als Sammelprobe aus fünf Einzelproben des jeweiligen Probenahmetages erstellt. Um eine möglichst hohe Repräsentativität zu erreichen, wurden Kraftfutterproben an verschiedenen Stellen der gefütterten Charge entnommen. Gleiches galt für die Beprobung von Feldaufwuchs und Silagen, um dem Vegetationsstatus und eventuellen Variationen innerhalb des Aufwuchses bei den Analysen Rechnung zu tragen.

Die Proben wurden bis zum Ende der Bilanzwoche in Plastikbeuteln im Kühlschrank aufbewahrt und zu einer Sammelprobe vereinigt. Die Raufutterproben wurden außerdem getrocknet und auf eine Größe von 1 mm vermahlen. Die Rohnährstoffanalyse wurde nach der amtlichen Methode im Labor für Tierernährung und Tiergesundheit der Universität Kassel untersucht.

3.1.4.3 Analysen von Kot- und Bodenproben

Zur Ermittlung der Markerkonzentration wurde von sechs Tieren pro Gruppe an jedem Tag der Probenahme eine Kotprobe rektal entnommen. Dazu wurden die Tiere bei der Fütterung im Fressstand fixiert. Nach der Futteraufnahme wurden die Proben gewonnen, in eine Plastikdose verpackt und in einer Kühltruhe bis zum Abtransport gekühlt. Am Ende der Bilanzwoche wurden sie zu einer Sammelprobe vereinigt.

Im Labor Tierernährung und Tiergesundheit der Universität Kassel wurden die Trockenmasse, der Rohasche-Gehalt und der pH-Wert ermittelt. An einem Tag der Bilanzwoche wurden ferner Proben für die Adenylat-Bestimmung gesammelt. Die Adenylate Adenosintri-, -di- und -monophosphat wurden in Zusammenarbeit mit dem Labor des Fachgebietes für Bodenbiologie der Universität Kassel gemessen.

Die Bestimmung der Titandioxidkonzentration erfolgte zunächst im Fachgebiet für Tierernährung und Tiergesundheit mittels eines Spektralphotometers nach Kjeldahl-Aufschluss der Proben gemäß der Methode von Brandt & Allam (1987). Da im Laufe des Versuchsvorhabens Zweifel an der Plausibilität der Ergebnisse aufkamen, wurden zunächst einzelne Proben im Labor der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim mittels Druckaufschlussverfahren parallel gemessen. Bei dieser Methode wird die zuvor veraschte Probe mit Flusssäure unter Druck aufgeschlossen (VDLUFA, 2003). Diese Methode wurde im Labor der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie erweitert, in dem die Flusssäure anschließend zweimal mit Salpetersäure abgeraucht wird. Die Bestimmung der Titandioxid-Gehaltes erfolgte dann mit der Atomemissionsspektalanalyse mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Aufgrund abweichender und deutlich höherer Ergebnisse nach dem Druckaufschlussverfahren mit Flusssäure im Vergleich zu den Analysen nach Kjeldahl-Aufschluss wurden alle Kotproben sowie ausgewählte Bodenproben einer erneuten Analyse im Labor der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie unterzogen.

Im dortigen Labor wurden gemäß der Versuchsplanung auch Kot- und Bodenproben auf den Gehalt an Seltenen Erden untersucht. Die etablierte Methode, die in früheren Untersuchungen von Schenkel et al. (2004) zum Einsatz kam, konnte zur Analytik der vorliegenden Proben nicht genutzt werden. Ursache war vermutlich der wesentlich höhere Anteil an Erde in den Kotproben. Daher erfolgte die Bestimmung der Seltenen Erdeelemente aus einem mehrstufigen Nassaufschluss mittels ICP-OES, der in aufwendigen Zusatzuntersuchungen entwickelt wurde. Dieses Aufschlussverfahren lässt eine vollständige Wiederfindung zugesetzter Seltener Erdeelemente zu und wurde bereits an Ringuntersuchungsmaterialien getestet.

Das Aufschlussverfahren bestand aus einer Kombination von drei Analyseschritten. In einem ersten Schritt erfolgte ein Druckaufschluss in einem Mikrowellensystem mittels hochreiner Salpetersäure und Flusssäure. Die erhaltene Aufschlusslösung wurde auf einer Heizplatte abgeraucht und zur Trocknung eingedampft. Der verbliebene Rest wurde ein weiteres Mal im Druckaufschlussystem mittels Flusssäure aufgeschlossen und abermals abgeraucht und eingedampft. Im dritten Schritt erfolgte ein offener Nassaufschluss auf einer Heizplatte mittels Flusssäure und Perchlorsäure. Die Fluoridniederschläge wurden in einem weiteren Verfahrensschritt mit Salpetersäure gelöst. Die Aufschlusslösungen wurden anschließend mittels ICP-OES (Ultima 2 von HORIBA Jobin Yvon) vermessen.

3.1.5 Erfassung von Leistungs- und Gesundheitsdaten am Schlachthof

Alle Tiere wurden bei Erreichung des Endgewichtes von 120 kg LM am Schlachthof Fulda geschlachtet. Neben der Erfassung der Schlachtdaten wurden am Schlachthof Blut- und Kotelettproben entnommen. Die Daten zur Schlachtleistung wurden den Wiegezetteln entnommen. Die Einzeltieridentifikation durch die Ohrmarken erlaubte die Zuordnung der Leistungsdaten zu den jeweiligen Schlachtleistungen. Die erhobenen Parameter der Schlachtleistung waren: Schlachtgewicht, Muskelfleischanteil, Handelsklasse nach der EUROP-Klassifizierung, Speck- und Fleischmaß sowie der pH-Wert des Rückenmuskels, deren Methodik in der Tabelle 3.4 aufgeführt ist.

Tabelle 3.4: Parameter der Schlachtleistung

Parameter	Bemerkung
Schlachtgewicht (kg)	Gewicht der Schlachtkörperhälften, warm
Muskelfleischanteil (%)	Errechnet unter Verwendung von SM und FM
Handelsklasse	Definiert durch MfA: $\geq 55\%$ MfA (E); 50 - 55% MfA (U); 45 - 50% MfA (R); 40-45% (O); $\leq 40\%$ (P)
Speckmaß (mm)	Ermittelt durch Zweipunkteverfahren, FOM- oder AutoFOM-Klassifizierung
Fleischmaß (mm)	Ermittelt durch Zweipunkteverfahren, FOM- oder AutoFOM-Klassifizierung
pH ₁ -Rückenmuskel	pH-Wert 45 min nach der Schlachtung

Die makroskopische Bewertung der Schlachtkörper wurde von Tierärzten bzw. Beschauern am Schlachtband durchgeführt. Die Ergebnisse wurden direkt manuell per Touchscreen-Bildschirm in das bereits etablierte Computersystem der Firma CRON Systems-Automation eingegeben. Der dafür entworfene Befunderfassungsbogen war in zwei Kategorien unterteilt: Veränderungen am Schlachtkörper und Veränderungen der Organe. Tabelle 3.5 gibt eine Übersicht über die Differenzierung der Befunde.

Tabelle 3.5: Befunderfassung an Schlachtkörper und Organen

	Art der Veränderungen
Schlachtkörperveränderungen	
Brustfellentzündung ¹	geringgradig (> 5-Mark-Stück-groß), mittelgradig (5-Mark-Stück- bis handflächengroß), hochgradig (> handflächengroß)
Bauchfellentzündung	geringgradig, mittelgradig, hochgradig
Hautveränderungen	Ja, Nein
Abszesse	Ja, Nein
Gelenkveränderungen	Ja, Nein
Nierenveränderungen	Ja, Nein
Organveränderungen	
Leberparasiten	Ja, Nein
Leberentzündungen	Ja, Nein
Leber ausputzen ^{a)} (= Milkspots geringgradig)	Ja, Nein
Leber verwerfen ^{a)} (= Milkspots hochgradig)	Ja, Nein
Lungenveränderungen ^{a)}	geringgradig (< 10% Ausdehnung), mittelgradig (10 - 30% Ausdehnung), hochgradig (>30% Ausdehnung)
Herzbeutelentzündungen	Ja, Nein
Darmparasiten	Ja, Nein
Verwachsungen	Ja, Nein
Sonstiges	Ja, Nein

¹ Charakterisierung der Veränderung nach BLAHA (1993)

Um Informationen über den Salmonellenstatus des Bestandes zu erhalten, wurden Blutproben bei der Schlachtung entnommen. Dazu wurden beim Entbluten der Tiere nach Betäubung mit Heparin versetzte Glasröhrchen direkt an der Einstichstelle (*Arteria carotis communis*) angesetzt und das abfließende Blut aufgefangen.

Die Blutproben wurden im Labor des Fachgebietes für Tierernährung und Tiergesundheit am Tag der Entnahme bei 3500 rpm zentrifugiert und aufbereitet. Das gewonnene Serum wurde abpipetiert und davon jeweils zwei Proben à 1 ml sofort bei -20 °C tiefgefroren. Die Analyse auf Salmonellenantikörper fand im Hessischen Landeslabor Gießen mittels des ELISA-Verfahrens statt.

3.2 Untersuchungen zur *in vitro* Verdaulichkeit

Die Futtermittelproben, die auf den Versuchsflächen gezogen wurden, wurden hinsichtlich ihrer *in vitro* Verdaulichkeit in Zusammenarbeit mit der Animal Nutrition Group der Universität Wageningen in den Niederlanden untersucht. Alle Proben wurden im luftgetrockneten Zustand mit einer Partikelgröße von 1 mm vorbereitet. Grundsätzlich existieren verschiedene Herangehensweisen der Verdaulichkeitsbestimmung. Im Labor der Animal Nutrition Group konnten drei verschiedene Analysen durchgeführt und miteinander verglichen werden. Sie werden im Folgenden beschrieben.

3.2.1 Enzymatische *in vitro* Verdaulichkeit (Boisen und Fernandez, 1997)

Bei dieser Analyse wurden alle vorhandenen Futtermittelproben untersucht. Sie wurden in drei Schritten mit Verdauungsenzymen inkubiert, zunächst mit Pepsin, dann mit Pankreatin und im letzten Schritt mit einem Enzymkomplex, Viscozyme[®]. Nach den Enzymbehandlungen wurde der verbliebene Futtermittelrest zurück gewogen und von der ursprünglich eingewogenen Materialmenge subtrahiert. Die Differenz wird als (scheinbare) Verdaulichkeit der Organischen Masse bezeichnet.

3.2.2 Dickdarmsimulierte *in vitro* Fermentation (Williams et al., 2005)

Für diese Analyse wurden sieben Futtermittelproben ausgewählt. Es handelte sich ausschließlich um Raufuttermittel: zwei Kleegrassilagen aus zwei aufeinander folgenden Jahren, eine Maissilage, Stopelrübenblatt, Stopelrübenknolle, Topinambur-Knolle und Weidelgras. Die Futtermittel wurden bei dieser Methode mit einem faekalen Inokulum 72 Stunden inkubiert und die Gasbildung gemessen. Das aus dem Frischkot von Schweinen gewonnene Inokulum repräsentierte die gesamte Bakterienpopulation des Darmtraktes.

Bei dieser Behandlung kommt es wie bei der oben beschriebenen enzymatischen Methode zu einem Abbau des eingewogenen Materials. Der Differenzwert kann ebenfalls zur Beschreibung der scheinbaren Verdaulichkeit herangezogen werden. Außerdem entstehen bei der Fermentation Endprodukte (flüchtige Fettsäuren, Ammoniak) und Gase (Methan, Kohlendioxid), die ermittelt und hinsichtlich der Fermentationskinetiken gemessen werden können.

Um zu prüfen, ob die Fermentation durch unterschiedliche Inokula beeinflusst wird, wurden für die eigene Untersuchung zwei unterschiedliche Inokula, ein Kontroll- und ein Raufutter-Inokulum, eingesetzt. Als Donoren für das Kontroll-Inokulum dienten Schweine, die ausschließlich mit einem herkömmlichen Kraftfutter (Tab. 3.6) gefüttert wurden. Das Raufutter-Inokulum stammte von Schweinen, die eine um 30% reduzierte Kraftfuttermenge sowie zusätzlich eine Mixtur aus Weidegras- und Kleegrassilage *ad libitum* erhielten.

Tabelle 3.6: Zusammensetzung der Standardration für Schweine

Futterbestandteile	g/kg
Weizenkleie	200
Rapsextraktionsschrot	200
Tapioka	200
Gerste	150
Maismehl	133
Weizenmehl	50
Calcium	5
Palmöl	16
Vinasse	40
Premix	6

3.2.3 Enzymatische Vorbehandlung mit anschließender Fermentation

Die Inkubation der Futtermittelproben fand wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, jedoch mit einem vorbehandelten Ausgangsmaterial statt. Vor der *in vitro* Fermentation wurden Futtermittelproben zunächst mit Enzymen vorbehandelt. Diese Vorbehandlung sollte die praecaecale Verdaulichkeit nachbilden, die anschließende Fermentation die caecale Verdaulichkeit. Geprüft wurde, ob sich die Ergebnisse von denen der oben beschriebenen Methoden unterscheiden.

Die vorbehandelten Futterproben entstammten dem gleichen Probenmaterial, welches auch unbehandelt inkubiert wurde. Die Proben wurden zunächst mit Pepsin und dann mit Pancreatin inkubiert und der verbliebene Rest gefriergetrocknet und vermahlen. Dieses so entstandene Substrat war das Ausgangsmaterial für die sich nun anschließende Fermentation, die ebenfalls mit den zwei verschiedenstämmigen Inokula durchgeführt wurde. Alle Proben wurden in Wiederholung analysiert und bei der Fermentation außerdem pH-Wert, flüchtige Fettsäuren, Gasproduktion, NH₃ und Gaskinetiken gemessen. Weitere Ausführungen zur Methodik finden sich bei Sappok et al. (2008).

4 Ergebnisse

4.1 Produktionsleistungen

4.1.1 Nährstoffgehalte der Aufwüchse und der Futtermittel

Die Tabelle 4.1 gibt die mittleren Werte der Rohnährstoffanalysen der eingesetzten Futtermittel und ihre Standardabweichung wieder. Generell weichen die Nährstoffgehalte der Feldfuttermittel nur geringfügig von entsprechenden Referenzwerten aus Futterwerttabellen ab (siehe Kapitel 2.1). Im Folgenden wird auf einzelne Unterschiede hinsichtlich der Analysewerte der jeweiligen Futtermittel näher eingegangen.

Tabelle 4.1: Mittlere Weender Rohnährstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Futtermittel

	TM	XA	XP	XL	XF	XS	XZ	OM	Energie
	g/kg FM				g/kg TM				MJ ME/kg TM
Anfangsmastfutter (n = 8)	861 ± 4	52 ± 4	189 ± 7	59,9 ± 10,2	40 ± 5	500 ± 3	40 ± 5	948 ± 4	15,9 ± 0,4
Endmastfutter (n = 8)	859 ± 6	50 ± 3	166 ± 9	58,1 ± 4,3	44 ± 2	508 ± 6	41 ± 2	950 ± 3	15,5 ± 0,2
Kleegrassilage (n = 4)	427 ± 21	117 ± 12	186 ± 14	36,3 ± 2,5	225 ± 23	0 ± 0	98 ± 45	883 ± 12	7,1 ± 0,6
Maissilage (n = 4)	325 ± 18	45 ± 4	82 ± 2	37,9 ± 5,7	191 ± 13	313 ± 34	0 ± 0	955 ± 4	8,8 ± 0,7
Stoppelrübe (n = 4)	70 ± 4	162 ± 15	167 ± 19	10,1 ± 1,2	159 ± 15	12 ± 15	310 ± 63	838 ± 15	9,1 ± 1,2
Stoppelrübenkraut (n = 2)	93 -	245 -	234 -	27,4 -	199 -	12 -	74 -	755 -	7,0 -
Topinambur- Knolle (n = 8)	210 ± 19	69 ± 13	72 ± 10	6,9 ± 1,4	44 ± 5	0 ¹ ± 0	718 ± 56	931 ± 13	13,9 ± 1,3
Topinambur-Kraut (n = 2)	191 -	153 -	131 -	19,4 -	286 -	0 -	95 -	847 -	4,4 -
Weidelgras (n = 8)	241 ± 29	241 ± 23	133 ± 9	20,0 ± 4,2	269 ± 22	0 ± 0	82 ± 11	858 ± 23	4,7 ± 0,5

¹ Stärke-Fraktion wird nach Hydrolyse der Zucker-Fraktion zugeschrieben

Die Kraftfuttermitteln für die Anfangs- und Endmastperiode wurden zu Beginn einer jeden Mastperiode mit dem Software-Programm PiggWin[®] anhand der analysierten Einzelkomponenten berechnet. Die Einzelfuttermittel stammten überwiegend vom Versuchsbetrieb. Um den Bedarf an essentiellen Aminosäuren gemäß den Versorgungsempfehlungen der GfE (2006) zu gewährleisten, wurde zusätzlich konventionell erzeugtes Kartoffeleiweiß eingesetzt.

