

**Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

***Reduktion des Zusatzes von anorganischem Phosphor im Futter -
Auswirkungen auf Mastleistung und Schlachtkörperbewertung von
Mastschweinen mit besonderer Betrachtung der Bruchfestigkeit und
Zusammensetzung der Knochen***

**INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Lars Nethe
Tierarzt aus Beckum**

**Berlin 2014
Journal-Nr.: 3735**

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Prof. Dr. Heike Tönhardt
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Karl Dietrich Weyrauch
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

piglets, phytase, phytic acid, phosphorus, calcium, finishing, performance, carcasses, osteocalcin, metacarpus, bone strength, breaking strength, bone mineralization, bone ash, diet, sex, growth rate, eutrophication, organic fertilizers

Tag der Promotion: 21.11.2014

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-554-1

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2014

Dissertation, Freie Universität Berlin

D 188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2014

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für meine Familie

*„There is nothing on the market that can replace phosphate on the scale
that we need it.”*

Dana Cordell

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis.....	4
2	Einleitung.....	6
3	Literaturübersicht.....	8
3.1	Phosphor im Organismus.....	8
3.2	Phosphor in der Landwirtschaft.....	9
3.3	Phosphoreintrag in die Umwelt.....	10
3.4	Phytatphosphor.....	11
3.5	Phytase.....	13
3.5.1	Endogene Phytase.....	14
3.5.2	Darmflora-sezernierte Phytase.....	15
3.5.3	Phytase in Pflanzen bzw. im Futtermittel.....	15
3.5.4	Exogen zugeführte Phytase.....	16
3.5.5	Weitere Einflussfaktoren der Phytaseeffizienz/-aktivität.....	17
3.6	Calcium-/Phosphorempfehlungen und Prinzip der Phasenfütterung.....	18
3.7	Entwicklung und Stoffwechselregulation des Knochengewebes.....	19
3.8	Indikatoren des Knochenstoffwechsels.....	23
3.8.1	Osteocalcin.....	23
3.8.2	Serum- β -Crosslaps.....	24
3.9	Zusammenfassung der Literatur und Zielstellung der Arbeit.....	25
4	Tiere, Material und Methoden.....	27
4.1	Tiere.....	27
4.2	Stallungen und Haltung.....	28
4.2.1	Ferkelaufzuchtphase.....	28
4.2.2	Mastphase und Tierausswahl.....	29
4.3	Fütterung.....	31
4.3.1	Phytase.....	31
4.3.2	Ferkelaufzuchtphase.....	31
4.3.3	Mastphase.....	32
4.4	Tränke.....	34
4.5	Medikamentelle Behandlungen.....	34
4.6	Lüftung/Klima.....	34

Inhaltsverzeichnis

4.7	Erfassung der Lebendmasse	35
4.8	Tägliche Zunahme	36
4.9	Futtermaufnahme, -aufwand und -verbrauch je Tier	36
4.10	Blutprobenentnahme und -aufbereitung	36
4.11	Bestimmung von Biomarkern des Knochenstoffwechsels im Blut	37
4.11.1	Osteocalcin	37
4.11.2	β -Crosslaps	37
4.12	Schlachtung	38
4.13	Marktwertbestimmung des Schlachtkörpers	38
4.14	Knochenbruchfestigkeit	39
4.15	Chemische Analyse der Knochen	40
4.16	Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor	41
4.17	Statistische Methoden	42
5	Ergebnisse	43
5.1	Ferkelaufzucht	43
5.2	Mastphase	44
5.2.1	Futter	44
5.2.2	Tägliche Zunahme	47
5.2.3	Lebendmasseentwicklung	49
5.2.4	Dauer der Mastphasen	50
5.3	Schlachtkörperbewertung	51
5.4	Biomarker des Knochenstoffwechsels im Blut	52
5.4.1	Osteocalcin	52
5.4.2	β -Crosslaps	53
5.5	Knochenbruchfestigkeit	54
5.6	Mineralisierung des Knochens	55
5.7	Korrelationen	56
5.8	Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor	58
5.9	Auffälligkeiten	59
6	Diskussion	60
6.1	Haltung und Fütterung	60
6.2	Leistungen	61
6.2.1	Ferkelaufzuchtphase	61

Inhaltsverzeichnis

6.2.2	Mastphase.....	62
6.3	Wirtschaftlichkeit.....	65
6.4	Blutwerte.....	66
6.4.1	Osteocalcin.....	66
6.4.2	β -Crosslaps.....	68
6.4.3	Einfluss des Geschlechts.....	69
6.5	Untersuchungen am Knochen.....	70
6.5.1	Tierauswahl.....	72
6.6	Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor.....	72
6.7	Fazit.....	73
7	Zusammenfassung.....	75
8	Summary.....	77
9	Literaturverzeichnis.....	79
10	Tabellenverzeichnis:.....	92
11	Abbildungsverzeichnis:.....	93
12	Diagrammverzeichnis:.....	93
13	Anhang.....	94
13.1	Futterdeklaration.....	94
13.2	Interaktionen (Diät \times Geschlecht).....	105
13.3	Interaktionen (Diät \times tägl. Zunahme).....	108
13.4	Tierausfälle.....	111
14	Publikationsverzeichnis.....	112
15	Danksagung.....	113
16	Selbstständigkeitserklärung.....	114

1 Abkürzungsverzeichnis

1,25-(OH) ₂ D ₃	wirksame Form von Vitamin D
AK	Antikörper
Ala	Alanin
Arg	Arginin
As	Aminosäure
AZ	Aktenzeichen
BGP	bone Gla protein (= Osteocalcin)
BMC	bone mineral content (Knochenmineralstoffgehalt)
BMD	bone mineral density (Knochenmineralstoffdichte)
BW	body weight
CBS	Centraalbureau voor Schimmelcultures
CTX/SCL	β-Crosslaps
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DüV	Düngeverordnung
EC	Enzyme Commission Number (Klassifizierungssystem für Enzyme)
ELISA	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
FAZ	Ferkelaufzuchtphase
fffr TS	fast fettfreie Trockensubstanz
F _{max}	maximal angewandte Kraft
FTU/PTU/FYT/PU	Einheit der Phytase
GH	growth hormone (= Wachstumshormon)
Gla	γ-Carboxyglutaminsäurerest
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glycin
ha	Hektar
His	Histidin
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
i. V.	in Verbindung
IGF-I	insulin-like growth factor 1 (= Insulin-ähnlicher Wachstumsfaktor 1)
IP	Inositolphosphat
IRMA	immunradiometrisches Assay
K	Kontrollgruppe (Standard-P-reduziert), Kalium
L bei F _{max}	zurückgelegte Strecke von Längenposition „0 mm“ bis zur Position, an der F _{max} anlag
LF	Landwirtschaftliche Fläche
LM	Lebendmasse
LUFA	landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
Lys	Lysin
McIII	dritter Metakarpus

Abkürzungsverzeichnis

MCP/DCP/DFP	Monocalcium-/Dicalciumphosphat/defluoriniertes Phosphat
N	Newton, Stickstoff
OC	Osteocalcin
OCD	Osteochondrosis dissecans
PCV	Porcines Circovirus
P _i	anorganisches Phosphat
PTH	Parathormon
R	Rest
RFID	radio-frequency identification (Identifizierung mittels elektromagnetischer Wellen)
RIA	Radioimmunassay
βAsp	β-isomerisierte Asparaginsäure (gealtert)
TGF-β	transforming growth factor β (= transformierender Wachstumsfaktor)
TierSchNutzV	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung
TS	Trockensubstanz
uS	ursprüngliche Substanz
V	Versuchsgruppe (stark P-abgesenkt)
W	Wirtschaftsdünger

2 Einleitung

Im Jahr 2012 machte die Produktion von Schweinefleisch mit knapp 5,5 Mio. Tonnen in der Bundesrepublik Deutschland 67,8 % der gewerblichen Fleischerzeugung aus (Statistisches Bundesamt, 2013). Innerhalb der EU ist Deutschland ein bedeutendes Schweinemastland (Windhorst, 2012). Die Struktur der deutschen Betriebe unterliegt jedoch einer enormen Veränderung. Während die Anzahl der Halter in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2009 um etwa die Hälfte zurückgegangen ist, stieg die Gesamtanzahl der Schweine um 4,2 % an. Daraus resultiert, dass die einzelnen Bestände zunehmend größer werden. Hielt der durchschnittliche Betrieb im Jahr 2000 noch 205 Schweine, erhöhte sich die Anzahl bis 2009 auf 427 Tiere. Dabei war die Zahl der gehaltenen Zuchtsauen rückläufig, während die der Mastschweine anstieg (Agrarmarkt Informationsgesellschaft, 2011).

Schweine sind Allesfresser. Sie sind auf leicht verfügbare Phosphorquellen in der Nahrung angewiesen, die vor allem in Futtermitteln tierischer Herkunft zu finden sind. Seitdem im Jahr 2000 die Verfütterung tierischer Nebenprodukte verboten wurde, musste der Ration leicht verfügbarer anorganischer Phosphor zugesetzt werden. Dieser wird aus dem Ausland importiert.

Ein Teil dieses zugesetzten Phosphors wird unresorbiert bzw. endogen sezerniert ausgeschieden. Über das Ausbringen der Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Mist) wird die Nährstoffmenge im regionalen Kreislauf durch externen Zusatz erhöht, mit teils gravierenden Folgen für das Ökosystem.

Vor allem in Tier-Ballungsgebieten wächst das Bewusstsein für die Auswirkungen der Tierhaltung auf die Umwelt (Jongbloed et al., 1999). Deswegen werden wachsend Bestrebungen unternommen, die den Nährstoffausstoß der Landwirtschaft, insbesondere der Tierhaltung, reduzieren können. So kann auf einen Großteil des supplementierten Phosphors verzichtet werden, wenn dem Futter Phytase hinzugefügt wird. Phytase ist ein Enzym, welches in der Lage ist, Phosphor aus dem vor allem in Pflanzen vorkommenden komplexen Molekül Phytat zu lösen. Somit werden die Phosphorvorkommen der pflanzlichen Futtermittel für die Resorption im Monogastrierverdauungstrakt besser verfügbar gemacht. Im Umkehrschluss sinkt der Anteil nicht aufgenommenen Phosphors in den Fäzes.

Zahlreiche Studien untersuchten bereits die Auswirkungen einer phosphorreduzierten Fütterung unter gleichzeitiger Erhöhung mikrobieller Phytase im Futter (Qian et al., 1996a; Kies et al., 2006; Wetscherek-Seipelt et al., 2007; Bühler et al., 2010). Dabei wurde besonders

die Entwicklung bestimmter Lebendmasseabschnitte in der Ferkelaufzucht oder Mast betrachtet.

Im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse wurden bisher Versuche bei Ferkeln (Stalljohann und Patzelt, 2010) und Mastschweinen (Walgern et al., 2011) bezüglich der Verträglichkeit einer Phosphorabsenkung im Futter durchgeführt. Über die Entwicklung von Tieren, die ab der Ferkelaufzucht bis zum Erreichen der Endmastmasse durchgehend mit phosphorreduziertem Futter versorgt wurden, konnten bisher keine Aussagen gemacht werden. Des Weiteren liegen wenige Daten zum Verzicht von anorganischem Phosphor in bestimmten Mastabschnitten vor.

Phosphor hat neben vielen anderen Aufgaben im Organismus eine besondere Stellung in der Entwicklung und Erhaltung des Skelettsystems. Somit sind besonders die Effekte einer Phosphorreduzierung auf die Knochen von wissenschaftlichem Interesse.

In der vorliegenden Arbeit sollte die Eignung einer stark Phosphor-reduzierten Ration im Vergleich zu einer für Eigenmischer in Westfalen praxisüblichen Standard-Phosphor-reduzierten Ration für die Aufzucht und Mast von Schweinen unter gleichzeitiger Zugabe einer mikrobiellen Phytase näher beleuchtet werden.

3 Literaturübersicht

3.1 Phosphor im Organismus

Phosphor (P) ist das 15. Element aus dem Periodensystem und gehört zur chemischen Gruppe der Nichtmetalle. Das Mengenelement ist essentieller Bestandteil vieler Biomoleküle in Pflanzen und Tieren. Neben der wichtigen Funktion des Rückgrats der DNS/RNS, ist Phosphat (in Nukleotiden) auch am Energietransport (NTP, Kreatinphosphat, etc.) und als Messenger (cAMP, GTP, etc.) an der Signaltransduktion im Organismus beteiligt. Im Blut stellt Phosphat, als Bestandteil eines komplexen Puffersystems, die physiologische Aufrechterhaltung des Säure-Basen-Haushaltes sicher. Auch in zahlreichen Verbindungen von (Co-)Enzymen ist P zu finden.