Kleegrassilage wurde in der Endmast gefüttert und stammte aus dem ersten Schnitt von zwei verschiedenen Standorten des Versuchsbetriebes. Ein früherer Schnittzeitpunkt sollte eine möglichst faserarme und proteinreiche Silage gewährleisten, um eine hohe Akzeptanz durch die Schweine zu bewirken. Entsprechend konnte ein gegenüber Referenzwerten höherer Rohproteingehalt (18,6% vs. 17,3% und 13,7%) und ein niedrigerer Rohfasergehalt (225 g/kg TM vs. 246 und 290 g/kg TM) im Vergleich zu Angaben von Jeroch et al. (1999) und Danielsen et al. (1999) realisiert werden.

Maissilage kam in der Anfangsmast zum Einsatz. Die Werbung erfolgte im Herbst des jeweiligen Vorjahres auf dem Versuchsbetrieb. Die Werte der Weender Rohnährstoffanalyse zeigten durchschnittliche Futtermittelqualitäten an. Der Energiegehalt lag allerdings um 2 MJ ME/kg TM unter den Werten von Resch et al. (2006).

Die Stoppelrübe kam in der Endmast zum Einsatz. Der Zuckergehalt fiel mit 31% geringer aus als entsprechende Angaben (35%) in der DLG-Futterwerttabelle (DLG, 1991). Das Stoppelrübenkraut wurde nur im vierten Mastdurchgang beprobt und analysiert, da es im zweiten Mastdurchgang beim Auftrieb der Tiere bereits abgefroren war. Der Rohproteingehalt war mit 23% vs. 20% geringfügig höher gegenüber dem Referenzwert von Becker & Nehring (1969), der Rohfasergehalt betrug 20% vs. 11%. Das Kraut wurde von den Tieren gut akzeptiert, während die Rüben nur sehr zögerlich verzehrt wurden.

Bei den Topinambur-Varianten sollte das Kraut (TG) in der Anfangsmast und die Knolle (TK) in der Endmast genutzt werden. Im zweiten Mastdurchgang fiel der Auftrieb der Tiere durch eine verspätete Lieferung der Ferkel in den Herbst, so dass das Kraut bereits verdorrt war. Daher wurde das Kraut nur im vierten Mastdurchgang beprobt. Die Beprobung der Knollen wurde sowohl in der Anfangs- als auch in der Endmast des zweiten Mastdurchgangs durchgeführt. Die ermittelten Nährstoffgehalte stimmten mit den Referenzwerten der DLG (1991), Jost (1991), Souci et al. (1989) und Becker & Nehring (1969) überein. Auffällig war der hohe Energiegehalt der Knollen (13,9 MJ ME/kg TM), der im Vergleich zu den Werten der anderen Raufuttermitteln nur geringfügig unter dem Wert des Kraftfutters (15,9 MJ ME/kg TM) lag. Dies ist vor allem auf den hohen Zuckergehalt der Knollen von über 70% zurückzuführen. Das Topinambur-Kraut wies mit 4,4 MJ ME/kg TM im Vergleich zu den anderen Raufuttermitteln einen relativ niedrigen Energiegehalt auf und war diesbezüglich mit Weidelgras vergleichbar.

Weidelgras wurde sowohl in der Anfangs- als auch in der Endmast eingesetzt. Durch die späte Aussaat im Frühjahr und die trockene Witterung kam es zu einem späten Auflaufen der Saat. Die Bestandsentwicklung war entsprechend schwach ausgebildet. Auf ein Mulchen wurde aufgrund der geringen Grünmasse verzichtet. Daher war der Aufwuchs bei Auftrieb leicht überständig. Es resultierten hohe TM-Werte (21% vs. 15 bis 18%) und niedrige XP-Gehalte (13% vs. 17% und 19%) im Vergleich zu Referenzwerten, welche wiederum einen bis zu 70% niedrigeren Energiegehalt (4,7 MJ ME/kg TM vs. 10,3 MJ ME/kg TM und 10,6 MJ ME/kg TM) im Vergleich zu Jeroch et al. (1999) und LfL (2005) bedingten.

Fazit: Bis auf das Weidelgras lieferten die eingesetzten Feldfuttermittel durchschnittliche Qualitäten. Diese wurden von den Schweinen mit Ausnahme der Stoppelrübe gut akzeptiert. Die Feldfuttermittel können allerdings standort- und witterungsbedingt in ihrer Zusammensetzung sehr stark schwanken, wie an den Standardabweichungen abzulesen ist. Deshalb sollten in der Praxis wiederholt Futtermittelanalysen durchgeführt werden, um der variierenden Nährstoffverfügbarkeit durch eine angepasste Kraftfutterfütterung zu begegnen.

4.1.2 Lebendmasseentwicklung

Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Bestimmung der Futteraufnahme von verschiedenen Raufutterkomponenten in verschiedenen Mastabschnitten. Die in den einzelnen Mastabschnitten erzielten Tageszunahmen geben einen Hinweis auf das Leistungspotential im Vergleich zwischen den gleichzeitig gehaltenen Versuchsgruppen. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Produktionsleistungen zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Mastdurchgängen nur bedingt vergleichbar sind, da sich unter Freilandbedingungen erhebliche Unterschiede in den klimatischen und futtermittelrelevanten Voraussetzungen ergeben haben. Auch können aufgrund der zwischen Anfangs- und Endmast wechselnden Angebote von Raufuttermitteln außer für die Kontrollvariante keine vergleichenden Aussagen zur Gesamtmastleistung gemacht werden.

4.1.2.1 Lebendmasseentwicklung in den Mastdurchgängen 1 und 3

Die Anfangsmast dauerte bei allen Durchgängen wie geplant 63 Tage. Sowohl die Tiere der Versuchs- als auch der Kontroll-Varianten des MD 1 und die Versuchs-Varianten des MD 3 wiesen bei Umtrieb eine Lebendmasse von 65 bis 66 kg auf, während die Kontroll-Varianten des MD 3 etwa 71 kg wogen (siehe Tabelle A 1 im Anhang). Unter Berücksichtigung der Standardabweichung der Umtriebsgewichte beider MD ist ersichtlich, dass die Raufuttertiere stärker auseinander wuchsen. Es ist zu vermuten, dass das Auseinanderwachsen durch das reduzierte Kraftfutterangebot und die damit einhergehenden Rangauseinandersetzungen am Futtertrog verstärkt wurden. Die *ad libitum* Fütterung der Maissilage konnte dieses Defizit nicht ausgleichen. Als Endmastgewicht waren nach 9 Wochen 120 kg angestrebt. Die Mastdauer fiel jedoch bei den Versuchs-Varianten beider Durchgänge mit 2 bis 3 Wochen und in Einzelfällen sogar mit bis zu 5 Wochen deutlich länger aus als bei den Kontroll-Varianten. Die durchschnittlichen Tageszunahmen der Anfangs- und Endmast beider MD sind in Tabelle 4.2 dargestellt.

Tabelle 4.2: Mittlere Tageszunahmen in Anfangs- und Endmast der Mastdurchgänge 1 und 3

	MD 1				MD 3			
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m
Anfangsmast (g)	569 ± 61	581 ± 47	557 ± 73	573 ± 73	659 ± 82	663 ± 71	572 ± 83	566 ± 88
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m
Endmast (g)	727 ± 117	702 ± 90	582 ± 96	566 ± 99	604 ± 70	558 ± 57	575 ± 91	550 ± 70

Im MD 1 traten in der Anfangsmast keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den Tageszunahmen der Kontroll- und Versuchsvarianten auf. Dagegen fielen die Schweine in den Versuchsvarianten mit durchschnittlich 582 bzw. 566 g Tageszunahmen gegenüber den Tieren der Kontrollvariante mit 727 g bzw. 702 g Tageszunahmen deutlich ab. In der

Anfangsmast des MD 3 erreichten die Schweine der Kontrollvariante ca. 100 g höhere Tageszunahmen als die Schweine in den Versuchsvarianten. Dagegen erreichten die Schweine in den Raufutter-Varianten in der Endmast des MD 3 ähnlich hohe Tageszunahmen wie die Kontrolltiere. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit der *ad libitum* Aufnahme von Weidelgras die um 30% reduzierte Kraftfuttermenge im dritten Mastdurchgang zumindest teilweise ausglich werden konnte, während dies im ersten Mastdurchgang aufgrund eines durch einen sehr trockenen Sommer bedingten lückenhaften Bestand nicht gelang.

4.1.2.2 Lebendmasseentwicklung in den Mastdurchgängen 2 und 4

Die Anfangsmast beider MD dauerte wie geplant bei allen Fütterungsvarianten 9 Wochen. Nach Ablauf der AM wiesen die Tiere des MD 2 durchschnittliche Lebendmassen von 62 bis 69 kg, die Schweine des MD 4 von 68 und 70 kg auf (siehe Tabelle A 2 im Anhang). Anhand der Standardabweichungen bei den Umtriebsgewichten wird ersichtlich, dass die Lebendmasseentwicklung zwischen den Einzeltieren innerhalb der Fütterungsvarianten analog zu MD 1 und 3 erheblich variierte. Die durchschnittlichen Tageszunahmen der Anfangs- und Endmast der beiden MD sind in Tabelle 4.3 dargestellt.

Tabelle 4.3: Mittlere Tageszunahmen in Anfangs- und Endmast der Mastdurchgänge 2 und 4

Variante	MD 2					MD 4				
	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
Anfangsmast (g)	574 ± 62	579 ± 84	529 ± 86	595 ± 122	630 ± 84	631 ± 61	632 ± 88	577 ± 75	623 ± 93	627 ± 91
Endmast (g)	479 ± 65	455 ± 90	438 ± 73	504 ± 81	481 ± 123	542 ± 42	512 ± 36	529 ± 48	651 ± 71	600 ± 78

In der Anfangsmast beider Mastdurchgänge variierten die TZ von 529 bis 632 g. Im MD 2 erreichten die Tiere der Topinambur-Variante mit 595 bis 630 g täglichen Zunahmen die höchsten Zunahmen, während die Tiere der Weidelgras-Variante mit 529 g am schlechtesten abschnitten. Dies lag wahrscheinlich in der Qualität des Weidelgras-Aufwuchses begründet. Dieser stammte aus dem Vorjahr, war bei Auftrieb überständig und hatte durch Bodenverdichtung keinen starken Bestand gebildet. Die Kontroll-Variante wies mit 574 g knapp 10% niedrigere Tageszunahmen als die männliche Topinambur-Variante auf. In der Endmast wurde mit durchschnittlichen Tageszunahmen zwischen 438 und 504 g in allen Varianten nur ein sehr niedriges Niveau erreicht. Es ist zu vermuten, dass dies vor allem durch die kalte Jahreszeit bedingt war, da trotz des erhöhten Energiebedarfes versuchsbedingt keine Anpassung der Futtermenge vorgenommen wurde. Im vierten MD wurden höhere Zunahmen realisiert als im zweiten MD. In der Anfangsmast wiesen die Tiere der Topinambur-Variante, die das Kraut der Pflanzen erhielten, mit der Kontroll- und Stoppelrübenvariante vergleichbare Zuwachsraten auf. In der Endmast erreichten die männlichen und weiblichen Schweine bei der Nutzung von Topinambur-Knollen wie in MD 2

die höchsten Tageszunahmen, gefolgt von der Kontroll- und den Klee gras-Varianten. Letztere zeigten mit 512 und 529 g die geringsten Zunahmen.

4.1.2.3 Beitrag des Raufutters zur Lebendmasseentwicklung

Da allen Raufutter-Varianten die gleichen Kraftfuttermengen zugeteilt wurden, kann gefolgert werden, dass die Unterschiede in den durchschnittlichen Tageszunahmen zwischen den Kontroll- und Versuchsvarianten auf Unterschiede in der Nährstoffversorgung über die Raufutteraufnahme zurückgeführt werden können. Entsprechend kann für die MD 2 und 4 eine Rangierung der eingesetzten Raufuttermittel hinsichtlich ihres Beitrages zur Lebendmasseentwicklung vorgenommen werden. Danach ergibt sich folgende Reihenfolge:

MD 2: Anfangsmast: Topinamur-Knolle > Stoppelrübe > Weidelgras

Endmast: Topinambur-Knolle > Klee grassilage

MD 4: Anfangsmast: Stoppelrübe > Topinambur-Grün > Weidelgras

Endmast: Topinambur-Knolle > Klee grassilage

Fazit: Die Lebendmasseentwicklung wies in allen Mastdurchgängen eine hohe Variation zwischen und innerhalb der Fütterungsvarianten auf. Die in der kalten Jahreszeit durchgeführten Mastdurchgänge führten zu deutlichen Einbußen bei den Tageszunahmen, da der erhöhte Energiebedarf versuchsbedingt nicht durch eine erhöhte Energieversorgung über das Kraftfutter ausgeglichen wurde. Zwischen männlichen und weiblichen Tieren konnten keine Unterschiede in den Tageszunahmen festgestellt werden.

Das Angebot von Topinambur-Knollen als Feldfrucht war geeignet, den reduzierten Kraftfuttereinsatz sowohl in der Anfangs- als auch in der Endmast hinsichtlich des Lebendmassezuwachses auszugleichen bzw. zu übertreffen. Dies gelang ansonsten nur durch die Vorlage von Maissilage in MD 1, nicht jedoch mit den übrigen Raufuttermitteln.

4.1.3 Schlachtleistung

Die Tiere des MD 1 und MD 3 zeigten mit durchschnittlichen Muskelfleischanteilen von knapp 54 bis 59% mit der konventionellen Erzeugung vergleichbare Resultate. Ca. 70% der Schlachtkörper wurden E-klassifiziert (siehe Tabelle A 4 im Anhang). Die Speckmaße variieren von 12,1 bis 18,6 mm, die Fleischmaße von 53,8 bis 59,9 mm. Aufgrund der veränderten Fütterungssituation zwischen Anfangs- und Endmast in den Versuchsvarianten sind die Ergebnisse zwischen Kontroll- und Versuchsgruppen nur bedingt aussagefähig. Allerdings kann geschlussfolgert werden, dass die Freilandbedingungen und die Verfütterung von Raufutterkomponenten guten Schlachtleistungen nicht zuwiderlaufen.

Innerhalb der Kontroll- und der Versuchsvarianten wiesen die männlichen Tiere tendenziell ein höheres Speck- und ein niedrigeres Fleischmaß auf als die weiblichen Tiere. Die pH-Werte variieren kaum und liegen alle mit 6,2 bis 6,3 über dem Grenzwert 6,0, welches auf eine sehr gute Fleischbeschaffenheit schließen lässt.

Die Ausschachtung lag für alle Fütterungsvarianten der MD 1 und 3 zwischen 73,7 und 76,3%. Es wurden für die Kontrolltiere höhere Werte erwartet, da der GIT durch die angenommene ausschließliche Kraftfutteraufnahme leichter ist und somit zu einer höheren Ausschachtung von knapp 80% führt. Es ist anzunehmen, dass die Kontrolltiere durch Bodenaufnahme ebenfalls einen schwereren GIT aufwiesen und die geringere Ausschachtung daher resultierte. Tabelle 4.4 gibt die mittleren Schlachtgewichte, den Muskelfleischanteil sowie Speck- und Fleischmaß und den pH-Wert in den MD 1 und 3 wieder.

Tabelle 4.4: Mittlere Schlachtleistungen der Tiere der Mastdurchgänge 1 und 3

Variante	MD 1				MD 3			
	K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m	K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m
Schlachtgewicht (kg)	91,0 ± 5,8	94,0 ± 4,1	90,0 ± 4,9	88,0 ± 3,7	94,7 ± 6,6	93,3 ± 7,5	94,9 ± 3,8	94,3 ± 4,6
Muskelfleischanteil (%)	58,1 ± 2,1	56,1 ± 2,0	58,9 ± 2,0	57,3 ± 2,2	55,8 ± 2,2	55,2 ± 3,1	57,0 ± 2,0	53,8 ± 2,7
Speckmaß (mm)	13,7 ± 2,3	15,9 ± 2,4	12,1 ± 2,2	13,6 ± 2,8	16,9 ± 2,5	17,4 ± 3,0	15,1 ± 2,5	18,6 ± 2,9
Fleischmaß (mm)	58,7 ± 4,5	57,9 ± 3,9	56,2 ± 4,8	53,8 ± 4,7	59,9 ± 3,1	59,8 ± 6,0	58,9 ± 2,5	57,6 ± 3,6
pH-Wert	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,3 ± 0,1
Ausschachtung (%)	76,0 ± 1,8	76,3 ± 1,5	74,5 ± 2,3	73,7 ± 3,0	75,7 ± 2,3	76,0 ± 3,1	74,9 ± 1,8	75,1 ± 1,6

Die Tiere des MD 2 und 4 zeigten durchweg hohe mittlere Muskelfleischanteile, die von knapp 57 bis 59% reichten. Mit ca. 86% der Schlachtkörper wurden 16% mehr Tiere E-klassifiziert als bei den MD 1 und 3 (siehe Tabelle A 5 im Anhang). Dies kann möglicherweise auf die kalte Jahreszeit und dem entsprechend noch langsameren Wachstum bei der restriktiven Kraftfutterfütterung zurückgeführt werden. Auch kann der Einsatz von Raufutter im Zusammenhang mit dem Muskel- und Fettansatz stehen. Die Speckmaße variierten von 13,2 bis 15,6 mm und damit nicht so stark wie die des MD 1 und 3 (12,1 bis 18,6). Die Fleischmaße reichten von 56,9 bis 61,7 mm und lagen im Mittel höher als die Fleischmaße des MD 1 und 3. Die pH-Werte variierten kaum und lagen wie auch bei MD 1 und 3 mit 6,2 bis 6,3 über dem gewünschten Schwellenwert von 6,0.

Die Schachtleistungen der Tiere aus den MD 2 und 4 sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

Tabelle 4.5: Mittlere Schlachtleistungen der Mastschweine in den Mastdurchgängen 2 und 4

Variante	MD 2					MD 4				
	K m/w	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TK _w	TK _m	K m/w	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TG/T K _w	TG/T K _m
Schlachtgewicht (kg)	92,9 ± 3,6	95,3 ± 5,8	93,9 ± 4,8	92,5 ± 5,2	90,2 ± 5,2	90,6 ± 5,8	89,6 ± 7,4	88,4 ± 8,9	92,5 ± 8,2	90,8 ± 9,3
Muskelfleischanteil (%)	57,1 ± 2,3	56,7 ± 2,1	56,8 ± 3,2	58,0 ± 2,0	56,8 ± 1,8	58,0 ± 2,1	58,9 ± 1,7	58,1 ± 2,3	57,4 ± 2,0	56,7 ± 1,8
Speckmaß (mm)	14,5 ± 2,8	15,0 ± 2,6	15,2 ± 3,4	13,5 ± 2,4	14,9 ± 1,9	14,5 ± 2,8	13,2 ± 3,0	14,2 ± 3,0	15,1 ± 2,8	15,6 ± 2,3
Fleischmaß (mm)	57,1 ± 4,0	57,2 ± 3,6	58,3 ± 4,7	57,4 ± 4,5	56,9 ± 4,0	61,7 ± 8,0	61,3 ± 7,2	61,0 ± 4,0	61,3 ± 4,6	59,9 ± 4,3
pH-Wert	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,2 ± 0,2	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,1	6,3 ± 0,1
Ausschlachtung (kg)	77,5 ± 1,4	75,8 ± 1,9	76,1 ± 1,8	77,9 ± 1,9	76,0 ± 1,4	78,2 ± 2,3	78,2 ± 2,1	77,3 ± 2,5	74,6 ± 3,3	76,1 ± 1,4

4.1.4 Salmonellenbefunde

Eine hohe Befundrate bei den am Schlachthof genommenen Fleischproben hinsichtlich des Vorliegens von Antikörpern gegen Salmonellen wurde bei den Tieren im ersten Mastdurchgang festgestellt. Demgegenüber waren die Befundraten in den weiteren Mastdurchgängen deutlich reduziert. Da die Tiere des ersten Mastdurchganges aus einem anderen Ferkelerzeugerbetrieb stammten als die Tiere aus den übrigen Mastdurchgängen, ist zu vermuten, dass die hohe Befundrate im ersten Mastdurchgang im Zusammenhang mit dem Herkunftsbetrieb stand. Generell deuten die Befundraten darauf hin, dass auch in der Freilandhaltung ein niedriger Status bezüglich des Auftretens von Salmonellen erreicht werden kann. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Analytik auf Salmonellenantikörper im Blut der Mastschweine ist in Tabelle 4.6 wiedergegeben.

Tabelle 4.6: Salmonellenbefunde bei den Schlachtkörpern in den verschiedenen Mastdurchgängen

Herkunft		MD 1	MD 2	MD 3	MD 4
		Betrieb A	Betrieb B	Betrieb B	Betrieb B
Anzahl Proben		35	65	57	79
positiv	(Anzahl)	25	18	0	9
	(%)	71,4	27,7	0	11,4
grenzwertig	(Anzahl)	0	25	4	19
	(%)	0	38,5	7	24,1
negativ	(Anzahl)	10	22	53	51
	(%)	28,9	33,8	93	64,6

4.2 Kot- und Bodenprobenanalyse

4.2.1 Trockenmasse und Rohaschegehalte

Die mittleren Trockenmassegehalte des Kotes in den verschiedenen Versuchsvarianten sind in Tabelle 4.7 wiedergegeben.

Tabelle 4.7: Mittlere Trockenmassegehalte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen

Mastdurchgang	MD 1				MD 3					
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
TM Anfangsmast (%)	32,6 ± 3,9	38,5 ± 12,6	29,8 ± 3,9	36,7 ± 9,0	40,0 ± 3,1	38,9 ± 4,3	32,8 ± 8,5	31,1 ± 3,2		
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
TM Endmast (%)	33,3 ± 5,3	31,7 ± 4,9	27,1 ± 2,8	28,8 ± 5,9	33,5 ± 4,1	32,2 ± 3,1	27,6 ± 3,4	27,5 ± 2,5		
Mastdurchgang	MD 2				MD 4					
Variante	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
TM Anfangsmast (%)	31,4 ± 6,0	33,0 ± 3,1	26,4 ± 4,8	25,3 ± 2,6	26,7 ± 2,9	32,7 ± 4,0	31,9 ± 2,5	28,4 ± 2,9	26,3 ± 4,4	25,5 ± 3,8
Variante	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
TM Endmast (%)	30,0 ± 2,4	28,9 ± 3,7	27,7 ± 1,9	29,1 ± 4,0	31,5 ± 2,2	30,9 ± 2,1	28,1 ± 3,5	26,5 ± 3,6	26,5 ± 4,8	26,6 ± 10,6

In den Kotproben der Tiere aus den Kontrollvarianten wurden signifikant höhere Trockenmassegehalte ermittelt als in den Raufutter-Varianten ($p < 0,001$). Die Trockenmassegehalte befinden sich insgesamt auf einem hohen Niveau. Gleichzeitig weisen die Standardabweichungen auf eine große tierindividuelle Streubreite hin.

Große Schwankungen wurden auch bezüglich des Rohaschegehaltes im Kot festgestellt, die nicht nur innerhalb einer Gruppe stark streuten, sondern auch eine hohe Variation zwischen den Fütterungsvarianten unabhängig von der Raufutterversorgung aufwiesen. Sie sind in Tabelle 4.8 wiedergegeben. Die Rohaschegehalte befanden sich auf einem sehr hohen Niveau und wichen deutlich von den erwarteten Werten ab. Allerdings fanden sich in der vorliegenden Literatur keine Untersuchungen, mit denen die eigenen Ergebnisse hätten abgeglichen werden können. Die hohen Rohaschegehalte legen jedoch den Schluss nahe, dass die Mastschweine sehr hohe Mengen an Erde aufgenommen haben.

Tabelle 4.8: Mittlere Rohaschegehalte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen

Mastdurchgang	MD 1				MD 3					
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
XA-Gehalt Anfangsmast (% in TM)	44,0 ± 15,9	48,4 ± 22,1	39,7 ± 10,2	50,8 ± 16,4	54,2 ± 5,3	49,0 ± 9,2	41,6 ± 10,8	41,0 ± 11,6		
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
XA-Gehalt Endmast (% in TM)	45,8 ± 14,7	41,9 ± 9,6	42,6 ± 8,6	48,9 ± 11,9	39,6 ± 10,6	38,6 ± 8,7	33,2 ± 8,3	37,0 ± 8,8		
Mastdurchgang	MD 2				MD 4					
Variante	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
XA-Gehalt Anfangsmast (% in TM)	36,9 ± 3,8	40,7 ± 6,6	37,1 ± 15,3	47,6 ± 6,4	39,1 ± 12,3	35,4 ± 9,4	37,7 ± 6,1	34,2 ± 9,7	38,4 ± 8,0	30,5 ± 7,5
Variante	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
XA-Gehalt Endmast (% in TM)	42,5 ± 5,9	45,2 ± 4,0	35,4 ± 6,9	43,1 ± 7,3	38,3 ± 5,3	37,3 ± 11,1	37,9 ± 9,3	38,8 ± 6,3	38,4 ± 8,1	33,3 ± 11,0

4.2.2 pH-Werte im Kot

Die mittleren pH-Werte des Kotes in den verschiedenen Versuchsvarianten sind für die verschiedenen Mastdurchgänge in der Tabelle 4.9 dargestellt. Die pH-Werte wiesen mit Werten von 5,76 bis 6,58 eine hohe Variationsbreite und mit Standardabweichungen von bis zu $\pm 0,75$ hohe tierindividuelle Schwankungen auf. Zwischen Kontroll- und Raufutter-Varianten ließen sich keine eindeutigen Unterschiede ausmachen. Es war jedoch eine Tendenz zu höheren pH-Werten in der Endmast gegenüber der Anfangsmast erkennbar.

Die pH-Werte im Kot von Schweinen, die im Stall gehalten und nur mit Kraftfuttermittel ohne Raufuttermittel gefüttert wurden, weisen Werte zwischen 6,5 und 6,8 auf (Jensen & Jørgensen, 1994; Duda, 2004). Da in der eigenen Untersuchung sowohl die Tiere der Kontroll- als auch der Versuchsvarianten im Mittel niedrigere Werte als die Referenzgrößen aus der Literatur aufwiesen, bleibt offen, welchen Faktoren hierfür mitverantwortlich sind.

Tabelle 4.9: Mittlere pH-Werte des Kotes in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen

Mastdurchgang	MD 1				MD 3					
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
pH-Wert Anfangsmast	5,84 ± 0,25	6,28 ± 0,53	5,79 ± 0,29	6,40 ± 0,88	5,81 ± 0,35	5,88 ± 0,38	5,81 ± 0,23	5,91 ± 0,37		
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
pH-Wert Endmast	6,17 ± 0,40	6,44 ± 0,40	6,25 ± 0,25	6,30 ± 0,26	6,31 ± 0,25	6,25 ± 0,26	6,21 ± 0,26	5,88 ± 0,19		
Mastdurchgang	MD 2				MD 4					
Variante	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
pH-Wert Anfangsmast	6,04 ± 0,52	6,40 ± 0,61	6,33 ± 0,52	5,79 ± 0,75	6,03 ± 0,50	6,14 ± 0,24	6,09 ± 0,21	6,22 ± 0,30	5,76 ± 0,31	5,90 ± 0,18
Variante	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
pH-Wert Endmast	6,34 ± 0,25	6,33 ± 0,37	6,30 ± 0,34	6,04 ± 0,32	6,15 ± 0,28	6,58 ± 0,29	6,35 ± 0,35	6,52 ± 0,27	6,12 ± 0,53	6,40 ± 0,20

4.2.3 Titangehalte im Kot

Im Versuchsvorhaben sollten mittels Titandioxid als inerte Marker im Kraftfutter Bestimmungen zur Verdaulichkeit und zur Aufnahme von Feldfrüchten und von Silagen unter Freilandbedingungen durchgeführt werden. Die mittleren Gehalte von Titan im Kot in den verschiedenen Versuchsvarianten sind in Tabelle 4.10 wiedergegeben.

Tabelle 4.10: Mittlerer Gehalt an Titan im Kot nach Druckaufschluss in der Anfangs- und Endmast in den verschiedenen Mastdurchgängen

Mastdurchgang	MD 1				MD 3					
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
Titan Anfangs- mast (mg/kg TM)	3292 ± 346	3583 ± 291	2809 ± 263	3371 ± 485	4047 ± 796	3746 ± 548	3187 ± 331	3263 ± 458		
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
Titan Endmast (mg/kg TM)	3641 ± 305	3693 ± 474	3324 ± 696	3421 ± 397	3938 ± 362	3819 ± 308	3289 ± 304	3160 ± 520		
Mastdurchgang	MD 2				MD 4					
Variante	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
Titan Anfangs- mast (mg/kg TM)	3214 ± 463	3385 ± 208	3116 ± 382	3062 ± 390	2945 ± 405	3364 ± 305	3338 ± 515	3501 ± 369	3407 ± 404	2946 ± 390
Variante	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
Titan Endmast (mg/kg TM)	3570 ± 288	3399 ± 353	3219 ± 260	3294 ± 487	3249 ± 374	3988 ± 382	3298 ± 440	2963 ± 347	3153 ± 489	3244 ± 285

Die Zugabe von Titandioxid als inerte Marker im Zusammenhang mit Verdaulichkeitsuntersuchungen beim Schwein ist aus vorhergehenden ernährungsphysiologischen Untersuchungen bekannt (Paditz et al., 2004). Auch ist die Titananalytik in solchen Untersuchungen eine eingeführte Methode, die nach vergleichenden Untersuchungen von Zacharias et al. (2000) sowohl mit einem photometrischen Verfahren nach der Methode von Brandt & Allam (1987), als auch atomabsorptionsspektrometrisch nach Druck-Aufschluss erfolgen kann (VDLUFA, 2003).

Im Zuge der analytischen Aufarbeitung der Kotproben zum vorliegenden Versuch stellte sich jedoch heraus, dass die mit dem photometrischen Verfahren gemessenen Werte trotz einer zunächst zufrieden stellenden Reproduzierbarkeit nicht mit den erwarteten Werten in Einklang gebracht werden konnten. Die weiteren Analysen der Kotproben, insbesondere hinsichtlich des Aschegehaltes, erhärteten den Verdacht, dass die Mast Schweine bei ihren Wühlaktivitäten zur Nahrungsaufnahme neben den Futteraufwüchsen auch erhebliche Mengen an Erde aufgenommen hatten. Da der Boden selbst Titandioxid enthält und auch Beeinträchtigungen des Analyseverfahrens durch Erdminerale nicht ausgeschlossen werden konnten, wurden parallel zu der Bestimmung von Titan nach Kjeldahl-Aufschluss Untersuchungen nach Druckaufschluss mit Flusssäure mittels der ICP-OES an der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim durchgeführt.