Die Menge des Phosphors im Blutplasma beträgt bei Schweinen 2,1-3,3 mmol/l (Heinritzi und Plonait, 2004). Außerdem bestehen Zellmembranen zum größten Teil aus Phospholipiden. Ungefähr 80 % des im Körper vorkommenden Phosphors befindet sich im Skelett gebunden. Es ist Bestandteil des Hydroxyapatits ($\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$), was die Festigkeit und Belastbarkeit der Knochen begründet (von Engelhardt und Breves, 2010).

Phosphor wird im Dünndarm in Form von anorganischem Phosphat (HPO_4^{2-}), kurz P_i resorbiert. Die Aufnahme erfolgt vor allem im Jejunum, vermittelt durch in der Bürstensaummembran befindliche 2Na-Phosphat-Cotransporter. Bei hohen Ca/P-Verhältnissen bilden sich schwerlösliche Präzipitate, wodurch die P-Absorptionsfähigkeit im Verdauungstrakt sinkt (Hollinger und Pattee, 1956). Auch andere Kationen, wie Magnesium und Aluminium, sind in der Lage solche Komplexe zu bilden. Des Weiteren ist gebundenes, anorganisches Phosphat durch die puffernde Wirkung in der Lage den pH-Wert im Magen zu erhöhen (Stein, 2002).

Die Phosphatausscheidung findet hauptsächlich über die Niere statt. Ein Teil des Phosphats wird jedoch auch über die Fäzes ausgeschieden. Je größer das Ca/P-Verhältnis in der Ingesta ist, desto mehr Phosphor bleibt unresorbiert in der Fäzes zurück (Hollinger und Pattee, 1956). Die Absorptionsfähigkeit von Calcium und Phosphor im Darm ist in bestimmtem Maße regulierbar. Entsteht im Organismus ein Calciummangel, kann die Absorption sowohl durch Parathormon, als auch 1,25-(OH) $_2$ D $_3$ -abhängig gesteigert werden. Steigt der Bedarf an zusätzlichem Phosphor, erfolgt die Absorptionssteigerung lediglich 1,25-(OH) $_2$ D $_3$ -vermittelt (Berne et al., 2004).

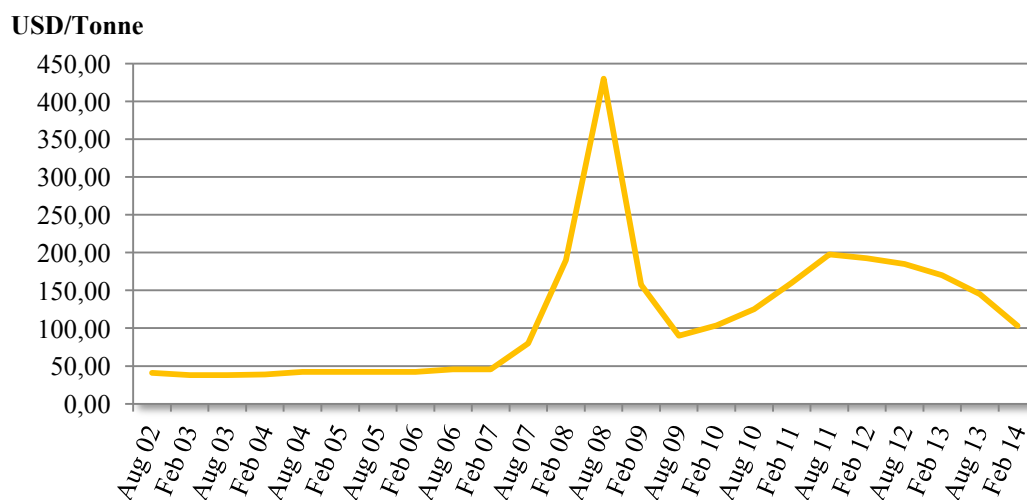
3.2 Phosphor in der Landwirtschaft

In der Landwirtschaft ist Phosphor Bestandteil vieler Dünge- und Pflanzenschutzmittel. Da ein ausreichendes Angebot an verfügbarem Phosphor in pflanzlichen Futtermitteln vor allem während Phasen hohen Bedarfs nur schwer realisierbar ist (Rodehutsord et al., 2002), wird anorganischer Phosphor in Form von Mono- bzw. Dicalciumphosphat oder defluoriniertem Phosphat (MCP, DCP, DFP) (Huyghebaert et al., 2009) als leicht verfügbares Mineral zugemischt.

Durch das EU-Verbot des Einsatzes von Fleischknochenmehl und tierischen Nebenprodukten im Futter im Jahr 2000 hat die Ergänzung mit anorganischem Phosphor an Wichtigkeit gewonnen (Selle und Ravindran, 2008). Die Versorgung mit ausreichend Mineralien wird damit vor allem in Mischfuttermitteln für Monogastrier sichergestellt.

Mit wachsender Weltbevölkerung steigt der Bedarf an Nahrungsmitteln sowohl pflanzlicher als auch tierischer Herkunft. Die erhöhte Nahrungsmittelproduktion geht mit einer erhöhten Nachfrage nach Phosphat und anderen wichtigen Mengenelementen einher. Erschwerend zum steigenden Phosphatbedarf kommt hinzu, dass die knappen, montanen Rohphosphatreserven laut Gunther (2005) und Smil (2000) in 50-100 Jahren erschöpft sein können. Weltweit dominieren China, die USA und Marokko (+Westsahara) den Großteil der Phosphorgewinnung aus Erzminen (Cordell et al., 2009). Das führt zu einem oligopolistischen Marktverhalten mit unsicherer Preislage dieser limitierten Ressource.

Die oben genannten Gründe (Knappheit und erhöhter Bedarf) hatten in den letzten Jahren enorme Preiserhöhungen zur Folge. Kostete eine Tonne Rohphosphat im August 2006 noch 45,50 USD, erreichte der Preis im August 2008 sein Maximum von 430,00 USD (www.indexmundi.com, 2013). Das ursprüngliche Preisniveau wurde nie wieder erreicht.



Diag. 1: Entwicklung der Rohphosphatpreise (Marokko)

erstellt vom Autor nach Daten von www.indexmundi.com (2013) in Halbjahresabschnitten

3.3 Phosphoreintrag in die Umwelt

Durch mineralisch zugesetzten Phosphor im Futter erhöht sich auch der im Verdauungstrakt nicht resorbierte Anteil, sodass die Phosphorausscheidung in den Wirtschaftsdüngern (Gülle, Jauche, Mist) ansteigt. Die Substanzen werden auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht und erzeugen zusammen mit Kunstdüngern nicht selten ein Überangebot an Nährstoffen. In der Folge findet eine Akkumulation von Phosphor im Boden statt, die häufig gemeinsam mit der von Stickstoff aus Wirtschafts- und Mineraldüngern auftritt (Steen, 1998). Ein anschließendes Ausspülen hat eine Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen in Gewässern zur Folge. Dieses hohe Nährstoffaufkommen führt wiederum zur Eutrophierung der Gewässer, sodass Wasserpflanzen unkontrolliert wuchern und die Ökologie aus dem Gleichgewicht gerät. Für die Verhinderung der Eutrophierung spielt dabei die Minimierung des Phosphoreintrags ins Wasser eine größere Rolle als die Minimierung des Stickstoffeintrags (Schindler et al., 2008).

Das Ausbringen von Nährstoffen auf landwirtschaftlichen Flächen regelt in Deutschland die *„Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen“*, kurz Düngeverordnung (DüV; 2007). Neben Mindestabständen zu offenen Gewässern (§ 3 Abs. 6 und 7) sind darin auch Höchstgrenzen bei Nährstoffüberschüssen beschrieben.

Landwirte müssen in einem jährlichen Nährstoffvergleich (§ 5) eine Bilanzierung der ausgebrachten und entzogenen Nährstoffmengen anfertigen (= Saldo). Pro Jahr dürfen höchstens ein Stickstoffüberschuss von 60 kg und ein Phosphatüberschuss (als P₂O₅-Äquivalent) von 20 kg je Hektar (ha) entstehen. Bezüglich Stickstoff wird ein dreijähriger Mittelwert, bei Phosphat ein sechsjähriger Mittelwert errechnet (Fuchs, 2010). Überschreiten diese die oben genannten Maximalüberschüsse, können in Zukunft Bußgelder verhängt und/oder Prämienkürzungen durchgeführt werden (Referat Landbau, 2012). Durch diese finanziellen Sanktionen ist es auch im Interesse der landwirtschaftlichen Betriebe die erlaubten Nährstoffbelastungen nicht zu überschreiten.

Die Engstelle Ackerfläche betrifft vor allem Regionen mit hohen Tierdichten. Ein sinkender Nährstoffgehalt im Wirtschaftsdünger entlastet landwirtschaftliche Betriebe, sodass sich (bei gleichbleibender Fläche) die ausgebrachte Nährstoffmenge verringert.

3.4 Phytatphosphor

Phytatphosphor besteht aus einem mit Phosphorsäureestern substituierten Inositolring. Je nach Menge der Phosphatsubstituenten spricht man von Inositolphosphat (IP) 1-6. Die am häufigsten vorkommende Verbindung ist IP6 (auch: *myo*-Inositol-1,2,3,4,5,6-Hexakisphosphat, Phytinsäure, Phytat). Phytat wird bevorzugt mit der HPLC-Methode analysiert (Harland et al., 2004).

In Getreide und Leguminosen befindet sich der größte Teil des Phosphors in Form von gebundenem Phytatphosphor (al-Asheh, 1995). Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den wichtigsten Futterkomponenten bezüglich Gesamt- und Phytatphosphorgehalt sowie deren Relation zueinander.

Tab. 1: Phosphorgehalt ausgewählter Futtermittel

Futtermittel	Total P		Phytat-P		Phytate-P/Total-P (%)	
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		
Weizenkleie	9,5	8,8	7,2	7,9	76	90
Mais	2,8	-	1,9	-	68	-
Weizen	3,3	4,0	2,2	2,9	67	73
Triticale	3,7	4,0	2,5	2,8	67	70
Gerste	3,7	4,2	2,2	2,6	60	63
Hafer	3,6	3,7	2,1	2,5	59	67
Sojabohnen*	6,6	-	3,5	-	53	-
Raps*	11,2	-	4,0	-	36	-

Angaben der Mittelwerte von Total-P und Phytat-P in g/kg Trockenmasse, *extrahiert
jeweils linke Spalte nach Eeckhout und De Paepe (1994)
rechte Spalte nach Steiner et al. (2007)

Die nutritive Verwertung des auf diese Weise gebundenen Phosphors wird durch das Enzym Phytase ermöglicht. Jedoch hängt die Degradation durch das Enzym erheblich von der Zugänglichkeit des Substrats (Phytat) ab. Steigt der pH-Wert im Verdauungstrakt, geht das Phytat in einen weniger löslichen Zustand über (Selle und Ravindran, 2008) und die Verwertung wird erschwert.

Phytase wird bei Wiederkäuern durch im Pansen befindliche Mikroben synthetisiert (Raun et al., 1956; Yanke et al., 1998). Im Gegensatz dazu fehlen dem Schwein ausreichende Mengen des Enzyms, sodass der Phytinphosphor schlecht bis gar nicht verwertet werden kann. Er wird zum größten Teil unresorbiert ausgeschieden. Um die Verdaulichkeit zu erhöhen, wird künstliche Phytase zugemischt. Als positiver Nebeneffekt sinkt die Phosphorausscheidung (Simons et al., 1990).

In Pflanzen gilt Phytat als bedeutende P-Speicherform während der Keimung und Entwicklung (Raboy, 2003). Als dominierende Form des Phosphors weist es viele Interaktionen mit unterschiedlichen Stoffen auf. In *in vitro* Versuchen von Carnovale et al. (1988) führte die Zugabe von Phytinsäure zu unterschiedlichen Proteinen zu einem negativen Einfluss auf deren Verdaulichkeit. Das deutet auf die Eigenschaft hin, auch mit Proteinen Komplexe einzugehen. Die komplexierten Proteine sind schlechter löslich, was deren Verdauung und Resorption erschwert.

Phytat kommt im Verdauungstrakt größtenteils als negativ geladenes Molekül vor und besitzt dadurch eine hohe Affinität Ionenbindungen mit anderen Substanzen einzugehen (Pontoppidan et al., 2007). Es geht Komplexe mit Kationen wie Ca^{2+} (Qian et al., 1996b), Zn^{2+} (Davies und Nightingale, 1975) und Mg^{2+} (Cheryan et al., 1983) ein. Die Zugänglichkeit dieser Mineralien ist dadurch vermindert. Durch die enzymatische Spaltung des Phytats erfolgt eine (Wieder-)Freisetzung der Mineralstoffe. Der Einsatz von Phytase bewirkt somit neben der besseren Verwertbarkeit des Phytats auch eine Erhöhung der Zugänglichkeit zuvor gebundener Mineralien.

In Anbetracht der oben aufgeführten negativen Wechselwirkung von Phytat ist es naheliegend, Pflanzen mit veränderter Phosphorkomposition zu züchten. So wäre ein verminderter Phytinphosphorgehalt bei gleichbleibender Gesamtposphormenge optimal.

Doch Phytin weist in der Ernährung auch nützliche Aspekte auf. Bei Menschen kann Phytinsäure für Diabetiker eine positive Wirkung haben, indem der postprandiale Blutzuckeranstieg abgeschwächt und verzögert wird. Dieser Mechanismus ist auf die Bindung von Phytin mit Calcium zurück zu führen (Yoon et al., 1983). Als Cofaktor des stärkespaltenden Enzyms Amylase bewirkt der Entzug von Calcium eine gesenkte Amylaseaktivität mit abgeschwächter Zuckerfreisetzung.

Phytat wirkt auch antioxidativ (Graf et al., 1987). Graf und Eaton (1993) postulierten, dass es durch den eisenbindenden Charakter die Colonschleimhaut vor Angriffen freier Radikale schützen kann. Bei Versuchen mit Ratten wiesen Pretlow et al. (1992) eine antikanzerogene Wirkung bei künstlich induzierten Colontumoren nach. Befand sich im Trinkwasser 2 % Natriumphytat, reduzierte sich die Tumorzinzidenz von 83 % (ohne Phytat) auf 25 % (mit Phytat). Auch gegen die Entstehung von Mammakarzinomen hat Phytat einen schützenden Effekt gezeigt (Vucenik et al., 1993).

3.5 Phytase

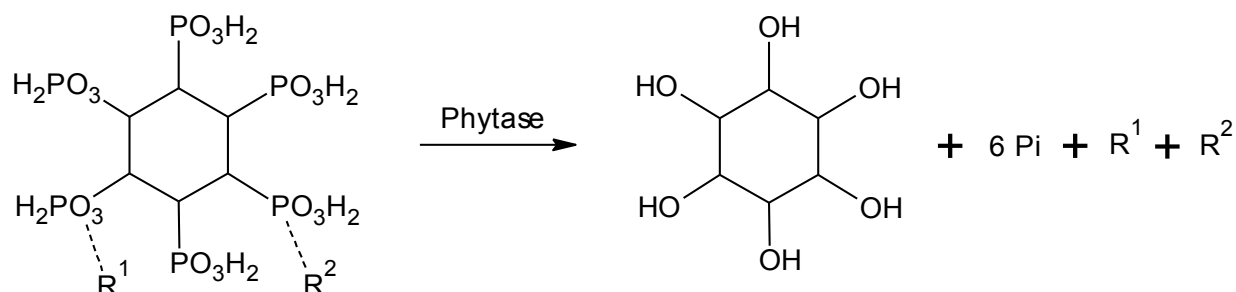


Abb. 1: vereinfachte Reaktionsgleichung

**Phytathydrolyse zu Inositol, anorganischem Phosphat (Pi) und Resten ($R^{1/2}$),
erstellt vom Autor mit der Software ACD/ChemSketch (Freeware), Version: 12.01 von
Advanced Chemistry Development, Inc. (2010)**

Phytasen (*myo*-Inositol-Hexakisphosphat-Phosphohydrolasen) sind in der Lage den im Phytat gebundenen anorganischen Phosphor durch hydrolytische Dephosphorylierung abzuspalten. Als Folge liegt der Phosphor frei und somit für viele Organismen besser verfügbar vor. Dieses Enzym wurde erstmals im Jahre 1907 in Reiskleie nachgewiesen (Suzuki et al., 1907). Die erste weltweit angebotene mikrobielle Phytase kam 1991 auf den Markt. Es handelte sich hierbei um das auch im vorliegenden Versuch eingesetzte Produkt Natuphos[®] (Lei et al., 2013).

Die Menge an Phytase wird in Einheiten (Units) angegeben (FTU, PTU, FYT, PU). Eine FTU entspricht der Enzymmenge, die pro Minute aus einer 5,1 millimolaren Natriumphytatlösung bei pH 5,5 und einer Temperatur von 37 °C einen μmol anorganischen Phosphor löst (Engelen et al., 1994). In Tabelle 2 sind einige wichtige Vertreter mit ihren spezifischen Aktivitäten sowie pH- und Temperaturoptima darstellt.

Tab. 2: Phytasen in ausgewählten Organismen

Quelle	spezifische Aktivität (FTU/mg)	Temperatur-optimum (°C)	pH-Optimum
Pilz:			
<i>Aspergillus niger</i> van Teighem	22.592	52-55	2,5
<i>Penicillium oxalicum</i> PJ3	307	55	4,5
Bakterium:			
<i>Bacillus</i> sp.	16	55	7,0
<i>Klebsiella</i> sp. ASR1	99	45	5,0
<i>Obesumbacterium proteus</i>	310	40-45	4,9
Hefe:			
<i>Candida krusei</i>	-	40	4,6
<i>Kodamaea</i> (Meerhefe)	16,5	65	5,0

nach Yao et al. (2012)

Nach Selle und Ravindran (2008) werden im Folgenden wichtige Merkmale der vier relevanten Herkünfte von Phytasen in der Schweinefütterung besprochen. Die Phytasen unterscheiden sich in Eigenschaft und Wirkungsgrad teilweise sehr stark voneinander und beeinflussen sich zum Teil gegenseitig:

3.5.1 Endogene Phytase

Endogene Phytasen werden hauptsächlich vom Dünndarm sezerniert. Laut Selle und Ravindran (2007) besitzen Broiler eine Anpassungsfähigkeit der Phytaseaktivität, die auf wechselnde P-Angebote im Futter reagiert. Applegate et al. (2003) haben im Geflügelfutter den normalen Calciumgehalt von ca. 9 g/kg auf 4 g/kg reduziert. Dabei wurde die Beobachtung gemacht, dass die Aktivität der intestinalen Phytase durch einen höheren Calciumgehalt vermindert wurde. Der Wirkungsgrad dieser Enzymgruppe war in den Untersuchungen von Hu et al. (1996) an Schweinedärmen für die weniger phosphorylierten Phytinsäuren (IP3) am höchsten und nahm mit steigender Phosphatsupplementierung am Inositolring über IP4 bis IP5 und IP6 ab. Dabei wurden die höchsten Aktivitäten im Jejunum festgestellt. Das Duodenum zeigte nur noch 47 % und das Ileum 35 % der IP3-Spaltungsaktivität des Jejunums.

Beim Menschen wurde die höchste Aktivität im Duodenum nachgewiesen. Allerdings hält sich, bedingt durch die begrenzte Menge des Enzyms, auch beim Menschen die Fähigkeit Phytat aufzuspalten in Grenzen (Iqbal et al., 1994).

3.5.2 Darmflora-sezernierte Phytase

Die Fermentation von Phytatphosphor durch Darmflora-sezernierte mikrobielle Phytase findet bei Schweinen in der Passage des Enddarms statt (Skoglund et al., 1997; Seynaeve et al., 2000). Die dort ansässigen Bakterien tragen dazu bei, dass nur ein geringer Teil des Gesamtphosphors in der Ingesta den Verdauungstrakt als Phytatphosphor verlässt (Baxter et al., 2003). Da der Großteil der P-Resorption im oberen Dünndarmtrakt stattfindet, wird der "spät gelöste" anorganische Phosphor unresorbiert ausgeschieden (Crenshaw, 2001). Bei Wiederkäuern läuft die Phytatspaltung durch Mikroben-stämmige Phytasen schon im Pansen ab (Raun et al., 1956; Yanke et al., 1998). Im nachfolgenden Verdauungstrakt kann der frei gewordene Phosphor dann resorbiert werden. Deswegen löst die rein pflanzliche Ernährung bei Ruminanten im Gegensatz zum Monogastrier kein P-Defizit aus.

3.5.3 Phytase in Pflanzen bzw. im Futtermittel

Bis vor Kurzem wurde die pflanzeneigene Phytase im Großteil der Futtermittel als ein zu vernachlässigbarer Faktor angesehen (Selle und Ravindran, 2008). Abhängig von der Literaturquelle wurden jedoch beträchtliche Phytasegehalte in pflanzlichen Futtermitteln nachgewiesen. Eeckhout und De Paepe (1994) und Steiner et al. (2007) untersuchten die Phytasegehalte der relevantesten Grundfuttermittel für Schweine und kamen dabei zu stark abweichenden Ergebnissen. So fanden sie in Weizen im Mittel 1193 FTU/kg bzw. 2886 FTU/kg, bei Triticale 1688 FTU/kg bzw. 2799 FTU/kg und bei Gerste 582 FTU/kg bzw. 2323 FTU/kg. In Weizenkleie wies die Phytaseaktivität sogar Gehalte von 4601 FTU/kg bzw. 9945 FTU/kg auf. Geringe Phytaseaktivitäten wurden in Mais (15 FTU/kg), Sojabohnen (8-40 FTU/kg) und Hafer (42 FTU/kg) nachgewiesen (Eeckhout und De Paepe, 1994). Steiner et al. (2007) überprüften davon nur Hafer, wiesen jedoch Aktivitäten von 496 FTU/kg nach. Weiterhin beobachteten Eeckhout und De Paepe (1994), dass offensichtlich keine lineare Beziehung zwischen dem P-Gehalt und der Phytaseaktivität in ausgewählten Futterpflanzen festzustellen war.

Pflanzliche Phytasen beeinflussen die Wirkung exogen zugeführter Phytase (Rodehutsord et al., 1996). Je höher der Anteil pflanzeneigener Phytase in einem Futter war, desto geringer fiel die zusätzliche P-Freisetzung bei gleichem Anteil einer exogen eingemischten Phytase aus.

3.5.4 Exogen zugeführte Phytase

Die natürlich vorkommenden Enzymaktivitäten sind weder im Verdauungstrakt von Monogastriern noch im Futter ausreichend vorhanden, um den Zusatz von anorganischem Phosphor und somit die Phosphorausscheidung signifikant senken zu können. Deswegen ist es seit den 1990er Jahren kommerziell möglich, der Ration zusätzlich Phytase beizumischen und mittlerweile gängige Praxis (Lenis und Jongbloed, 1999). Je nachdem an welchem C-Atom des Inositolrings die P-Abspaltung beginnt, werden die Phytasen in verschiedene Klassen eingeteilt. Es gibt 3-Phytasen, 5-Phytasen und 6-Phytasen (Greiner und Konietzny, 2006), um nur die wichtigsten zu nennen. Bei dem in dieser Arbeit eingesetzten Enzym handelte es sich um einen Vertreter der 3-Phytasen. Als Pulver, Granulat oder flüssig wird es der Ration zugesetzt. Jede Phytase hat ein bestimmtes Temperatur- und pH-Optimum, wodurch sich die Aktivität nur auf bestimmte Bereiche des Verdauungstrakts beschränkt. Um stabile und hochleistungsfähige Phytasen zu erhalten, bedient man sich der gentechnischen Modifikation verschiedener Hefen, Pilze (in dieser Arbeit: *Aspergillus niger*) oder Bakterien. Der optimale pH-Wert der *Aspergillus niger* – Phytase liegt bei 5,5. Sie zeigt aber noch 35-80 % ihrer Aktivität bei pH 6,0-6,5 (Engelen et al., 1994). Somit findet die Phytathydrolyse im Magen und in Teilen des Dünndarms statt.