Bei der Aufarbeitung der Proben stellte sich heraus, dass die bisherige Aufschlussweise mittels Mikrowellendruckaufschluss (VDLUFA, 2003) auch bei Anwendung einer Hochdruckvariante zu schlechten Wiederfindungsraten bei dotierten Proben führte.

Als Ursache kann vermutet werden, dass durch die hohe Erdaufnahme der Tiere (siehe Kapitel 4.2.1) im Kot eine mineralstoffreiche Matrix vorlag, die zur Bildung unlöslicher Präzipitate führte. Erst durch die aufwendige Optimierung der Aufschlüsse, insbesondere der Nachbehandlung der Präzipitate mittels Flusssäure auf der Heizplatte und einer weiteren Optimierung der Messbedingungen am ICP-OES konnte eine zufrieden stellende analytische Lösung des Problems gefunden werden.

Eine Gegenüberstellung der mit Druckaufschluss und Kjeldahl-Aufschluss ermittelten Werte ist im Anhang in der Tabelle A 7 wiedergegeben. Dabei waren die mittels Druckaufschluss ermittelten Analysewerte durchweg höher als diejenigen mittels Kjeldahl-Aufschluss. Letztere erreichten im Mittel ein Niveau, das ca. 72% der Vergleichswerte entsprach. Zwischen den mittels Kjeldahl-Aufschluss und Druckaufschluss ermittelten Werten bestand zwar ein signifikanter ($p < 0,05$), mit $r = 0,12$ jedoch nur schwacher Zusammenhang. Die mittels Druck-Aufschluss bestimmten Titangehalte waren mit $r = 0,46$ hochsignifikant positiv mit dem Asche-Gehalt der Kotproben korreliert ($p < 0,01$). Demgegenüber waren die Titangehalte nach Kjeldahl-Aufschluss mit $r = -0,24$ signifikant negativ mit dem Asche-Gehalt der Kotproben korreliert ($p < 0,01$).

4.2.4 Titangehalte im Boden

Die Analyse der Titangehalte in den Bodenproben ergab einen mittleren Gehalt von $5,01 \pm 0,30$ g pro kg in der aus den Bodenproben gewonnenen Asche. Dabei unterschieden sich die mittleren Gehalte der Bodenproben von den Versuchsflächen mit $4,95 \pm 0,22$ g Titan pro kg Aschegehalt nicht signifikant von den Gehalten von benachbarten Flächen ($5,35 \pm 0,57$), die bisher nicht von Schweinen genutzt und daher nicht über das Kraftfutter mit Titandioxid kontaminiert wurden. Damit kann weitgehend ausgeschlossen werden, dass es durch den Einsatz von Titandioxid als Marker zu einer Anreicherung auf den Versuchsflächen gekommen ist.

Die in den Bodenproben gefundenen Werte stimmen mit Angaben aus der Literatur überein. Danach liegt der Titangehalt in den jungen Böden des gemäßigten Klimas bei 0,1 bis 0,6%, während er in stark verwitterten Böden bis über 1%, in manchen tropischen Böden auf Titanreichen Gesteinen sogar bis über 10% ansteigen kann (Scheffer & Schachtschnabel, 1989). Eine Übersicht über die weltweiten Vorkommen von Titan in Böden findet sich bei Milnes & Fitzpatrick (1989).

4.2.5 Gehalte an Seltenen Erden im Kot und im Boden

Über die mögliche Aufnahme von Erde durch Mastschweine unter Freilandbedingungen liegen in der Literatur keine Angaben vor. Daher sollte im Forschungsvorhaben eine erste Abschätzung der Erdaufnahme vorgenommen werden. In vergleichbaren Studien bei Wiederkäuern wurde Titan als Indikator für die Erdaufnahme herangezogen, da Titan in den übrigen pflanzlichen Futtermitteln nur in Spuren vorkommt. Zudem wird es nur zu einem sehr geringen Anteil enteral absorbiert, kommt jedoch in der Erde in der Regel in deutlich höheren Konzentrationen vor.

Da im vorliegenden Projekt Titanoxid als Indikator für die Messung der Verdaulichkeit diente, schied dieses Element als Indikator für die Erdaufnahme der Schweine aus. In früheren Untersuchungen an Milchkühen wurden von Schenkel et al. (2004) bereits Elemente der Seltenen Erden erfolgsversprechend als Indikatoren eingesetzt. Diese kommen an einzelnen Standorten in unterschiedlichen Mustern vor, werden aber ebenfalls nur in sehr geringem Ausmaß von den Pflanzen bzw. den Tieren absorbiert.

Ähnlich wie bei der Titananalytik stellte sich im Verlaufe der Untersuchungen heraus, dass die bereits etablierte Untersuchungsmethodik nicht übernommen werden konnte. Aufgrund mikrokristallinen Ausfällungen waren die Wiederfindungsraten nicht hinreichend; zudem unterschieden sich diese zwischen den Seltenen Erdelementen beträchtlich. Es liegt der Schluss nahe, dass die spezifische Zusammensetzung des Schweinekotes, bedingt durch den hohen Erdanteil, der mit dem Futter und beim Wühlen auf den Futterflächen aufgenommen wurde, die analytischen Probleme hervorgerufen hat. Gute Wiederholbarkeiten bei der Messanalytik konnten mit einem zweistufigen Aufschlussverfahren und einer Umstellung der Analytik auf ein neues ICP-OES Gerät mit einer veränderten Messgeometrie und einer

empfindlicheren Auflösung erreicht werden. Die so analysierten Gehalte an Seltenen Erden im Boden und im Kot der Schweine sind in der Tabelle 4.11 dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden jeweils die Ergebnisse der Kontroll- und Raufuttervarianten zu einem Mittelwert über alle Varianten zusammengefasst.

Tabelle 4.11: Mittlere Gehalte an Seltenen Erden in den Kotproben der verschiedenen Fütterungsvarianten und in Bodenproben

	Kontroll-Variante (mg/kg XA)		Raufutter-Variante (mg/kg XA)		Bodenprobe (mg/kg XA)	
Cer	74,27	± 6,63	72,82	± 8,06	72,15	± 6,96
Dysprosium	4,19	± 0,44	4,16	± 0,46	4,65	± 0,14
Erbium	2,43	± 0,45	2,45	± 0,47	2,96	± 0,07
Europium	1,17	± 0,16	1,13	± 0,16	1,07	± 0,07
Gadolinium	5,37	± 0,60	5,24	± 0,56	5,22	± 0,24
Holmium	0,70	± 0,13	0,68	± 0,13	0,94	± 0,02
Lanthan	37,31	± 3,39	36,98	± 4,20	36,36	± 2,76
Lutetium	<1	± 0	<1	± 0	0,45	± 0,02
Neodym	32,12	± 3,38	31,35	± 3,51	29,20	± 1,69
Promethium	8,69	± 0,82	8,51	± 0,94	7,92	± 0,56
Scandium	8,19	± 2,43	8,55	± 2,83	8,06	± 0,81
Samarium	5,75	± 0,56	5,58	± 0,57	5,50	± 0,29
Terbium	0,65	± 0,12	0,63	± 0,10	0,79	± 0,03
Thulium	<1	± 0	<1	± 0	0,45	± 0,01
Yttrium	23,73	± 3,44	23,56	± 3,98	25,41	± 0,68
Ytterbium	2,46	± 0,55	2,55	± 0,79	3,00	± 0,09

Es ist ersichtlich, dass sich das Elementmuster der einzelnen Elemente der Bodenproben sehr gut in den Aschen der Kotproben aus den Kontroll- und Versuchsvarianten wieder findet. Dies ist als deutliches Zeichen dafür zu werten, dass die Konzentrationen im Kot nahezu ausschließlich aus der ausgenommenen Erde stammen und keine nennenswerte Kumulation oder Anreicherung stattfand.

Nimmt man die Hauptelemente aus der Gruppe der Seltenen Erden, lässt sich berechnen, dass der wesentliche Anteil (ca. 70%) der Kotmatrix aus den erdigen Verunreinigungen stammt. Unterstellt man eine Verdaulichkeit der aufgenommenen Trockenmasse der vor der Entnahme der Kotproben aufgenommenen Futterproben von ca. 70%, lässt sich anhand der Cer- bzw. Lanthankonzentrationen in Kot und Bodenproben berechnen (Thornton & Abrahams, 1983), dass bei nicht unerheblicher Variation zwischen den Einzeltieren im Schnitt ca. 40% der aufgenommenen Trockenmasse den Erdepartikeln entstammten. Dies ist als eine außerordentlich hohe Menge einzuschätzen, die in dieser Größenordnung nicht erwartet wurden.

4.2.6 Mikrobielle Aktivität im Kot

Die mittleren ATP-Gehalte (nmol in g/kg TM) im Kot von Schweinen bei der Verfütterung verschiedener Futterkomponenten in den verschiedenen Mastdurchgängen und

Mastabschnitten sind in der Tabelle 4.12 wiedergegeben. Die Werte sind durch eine große Schwankungsbreite zwischen den Fütterungsvarianten gekennzeichnet. Auch weist die Standardabweichung auf eine hohe Variation innerhalb der Untersuchungsgruppen hin. Selbst bei der Bereitstellung der gleichen Futtermittel (z.B. Topinambur) wurden sehr unterschiedliche Werte zwischen den verschiedenen Mastdurchgängen ermittelt. Angesichts der sehr heterogenen Datenlage wurde auf weitere statistische Berechnungen verzichtet.

Tabelle 4.12: Mittlere ATP-Gehalte im Kot von Schweinen bei der Verfütterung verschiedener Futterkomponenten in den verschiedenen Mastdurchgängen und -abschnitten

Mastdurchgang		MD 1				MD 3					
Variante		K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
ATP	Pb 1	28,5	67,8	36,0	42,0	9,3	9,4	38,8	15,6		
Anfangsmast (nmol in g/kg TM)		± 27,6	± 39,2	± 18,4	± 26,7	± 4,5	± 5,8	± 25,3	± 11,9		
	Pb 2	44,2	33,2	61,0	41,8	19,0	26,3	18,6	30,0		
		± 10,7	± 12,7	± 18,3	± 19,4	± 6,6	± 13,2	± 14,7	± 15,2		
Variante		K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
ATP	Pb 1	27,6	20,2	27,0	20,3	105,4	81,1	12,5	11,5		
Endmast (nmol in g/kg TM)		± 10,4	± 10,7	± 10,0	± 6,9	± 83,7	± 115,8	± 11,0	± 5,0		
	Pb 2	24	21,8	52,2	50,1	-	-	-	-		
		± 14,0	± 10,5	± 12,7	± 15,4						
Mastdurchgang		MD 2				MD 4					
Variante		K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
ATP	Pb 1	71,8	95,1	105,0	122,0	125,3	34,5	22,4	16,5	18,3	13,6
Anfangsmast (nmol in g/kg TM)		± 22,7	± 31,6	± 22,9	± 52,1	± 57,4	± 15,2	± 11,2	± 10,8	± 2,2	± 10,6
	Pb 2	41,8	49,0	31,4	106,2	79,2	31,0	14,8	43,4	67,5	31,5
		± 13,5	± 9,8	± 18,3	± 40,2	± 32,0	± 16,1	± 9,5	± 10,2	± 42,3	± 22,8
Variante		K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
ATP	Pb 1	69,7	61,2	71,7	63,7	33,6	59,4	53,5	88,9	127,6	84,5
Endmast (nmol in g/kg TM)		± 25,8	± 32,7	± 17,1	± 45,8	± 19,3	± 22,3	± 23,9	± 38,1	± 67,4	± 50,5
	Pb 2	58,5	36,0	21,6	46,7	83,4	-	-	-	-	-
		± 17,5	± 29,7	± 13,5	± 22,0	± 65,8					

4.3 Verdaulichkeitsbestimmungen *in vitro*

4.3.1 Analyse von Rohnährstoffen, Rohfaser und Stärke

Die Ergebnisse der Analysen von Rohnährstoffen, Rohfaser und Stärke der unbehandelten (UB) und vorbehandelten (VB) Substrate sind in Tabelle 4.13 dargestellt. Auf eine Analyse wurde verzichtet, wenn zu erwarten war, dass der Gehalt der spezifischen Komponente im entsprechenden Substrat vernachlässigbar gering war (z.B. Stärke im Weidelgras, Stoppelrübe, Topinambur oder Kleeegrassilage). Im Gegensatz zum Aschegehalt in den unbehandelten Substraten zeigten die vorbehandelten Substrate eine Akkumulation dieser

Komponente. Dies führte zu einem geringeren Gehalt an Organischer Masse als Ergebnis der Enzyminkubation. Während im vorbehandelten Topinambur-Substrat kein Zucker nachgewiesen wurde, enthielt das unbehandelte Substrat 60% Zucker. Rohfaser, NDF und ADL Fraktionen waren im VB-Substrat im Mittel höher als im UB-Substrat. Ausnahmen bildete das VB-Substrat von Stoppelrübenblatt mit einem um 44% geringeren Rohfasergehalt nach der Enzyminkubation. Mit Ausnahme von Weidelgras führte die Enzyminkubation zu gleichen oder verringerten Rohproteingehalten im Vergleich zum unbehandelten Substrat. Bedingt durch die enzymatische Vorbehandlung waren die Werte für Stärke und Zucker außer für Weidelgras deutlich reduziert.

Tabelle 4.13: Analyse von Rohnährstoffen, Rohfaser und Stärke der un- und vorbehandelten Substrate

Futtermittel		TM	XA	XF	XP	XS	XZ	NDF	ADF	ADL	OM
Maissilage	UB	907	42	180	75	325	n.a.	362	220	82	958
	VB	899	174	299	59	30	n.a.	579	370	84	826
Weidelgras	UB	919	140	258	139	n.a. ¹	85	565	340	40	860
	VB	872	295	274	136	n.a.	73	557	336	10	705
Stoppel- rübenkraut	UB	924	236	201	285	14	29	204	352	24	764
	VB	940	412	113	141	0	0	390	375	26	588
Stoppel- rübenknolle	UB	926	161	182	143	n.a.	283	189	184	52	839
	VB	975	289	298	73	n.a.	n.a.	194	189	54	711
Topiman- burknolle	UB	904	70	45	73	n.a.	606	73	51	22	930
	VB	977	299	123	60	n.a.	0	126	52	23	701
Klee gras- silage 1	UB	889	106	242	182	n.a.	89	408	245	46	894
	VB	888	265	295	126	n.a.	34	502	279	130	736
Klee gras- silage 2	UB	903	104	191	169	n.a.	185	336	176	54	896
	VB	873	303	237	166	n.a.	70	387	222	152	697

¹ n.a. = nicht analysiert

Die vorbehandelten Substrate zeigten im Durchschnitt einen höheren Fasergehalt mit Ausnahme von Stoppelrübenblatt und einen höheren Rohaschegehalt. Die Anreicherung von Rohfaser resultierte aus dem Abbau von Nährstofffraktionen wie Stärke und leicht lösliche Zucker, die einem enzymatischen Abbau leicht zugänglich sind. Entsprechend zeigten die vorbehandelten Substrate einen ähnlichen (Weidelgras oder Klee grasssilage 2) oder einen geringeren (alle übrigen Substrate) Gehalt an Rohprotein, Stärke und Zucker, bedingt durch die proteolytischen und hydrolysierenden Aktivitäten von Pepsin und Pancreatin. Die verbleibende Rohproteinfraktion in den vorbehandelten Substraten stammt von Proteinquellen, die in der Zellwand eingeschlossen oder mit der Zellwandfraktion assoziiert sind und daher für die Enzyme nicht zugänglich sind (Van Soest, 1994). Aufgrund der Anreicherung von unlöslichen Komponenten steigen die NDF-, ADF- und ADL-Gehalte nach der Vorbehandlung, da der Abbau dieser Komponenten durch die Verdauungsenzyme der Säugetiere nicht möglich ist (Bauer et al., 2003). Zusammengefasst zeigen die Werte, dass die

Zellwandbestandteile mehr umfassen als nur den Rohfasergehalt. Bemerkenswert ist, dass der NDF-Gehalt des unbehandelten Stoppelrüben-blattes mit 204 g/kg TM geringer ausfiel als der ADF-Gehalt mit 352 g/kg TM, während er beim vorbehandelten Stoppelrübenblatt mit 390 g/kg TM gegenüber 375 g/kg TM größer war.