Die Verbesserung der Phytatnutzung durch Phytasezusatz ist Gegenstand vieler Studien. Allerdings gibt es verschiedene Angaben zur „Effektiven Dosis“. Wetscherek-Seipelt et al. (2007) fütterten Mastschweine dreiphasig mit einer Ration auf Mais-Sojabohnenbasis. Der Zusatz an MCP betrug in der Positivkontrolle jeweils 6,0, 4,5 und 3,4 g/kg Futter und in der Negativkontrolle 3,2, 1,3 und 0,0 g/kg (P-defizient). Als weitere Rationen wurde das Futter der Negativkontrolle mit 100, 500, 1000 und 10000 FTU/kg Phytase versetzt. Die Autoren beobachteten bereits bei dem Zusatz von 500 FTU/kg zur Negativkontrolle höhere Tageszunahmen gegenüber der Positivkontrolle. Eine Erhöhung der Phytasedosis auf 1.000 FTU/kg verbesserte die Tageszunahme weiterhin, während die Zugabe von 10.000 FTU/kg Phytase darauf keinen zusätzlichen positiven Effekt hatte.

Bei Ferkeln berichteten Kies et al. (2006) von einer dosisabhängigen Verbesserung der Tageszunahme und Futtermittelverwertung bis zu 15.000 FTU/kg Phytasezusatz. Außerdem stieg die Verwertung von P, Mg, Na, K und Cu zusätzlich an.

Die Ergebnisse der stark erhöhten Phytasedosen im Futter implizieren eine hohe Produktsicherheit und zeigen, dass unabsichtliche Überdosierungen (im überprüften Rahmen) keine negativen Effekte hervorrufen (Wetscherek-Seipelt et al., 2007).

Phytasen steigerten auch die Verwertung von Zink (Pallauf et al., 1992; Adeola et al., 1995; Jondreville et al., 2005) und wirkten sich günstig auf die Proteinverwertung aus (Ketaren et al., 1993).

Weitere positive Effekte sind durch das Einweichen (soaking) der Ration zu erzielen. Liu et al. (1997) fütterten 63 Börgen (18,7 kg Lebendmasse) sechs Wochen lang mit eingeweichtem Futter (2 Teile Wasser, 1 Teil Futter, 2 Stunden Mischzeit bei 30 °C) auf Mais-Sojabohnenbasis mit einer Phytaseaktivität von nur 250 FTU/kg. Sie erzielten vergleichbare Ergebnisse (P-Absorption, Futterverwertung) wie bei Einsatz einer Trockenfuttermischung und doppelter Phytaseaktivität (500 FTU/kg). Dagegen hatte das Einweichen von Futter auf Gersten-Sojabohnenbasis in den Untersuchungen von Näsi und Helander (1994) keinen positiven Effekt auf die P-Verwertung.

Ein Nebeneffekt der verbesserten Phosphornutzung ist die damit einhergehende Reduzierung der Phosphorauscheidung in Wirtschaftsdüngern. Dies ist nach Angaben von Harper et al. (1997) um 30-40 %, nach Kim et al. (2010) sogar um bis zu 50 % möglich.

3.5.5 Weitere Einflussfaktoren der Phytaseeffizienz/-aktivität

Wie jedes Enzym wird auch die Phytase durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. So spielen die Temperatur, der pH-Wert und die Anwesenheit von ausreichend Wasser während der Hydrolyse eine entscheidende Rolle. Ein weites Ca/P-Verhältnis wirkt sich negativ auf die Phytaseeffizienz aus (Qian et al., 1996a). Das Verändern der Ca/P-Ratio von 2,0:1 auf 1,2:1 führte zu einer verbesserten Phytasewirkung. Ein großer Einflussfaktor ist dabei das Calcium. Nach Fisher (1992) und Wise (1983) begünstigt ein hoher Calciumgehalt die Komplexbildung mit Phytat. Somit ist das Substrat für die Phytase nicht mehr frei zugänglich. Wie bereits erwähnt stellten Applegate et al. (2003) eine Aktivitätsminderung der intestinalen Phytase fest, die durch einen hohen Calciumgehalt im Futter bedingt war. Auch die zugesetzte mikrobielle Phytase wird durch hohe Calciumgehalte in ihrer Aktivität negativ beeinflusst (Lei et al., 1994).

Weiterhin hat die technische Verarbeitung, z.B. die thermische Behandlung während des Pelletierens/Granulierens, Auswirkungen auf die Phytase (Slominski et al., 2007). Je nach Stabilität und Noxenexposition kann die Enzymaktivität abgeschwächt (Jongbloed und Kemme, 1990) oder komplett inaktiviert werden. Um das zu verhindern, muss die Temperatur abgesenkt werden oder das Beimischen der Phytase zum Futter erfolgt nach der Konfektionierung.

3.6 Calcium-/Phosphorempfehlungen und Prinzip der Phasenfütterung

In den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 werden die empfohlenen Gehalte an Calcium, Phosphor und verdaulichem Phosphor während Ferkelaufzucht und Mast dargestellt.

Tab. 3: Empfohlener Calcium- und Phosphorgehalt im Ferkelaufzuchtfutter

Ferkelaufzucht			
Lebendmasse (kg)	bis 8	7,5-15	15-30
Calcium	8,5	8-8,5	7,5-8
Phosphor*	5,5-6,0	5,5-6,0	5,0-5,5
verd. Phosphor	3,7-3,9	3,5-3,6	3,3-3,5

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006), modifiziert durch Stalljohann et al. (2012)
in g/kg Frischsubstanz; * mit 500 FTU/kg Phytase

Tab. 4: Empfohlener Calcium- und Phosphorgehalt im Mastfutter

Mast							
Lebendmasse (kg)	30	40	50	60	70	80	90-120
Calcium	7,5	6,5	6,3	6,3	6,3	6,0	5,5
Phosphor*	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0
verd. Phosphor	2,8-3,0	2,6-2,8	2,4-2,6	2,3-2,5	2,2-2,4	2,0-2,2	1,8-2,0

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006), modifiziert durch Stalljohann et al. (2012)
in g/kg Frischsubstanz; * mit 500 FTU/kg Phytase
Gehalte für durchschnittliche Tageszunahmen von 750-950 g

Eine Grundvoraussetzung, um hohe Nährstoffausscheidungen zu vermeiden, ist die bedarfsgerechte Fütterung. Dabei geht es vor allem darum, die Ration je nach Entwicklungsphase an den jeweiligen Energie-, Protein- und Mineralstoffbedarf (siehe Tabellen 3 und 4) anzupassen. Bei einphasiger (Durchmastfutter) oder zweiphasiger Fütterung kommt es am Anfang bzw. Ende jeder Phase zur Unter- bzw. Überversorgung von Protein (Kamphues et al., 2009), Energie und Mineralstoffen. So würde ein Überangebot dazu führen, dass teure Ressourcen ungenutzt ausgeschieden werden und in die Umwelt gelangen. Eine Unterversorgung der genannten Komponenten dagegen kann je nach Ausprägung verschiedene Mangelercheinungen auslösen.

Während die mehrfache Phasenfütterung in der Schweiz nicht flächendeckend eingesetzt wird (Bracher und Spring, 2010), ist sie in Deutschland mittlerweile standardmäßig etabliert. Im Jahr 2005 führte eine Befragung der DLG-Spitzenbetriebe zu dem Ergebnis, dass 6,8 % der befragten Schweinebetriebe einphasig und 26,5 % zweiphasig fütterten (Lindermayer, 2013). Während 43,6 % ihre Tiere mit einer Dreiphasenfütterung versorgten, führten 22,2 % der Befragten eine Multiphasenfütterung durch.

3.7 Entwicklung und Stoffwechselregulation des Knochengewebes

Die knöchernen Einheiten im Organismus haben wichtige Funktionen. Neben der Übernahme der Stützfunktion für den Bewegungsapparat übernehmen sie auch den Schutz von Organen. Des Weiteren sind sie ein großer Speicher für wichtige Mineralstoffe, vor allem für Calcium und Phosphor. Durch Resorption kleiner Knochenareale kann die lebenswichtige Homöostase vieler Nährstoffe im Blut aufrecht gehalten werden. Im Inneren der Knochen befindet sich das Knochenmark, worin unter anderem auch Blutzellen für die Immunabwehr produziert werden.

Knochen hat einen Trockensubstanzgehalt von ca. 92 %. Davon besteht ungefähr ein Drittel aus organischer Matrix, dem Typ 1 Kollagen und ca. zwei Drittel aus mineralischem Anteil (Schalk und Schafzahl, 2010). In letzterem ist Phosphat das wichtigste Anion (Gürtler, 1987). Der Verbund von Calcium und Phosphor im stabilen Molekül Hydroxyapatit ($\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$) begründet die Festigkeit des Knochengewebes.

Nach Salomon et al. (2008) werden im Folgenden ausgewählte Bemerkungen zur Widerstandsfähigkeit sowie zur indirekten und direkten Ossifikation ausgeführt, die dem Verständnis der Befunde in der vorliegenden Arbeit dienen.

Die extreme Widerstandsfähigkeit der Knochen gegenüber unterschiedlichen Kräften begründet sich des Weiteren aus der besonderen Architektur. Die äußere Schicht wird von der *Substantia compacta* oder Kortikalis gebildet. Sie besteht aus verdichtetem Knochengewebe, das extrem stabil und außen vom Periost umgeben ist. Die inneren Knochenstrukturen von Epi- und Metaphyse sind mit *Substantia spongiosa* oder Trabekularknochen ausgefüllt. Hierbei handelt es sich um einen weniger dichten Verbund, der dem roten Knochenmark Platz bietet. Der Bereich der Diaphyse ist hohl und mit gelbem Fettmark ausgefüllt.

Indirekte Ossifikation: Der überwiegende Teil der Knochen im Fetus entwickelt sich durch die Form der indirekten Ossifikation. Nach Bildung eines knorpeligen Primordialskeletts wird dieses Grundgerüst durch sogenannte chondrale Ossifikation schrittweise zu intaktem Knochengewebe umgebaut. Diese Umwandlung geschieht bei kurzen Knochenstücken initial von innen und wird daher auch enchondrale Ossifikation genannt. Die langen Röhrenknochen verknöchern von der Schaftmitte aus, weswegen auch von der perichondralen Ossifikation gesprochen wird. Des Weiteren findet Knochenwachstum im Bereich der Epiphyse durch enchondrale Ossifikation statt.

Direkte Ossifikation: Teile des Schädels entstehen durch desmale Ossifikation. Hierbei wird von Osteoblasten unmineralisierte Matrix (Osteoid) gebildet, die nachträglich, durch bestimmte Faktoren vermittelt (siehe Tabelle 5), mineralisiert wird. Das gebildete Gewebe wird als Faser- oder Geflechtknochen bezeichnet und zeichnet sich durch eine noch

unregelmäßige Faseranordnung aus. Durch die Umwandlung zu Lamellenknochen, worin die Kollagenfasern parallel und konzentrisch angeordnet sind, erhält die Struktur die volle Stabilität.

Knochen ist ein hochaktives Gewebe. Im adulten Organismus wird 10 % der Knochenmatrix jährlich erneuert. Beim sogenannten Remodelling sind viele verschiedene Knochenzellen involviert (Kular et al., 2012). Die größte Rolle spielen hierbei die knochenabbauenden Osteoklasten und die knochenbildenden Osteoblasten. Durch Knochenresorption und nachgeschalteter Formation wird alte Knochensubstanz durch neue ersetzt (Remodelling). Bei diesem Vorgang wird die Stabilität des Knochenverbunds an wechselnde Beanspruchungen angepasst.

Auch bei Juvenilen unterliegt der wachsende Knochen belastungsabhängigen Anpassungen (Modelling). Liesegang et al. (2013) verglichen die Knochen wachsender Schafe, die auf flachen Talwiesen weideten mit denen von Tieren, die im Hochland verblieben. Die Faktoren im Gebirge, inklusive der Steigung und somit der gesteigerten Beanspruchung des Skeletts führten zu einer verbesserten Knochenzusammensetzung.

Physiologischerweise bleibt die Masse des Knochens nahezu konstant, da die Knochenresorption und -formation im Gleichgewicht sind. Übersteigt der Vorgang der Resorption den der Formation kommt es zum Verlust von Knochengewebe. Die enge Vernetzung der beiden Prozesse wird entkoppelt. Bei der sogenannten Osteopenie ist der Knochenmineralstoffgehalt (BMC) bzw. die Knochenmineralstoffdichte (BMD) nur geringfügig vermindert. Eine weitere Verschlechterung der Werte führt beim Menschen zur Osteoporose (Knochenschwund), bei der im fortgeschrittenen Stadium Frakturen auftreten können (WHO Study Group, 1994).

Das Krankheitsbild der Osteoporose ist beim Tier mit vergleichbarer Pathogenese zum Menschen nicht bekannt. Das Auftreten einer verminderten Knochenmineralisierung, die zu Fundamentproblemen führen kann, wird jedoch häufig beschrieben.