4.3.2 Verlust an Organischer Masse

Tabelle 4.14 zeigt den Verlust an Organischer Masse, gemessen anhand verschiedener Methodiken: der Gesamttrakt-Verdaulichkeit, der modifizierten enzymatischen Vorbehandlung und nach der Gasproduktionsmethode mit un- und vorbehandelten Substraten unter Verwendung von zwei verschiedenen Inokula sowie nach der kombinierten Methode von Vorbehandlung und Gasproduktion. Trockenmasse- und Aschegehalte der Inokula betragen für die Kontrollgruppe 18,8 bzw. 11,0 g/kg TM und 21,9 bzw. 13,8 g/kg TM für das Inokulum der Raufuttergruppe. Die Inokula für die Kontroll- bzw. Raufuttergruppe wiesen einen pH-Wert von 6,38 bzw. 6,40 auf.

Die Ergebnisse zeigen die Variation im Verlust an Organischer Masse in Abhängigkeit der verschiedenen Verfahren und Methoden. Die Methode nach Boisen & Fernandez (B&F; Tabelle 4.14) führte zu einem um 18,6% (Maissilage) bis 66,2% (Stoppelrübenkraut) höheren Masseverlust als die modifizierte Methode, die nur die precaecale Verdauung abbildet. Ergebnisse der *in vitro*-Fermentation (Table 4.14; GP) der unbehandelten Substrate zeigten einen um 6,5% (Weidelgras) bis 28,8% (Maissilage) höheren Verlust an Organischer Masse als die vorbehandelten Substrate. Der berechnete Masseverlust der kombinierten Methode von enzymatischer Vorbehandlung und Gasproduktion (Tabelle 4.14; B&F + GP) unterschied sich nicht vom Masseverlust der unbehandelten Substrate nach der Gasbildungsmethode. Allerdings waren die mittels der B&F-Methode ermittelten Masseverluste deutlich höher bei faserhaltigen Futtermitteln (z.B. bei Maissilage, Weidelgras und Kleeegrassilage). Die Verluste an Organischer Masse waren bei der Gasbildungsmethode bei allen Substraten höher als bei der Methode nach Boisen & Fernandez (1997).

Tabelle 4.14: Verlust an Organischer Masse in % in Abhängigkeit von den Inkubationsschritten und -methoden

Material	Boison & Fernandez ¹		GP ¹			Boison & Fernandez + GP	
	T vs. M	(%)	Behandl.	KI ³ (%)	RI ³ (%)	KI (%)	RI (%)
Maissilage	T ²	58,2	UB	67,0	67,5	72,3	70,9
	M ²	47,4	VB	53,3	52,4		
Weidelgras	T	46,8	UB	67,7	67,4	68,5	69,5
	M	22,6	VB	63,3	63,3		
Stoppel- rübenkraut	T	83,1	UB	81,1	80,7	83,0	80,3
	M	28,1	VB	71,4	70,2		
Stoppel- rübenknolle	T	83,5	UB	88,5	87,8	87,1	86,0
	M	34,4	VB	80,3	79,6		
Topinam- burknolle	T	95,3	UB	98,1	97,3	98,3	98,3
	M	73,9	VB	93,1	93,1		
Klee gras- silage 1	T	62,7	UB	77,9	76,5	79,5	78,5
	M	29,0	VB	73,5	72,9		
Klee gras- silage 2	T	71,4	UB	84,6	84,0	85,3	85,4
	M	35,1	VB	79,1	78,9		

¹ Boison & Fernandez = Methode nach Boisen und Fernandez; GP = *in vitro* Gas Production Methode

² T = totale Verdaulichkeit nach der Methode von Boisen und Fernandez; M = modifizierte praecaecale Verdaulichkeit nach der Methode von Boisen und Fernandez

³ KI = Kontroll-Inoculum; RI = Raufutter-Inoculum

Ein vorrangiges Ziel der Studie war der Vergleich zwischen der Methode der enzymatischen Inkubation (Boisen & Fernandez, 1997) und der Fermentation (Williams et al., 2005) sowie einer Kombination beider Methoden hinsichtlich des Verlustes an Organischer Masse. Coles et al. (2005) schlussfolgerten aus ihren Untersuchungen, dass ein Mangel der Methode der enzymatischen Inkubation von Boisen & Fernandez (1997) darin besteht, dass nur die Enzyme der Dickdarmmikroben, nicht aber der Fermentationsprozesse selbst simuliert werden. Deshalb und unter Berücksichtigung der eigenen Ergebnisse kann vermutet werden, dass bei der enzymatischen Inkubationsmethode die wahre Verdaulichkeit unterschätzt wird. Für Klee grasssilage ermittelten Carlson et al. (1999) einen geringeren Verlust an Organischer Masse (56%) als in der eigenen Studie, in der die Werte zwischen 73 bis 85% rangierten. Ly et al. (1995) veröffentlichten Werte für die Verdaulichkeit von Topinambur im Bereich von 86%, während die eigenen Werte auf höherem Niveau lagen und zwischen 93 und 98% schwankten. Entsprechend sind weitere Untersuchungen erforderlich, in denen die Ergebnisse von verschiedenen *in vitro*-Methoden mit denen von *in vivo*-Messungen verglichen werden. Werden die Ergebnisse der verschiedenen Methoden von den höchsten zu den niedrigsten Abbauraten rangiert, ergeben sich allerdings keine großen Unterschiede in der Rangierung:

1) Verluste an Organischer Masse nach Boisen & Fernandez (1997):

Topinamburknolle > Stopperübenknolle > Stoppelrübenkraut > Kleegrassilage 2 > Kleegrassilage 1 > Maissilage > Weidelgras

2) Verluste an Organischer Masse nach *in vitro*-Fermentation bei unbehandeltem Substrat:

Topinamburknolle > Stopperübenknolle > Kleegrassilage 2 > Stoppelrübenkraut > Kleegrassilage 1 > Maissilage/Weidelgras

3) Verluste an Organischer Masse nach Vorbehandlung und *in vitro*-Fermentation:

Topinamburknolle > Stopperübenknolle > Kleegrassilage 2 > Stoppelrübenkraut > Kleegrassilage 1 > Maissilage > Weidelgras

Unter Berücksichtigung der obigen Reihung ist die Methode von Boisen & Fernandez (1997) das einfachste und preiswerteste Verfahren, um die Gesamtverdaulichkeit von Futtermitteln unter praktischen Bedingungen zu untersuchen. Jedoch sind weitere Untersuchungen notwendig, um zu klären, welche Methode die höchste Korrelation mit der Gesamtverdaulichkeit von Futtermitteln *in vivo* aufweist.

Werden die Verluste an Organischer Masse während der Fermentation mit un- und vorbehandelten Substraten verglichen, erscheint eine Vorbehandlung der Proben nicht erforderlich. Allerdings müssen die Beobachtungen der vorliegenden Studie durch Wiederholungen bestätigt und eine größere Breite von Raufuttermitteln in unterschiedlicher Qualität in die Untersuchungen einbezogen werden, um beurteilen zu können, welches Futtermittel hinsichtlich der Nährstoffe am effizientesten von Schweinen genutzt werden kann.

Es muss offen bleiben, ob der nach der *in vitro*-Fermentation ermittelte Verlust an Organischer Masse die wahre Verdaulichkeit der Organischen Masse anzeigt, da nicht hinreichend geklärt ist, wie viel der Organischen Masse wirklich abgebaut und wie viel für die Erzeugung von mikrobieller Biomasse genutzt wurde (Blümmel et al., 1997).

4.3.3 Fermentationscharakteristika

Generell bestanden hochsignifikante Unterschiede zwischen den Fermentationsprozessen der verschiedenen Substrate ($p < 0,005$). Zwischen der Vorbehandlung und der NH_3 Bildung bestand eine hochsignifikante Interaktion für beide Inokula ($p < 0,0001$). Ferner konnte eine signifikante Interaktion zwischen der Vorbehandlung und dem Substrat für die übrigen Parameter während der Inkubation mit dem Raufutter-Inokulum ermittelt werden ($p < 0,039$). Die unbehandelten Substrate zeigten gegenüber den vorbehandelten Substraten eine höhere Gasbildung, außer für Stoppelrübensubstrat, das mit dem Raufutter-Inokulum inkubiert war (UB = 203 ml/g OM vs. VB = 236 ml/g OM). Die höchste Gasbildung wurde bei Topinambur mit 373 ml/g OM gemessen. Mit Ausnahme von Stoppelrübenblatt wiesen alle unbehandelten Substrate, inkubiert mit dem Kontroll-Inokulum eine höhere Produktion an flüchtigen Fettsäuren auf als die vorbehandelten Substrate. Die Inkubation mit dem Raufutter-Inokulum führte zu einer geringeren Bildung an flüchtigen Fettsäuren für unbehandeltes Stoppelrüben-

blatt und für beide Kleegrassilagen. Mit der Ausnahme von Stoppelrübenblatt zeigten alle vorbehandelten Substrate eine höhere NH₃ Produktion.

Die Mittelwerte der Analyseergebnisse von Gasbildung, flüchtigen Fettsäuren und Ammoniak sind in Tabelle 4.15 dargestellt.

Tabelle 4.15: Mittlere Abbauraten und Fermentationscharakteristika von unbehandelten und vorbehandelten Substraten

Material	Behandlung	Kontrollinoculum			Raufutterinoculum		
		omcv ¹ ml/g OM	totFFS ² mM/g OM	NH ₃ ml/g OM	omcv ml/g OM	totFFS mM/g OM	NH ₃ ml/g OM
Maissilage	UB	260	4,80	4,19	247	5,78	3,76
	VB	158	4,28	4,84	175	4,04	4,66
Weidelgras	UB	223	5,09	4,47	225	5,13	4,81
	VB	201	4,73	5,38	226	4,95	5,29
Stoppel- rübenkraut	UB	301	5,74	7,65	297	5,91	7,32
	VB	271	5,96	8,18	297	6,06	8,03
Stoppel- rübenknolle	UB	234	6,39	6,06	203	6,51	5,59
	VB	234	6,04	8,18	236	6,19	5,38
Topiman- burknolle	UB	373	7,17	4,04	370	7,46	3,98
	VB	315	6,54	5,24	331	6,30	5,11
Kleegras- silage 1	UB	241	5,32	5,51	238	5,68	5,18
	VB	226	5,12	5,55	216	6,30	5,26
Kleegras- silage 2	UB	302	5,95	5,14	311	5,57	4,92
	VB	265	5,95	5,82	276	5,79	5,84
SEM		6,07	0,29	0,10	13,6	0,23	0,07
Model est. (p-values)							
Vorbehandlung		0,462	0,109	<0,0001	0,020	0,014	<0,0001
Material		0,005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
V x M Interaktion		0,990	0,788	<0,0001	0,039	0,002	<0,0001

¹ omcv = totale Gas-Produktion der eingewogenen Organischen Masse

² FFS = Flüchtige Fettsäuren

Bei allen vorbehandelten Substraten wurde eine geringere Gasbildung ermittelt. Folglich führte die Vorbehandlung zu einem Substrat, das weniger Gas pro Gramm Organischer Masse lieferte. Möglicherweise unterschieden sich die Bestandteile der Organischen Masse von denen im unbehandelten Material und waren dadurch den Fermentationsprozessen weniger zugänglich. Aus möglicherweise dem gleichen Grund bestand eine Tendenz für eine herabgesetzte Produktion von flüchtigen Fettsäuren nach der Vorbehandlung und eine ansteigende NH₃ Produktion.

Bislang ist offen, ob die Vorbehandlung zu einem Material führt, das mit dem ilealen Chymus vergleichbar ist, da nicht-enzymatische Prozesse wie die mikrobielle Fermentation *in vivo* sowohl im Endabschnitt des Dünndarms als auch im oberen Verdauungstrakt stattfinden. Diese Prozesse können nicht mit dem Vorverdauungsschritt simuliert werden (Ratcliff, 1991; Jensen & Jørgensen, 1994; Bindelle et al., 2007). Auch sind relevante Menge von endogenen Komponenten wie Verdauungsenzyme und abgestorbene Zellen an den Verdauungsprozessen

beteiligt (Bauer et al., 2003). Dies kann ebenfalls nicht mit einer *in vitro* Methode simuliert werden. Der Einfluss von unterschiedlichen Inokula war in der eigenen Studie nicht so ausgeprägt wie in Untersuchungen von Jørgensen et al. (2007). Da die Bedingungen für die Mikrobiota im Gastrointestinaltrakt sehr komplex sind und ferner durch die Konzentration und Zusammensetzung der endogenen Nährstoffe beeinflusst werden, sind weitere Untersuchungen erforderlich (Williams et al., 2001; Williams et al., 2005).

4.3.4 Gasbildungskinetik

Die Ergebnisse der Gasbildung wurden unter Verwendung eines zwei-phasigen Modells (Groot et al., 1996) angepasst und sind in Tabelle 4.16 wiedergegeben. Für das Kontroll-Inokulum bestand eine hochsignifikante Beziehung ($p < 0.0001$) zwischen Vorbehandlung und Substrat für die maximale Gasbildungsrate (R_m). In Phase 2 zeigten alle Parameter eine hohe Interaktion zwischen Vorbehandlung und Substrat. Während der Inkubation mit dem Raufutter-Inokulum bestand eine hochsignifikante Interaktion zwischen Vorbehandlung und Substrat für alle Parameter in beiden Phasen.

Die Werte für die asymptotisch verlaufende Gasbildung unterschieden sich bei beiden Inokula nicht signifikant zwischen den unbehandelten und vorbehandelten Substraten. Eine Ausnahme stellte das unbehandelte Substrat der Maissilage dar, welches mit 54 mL/g OM eine sehr geringe Gasbildung während der Phase 1 und mit 241 mL/g OM eine um 350% höhere Gasbildung in der Phase 2 aufwies. Während der Inkubation mit dem Raufutter-Inokulum zeigten die UB- und VB-Substrate der Stoppelrübe ein gegenläufiges Ergebnis. Das unbehandelte Substrat produzierte 86 ml in Phase 1 und 224 ml in der zweiten Phase. Das VB-Substrat erzeugte 212 ml in Phase 1 und 181 ml in Phase 2. Für beide Inokula zeigten Stoppelrübenblatt, Stoppelrübe und Kleegrassilage 2 eine höhere Gasbildung in Phase 1. Die übrigen Substrate wiesen eine ähnliche (Kleegrassilage 1) oder eine höhere Gasbildung in Phase 2 im Vergleich zu Phase 1 auf.

Bei der asymptotischen Gasproduktion lassen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Substrat oder Vorbehandlung erkennen, ebenso nicht bei der Halbzeit der ersten Phase. Beim Kontroll-Inokulum und auch beim Raufutter-Inokulum unterscheiden sich die Halbzeiten der zweiten Phase signifikant hinsichtlich des Substrates ($p < 0,0001$). Die Vorbehandlung spielt dagegen nur bei der Inkubation mit dem Kontroll-Inokulum eine signifikante Rolle ($p < 0,0001$). Hier haben die vorbehandelten Proben länger gebraucht, um die Halbzeit zu erreichen, außer beim Stoppelrübenblatt. Im Gegensatz dazu bestand bei der Halbzeit der zweiten Phase nur bei der Inkubation mit dem Raufutter-Inokulum eine signifikante Interaktion zwischen Substrat und Vorbehandlung.