Beim Menschen hat die Genetik bzw. Rasse auf die BMD einen nicht unerheblichen Einfluss. So haben afroamerikanische Frauen einen höheren BMD als weiße Frauen (Barrett-Connor et al., 2005). Ein Risikofaktor für Osteoporose ist ein historisches Auftreten in der Familie (Ferrari, 2005). Auch das Vorliegen bestimmter Krankheiten oder die Einnahme einiger Medikamente (National Osteoporosis Foundation, 2003) können sich negativ auf die Knochenmasse auswirken.

Ebenso zeigt das Ausmaß an Bewegung Auswirkungen auf den Bewegungsapparat. Steinberg und Trueta (1981) wiesen in einem Versuch mit Ratten nach, dass die Immobilisation von Gliedmaßen die Knochenmasse reduzierte, während zusätzliche Bewegung diese ansteigen

ließ. Schon 1962 postulierte Heaney, dass eine ausbleibende mechanische Belastung nicht, wie lange angenommen, die Knochenbildung hemmt, sondern die Resorption beschleunigt. Es kommt zu einer sogenannten Inaktivitätsosteoporose.

Ein vermehrter Knochensubstanzverlust ist auch bei hormonellen Veränderungen, wie bei einem gesenkten Östrogenspiegel bei Frauen nach der Menopause zu beobachten (Seeman, 2003). Laut Oberender und Fritschi (2003) erkrankten ca. 30 % der postmenopausalen Frauen an Osteoporose. Das Wechselspiel zwischen den endokrinologischen Faktoren im Knochenmetabolismus ist der Tabelle 5 zu entnehmen. Sie zeigt nur einen Auszug aus der Endokrinologie des Ca- und P-Stoffwechsels und soll einen Eindruck der Komplexität vermitteln.

Tab. 5: Auszug einiger relevanter Mediatoren im Knochenstoffwechsel

Mediator	Auswirkungen	Literatur
vermind. Östrogenspiegel	↑ Osteoklastenlebensdauer ↓ Osteoblastenlebensdauer	Seeman (2003)
Parathormon (PTH)	↑ renale Ca-/Mg-Reabsorption ↓ renale Phosphat-Reabsorption ↑ Knochenresorption durch Osteoklasten ↑ renale 1,25-(OH) ₂ D ₃ -Synthese ↓ Osteocalcin-Produktion	Berne et al. (2004) Garabedian et al. (1974) Beresford et al. (1984)
Calcitonin	↑ Osteoblastenaktivität ↓ Osteoklastenaktivität ↓ renale Ca-Reabsorption	Body (2002) Berne et al. (2004)
1,25-(OH)₂D₃ (Calcitriol) Vitamin D	↑ intestinale Ca-/P-/Mg-Absorption ↑ renale Ca-Reabsorption ↑ Alkalische Phosphatase Synthese Osteoklastendifferenzierung/-rekrutierung Osteoidmineralisierung ↑ Osteocalcin-Produktion	Berne et al. (2004) Beresford et al. (1984)
Osteocalcin	Osteoklastendifferenzierung/-rekrutierung -regulation Knochenmineralisierung	Lian et al. (1984) Secer (2011)
Alkalische Phosphatase	Knochenmineralisierung	Weiss et al. (1988)
Transforming growth factor (TGF-β)	↑ Osteoklastenapoptose ↓ Osteoblastenapoptose	Berne et al. (2004)
Insulin-like growth factor I (IGF-I)	↑ renale Calcitriolproduktion ↑ renale P-Reabsorption	Caverzasio und Bonjour (1991)
Growth Hormon (GH)	↑ 1,25-(OH) ₂ D ₃ -Synthese	Goff et al. (1990)

↑= Steigerung/Stimulation, ↓=Senkung/Hemmung

Auch die nutritive Aufnahme der Mengenelemente Calcium und Phosphor trägt wesentlich zur Entwicklung und Aufrechterhaltung des knöchernen Gerüsts bei. Ein Grund für die geriatrisch bedingte Verschlechterung der Knochenbeschaffenheit ist, dass bei älteren Menschen sowohl die Ca-Aufnahme, als auch deren Absorption vermindert sind (Berne et al., 2004). Carter et al. (1996) zeigte bei wachsenden Schweinen, dass der Knochenrohaschegehalt von Metakarpus und Femur als ein Index für die Mineralisierung positiv mit dem Ca- und P-Futtergehalt korreliert. Die Femurbruchfestigkeit stieg von 125 kg maximaler Belastung in Ration A auf 283 kg bei Ration B an. (A: Ca: 4,2 g/kg, P: 3,5 g/kg; B: Ca: 11,4 g/kg P: 9,5 g/kg). Ca- und P-defizient gefütterte Schweine besaßen auch bei Nicodemo et al. (1998) eine geringere Knochenmineralisierung.

In einer Studie von Bühler et al. (2010) wurde deutlich, dass der Zusatz von Phytase (erhöhte P-Verdaulichkeit) in einer P-reduzierten Fütterung sowohl die Knochenzusammensetzung als auch die -stabilität verbesserte. In der gleichen Arbeit wurde beschrieben, dass vor allem bei jüngeren Schweinen (ca. 25-66 kg Lebendmasse) die Anwendung von 0,5 % Benzoesäure im Futter eine Verminderung der Kennwerte BMD und BMC bewirkte. Die Autoren erklären sich diese Reaktion mit dem durch die Ansäuerung des Urin-pHs vermehrt stattfindenden Ca-Verlust. Im Versuch von Sauer et al. (2009) reduzierte sich die Rohaschekonzentration des Femurs durch den Einsatz von Benzoesäure. Durch die Ergebnisse der dargestellten Literatur wird die Interaktion des Knochenstoffwechsels mit dem Säure-Basen-Haushalt deutlich.

Alle diese Ausführungen zeigen die multifaktorielle Beeinflussung des knöchernen Skeletts. Bei Auswertung des Schrifttums konnte nur auf ausgewählte Informationen, besonders das Ziel der eigenen Untersuchungen betreffend, eingegangen werden. Insgesamt wurde deutlich, dass der Knochenmetabolismus aufgrund des komplex vernetzten Zusammenwirkens der dargestellten Regelkreise und (Patho-)Mechanismen im Körper nicht für sich betrachtet werden kann und von vielen Faktoren beeinflusst wird.

Zusammenfassend soll betont werden, dass der Verfügbarkeit von Ca und P im Futter, wie oben dargestellt, eine besondere Bedeutung für den Knochenbau beizumessen ist und diese daher Gegenstand des Versuchsvorhabens war.

Zur Einschätzung des Knochenmetabolismus *intra vitam* wurden in der vorliegenden Arbeit Blutproben genommen. Dabei handelte es sich um in der Humanmedizin bei der Osteoporosetherapie etablierte Kennwerte des Knochenaufbaus (Osteocalcin) und des Knochenabbaus (β -Crosslaps).

3.8 Indikatoren des Knochenstoffwechsels

3.8.1 Osteocalcin

Das porcine Osteocalcin (OC) ist ein Peptidhormon, das aus 49 Aminosäuren besteht (Huq et al., 1984). Es wird bevorzugt von Osteoblasten, aber auch von hypertrophen Chondrozyten und Odontoblasten synthetisiert (Beresford et al., 1984). Das Hormon besitzt eine wichtige Einheit, die die Bindungsaffinität zu Calcium und Hydroxyapatit begründet. Diese wird durch drei Vitamin K-abhängige Gamma-Carboxyglutaminsäurereste (Gla) gebildet (Price, 1987). Deshalb wird OC in der Literatur auch als BGP bezeichnet (BGP = bone Gla protein). Die Inaktivierung erfolgt durch die Niere (Borchhardt et al., 2007; Vasikaran et al., 2011). Osteocalcin besitzt eine Halbwertszeit von wenigen Minuten (Swaminathan, 2001), deshalb stellt der analysierte Wert nur eine Momentaufnahme des Knochenstoffwechsels dar. Es kann durch RIA, IRMA oder ELISA im Serum bestimmt werden (Seibel, 2005).

Obwohl die Aufgabe des Hormons noch nicht endgültig geklärt ist, wird es als spezifischer Marker von Osteoblasten (Brown et al., 1984) und somit als Indikator der Knochenformation betrachtet (Calvo et al., 1996). Osteocalcin agiert dabei auch als Regulator bei der Mineralisierung des Knochens (Neve et al., 2013).

Ein Teil des OCs wird während der Formation in die Umgebung des Knochens und somit in das Blut abgegeben, ein weitaus größerer Teil wird bei der Knochenneubildung in die extrazelluläre Knochenmatrix eingebaut (Gundberg et al., 1985). Bei einem späteren physiologisch stattfindenden Knochenabbau können OC-Fragmente freigesetzt werden (Salo et al., 1997; Ivaska et al., 2004). Allerdings hat die Studie von Price et al. (1981) belegt, dass der Serumosteocalcingehalt mehr durch die Neusynthese als durch die Freisetzung während der Knochen Degradation bestimmt wird. Der Knochenumbau (bone turnover) ist, wie bereits dargestellt, ein komplexes Wechselspiel zwischen ständiger Resorption und erneuter Formation. Lian et al. (1984) gehen davon aus, dass OC auch die Regulation der Osteoklastenrekrutierung und -differenzierung übernimmt. Lian et al. (1987) beobachteten in Ratten verminderte OC-Konzentrationen, wenn diese mangelhaft mit Vitamin D versorgt werden. Beresford et al. (1984) wiesen nach, dass die Synthese von Osteocalcin direkt von $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ stimuliert wird. Dabei bewirkt Vitamin D_3 ein Ansteigen der OC-Genexpression (Ozono et al., 1990). Eine niedrige Ca- und P-Versorgung im Futter bewirkte in den Untersuchungen von Carter et al. (1996) einen Anstieg von $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ und folgend ein Ansteigen des Osteocalcins bei Schweinen. In dem Versuch korrelierte die Konzentration an Osteocalcin im Serum der Tiere negativ mit der Knochenmineralisierung und der Knochenbruchfestigkeit des Femurs. Im Gegensatz dazu konnten Nicodemo et al. (1998) bei Schweinen keine Auswirkung einer Ca/P-defizienten Fütterung auf den Serumosteocalcingehalt nachweisen.

Osteocalcin weist des Weiteren eine deutliche Altersabhängigkeit auf. Bei jüngeren Tieren (Göttinger Minipig) wurde ein deutlich höherer Wert nachgewiesen, der mit steigendem Alter sank (Tsutsumi et al., 2004). In der Arbeit von Tsutsumi et al. (2004) wurden auch die tageszeitlichen Schwankungen analysiert. Der höchste Wert lag um 18.00 Uhr vor, um 6.00 Uhr erreichte die OC-Konzentration im Blut ihr Minimum. Somit ist es bei vergleichenden Arbeiten besonders wichtig, die Blutentnahme an identischen Zeitpunkten durchzuführen.

3.8.2 Serum- β -Crosslaps

Serum- β -Crosslaps (SCL/CTX) sind Abbauprodukte des Kollagens Typ 1, welches den Hauptbestandteil der organischen Knochenmatrix ausmacht. Sie werden während der Knochendegradation von Osteoklasten in die Zirkulation freigesetzt und stellen somit einen sehr zuverlässigen Marker der Knochenresorption dar (Rosenquist et al., 1998). Der Nachweis erfolgt mittels ELISA durch spezifische Antikörper, die an gelöste quervernetzte carboxyterminale Telopeptide des Kollagens binden. Sie enthalten eine Sequenz aus acht Aminosäuren Glu-Lys-Ala-His- β Asp-Gly-Gly-Arg (Rosenquist et al., 1998). Die β -Isomerisierung der Asparaginsäure in der Mitte der Sequenz entsteht durch Alterung des Proteins (Fledelius et al., 1997). Somit kann zwischen neu gebildeten und älter bestehenden Molekülen unterschieden werden. Die Telopeptide werden hauptsächlich über die Niere ausgeschieden (Borchhardt et al., 2007).

Wichers et al. (1999) haben starke circadiane Schwankungen nachgewiesen. So wurde der maximale CTX-Wert im Serum beim Menschen zwischen 1.30 und 4.30 Uhr und der Tiefpunkt zwischen 11.00 und 15.00 Uhr erreicht. Schlemmer und Hassager (1999) und Christgau et al. (2000) stellten geringere tageszeitliche Schwankungen fest, wenn vor der Probenentnahme gefastet wurde. Liesegang et al. (2002) beobachteten bei Schweinen, deren P-Gehalt im Futter gesenkt war, einen erhöhten CTX-Gehalt. Diese Beobachtung konnte von Schmid (2011) nicht bestätigt werden. Bühler et al. (2010) stellten durch die Zugabe von Phytase im Futter (Verbesserung der P-Verdaulichkeit) eine Erhöhung der CTX-Werte fest.

In einer Studie mit Frauen wurde die Auswirkung einer oral verabreichten Calciumdosis unter Einbeziehung der Ca-Parathyreoid-Achse auf die Knochenresorption untersucht (Zikan et al., 2001). Die Ergebnisse zeigten daraufhin einen Abfall des Parathormons (PTH) und der Serumcrosslaps im Blut. Es kann angenommen werden, dass die PTH-bedingte Stimulation der Osteoklasten verringert war und somit weniger Knochenresorption erfolgte. In der Folge sank die Konzentration der Abbauprodukte des Kollagens im Blut.

3.9 Zusammenfassung der Literatur und Zielstellung der Arbeit

In Zeiten knapper und teurer werdender Phosphorressourcen müssen Tierhalter auf alternative Phosphorquellen zurückgreifen. Dazu bietet sich der natürlich in Pflanzen vorkommende gebundene Phytatphosphor besonders an. Wird der Zusatz anorganischen Phosphors reduziert, muss zur Sicherstellung einer adäquaten P-Ausstattung eine verbesserte Verfügbarkeit des Pflanzenphosphors erwirkt werden. Dazu muss dem Monogastrierfutter mikrobielle Phytase zugesetzt werden.

Das Verändern der Futterkomposition ist, verglichen mit den anderen, meist sehr statischen Gegebenheiten in der Tierhaltung (Stallungen, Klima, etc.), durch die hohe Flexibilität in der Praxis leicht durchführbar. Durch Verringerung der Phosphor- und Stickstoffkonzentration in Wirtschaftsdüngern (vor allem in der Gülle), kann der Tierhalter abhängig von der Nährstoffbilanz des Betriebes eine erhöhte Tieranzahl auf gegebener Ackerfläche (limitierender Faktor) halten.

In der gesichteten Literatur wurden die Grundlagen der Ca/P-Versorgung gut dargestellt. Auch Arbeiten über Einflüsse von Mineralveränderungen mit simultaner Zugabe mikrobieller Phytase auf Leistung und Fundament wurden ausreichend beschrieben. Viele Versuche analysierten die Auswirkungen einer Rationsänderung auf Schweine während der Aufzucht- oder der Mastphase. Weitestgehend nicht untersucht wurden die Auswirkungen bei Tieren, die vom Absetzen bis zum Erreichen der Schlachtmasse P-vermindert gefüttert wurden.

In der vorliegenden Arbeit wurden daher die Auswirkungen einer stark reduzierten Fütterung anorganischen Phosphors unter gleichzeitiger Erhöhung des Zusatzes mikrobieller Phytase vom Absetzen bis zur Endmast (*from weaning to slaughter*) untersucht. Dabei wurden die Schweine sowohl in der Ferkelaufzuchtphase, als auch im späteren Mastabschnitt stark Phosphor-reduziert gefüttert. Als Kontrollgruppe dienten Tiere, die mit einer für Eigenmischer in Westfalen praxisüblichen Standard-Phosphor-reduzierten Ration versorgt wurden. Zum Vergleich dieser Futtergruppen wurden ausgewählte Kennwerte der Mastleistung herangezogen. Die Schlachtkörperbewertung erfolgte nach der Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperbewertung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein mittels AutoFomTM-Gerät. Für die wirtschaftliche Einschätzung dienten die nach Westfleischmaske ermittelten Indexpunkte.

Um bei den dargestellten Bestrebungen (Leistungsäquivalenz, Umweltschutz, Gewinnmaximierung) dem Tierschutz genügend Rechnung zu tragen, wurde der mit Phosphor im Zusammenhang stehende knöchernen Bewegungsapparat einer besonderen Betrachtung unterzogen. Dazu boten sich für den Einblick in den Knochenmetabolismus *in vivo* die Analyse des Blutserums auf die Knochenmarker Osteocalcin und β -Crosslaps an. Nach der Schlachtung gehörten die Bestimmung der Knochenbruchfestigkeit sowie die Analyse der Knochenmineralisierung zu den geprüften Kriterien.

Zielstellung:

1. Bessere Kenntnis der Auswirkung der vorliegenden Ca/P-Zusammensetzung in Kontroll- und Versuchsgruppe bei Einsatz mikrobieller Phytase
2. Gegenüberstellung der Auswirkungen einer ausgewählten Ca/P-Reduktion¹ auf
 - a. Wichtige Kennwerte der Ferkelaufzucht
 - b. Mastleistung
 - c. Wirtschaftlichkeit
 - d. Blutwerte: Osteocalcin und β -Crosslaps
 - e. Knochenbruchfestigkeit
 - f. Knochenmineralisierung
3. Einfluss von Geschlecht und täglicher Zunahme auf oben stehende Kennwerte
4. Interaktionsberechnungen zwischen Diät und Geschlecht, Diät und tägl. Zunahme
5. Auswirkungen der Diät auf die Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor

¹: unter simultaner Zugabe mikrobieller Phytase

4 Tiere, Material und Methoden

Die Schweine der vorliegenden Studie stammten aus dem Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse im Kreis Soest. Hier fanden die Erhebung der Lebendkennwerte und die Entnahme der Blutproben statt. Die Tiere wurden nach Erreichen der Schlachtmasse im Westfleisch Fleischcenter Hamm geschlachtet. Der Zeitraum aller Untersuchungen erstreckte sich von März 2012 bis Januar 2013.

Die Tiere wurden gemäß den Anforderungen des Deutschen Tierschutzgesetzes gehalten. Die Blutabnahme fand nach sorgfältiger Einarbeitung durch den Autor statt. Das Versuchsvorhaben wurde beim Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW nach § 8a Abs. 1 i.V. mit § 8 Abs. 7 Tierschutzgesetz angezeigt und bestätigt (AZ: 84-02.05.20.12.122).

4.1 Tiere

Die Ferkel waren Kreuzungstiere aus der Sauenlinie Topigs 20 und Porkuss und der Eberlinie Pietrain und stammten von der hauseigenen Sauenherde von Haus Düsse. Die durchschnittliche Geburtsmasse betrug $1,4 \pm 0,3$ kg. Am ersten Lebenstag wurden die Zähne geschliffen, die Schwänze kupiert und eine weiße Ohrmarke auf der linken Seite eingezogen. Diese trug die Betriebsnummer und umseitig die fortlaufende individuelle Tiernummer. Eine zweite gelbe Marke im rechten Ohr agierte als Chip und wurde zum Zeitpunkt des Absetzens eingezogen. Hierdurch war es jederzeit möglich, mittels Lesegerät auf individuelle tierspezifische Daten zurückzugreifen. Am dritten Lebenstag wurde den Ferkeln 2 ml Eisen intramuskulär verabreicht (Mediferran 100 mg/ml, MEDISTAR Arzneimittelvertrieb GmbH, Ascheberg). Die Kastration der männlichen Tiere erfolgte in der ersten Lebenswoche am vierten bis siebten Lebenstag.

In einem Alter von vier Wochen wurden die Ferkel mit einer durchschnittlichen Masse von $7,8 \pm 1,3$ kg von der Sau abgesetzt. Gleichzeitig wurden die Ferkel gegen Infektionen mit den Erregern *Mycoplasma hyopneumoniae* und *Haemophilus parasuis* mit Suvaxyn M. hyo-Parasuis (Pfizer Corporation Austria, Wien, Österreich) und gegen die Infektion mit dem *Porcinen Circovirus II* mit Porcilis[®] PCV (MSD Animal Health GmbH, Luzern, Schweiz) jeweils nach Herstellerangaben geimpft.

4.2 Stallungen und Haltung

4.2.1 Ferkelaufzuchtphase

Insgesamt wurden 380 Ferkel in vier aufeinanderfolgenden Wochen auf Flatdeck eingestallt. Somit ergaben sich vier Abteile mit jeweils einer Woche Altersabstand. Die Reihenfolge der Einstellungen sind der Tab. 6 zu entnehmen. Männliche und weibliche Tiere wurden während der Ferkelaufzuchtphase (FAZ) gemischt gehalten. Die Ferkel wurden bis zum Absetzen identisch behandelt. Ab der FAZ wurde ein Teil der Tiere mit in der Praxis

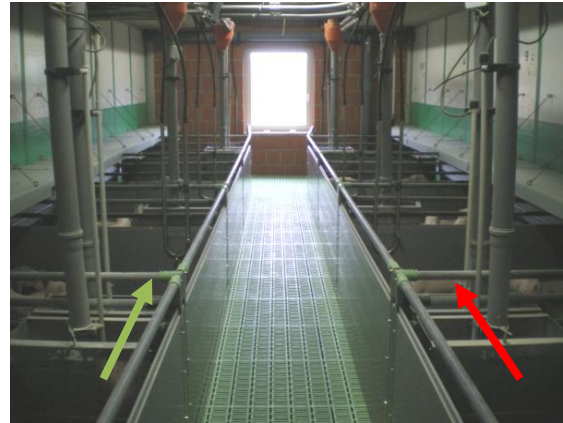


Abb. 2: Ferkelflatdeck
links: Kontrolle, rechts: Versuch

üblichem Standard-Phosphor-reduziertem Futter versorgt. Im nachfolgenden Text werden für diese Futtergruppe die Begriffe Kontrolle oder Kontrollgruppe (K) verwendet. Der andere Teil der Tiere wurde mit stark Phosphor-reduziertem Futter gefüttert, nachfolgend Versuchsgruppe oder stark P-abgesenkt (V) genannt. Die Differenzen der beiden Futter sind unten dargestellt.

Tab. 6: Reihenfolge und Aufteilung der Ferkelinstallungen

20 Tiere (K)		20 Tiere (K)	
Tür	Gang		Fenster
20 Tiere (V)		20 Tiere (V)	

= 80 Tiere am 08.03.12 eingestallt

25 Tiere (K)		25 Tiere (K)	
Tür	Gang		Fenster
25 Tiere (V)		25 Tiere (V)	

= 100 Tiere am 15.03.12 eingestallt

10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)
Tür		Gang		Fenster
10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)

= 100 Tiere am 22.03.12 eingestallt

10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)	10 Tiere (K)
Tür		Gang		Fenster
10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)	10 Tiere (V)

= 100 Tiere am 29.03.12 eingestallt

Buchten der Kontrollgruppe in grün und der Versuchsgruppe in rot gekennzeichnet

Die vier Abteile befanden sich im selben Stallgebäude und waren räumlich hintereinander geschaltet. Der Lichteinfall war innerhalb der beiden Futtergruppen gleichverteilt. Die Einstalltemperatur im Ferkelnest betrug anfangs 32 °C und wurde sukzessive innerhalb der ersten 10 Tage auf 24 °C herabgesetzt. Die Ferkel verblieben hier 41 Tage.

4.2.2 Mastphase und Tierausswahl

Von den 380 Ferkeln aus dem Ferkelaufzuchtversuch wurden aus Kapazitätsgründen 255 Schweine für die weitere Mast ausgewählt (95 Tiere Pietrain x Porkuss und 160 Pietrain x Topigs 20; siehe Tab. 7). Läufer mit den besten und schlechtesten Tageszunahmen sowie jedes dritte Tier aus dem mittleren Massebereich wurden für das Vorhaben ausgeschlossen. Somit verblieben Tiere mit durchschnittlicher Leistung im Versuch. Die



Abb. 3: Mastabteil, Fünferbuchten

Lebendmasse betrug am Ende der Ferkelaufzucht in der Kontrollgruppe $28,6 \pm 0,3$ kg und in der Versuchsgruppe $27,8 \pm 0,3$ kg. Die Mast erfolgte nach Geschlecht getrennt auf Betonvollspaltenböden in drei Abteilen, die sich räumlich getrennt in einem Stallgebäude befanden. Die Einteilung der Schweine in Kontroll- und Versuchsgruppe wurde aus der FAZ in die Mastphase übernommen.