Tabelle 4.16: Parameter der Gasbildung bei unbehandelten und mit dem Kontroll-Inokulum vorbehandelten Substraten

Material	Behandlung	Phase 1			Phase 2		
		A ¹ ml/g OM	T _{1/2} ¹ h	Rm ¹ ml/h	A ml/g OM	T _{1/2} h	Rm ml/h
Kontroll-Inoculum							
Maissilage	UB	54	15,9	7,6	242	19,4	3,7
	VB	71	3,4	13,2	97	31,3	2,4
Weidelgras	UB	97	4,6	13,5	137	34,5	48
	VB	80	7,8	6,7	136	35,7	5,2
Stoppelrübenkraut	UB	154	8,6	11,3	85	18,6	9,1
	VB	103	6,9	9,9	155	14,2	13,7
Stoppelrübenknolle	UB	203	3,9	32,7	101	16,1	10,9
	VB	186	9,3	12,6	110	17,9	14,4
Topimanburknolle	UB	171	5,4	27,6	236	5,4	71,0
	VB	206	4,9	33,6	112	16,4	8,4
Kleegrassilage 1	UB	123	6,1	12,7	122	24,5	5,0
	VB	148	16,1	6,5	115	26,0	4,9
Kleegrassilage 2	UB	176	3,8	32,9	118	17,4	9,0
	VB	168	10,7	12,5	125	19,2	6,7
SEM		40	3,9	1,1	26	1,1	0,7
Model est. (p-values)							
Vorbehandlung		0,910	0,405	<0,0001	0,074	<0,0001	<0,0001
Material		0,052	0,753	<0,0001	0,171	<0,0001	<0,0001
V x M Interaktion		0,936	0,254	<0,0001	0,021	0,000	<0,0001
Raufutter-Inoculum							
Maissilage	UB	101	5,9	10,3	82	30,7	2,9
	VB	103	5,4	12,3	124	27,8	4,8
Weidelgras	UB	145	25,7	5,7	142	38,4	4,8
	VB	125	8,3	9,7	83	20,9	7,5
Stoppelrübenkraut	UB	74	4,8	8,2	175	16,7	10,3
	VB	220	5,4	27,0	80	19,3	13,8
Stoppelrübenknolle	UB	86	4,7	13,3	224	15,6	15,0
	VB	212	6,7	16,7	181	6,7	6,0
Topimanburknolle	UB	233	6,1	32,8	101	17,3	7,9
	VB	126	7,2	11,0	115	28,1	4,2
Kleegrassilage 1	UB	198	29,3	5,6	82	29,6	3,7
	VB	184	4,9	30,6	118	18,4	10,1
Kleegrassilage 2	UB	148	8,9	12,5	145	20,4	7,7
	VB	86	4,7	13,3	224	15,6	15,0
SEM		26	4,4	1,7	20	0,9	1,4
Model est. (p-values)							
Vorbehandlung		0,356	0,018	0,000	0,029	0,000	<0,0001
Material		0,009	0,042	<0,0001	0,053	<0,0001	<0,0001
V x M Interaktion		0,018	0,039	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001

¹A = asymptotische Gas-Produktion; T_{1/2} = Halbwertszeit von C; Rm = Maximale Gasbildungsrate

Die maximale Fermentationsrate in Phase 1 unterschied sich signifikant für beide Inokula hinsichtlich des Substrates. Die Vorbehandlung dagegen spielte nur beim Kontroll-Inokulum eine Rolle. Eine Interaktion zwischen Substrat und Vorbehandlung ist bei Rm1 für beide Inokula gegeben. Bei Phase 2 ist die maximale Fermentationsrate sowohl hinsichtlich Substrat als auch Vorbehandlung gegeben. Außerdem findet bei beiden Inokula eine Interaktion zwischen Vorbehandlung und Substrat statt.

Ein Beispiel für die maximalen Unterschiede in den Gas-Kinetiken ist die Topinambur-Knolle hinsichtlich der maximalen Fermentationsrate bei Phase 2. Die unbehandelte Knolle hat eine sehr hohe maximale Gasproduktionsrate (71 ml/h bei KI; 67 ml/h RI), während die vorbehandelte Knolle nur 8,4 bzw. 7,9 ml/h produziert.

Die Abbauraten waren für die vorbehandelten Substrate geringer als für die unbehandelten Substrate, ausgenommen für Maissilage und Topinambur in Phase 1 und Stoppelrübenblatt für Phase 2. Dies kann auf den möglichen Verlust auf leicht abbaubare Komponenten während der Vorbehandlung zurückgeführt werden. Bauer et al. (2003) vermuten, dass die verbliebene Substanz einen erhöhten Anteil langsam abbaubarer Komponenten enthält.

Die erste Phase zeigt die Gasbildung von löslichen und daher leicht abbaubaren Komponenten. Die unlöslichen Anteile erfordern die Kolonisation mit Mikroben und Eufeuchtung bevor die Abbauprozesse beginnen. Dies findet in der zweiten Phase statt (Groot et al., 1996). Es kann geschlussfolgert werden, dass schnell abbaubare Futterbestandteile im oberen GIT fermentiert werden, während langsam abbaubare Substanzen im unteren Darmtrakt abgebaut werden. Die Messung der kumulativen Gasbildung und die dabei gewonnenen Ergebnisse können deshalb als Hinweis darauf genommen werden, wo die Produkte wahrscheinlich im GIT abgebaut werden (Williams et al., 2005).

Die Ergebnisse der Gasbildungskinetiken zwischen der ersten und zweiten Phase variierten deutlich zwischen allen Faktoren, insbesondere den Substraten, der Vorbehandlung und den beiden Inokula. Die Variationen stehen zweifelsfrei im Zusammenhang mit Unterschieden in der Zusammensetzung der Substrate. Es bleibt jedoch offen, ob eine enzymatische Vorbehandlung und die unterschiedlichen Inokula einen signifikanten Einfluss auf die Gasbildung haben.

Zusammenfassend wird geschlussfolgert, dass die enzymatische Inkubation eine geeignete Methode darstellt, um eine Rangierung von Futtermitteln hinsichtlich ihrer Verdaulichkeit vorzunehmen. Um die Effekte der Vorbehandlung auf die Fermentationsmuster beurteilen zu können, müssen weitere Substrate mit mehr Wiederholungen geprüft werden. Der Einfluss von unterschiedlichen Inokula war in der eigenen Studie nicht eindeutig und bedarf weiterer Prüfungen. Ferner sollte in weitergehenden Untersuchungen geklärt werden, welche Methode die höchste Korrelation zu *in vivo* Werten aufweist. In der vorliegenden Studie konnten nur sieben verschiedene Futtermittel mit einer Wiederholung einbezogen werden. Die gewonnenen Daten sollten mit weiteren Wiederholungen und einer Ausweitung der Futtermittel bestätigt

werden. Die Ergebnisse können folglich nur erste Anhaltspunkte zur Bewertung von Raufuttermitteln in der Schweinefütterung darstellen.

4.4 Bestimmung der Futteraufnahme von Raufutter unter Freilandbedingungen

Bei Bilanzversuchen im Stall ist die verabreichte Futtermenge in der Regel bekannt. Daher kann hier über die Erfassung der Kotmenge mit Hilfe eines nicht im Verdauungstrakt abbaubaren Markers die Verdaulichkeit der Futterration bestimmt werden. Um unter Freilandbedingungen die Menge an aufgenommenen Futtermitteln zu bestimmen, ist zusätzlich ein interner Marker im Futtermittel und die Bestimmung der Verdaulichkeit der eingesetzten Futtermittel durch *in vivo* oder *in vitro* Methoden erforderlich.

In der Vergangenheit wurde in verschiedenen Untersuchungen mit Schweinen die Alkan-Methode zur Bestimmung der Futteraufnahme unter Freilandbedingungen eingesetzt. Für die Grasaufnahme von Sauen im Freiland wurde die Alkan-Methode von Rivera Ferre et al. (2001) verifiziert. Bei der Alkan-Methode stellt ein dem Tier verabreichter Alkan-Bolus den externen Marker dar. Dieser Bolus gibt täglich eine konstante Menge der Substanz HC³² ab. Diese Substanz kann später im Kot nachgewiesen werden. Wird die durch den Bolus abgegebene Menge Alkan in ein Verhältnis zu futterinternen Alkanen (HC³¹, HC³³) gesetzt, kann die aufgenommene Futtermenge berechnet werden. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass vom Bolus über einen Zeitraum von 21 Tagen kontinuierlich das Marker-Alkan abgegeben wird und somit die tägliche Verabreichung eines externen Markers entfällt. Allerdings ist bei einem nicht einheitlichen Pflanzenbestand eine Zuordnung der einzelnen Alkane schwierig, da der Alkangehalt in verschiedenen Pflanzenbeständen deutlichen Schwankungen unterliegt (Drochner, 2005; Susenbeth, 2005, persönliche Mitteilungen). Bei nicht einheitlichem Futterbestand wird durch eine selektive Futteraufnahme und durch unterschiedliche Vegetationsstadien eine hohe Variation der Ergebnisse verursacht. Ein heterogener Pflanzenbestand würde es daher erforderlich machen, eine größere Zahl unterschiedlicher Alkan-Marker einzusetzen. Dies würde die sehr aufwendige Analytik weiter verteuern. Aus den genannten Gründen wurde die Alkan-Methode bei diesem Versuchsvorhaben nicht eingesetzt.

Als alternativer unverdaulicher Marker zur Bestimmung des Verhältnisses von Marker im Kot zu dem Verhältnis von Marker im Futter wurde Titandioxid vorgeschlagen. Um die Futteraufnahme zu bestimmen, war zusätzlich die Kenntnis der Verdaulichkeit des Futters erforderlich. Vergleichende Untersuchungen mit unterschiedlichen *in vitro* Methoden zur Verdaulichkeitsbestimmung über die Ermittlung des Fermentationsgeschehens im Dickdarm von Schweinen werden in Kapitel 2.2.2 beschrieben.

Für die Abschätzung der Aufnahme von Raufuttermitteln durch Schweine mit Hilfe der vorgeschlagenen Markermethode in Kombination mit der *in vitro* Verdaulichkeitsbestimmung war ferner von der Gewährleistung standardisierter Bedingungen hinsichtlich der Aufnahme des Kraftfuttermittels und der Markersubstanz abhängig. Diese Voraussetzungen wurden

durch die Installation von mobilen Fressständen sichergestellt, in denen die Tiere während der Fütterungszeit kurzzeitig fixiert wurden. Auf diese Weise konnten die Tiere ungestört von den Nachbartieren die restriktiv zugeteilte Kraftfuttermenge aufnehmen.

Die in Kapitel 4.2.4 und 4.2.5 dargestellten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Schweine im Freiland erhebliche Mengen an Erdmineralien aufgenommen haben und das Titan selbst im Boden vorhanden ist. Dies hat einerseits zu erheblichen analytischen Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Markersubstanz im Kot geführt.

Angesichts der großen Variation zwischen den Tieren und zwischen den Fütterungsvarianten bei der Aufnahme von Raufuttermittel, der Aufnahme von Erdmineralien sowie der möglichen Interaktionen zwischen Titandioxid und den verschiedenen Bestandteilen des Kotes wird geschlussfolgert, dass die Titandioxidgehalte im Kot keine belastbaren Rückschlüsse auf die Berechnungen der Raufutteraufnahme zulassen.

Entgegen den ursprünglichen Annahmen ist Titandioxid als Markersubstanz unter Freilandbedingungen nicht geeignet. Die hohen Aufnahmemengen von Erdmineralien durch Schweine im Freiland sowie die analytischen Schwierigkeiten waren in diesem Umfang bei der Planung des Vorhabens nicht absehbar. Weder für die Erdaufnahme noch für die analytischen Schwierigkeiten lagen entsprechende Hinweise in der Literatur vor.

4.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Mast von Schweinen unter Freilandbedingungen kann als ein probates Produktionsverfahren angesehen werden, mit dem im Vergleich zur Mast in der Stallhaltung ähnliche Produktionsergebnisse erreicht werden können. Allerdings sollte gegenüber der Stallhaltung die Energieversorgung erhöht werden, um dem Energieverbrauch durch die intensive Bewegungsaktivität und durch die Wärmebildung im Winter Rechnung zu tragen.

Ackerfrüchte, die von den Tieren auf der Fläche genutzt werden, können in relevantem Maße zur Nährstoffversorgung beitragen. Insbesondere kann von Topinambur-Knollen ein hoher Beitrag zur Energieversorgung erwartet werden. Andere Ackerfrüchte bzw. Konservate tragen in der Reihenfolge Stoppelrübe und Maissilage, Kleegrassilage sowie Weidelgras zur Nährstoffversorgung der Schweine bei.

Die Feldfuttermittel können allerdings standort- und witterungsbedingt in ihrer Zusammensetzung sehr stark schwanken. Deshalb sollten in der Praxis wiederholt Futtermittelanalysen durchgeführt werden, um der variierenden Nährstoffverfügbarkeit durch eine angepasste Kraftfutterfütterung zu begegnen.

Entgegen vorheriger Annahmen zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass Titandioxid als Marker zur Bestimmung der Aufnahmemengen von Raufutter im Freiland nicht geeignet ist. Insbesondere stehen die hohen Mengen von Erdmineralien, die von Schweinen in der Freilandhaltung aufgenommen werden, diesem methodischen Ansatz entgegen. Dadurch

können keine belastbaren Rückschlüsse von den Gehalten des Indikators im Kot auf die Mengen der aufgenommenen Raufuttermittel abgeleitet werden.

Die zum Teil sehr hohen Aufnahmemengen an Erdmineralien lassen den Schluss zu, dass die Wühlaktivitäten und die Erdaufnahme eine großer Relevanz im Verhaltensspektrum beigemessen werden kann. Die möglichen Konsequenzen der hohen Aufnahmemengen von Erdmineralien für den Verbraucherschutz hinsichtlich potentieller Rückstände im Fleisch, die von der Aufnahme von Schwermetallen bei der Haltung auf entsprechend belasteten Böden ausgehen können, bedürfen weiterer Klärung.

Mit dem Anbau von Ackerfrüchten für die Nutzung von Mastschweinen unter Freilandbedingungen sind verschiedene Vorteile verbunden. Die Nutzung von Feldfutterfrüchten ermöglicht eine verbesserte Nutzung betriebseigener Ressourcen und die Einsparung von Kraftfuttermitteln. Ferner wird auf diese Weise den Anforderungen der EG-Öko-Verordnung (834/2007), welche als Teil der Tagesration für Schweine die Vorlage von Raufutter vorschreibt, Rechnung getragen, ohne dass dafür zusätzliche zeitliche oder technische Aufwendungen bereitgestellt werden müssen. Auch werden den Schweinen mit der Freilandhaltung weitgehend uneingeschränkte Möglichkeiten zur Ausübung art eigener Verhaltensweisen geboten.

Das Produktionsverfahren der Freilandhaltung ist an diversen Voraussetzungen geknüpft. Neben der Einhaltung der besonderen Vorgaben der Schweinehaltungshygiene-Verordnung und der Genehmigung durch die Veterinärbehörde müssen der hohe Flächenanspruch und die arbeitszeitlichen Belastungen beim Aufbau und beim Betrieb einer Freilandanlage in Ansatz gebracht werden. Auf der anderen Seite fallen die hohen Investitionssummen für Stallneubauten weg, die aufgrund der spezifischen gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Flächenbereitstellung und der Ausläufe besonders in der ökologischen Schweinehaltung zu Buche schlagen.

Die wider Erwarten sehr hohen Aufnahmemengen von Erdmineralien durch die Schweine weisen darauf hin, dass Schweine im Zusammenhang mit dem Nahrungsaufnahmeverhalten auch bei den Kontroll-Varianten ohne Flächenbewuchs sehr intensive Wühlaktivitäten durchführen. Diese Aktivitäten beinhalten auf der anderen Seite, dass im Boden gelagerte Schadstoffe zusammen mit der Erde aufgenommen werden und dadurch ein Risiko hinsichtlich des Verbraucherschutzes und möglicher Schadstoffrückstände im Fleisch beinhalten. Aufgrund der eigenen Untersuchungsergebnisse sollten daher landwirtschaftliche Betriebe, die Schweine in Freiland halten bzw. dies beabsichtigen, aufgefordert werden, die Böden der genutzten bzw. anvisierten Flächen auf potentielle Schadstoffe hin untersuchen zu lassen, um entsprechende Risiken zu vermeiden.

5 Zusammenfassung

Im Forschungsvorhaben sollten die Aufnahmemengen verschiedener Feldfrüchte (Weidelgras Topinambur-Kraut, Topinambur-Knolle und Stoppelrübe) und Konservate (Mais- und Kleegrassilage), die für Mastschweinen unter den Bedingungen der Freilandhaltung *ad libitum* zur Verfügung standen, mittels Titanoxid als Markersubstanz und mittels Bestimmung der Verdaulichkeiten der Komponenten anhand von *in vitro* Verfahren quantifiziert werden. Dazu erhielten die Mastschweine zuvor festgelegte Mengen eines Kraftfutters, das in der Zusammensetzung den Versorgungsempfehlungen der GfE entsprach, und das in den Versuchsvarianten der vier Mastdurchgänge gegenüber den Kontrollvarianten reduziert war. Die Feldfuttermittel wurden von den Schweinen in der Regel gut akzeptiert. Eine Ausnahme bildete die Stoppelrübe, deren Aufwuchsmengen nicht annähernd von den Schweinen genutzt wurden. Die Nährstoffkonzentrationen der Feldfuttermittel zeigten witterungsbedingt deutliche Schwankungen.

Die Lebendmasseentwicklung wies in allen Mastdurchgängen eine hohe Variation sowohl zwischen als auch innerhalb der Fütterungsvarianten auf. Insbesondere führten die in der kalten Jahreszeit durchgeführten Mastdurchgänge zu deutlichen Einbußen bei den Tageszunahmen, da der erhöhte Energiebedarf versuchsbedingt nicht durch eine erhöhte Energieversorgung ausgeglichen wurde. Zwischen männlichen und weiblichen Tieren konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Tageszunahmen festgestellt werden.

Das Angebot von Topinambur-Knollen als Feldfrucht war geeignet, den reduzierten Kraftfuttereinsatz sowohl in der Anfangs- als auch in der Endmast hinsichtlich des Lebendmassezuwachses auszugleichen bzw. deutlich zu übertreffen, während dies bei den übrigen Raufuttervarianten, mit Einschränkungen bei der Maissilage, nicht gelang.

In den Mastdurchgängen MD 2 und 4 zeigten die eingesetzten Raufuttermittel die folgende Reihenfolge hinsichtlich ihres Beitrages zur Lebendmasseentwicklung:

MD 2: Anfangsmast: Topinambur-Knolle > Stoppelrübe > Weidelgras

Endmast: Topinambur-Knolle > Kleegrassilage

MD 4: Anfangsmast: Stoppelrübe > Topinambur-Grün > Weidelgras

Endmast: Topinambur-Knolle > Kleegrassilage

Die Schlachtleistungen zeichneten sich durch hohe Muskelfleischanteile (MFA) aus. Die Schlachtkörper wiesen in der Winterperiode im Durchschnitt höhere MFA auf als in der Sommerperiode. Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass die Freilandhaltung der Erzeugung hoher Muskelfleischanteil nicht zuwider läuft.

Die Analyse der Kotproben zeigte große Schwankungen bezüglich des Trockenmasse- und des Rohaschegehaltes zwischen und innerhalb der Fütterungsvarianten. Der Rohaschegehalt befand sich mit einem über alle Fütterungsvarianten gemittelten Wert von $41,2\% \pm 5,1\%$ auf einem sehr hohen Niveau. Der hohe Rohaschegehalt lies auf hohe Aufnahmemenge von

Erdminerale schließen. Zwischen den Fütterungsvarianten bestanden keine signifikanten Unterschiede im Rohaschegehalt.

Auch die Kotbeschaffenheit wies hinsichtlich des pH-Wertes und der mikrobiellen Aktivität große Schwankungen zwischen und innerhalb der Fütterungsvarianten auf, aus der keine gerichtete Beeinflussung durch die Fütterungsversuchsvarianten abgeleitet werden konnte.

Die Gehalte der Markersubstanz Titandioxid im Kot schwankten beträchtlich zwischen den Tieren. Bei den parallel durchgeführten Analysen mittels Kjeldahl- und Druckaufschluss wurden durchweg höhere Analysewerte nach Druckaufschluss ermittelt. Letztere erreichten im Mittel ein Niveau, das ca. 72% der Vergleichswerte mittels Kjeldahl-Aufschluss entsprach. Zwischen den mittels Kjeldahl-Aufschluss und Druckaufschluss ermittelten Werten bestand zwar eine signifikante ($p < 0,05$), mit $r = 0,12$ jedoch nur schwache Beziehung. Während die mittels Druckaufschluss bestimmten Titangehalte mit $r = 0,46$ hochsignifikant positiv mit den jeweiligen Asche-Gehalten der Kotproben korrelierten ($p < 0,01$), bestand mit $r = -0,24$ eine signifikant negative Korrelation zwischen den Titangehalte nach Kjeldahl-Aufschluss und dem Aschegehalt der Kotproben ($p < 0,01$).

Die Titangehalte in den Bodenproben wiesen einen mittleren Gehalt von $5,01 \pm 0,30$ g/kg in der aus den Bodenproben gewonnenen Asche auf. Dabei unterschieden sich die Gehalte von den Versuchsflächen nicht signifikant von den Bodengehalten benachbarter, von Schweinen nicht genutzter Flächen.

Aufgrund der hohen Aufnahmemengen von Erdminerale sowie den potentiellen Interaktionen zwischen Titandioxid und den verschiedenen Bestandteilen des Kotes wird geschlussfolgert, dass die Titandioxidgehalte im Kot keine belastbaren Rückschlüsse auf die Berechnungen der Raufutteraufnahme zulassen. Entgegen der ursprünglichen Annahme ist somit Titandioxid als Markersubstanz unter Freilandbedingungen nicht geeignet.

Hinsichtlich der Seltenen Erden stimmte das Elementmuster der einzelnen Elemente der Bodenproben sehr gut mit den Aschen der Kotproben aus den Kontroll- und Versuchsvarianten überein. Dies deutet darauf hin, dass die Konzentrationen im Kot nahezu ausschließlich aus der aufgenommenen Erde herrührten und keine nennenswerte Anreicherung stattfand. Anhand von Berechnungen wird geschätzt, dass im Schnitt ca. 40% der aufgenommenen Trockenmasse den Erdpartikeln entstammten.

Die zum Teil sehr hohen Aufnahmemengen an Erdminerale lassen den Schluss zu, dass die Wühlaktivitäten und die Erdaufnahme eine große Relevanz im Verhaltensspektrum von Schweinen beigemessen werden muss. Die möglichen Konsequenzen der hohen Aufnahmemengen von Erdminerale für den Verbraucherschutz hinsichtlich potentieller Rückstände im Fleisch, die von der Aufnahme von Schwermetallen bei der Haltung auf entsprechend belasteten Böden ausgehen können, bedürfen weiterer Klärung.

Um die scheinbare Verdaulichkeit von Raufuttermitteln bei Mastschweinen besser abschätzen zu können bzw. ein Ranking zwischen unterschiedlichen Raufuttermitteln vornehmen zu können, wurden sieben Komponenten (Maissilage, Weidelgras, Stoppelrübe und

Stoppelrübenblatt, Topinambur und zwei Kleegrassilagen) mit drei verschiedenen *in vitro* Methoden geprüft. Dabei zeigte das enzymatische Inkubationsverfahren 3 bis 20% geringere Werte hinsichtlich der Verdaulichkeit als das Fermentationsverfahren. Eine enzymatische Vorbehandlung der Substrate vor der Fermentation führte zu ähnlichen Werten, allerdings zeigten sich unterschiedliche Gasbildungskinetiken im Vergleich zu den unbehandelten Substraten. Die Verwendung zweier unterschiedlicher Inokula führte nicht zu signifikanten Unterschieden. Bei der Rangierung der Futtermittel hinsichtlich der Verdaulichkeit ergab sich bei jeder Methode eine ähnliche Reihenfolge. Alle verwendeten Methoden erwiesen sich als geeignet, um Raufuttermittel für Schweine zu beurteilen. Um zu klären, welche Futtermittel am besten von Schweinen genutzt werden können, sind jedoch weitere Untersuchungen mit mehr Wiederholungen erforderlich.

6 Gegenüberstellung der ursprünglichen geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Die Versuchskonzeption konnte gemäß der ursprünglichen Versuchsplanung vollständig umgesetzt und hinsichtlich der Zahl der eingesetzten Mastschweine sogar ausgeweitet werden. Allerdings überschritten aufgrund einer reduzierten Lebendmassenentwicklung die Mastperioden die geplanten Zeiträume deutlich.

Die Untersuchungen zielten darauf ab, die Menge an Feldfrüchten, die von Mastschweinen unter Freilandbedingungen aufgenommen werden, näher zu quantifizieren. Aufgrund der Tatsache, dass die Schweine sehr hohe Mengen an Erdmineralien aufgenommen haben, die in dieser Größenordnung nicht erwartet wurden, sowie aufgrund einer hohen Anfälligkeit des Nachweises des Markers Titandioxid mittels ICP durch chemische und physikalische Interferenzen mit Erdmetallen, hat sich die Verwendung des Markers Titandioxid entgegen den Empfehlungen als ungeeignet erwiesen. Bedingt durch die methodischen Interferenzen konnten keine genaueren Schätzungen über die Aufnahmemengen verschiedener Raufuttermittel, sondern nur eine relative Einschätzung des Beitrages der Raufuttermittel zur Lebendmasseentwicklung vorgenommen werden.

Die zum Teil sehr hohen Aufnahmemengen an Erdmineralien widersprachen deutlich den Erwartungen. Sie lassen den Schluss zu, dass den Wühlaktivitäten und der Erdaufnahme eine große Relevanz im Verhaltensspektrum von Schweinen beigemessen werden muss. Die möglichen Konsequenzen der hohen Aufnahmemengen für den Verbraucherschutz hinsichtlich potentieller Rückstände im Fleisch, die von der Aufnahme von Schwermetallen bei der Haltung auf entsprechend belasteten Böden ausgehen können, bedürfen weiterer Klärung.

Hinsichtlich der Fragestellungen zu den *in vitro* Methoden bleibt offen, ob eine Vorbehandlung der untersuchten Futtermittel mit Enzymen die Fermentationsmuster bzw. die Gasbildung beeinflusst. Zur Klärung sollten weitere Substrate mit mehr Wiederholungen geprüft werden. Auch war der Einfluss von unterschiedlichen Inokula in der eigenen Studie

nicht eindeutig und bedarf weiterer Prüfungen. Ferner sollte in weitergehenden Untersuchungen geklärt werden, welche Methode die höchste Korrelation zu *in vivo* Werten aufweist.

7 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Bisherige Veröffentlichungen in wissenschaftsorientierten Zeitschriften:

Sappok, M., Pellikaan, W.F., Versteegen, M.W., Sundrum, A. (2008): Comparing methods and design of a new method assessing fibre rich feed stuffs in pig nutrition. *J. Sci. Food Agric.* (submitted).

Werner, C., Sundrum, A. (2008): Zum Einsatz von Raufutter bei Mastschweinen. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 320*, 61-68.

Bisherige Veröffentlichungen in praxisorientierten Zeitschriften sowie Vorträge:

Sappok, M. (2006): Mast im Freiland: eine Alternative in der Schweinehaltung? *Leb. Erde* 6, 15-17.

Sappok, M. (2007): Freilandmast – k(l)eine Festkosten und preiswertes Grundfutter? Schweinefachtag „Steigende Futtermittelkosten treiben die Schweinepreise“, 20.11.2007, Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen, Visselhövede.

Weitere Veröffentlichungen zur Freilandhaltung sind in Bearbeitung bzw. geplant.

Zurückliegende Veröffentlichungen zum Thema Freilandhaltung von Schweinen:

Brand, M., Sundrum, A. (2006): Ecological risks of outdoor pig fattening in organic farming and strategies for their reduction – Results of a field experiment in the centre of Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117, 238-250.

Sundrum, A., Weissmann, F. (eds.) (2005): Organic pigs in free range systems. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 281*.

Farke, A., Sundrum, A. (2005): Fattening pigs in an outdoor system as a part of the crop rotation within organic farming: Growth performance and carcass yield. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 281*, 25-30.

Brandt, M., Sundrum, A. (2005): Umweltverträgliche Freilandhaltung von Mastschweinen im Ökologischen Landbau. In: Hess, J., G. Rahmann (Hrsg.) Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 1.-4.03.2005, Universität Kassel, 331-334.

Schumacher, J., Farke, A., Sundrum, A. (2005): Leitfaden für die praktische Umsetzung der Freilandhaltung von Schweinen unter ökologischen Rahmenbedingungen. Eigenverlag. <http://orgprints.org/5289/01/5233-unikassel-sundrum-2004-schweine-freiland-leitfaden.pdf>.

Rieger, M., Sundrum, A., Jungbluth, T., Hartung, E. (2005) Beurteilung der Lungengesundheit von Schweinen aus verschiedenen ökologischen Haltungssystemen mittels BAL und Lungenhistologie. Schlussbericht zum BLE-Projekt 03OE370 <http://orgprints.org/9185/01/9185-03OE370-uni-wuppertal-rieger-2005-lungengesundheit.pdf>.