Tab. 7: Reihenfolge und Aufteilung der Einstellungen in der Mast

1. Abteil:

12 Tiere ♂	12 Tiere ♂	5 ♂, 6 ♀ Tiere #	2 ♂, 10 ♀ Tiere #
Tür		Gang	Fenster
12 Tiere ♀	12 Tiere ♀	12 Tiere ♂	12 Tiere ♂

= 95 Tiere, am 26.04.2012 eingestallt

2. Abteil:

5 Tiere ♂	5 Tiere ♂	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀
Tür		Gang	Fenster
5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♂	5 Tiere ♂
5 Tiere ♂	5 Tiere ♂	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀
Tür		Gang	Fenster
5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♂	5 Tiere ♂

= 80 Tiere, am 19.04.2012 eingestallt

3. Abteil:

5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♂
Tür		Gang	Fenster
5 Tiere ♂	5 Tiere ♂	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀
5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀	5 Tiere ♂
Tür		Gang	Fenster
5 Tiere ♂	5 Tiere ♂	5 Tiere ♀	5 Tiere ♀

= 80 Tiere, am 03.05.2012 eingestallt

Buchten der Kontrollgruppe in grün und der Versuchsgruppe in rot gekennzeichnet, nach Geschlecht getrennt

Da das Geschlechterverhältnis in der gesamten Tiergruppe aufgrund der Gegebenheiten der Ferkelwürfe unausgeglichen war, konnten die zwei gekennzeichneten Buchten nur gemischtgeschlechtlich belegt werden. Diese Buchten wurden in der späteren Berechnung der Kennwerte des Futters nicht mit einbezogen.

4.3 Fütterung

Das Futter wurde in Kooperation mit der Firma Agravis Raiffeisen AG (Münster) konzipiert und geliefert. Die Ferkelaufzuchtphase war in zwei, die Mastphase in drei Masseabschnitte unterteilt. Jeder Masseabschnitt hatte jeweils zwei Futtermvarianten. Futtermvariante I stellte die Kontrolle dar. Es handelte sich um ein praxisübliches Standard-P-reduziertes Futter. Futtermvariante II war stark P-reduziert (V). Die komplette Aufstellung der Rationen findet sich im Anhang (siehe Kap. 13.1).

Die Analyse der Inhaltsstoffe fand abhängig vom jeweiligen Kennwert im Labor der Firma Agravis Raiffeisen AG (Münster), der Firma BASF SE (Ludwigshafen/Rhein) oder der LUFA-ITL GmbH (Kiel) statt.

4.3.1 Phytase

Im vorliegenden Versuch wurde die 3-Phytase (EC 3.1.3.8) Natuphos 5000 L[®] (BASF SE, Ludwigshafen/Rhein) eingesetzt. Sie wird von einem gentechnisch verändertem *Aspergillus niger* (CBS 101.672) synthetisiert.

Das Enzym wurde nach der Granulation des Futters im Mischfutterwerk der Agravis in Münster in flüssiger Form auf das Futter aufgebracht. Somit war sichergestellt, dass die Belastungen durch Hitze und Druck während der Granulation keine negativen Auswirkungen auf die Aktivität der Phytase hatten. Natuphos 5000L[®] hat eine Enzymaktivität von mind. 5000 FTU/g. Eine Einheit entspricht der Menge des Enzyms, die pro Minute einen μmol anorganischen Phosphor aus einer 5,1 millimolaren Natriumphytatlösung bei pH 5,5 und 37 °C freisetzt (Engelen et al., 1994). Die Phytase wurde je nach Futtergruppe entsprechend der Aktivitätswerte kalkulatativ dosiert.

4.3.2 Ferkelaufzuchtphase

Nach dem Absetzen wurden alle Ferkel für drei Tage mit demselben Pre-Starter gefüttert. Die deklarierten Gehalte an Calcium, Phosphor und verdaulichem Phosphor waren jeweils 6,5, 6,0 und 3,8 g/kg (der Frischsubstanz).

In der Ferkelaufzuchtphase fand eine Trockenfütterung in zwei Phasen statt. Dabei wurden die Tiere im Massebereich von 8-15 kg mit dem Ferkelaufzuchtfutter 1 und Tiere mit einer Lebendmasse (LM) von 15-27 kg mit dem Ferkelaufzuchtfutter 2 gefüttert. Die Bereitstellung des Futters erfolgte *ad libitum* im Breiautomaten.

Das Futter der Kontroll- und Versuchsgruppen war identisch bis auf die Unterschiede im Phosphor-, Calcium- und Phytasegehalt, die in Tab. 8 deutlich gemacht werden. Die Konzipierung der Rationen erfolgte auf Basis des verdaulichen Phosphors.

Tab. 8: Phosphor-, Calciumgehalt und Phytaseeinheiten im Ferkelfutter

Phase	Lebend- masse	Phosphor		Calcium		Phytaseeinheiten (FTU)	
		Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
1	8-15 kg	5,9	4,5	8,3	5,8	500	1000
2	15-27 kg	4,8	4,5	6,9	6,6	500	1000

Angaben des analysierten Gehalts an Phosphor und Calcium in g/kg Frischsubstanz und Angabe der zugesetzten Menge an mikrobieller Phytase in Enzymeinheiten (FTU) pro kg Frischsubstanz

4.3.3 Mastphase

In der Mast erfolgte eine Flüssigfütterung in drei Phasen. Dabei wurden Schweine im Masseabschnitt von 28-40 kg mit Anfangsmast-, von 40-75 kg mit Mittelmast- und von 75-120 kg mit Endmastfutter versorgt. Das Futter wurde vor dem Verfüttern angemischt und durch computervermittelte Rationierung buchtenweise zugeteilt (siehe Abb. 4 und 5).

Die Rationen der Mast waren innerhalb beider Futtergruppen identisch und unterschieden sich nur, wie in der Ferkelaufzucht, im Phosphor-, Calcium- und Phytasegehalt. Die Unterschiede des Mastfutters zeigt Tab. 9.

Tab. 9: Phosphor-, Calciumgehalt und Phytaseeinheiten im Mastfutter

Phase	Lebend- masse	Phosphor		Calcium		Phytaseeinheiten (FTU)	
		Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Anfangsmast	28-40 kg	4,6	4,0	10,3	6,8	500	1000
Mittelmast	40-75 kg	3,6	3,4	5,3	5,1	500	1000
Endmast	75-120 kg	3,8	3,4	4,7	5,3	250	500

Angaben des analysierten Gehalts an Phosphor und Calcium in g/kg Frischsubstanz und Angabe der zugesetzten Menge an mikrobieller Phytase in Enzymeinheiten (FTU) pro kg Frischsubstanz

(rechts)

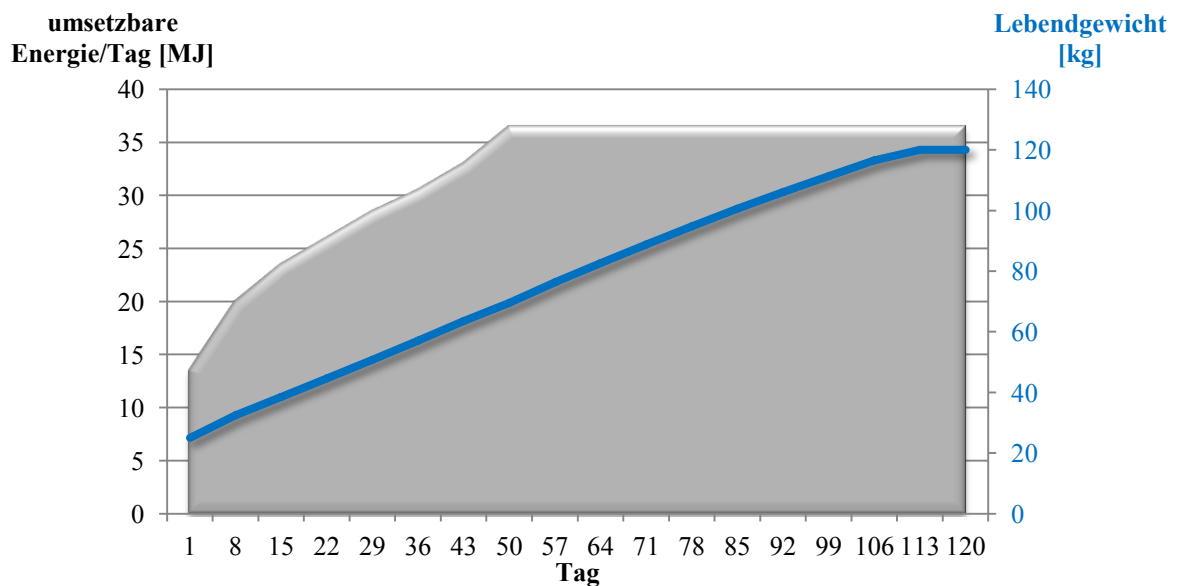
Abb. 4: Lagerung des Futters bis zur Anmischung in der Futterzentrale



(links)

Abb. 5: Mischbehälter der Flüssigfütterung
Zuteilung des Futters erfolgt buchtenweise computervermittelt durch pneumatisch gesteuerte Ventile (Sonderanfertigung)

Die Fütterung der weiblichen Tiere erfolgte während der gesamten Mast *ad libitum*. Die Börgen wurden in der Endmast ab einer Lebendmasse von 75 kg rationiert auf max. 36,5 MJ ME/Tag nach Düsser Futterkurve (Diag. 2) gefüttert.



Diag. 2: erwartete Lebendmasseentwicklung und Futterenergiemenge

Das Diagramm zeigt die Menge an umsetzbarer Energie im Futter pro Tag (graue Fläche), die im Laufe der Mastphase in Abhängigkeit der Lebendmasse (blaue Kurve) erhöht wird.

4.4 Tränke

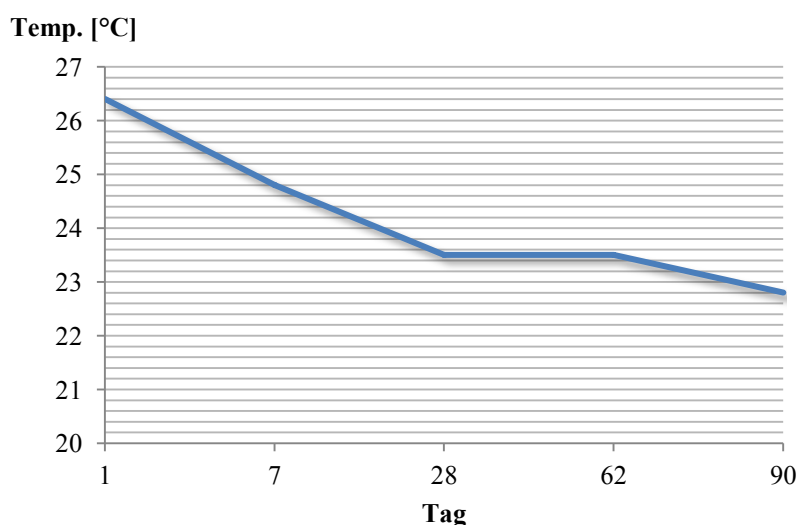
Um das Risiko bakterieller Besiedlungen zu minimieren wurde das Wasser zur pH-Absenkung mit Curo Aquablue (Curo Spezialfutter GmbH & Co. KG, Ostenfelde) versetzt. Hierbei handelt es sich um eine Mischung modifizierter organischer Säuren wie Ameisen-, Propion-, Essig-, Milch- und Sorbinsäure. Dabei war die Dosierung 1,5 Liter Säure auf 1000 Liter Wasser um einen pH-Wert von etwa 4 zu erreichen. Das Wasser wurde mit Curo Aquablue mittels automatischer Dosierpumpe versetzt und den Tieren durch Tränkenippel zugeführt.

4.5 Medikamentelle Behandlungen

Eine Entwurmung erfolgte nach einer Kotuntersuchung bei Bedarf mit Fenbendazol bei den Ferkeln (Gruppenbehandlung). In der Mast wurde nicht entwurmt. Beim Absetzen wurde eine Einstallmetaphylaxe mit Colistin und Amoxicillin eingesetzt. Alle Buchten eines Abteils wurden je nach Krankheitsstatus medikamentell gleich behandelt. Einzeltierbehandlungen wurden bei entsprechender individueller Indikation vorgenommen und im Bestandsbuch festgehalten.

4.6 Lüftung/Klima

Bei der Lüftung handelte es sich um eine Unterdrucklüftung mit Unterflurzentralabsaugung. Die Klimatisierung erfolgte computergesteuert nach folgender Temperaturkurve (Diag. 3):



Diag. 3: Stalltemperatur in der Mastphase

Auf der x-Achse sind die Masttage dargestellt, an denen die Stalltemperatur angepasst wurde.