8 Literaturverzeichnis

- Andresen, N., Redbo, I. (1999): Foraging behaviour of growing pigs on grassland in relation to stocking rate and feed crude protein level. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 62, 183-197.
- Bach Knudsen, K.E., Hansen, I. (1991): Gastrointestinal implications in pig of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *Br. J. Nutr.* 65, 217-232.
- Bauer, E., Williams, B.A., Voigt, C., Mosenthin, R., Verstegen, M.A. (2001): *In vitro* Untersuchungen zur Fermentationskinetik kohlenhydratreicher Futtermittel mittels der kumulativen Gasproduktionsmethode. In: 113. VDLUFA-Kongress. VDLUFA (Hrsg.) Landwirtschaft in mittel- und osteuropäischen Ländern - Potenziale und deren Nutzung. Berlin, 17.-21.9.2001. Darmstadt: VDLUFA-Verlag, S. 120 ff.
- Bauer, E., Williams, B.A., Voigt, C., Mosenthin, R., Verstegen, M.A. (2003): Impact of mammalian enzyme pre-treatment on the fermentability of carbohydrate-rich feedstuffs. *J. Sci. Food Agric.* 83, 207-214.
- Becker, M., Nehring, K. (1969): Handbuch der Futtermittel. Erster Band. Verlag Paul Parey Hamburg, Berlin 1969.
- Bellof, G., Gaul, C., Fischer, K., Linder Mayer, H. (1998): Der Einsatz von Grassilage in der Schweinemast. *Züchtungsk.* 70, 372-388.
- Berendonk, C. (2001): Sortenwahl bestimmt die Futterqualität. Landwirtschaftskammer Rheinland, Landwirtschaftszentrum Haus Riswick.
- Bindelle, J., Buldgen, A., Boudry, C., Leterme, P. (2007): Effect of inoculum and pepsin-pancreatin hydrolysis on fibre fermentation measured by the gas production technique in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132, 111-122.
- Blümmel, M., Steingäß, H., Becker, K. (1997): The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *Br. J. Nutr.* 77, 911-921.
- Boisen, S., Eggum, B.O. (1991): Critical Evaluation of *in vitro* methods for estimating digestibility in simple-stomach animals. *Nutr. Res. Rev.* 4, 141-162.
- Boisen, S., Fernandez, J.A. (1997): Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by *in vitro* analyses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 68, 277-286.
- Brandt, M., Allam, S. M. (1987): Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. *Arch. Tierern.* 37, 453-454.
- Braund, J.P., Edwards, S.A., Riddoch, I., Buckner, L.J. (1998): Modification of foraging behaviour and pasture damage by dietary manipulation in outdoor sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 56, 173-186.
- Burgstaller, G. (1991): Schweinefütterung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1991.
- Canh, T.T., Aarnink, A.J., Verstegen, M.W., Schrama, J.W. (1998): Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76, 1123-1130.
- Carlson, D., Lærke, H.N., Poulsen, H.D., Jørgensen, H. (1999): Roughages for growing pigs, with emphasis on chemical composition, ingestion and faecal digestibility. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Anim. Sci.* 49, 129-136.
- Coles, L.T., Moughan, P.J., Darragh, A.J. (2005): *In vitro* digestion and fermentation methods, including gas production techniques, as applied to nutritive evaluation of foods in the hindgut of humans and other simple-stomached animals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124, 421-444.
- Danielsen, V., Hansen, L.L., Møller, F., Bejrholm, C., Nielsen, S. (1999): Production results and sensory meat quality of pigs fed different amounts of concentrate and ad lib. clover grass or clover

- grass silage. In: Hermansen, J.E., Lund, V., Thuen, E. (eds.): Ecological animal husbandry in the Nordic countries. Proceedings of NJF-seminar no.303, Horsens, Denmark 16. – 17. September 1999, 79-86.
- Day, J.E.L., Kyriazakis, I., Lawrence, A. (1995): The effect of food deprivation on the expression of foraging and exploratory behaviour in the growing pig. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 42, 193-206.
- DLG (1991): Futterwerttabellen - Schweine. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Duda, D. (2004): Fermentation ausgewählter Kohlenhydrate (insbesondere Mannanoligosaccharide und Pektin) in vivo und in vitro (Hohenheimer Futterwerttest) beim Schwein. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- EG-Öko-VO (2007): Verordnung (EWG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, <http://www.bmelv.de>. (24.8.08).
- Farke, A., Sundrum, A. (2005): Fattening pigs in an outdoor system as a part of the crop rotation within organic farming: Growth performance and carcass yield. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 281*, 25-30.
- Friesecke, H. (1984): Handbuch der praktischen Fütterung. BLV München 1984.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Ausschuss für Bedarfsnormen) (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG Verlag.
- Groot, J.C.J., Cone, J.W., Williams, B.A., Debersaques, F.M.A., Latinga, E.A. (1996): Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64, 77-89.
- Gustafson, G.M., Stern, S. (2003): Two strategies for meeting energy demands of growing pigs at pasture. *Liv. Prod. Sci.* 80, 167-174.
- Jensen, B.B., Jørgensen, H. (1994): Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 60, 1897-1904.
- Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1999.
- Jørgensen, R.G., Raubuch, M. (2002): Adenylate energy charge of a glucose treated soil without adding a nitrogen source. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1317-1324.
- Jørgensen, H., Serena, A., Hedemann, M.S., Bach Knudsen, K.E. (2007): The fermentative capacity of growing pigs and adult sows fed diets with contrasting type and level of dietary fibre. *Livest. Sci.* 109, 111-114.
- Jost, M. (1991): Weidehaltung von Schweinen. *Schweizerische Milchzeitung*, N. 39,9, 24.September 1991.
- Kirchgessner, M., Kreuzer, M., Roth-Maier, D.A., Roth, F.X., Müller, H.L. (1991): Bestimmungsfaktoren der Güllecharakteristik beim Schwein. 2. Einfluss von Fütterungsintensität und den Anteilen an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter. *Agribiol. Res.* 44, 325-344.
- Kreuzer, M., Machmüller, A., Gerdemann, M.M., Hanneken, H., Wittmann, M. (1998): Reduction of gaseous loss from pig manure using feeds rich in easily-fermentable non-starch polysaccharide. *Anim. Feed Sci. Technol.* 73, 1-19.
- Le Goff, G., Noblet, J. (2001): Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 79, 2418-2427.
- Ly, J., Macias, M., Figueroa, V., Piloto, J.L. (1994): A note on the pattern of feed intake in pigs fed Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *J. Anim. Feed Sci.* 3, 201-205.
- Ly, J., Macias, M., Reyes, J.L., Figueroa, V. (1995): Ileal and faecal digestibility of Jerusalem artichokes (*Helianthus tuberosus* L.) in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 4, 195-205.
- Milnes, A.R., Fitzpatrick, R.W. (1989): Titanium and Zirconium Minerals. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (eds.): Minerals in Soil Environment. Soil Science Society of America (SSSA) Book Series no. 1, 1131-1196.
- Paditz, K., Kluth, H., Rodehutschord, M. (2004): Relationship between graded doses of three microbial phytases and digestible phosphorus in pigs. *Anim. Sci.* 78, 429-438.
- Piloto, J.L., Figueroa, V., Macias, M., Ly, J. (1998): A note on the use of Jerusalem artichokes (*Helianthus tuberosus*) in diets for growing pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 7, 213-217.

- Ratcliff, B. (1991): The role of the microflora in digestion. In: Fuller, M.F. (eds.): *In vitro* digestion for pigs and poultry. CAB International, Wallingford, 19-34.
- Raubuch, M. (1998): The impact of moisture and temperature on adenylate content and adenylate energy charge of microbial communities in the litter of coniferous forest soils. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 28, 415-419.
- Raubuch, M., Dyckmans, J., Jörgensen R.G., Kreutzfeldt M. (2002): Relation between respiration, ATP content and Adenylate Energy Charge (AEC) after incubation at different temperatures and after drying and rewetting. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 435-440.
- Resch, R., Guggenberger, T., Wiedner, G., Kasal, A., Wurm, K., Gruber, L., Ringdorfer, F., Buchgraber, K. (2006): Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. *Der Fortschrittliche Landwirt* 84, 20.
- Rivera Ferre, M.G., Edwards, S.A., Mayes, R.W., Riddoch, I., Hovell, F.D. DeB. (2001): The effect of season and level of concentrate on the voluntary intake and digestibility of herbage by outdoor sows. *Anim. Sci.* 72, 501-510.
- Rjinen, M. (2003): Energetic utilization of dietary fibre in pigs. Dissertation, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.
- Sappok, M., Pellikaan, W.F., Verstegen, M.W., Sundrum, A. (2008): Comparing methods and design of a new method assessing fibre rich feed stuffs in pig nutrition. *J. Sci. Food Agric.* (submitted)
- Scheffer, F., Schachtschnabel, P. (1989): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 12. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schenkel, H., Fourman, T., Breuer, J. (2004): Soil ingestion in dairy cows. In: Mengen- und Spurenelemente, 22. Workshop, 24.-25. September 2004, Friedrich Schiller Universität Jena. 1630-1632.
- Schweinehaltungshygiene-VO (1999): Verordnung über die hygienischen Anforderungen beim Halten von Schweinen. www.hannover.de/data/download/gesundheit_soiales/RH_nv/sweinyhy.pdf (24.8.08).
- Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H. (1989): *Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwerttabellen*, 5. Aufl. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. Stuttgart.
- Stern, S., Andresen, N. (2003): Performance, site preferences, foraging and excretory behaviour in relation to feed allowance of growing pigs on pasture. *Liv. Prod. Sci.* 79, 257-265.
- Thornton, I., Abrahams, P.W (1983): Soil ingestion - a major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land. *Sci. Total Environ.* 28, 287-294.
- Trejo-Lizama, W., Raubuch, M., Sundrum, A. (2004): Influence of forage on microbial activity in the hind gut of pigs and potential benefits to soil biology. *Proceedings of the 2nd SAFO Workshop*, Witzenhausen, Germany, 229-233.
- Van Soest, P.J. (1994): *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edn, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- VDLUFA (2003): *Methodenbuch Band VII Umweltanalytik. Methode 2.1.1 Nassaufschluss unter Druck*. VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Williams, B.A., Verstegen, M.W.A., Tamminga, S. (2001): Fermentation in the monogastric large intestine: its relation to animal health. *Nutr. Res. Rev.* 14, 207-227.
- Williams, B.A., Bosch, M.W., Boer, H., Verstegen, M.W.A., Tamminga, S. (2005): An *in vitro* batch culture method to assess potential fermentability of feed ingredients for monogastric diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124, 445-462.
- Yen, J.T., Nienaber, J.A., Hill, D.A., Pond, W.G. (1991): Potential contribution of absorbed volatile fatty acids to whole-animal requirements in conscious swine. *J. Anim. Sci.* 69, 2001-2012.
- Zacharias, B., Ott, H., Drochner, W. (2000): Zur Bestimmung des Markers Titanoxid in Futter und Kot nach einem photometrischen und atomabsorptionsspektrometrischen Verfahren. *VDLUFA-Schriftenreihe* 55, 87-89.

Anhang

Tabelle A1: Mittlere Lebendmasseentwicklung im gesamten Mastverlauf im 1. und 3. Mastdurchgang

Variante	MD 1				MD 3			
	K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m	K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m
Auftriebsgew. (kg)	30,9 ± 4,1	29,7 ± 5,0	30,5 ± 4,2	30,9 ± 4,6	29,9 ± 3,3	29,7 ± 1,8	31,1 ± 3,9	30,7 ± 3,6
Umtriebsgew. (kg)	66,2 ± 6,4	65,7 ± 7,1	65,1 ± 8,0	66,4 ± 8,2	70,9 ± 6,5	70,8 ± 5,1	66,4 ± 8,1	65,4 ± 7,5
Gew. Mastende (kg)	121 ± 5	123 ± 4	120 ± 6	120 ± 5	126 ± 7	124 ± 5	126 ± 6	125 ± 6
Mastdauer (d)	137 ± 10	143 ± 12	157 ± 16	156 ± 17	154 ± 12	157 ± 19	166 ± 13	171 ± 16

Tabelle A2: Mittlere Lebendmasseentwicklung im gesamten Mastverlauf im 2. und 4. Mastdurchgang

Variante	MD 2					MD 4				
	K _{m/w}	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TK _w	TK _m	K _{m/w}	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TG/T K _w	TG/T K _m
Auftriebsgew. (kg)	27,9 ± 2,9	28,1 ± 2,5	28,5 ± 2,4	27,3 ± 2,1	28,1 ± 2,9	28,4 ± 4,0	28,7 ± 2,6	31,0 ± 5,0	29,7 ± 2,6	29,2 ± 3,7
Umtriebsgew. (kg)	64,7 ± 6,1	65,1 ± 6,7	62,4 ± 7,0	65,4 ± 7,0	68,5 ± 7,2	69,3 ± 6,3	69,5 ± 6,7	68,0 ± 9,0	70,3 ± 7,9	69,9 ± 8,9
Gew. Mastende (kg)	119 ± 5	125 ± 9	122 ± 9	120 ± 5	121 ± 9	116 ± 6	115 ± 8	114 ± 9	124 ± 9	119 ± 12
Mastdauer (d)	178 ± 16	196 ± 18	200 ± 17	173 ± 25	172 ± 27	145 ± 0	145 ± 0	145 ± 0	145 ± 0	145 ± 0

Tabelle A 3: Mastdurchgang, Anzahl der Schlachttermine, Zeitraum der Schlachttermine pro Mastdurchgang, Tierzahl und Probenahme

MD	Anzahl ST ¹	Zeitraum	Tiere gesamt	Probenahme
1	5	1.9. – 19.10.2006	78	- Kotelett
2	4	1.3. – 4.5.2007	92	- Kotelett/Blut
3	3	26.7. - 6.9.2007	77	- Blut
4	2	17.12.2007 -24.1.2008	99	- Blut

¹ST = Schlachttermine

Tabelle A 4: Mittlere Handelsklasseneinstufungen der Mastdurchgänge 1 und 3

Variante		MD 1				MD 3			
		K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m	K _w	K _m	MS/ WG _w	MS/ WG _m
HKL E (MfA > 55%)	%	95,0	65,0	100,0	78,9	70,0	40,0	93,3	28,6
	Anzahl	19	13	20	15	7	2	14	4
HKL U (MfA 50 - 55%)	%	5,0	35,0	-	21,1	30,0	60,0	6,7	64,3
	Anzahl	1	7	-	4	3	3	1	9
HKL R (MfA 45- 50%)	%	-	-	-	-	-	-	-	7,1
	Anzahl	-	-	-	-	-	-	-	1

K_w = Kontroll-Variante weiblich, K_m = Kontroll-Variante männlich, R_w = Raufutter-Variante weiblich > Maissilage Anfangsmast/Weidelgras Endmast, R_m = Raufutter männlich > Maissilage Anfangsmast/Weidelgras Endmast

Tabelle A 5: Mittlere Handelsklasseneinstufungen der Mastdurchgänge 2 und 4

Variante		MD 2					MD 4				
		K _{m/w}	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TK _w	TK _m	K _{m/w}	SR/ KS m/w	WG/ KS m/w	TG/T K _w	TG/T K _m
HKL E (MfA > 55%)	%	80,0	82,4	66,7	94,7	88,9	93,3	100,0	86,7	84,2	83,3
	Anzahl	16	14	12	18	16	14	13	13	16	15
HKL U (MfA 50 - 55%)	%	20,0	17,6	33,3	5,3	11,1	6,7	-	13,3	15,8	16,7
	Anzahl	4 ¹	3 ¹	6 ²	1	2	1 ¹	-	2 ¹	3	3
HKL R (MfA 45 - 50%)	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ alle männlich

² 4 männlich, 2 weiblich

Tabelle A 6: Organbefunde bei der Schlachtung der verschiedenen Mastdurchgänge

Befundart	MD 1	MD 2	MD 3	MD 4
	mit Befund	mit Befund	mit Befund	mit Befund
			(%)	
Leberparasiten	13	36	32	23
Leber verw	8	27	17	25
Leber ausg	8	16	17	24
Leberentzündung	1	1	0	4
Darm Parasiten	5	32	30	10
Herzbeutelent	3	17	19	6
Lunge ggr	25	53	44	53
Lunge mgr	0	3	4	25
Lunge hgr	0	1	1	0
Brustfellentzündung ggr	0	2	4	4
Brustfellentzündung mgr	0	2	1	0
Brustfellentzündung hgr	0	3	1	0
Bauchfellentzündung ggr	0	0	0	0
Bauchfellentzündung mgr	0	1	0	0
Bauchfellentzündung hgr	0	1	0	0
Hautschäden	0	0	4	0
Abszesse	0	1	1	0
Nierenveränderung	5	2	0	14

Tabelle A 7: Mittlere Gehalte von Titan im Kot in den verschiedenen Kontroll- und Versuchsvarianten im Vergleich der Analysewerte nach Druck- und Kjeldahlaufschluss

Mastdurchgang	MD 1				MD 3					
Variante	K_w	K_m	MS_w	MS_m	K_w	K_m	MS_w	MS_m		
Ti Druckaufschluss (mg/kg TM)	3467 ± 365	3638 ± 389	3067 ± 444	3397 ± 432	3993 ± 607	3782 ± 436	3238 ± 315	3212 ± 482		
Variante	K_w	K_m	WG_w	WG_m	K_w	K_m	WG_w	WG_m		
Ti Kjeldahlaufschluss (mg/kg TM)	2891 ± 379	2784 ± 674	2312 ± 523	2084 ± 419	2701 ± 683	3035 ± 395	2698 ± 640	2582 ± 685		
Mastdurchgang	MD 2				MD 4					
Variante	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	SR_{m/w}	WG_{m/w}	TG_w	TG_m
Ti Druckaufschluss (mg/kg TM)	3392 ± 419	3392 ± 324	3167 ± 324	3178 ± 447	3097 ± 412	3676 ± 465	3318 ± 469	3232 ± 445	3280 ± 458	3095 ± 367
Variante	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m	K_{m/w}	KS_{m/w}	KS_{m/w}	TK_w	TK_m
Ti Kjeldahlaufschluss (mg/kg TM)	2111 ± 580	2257 ± 890	2067 ± 407	2067 ± 301	2147 ± 316	-	-	-	-	-