4.7 Erfassung der Lebendmasse

Die Masse der Schweine wurde mittels Wiegesystem d!ba Weight Pro (definitiv! business applications GmbH & Co. KG, Münster) gemessen. Die Tiere wurden einzeln zu folgenden Zeitpunkten gewogen:

1. Geburt
2. Übergang Absetzen/Ferkelaufzuchtphase
3. Übergang Ferkelaufzuchtphase/Anfangsmast
4. Übergang Anfangs-/Mittelmast
5. Übergang Mittelmast/Endmast
6. Ende der Endmast/Schlachtung

An der Waage befand sich das Lesegerät Agrident-RFID-Reader (Agrident GmbH, Barsinghausen), das durch seitlich angebrachte Antennen den ISO-Transponder (Ohrmarke) jeden Tieres ermittelte. Die Daten der Tieridentität wurden zum Wiegekopf EAG 80 (T.E.L.L. Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Vreden) übermittelt. Nach erfolgter Wägung wurde ein Datenpaket (Datum, Ohrmarke, Lebendmasse) zum Lesegerät WORKABOUT PRO (Psion GmbH, Willich-Münchheide) gesendet. Die Daten wurden durch die Software d!ba Mobile (definitiv! business applications GmbH & Co. KG, Münster) gespeichert und über eine Schnittstelle zu Microsoft Excel übertragen.

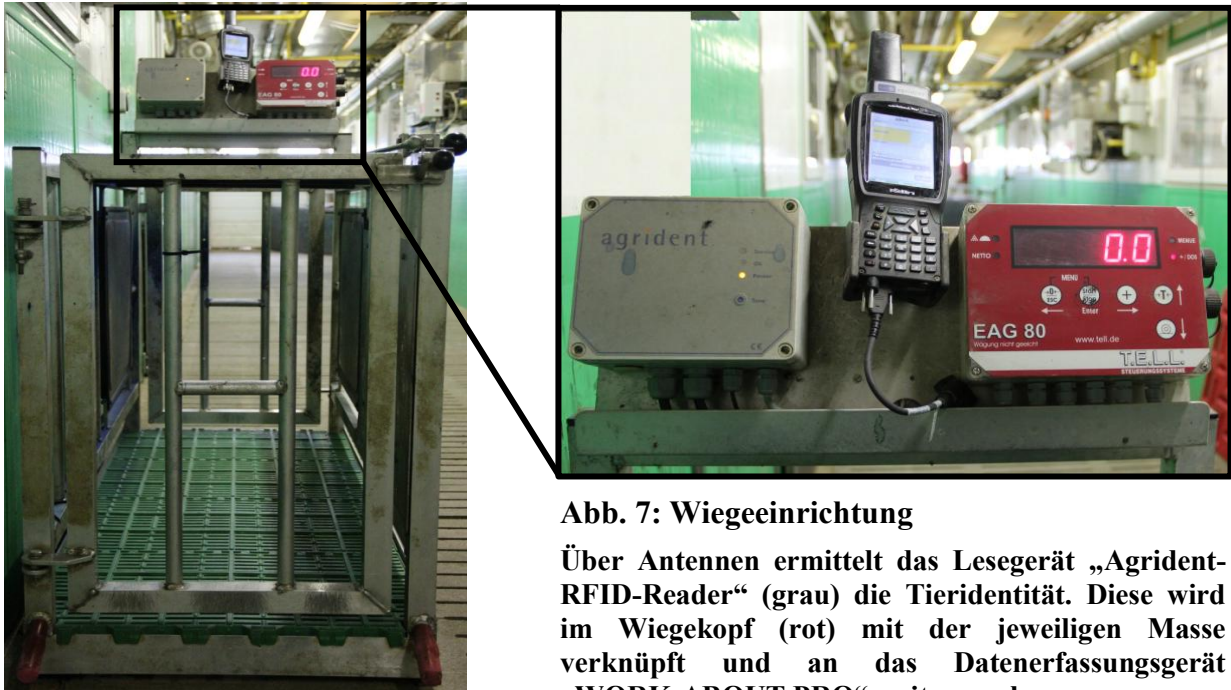


Abb. 6: Einzeltierwaage
für Massen von bis zu 300 kg

Abb. 7: Wiegeeinrichtung

Über Antennen ermittelt das Lesegerät „Agrident-RFID-Reader“ (grau) die Tieridentität. Diese wird im Wiegekopf (rot) mit der jeweiligen Masse verknüpft und an das Datenerfassungsgerät „WORK-ABOUT PRO“ weitergegeben.

4.8 Tägliche Zunahme

Die durchschnittliche Tageszunahme wurde rechnerisch für die verschiedenen Wachstumsphasen ermittelt. Dazu diente die folgende Formel:

$$\frac{\text{Lebendmasse (kg) bei Ende der Phase} - \text{Lebendmasse (kg) zu Beginn der Phase}}{\text{Dauer der Phase (Tage)}}$$

4.9 Futteraufnahme, -aufwand und -verbrauch je Tier

Die Futteraufnahme wurde buchtenweise anhand der computervermittelten Zuteilung gemessen. Anschließend ließ sich durch Erfassung der Lebendmasse bei Beginn und Ende jeder Phase, wie folgt, der Futteraufwand (Buchtendurchschnitt, dimensionslos) ermitteln:

$$\frac{\text{Futteraufnahme (kg) pro Bucht}}{\text{Summe der Lebendmasse (kg) bei Ende der Phase} - \text{Summe der Lebendmasse (kg) zu Beginn der Phase}}$$

Der Futtermittelverbrauch je Tier für die Mastphase kommt der Menge der Futteraufnahme eines Schweines während der Mast gleich und wurde folgendermaßen errechnet:

$$\frac{\text{Summe der Futteraufnahme (kg) aller Buchten}}{\text{Anzahl aller Masttiere}}$$

4.10 Blutprobenentnahme und -aufbereitung

Insgesamt wurden Schweine mit ca. 40 kg und mit 110 kg Lebendmasse geblutet. Die Tierausswahl dafür erfolgte nach Bildung statistisch gleicher Paare aus dem Ferkelaufzuchtversuch. Dabei wurden die Absetzmasse, das Geschlecht und die tägliche Zunahme berücksichtigt. Alle Tiere stammten von einem Eber und der Sauenlinie Topigs 20.

Die Blutentnahme fand aus der Vena cava cranialis oder der Vena jugularis externa statt. Bei der Blutgewinnung bei 40 kg Lebendmasse wurden 24 Tiere, jeweils 12 Tiere aus der Kontroll- und der Versuchsgruppe, beprobt. Die Entnahme erfolgte vormittags am nüchternen Tier (Futterentzug über Nacht) in 9 ml S-Monovetten (SARSTEDT AG & Co., Nümbrecht). Das Blut der Abnahme bei 40 kg Lebendmasse wurde nach 20-minütiger Gerinnungszeit bei 3000 g 10 min (Schmid, 2011) zentrifugiert. Da bei diesem Vorgehen vermehrt hämolytische Serumproben zu beobachten waren, wurde das Blut der Abnahme bei 110 kg Lebendmasse nur bei 1400 g 10 min zentrifugiert und die Stichprobenzahl verdoppelt. Das Serum wurde in Twin tubes VS II (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) abgefüllt und bis zur endgültigen Untersuchung bei -80 °C gelagert.

4.11 Bestimmung von Biomarkern des Knochenstoffwechsels im Blut

Die Analysen wurden in der Firma Laboratoriumsmedizin Dortmund, Dr. Eberhard & Partner durchgeführt. Im Sinne der Gleichbehandlung von Kontroll- und Versuchstierseren fand die Aufbereitung sowie Analyse der Proben im voll automatischen Immunoassay-System iSYS (Immunodiagnostic Systems Ltd, Boldon, England) statt. Die genaue Methodik unterliegt dem Firmengeheimnis. Deshalb werden in der nachfolgenden Beschreibung nur die grundlegenden Schritte dargestellt.

4.11.1 Osteocalcin

Die Bestimmung der Osteocalcingehalte im Serum der Schweine erfolgte durch die Chemilumineszenzmethode mittels Testkit IDS-iSYS N-Mid[®] Osteocalcin (Immunodiagnostic Systems Ltd, Boldon, England). Der Test erfasst intaktes Osteocalcin und N-terminale Mittelfragmente des Peptidhormons. Er beinhaltet zwei spezifische Antikörper (AK). Ein mit Biotin markierter Antikörper bindet an die mittlere Sequenz (As 20-29), ein zweiter acridiniummarkierter AK an die N-terminale Region (As 10-16). Beide Antikörper wurden zu der Probe gegeben und diese inkubiert. Danach folgte die Zugabe von streptavidinbeschichteten Magnetpartikeln und eine zweite Inkubation. Streptavidin besitzt eine hohe Affinität zu Biotin. Somit entsteht eine Verbindung der Magnetpartikel zum ersten AG-AK-Komplex. Um die Komplexe während des nachgeschalteten Waschschritts der Probe zu immobilisieren, wurde ein Magnetfeld angelegt. Die verbliebenen Verbindungen wurden durch die Zugabe der Triggerreagenzien NaOH und H₂O₂ (→Lichtreaktion) detektiert. Das vom Acridinium emittierte Licht wurde von einem Photomultiplier verstärkt und von einem Luminometer gemessen. Es ist proportional zur Osteocalcinkonzentration in der Probe. Der zulässige Bereich des Tests beträgt 2-200 ng/ml.

4.11.2 β -Crosslaps

Die Analyse der carboxyterminalen Telopeptide des Typ 1 Kollagens im Serum wurde ebenfalls mittels Chemilumineszenz-Technologie gemessen. Dazu diente der Kit IDS-iSYS CTX-I (CrossLaps[®]; Immunodiagnostic Systems Ltd, Boldon, England). Der Test beinhaltet zwei monoklonale Antikörper, die spezifisch an die Aminosäuresequenz Glu-Lys-Ala-His- β Asp-Gly-Gly-Arg binden. Es werden nur quervernetzte Fragmente analysiert. Nach Inkubation mit beiden Antikörpern erfolgte die weitere Behandlung analog zur OC-Bestimmung. Der zulässige Bereich des Tests beträgt 0,033-6000 ng/ml.

4.12 Schlachtung

Die Tiere wurden mit einer Endmasse von 115-120 kg geschlachtet und die Dauer der dafür benötigten Mastperiode dokumentiert. Die Schlachtung fand im 20 km entfernten Westfleisch Fleischcenter Hamm-Uentrop statt. Somit ergab sich eine maximale Transportzeit von 30 Minuten. Nach dem frühmorgendlichen Transport folgte die Schlachtung, je nach freier Kapazität, kurz darauf. Die Schlachtperiode zog sich vom 18.07. bis zum 05.09.2012. Vor dem Entbluten wurden die Schweine elektrisch betäubt.

4.13 Marktwertbestimmung des Schlachtkörpers

Der Marktwert der Schweinekarkassen wurde durch das Gerät AutoFomTM (Carometec A/S, Herlev, Dänemark) ermittelt. Dabei handelt es sich um eine vollautomatisch arbeitende Einheit, die sich zwischen der mechanischen Entborstungsmaschine (Kratzmaschine) und dem Flämmofen befindet. Hierbei werden die wertbestimmenden Teilstücke des Schlachtkörpers, wie Lachs, Schinken-schier, Schulter-schier und Bauch ultrasonographisch ausgewertet. Ein weiteres Kriterium für die Klassifizierung in die verschiedenen Handelsklassen stellt der Muskelfleischanteil dar.

Das AutoFomTM besteht aus einem Metallbogen, indem sich 16 Ultraschallsonden im Abstand von 25 mm zueinander befinden. Der noch ungeöffnete feuchte Schlachtkörper wird auf dem Rücken liegend in einer definierten Geschwindigkeit über die Sonden befördert. Dabei werden die Dorsalseite des Schweines in 5 mm Schnitten gescannt und somit zahlreiche Fett- sowie Fleishdickenzahlen generiert. Aus über 3000 Daten berechnet eine Software unter Anwendung festgelegter Schätzformeln und der Schlachtmasse die Teilstückergebnisse. Die Schlachtbetriebe fassen diese dann mit Hilfe eines unternehmensspezifischen Abrechnungsmodells zu einem Handelswert in Form von Indexpunkten je kg Schlachtmasse zusammen. Dieser Wert ist ein Indikator für die Qualität der Karkasse und stellt einen wichtigen Faktor des Marktwerts des jeweiligen Schweines dar. Eine generelle Einteilung der Höhe der Indexpunkte in schlechte Schlachtkörperqualität und exzellente Schlachtkörperqualität kann nicht vorgenommen werden, da die Bewertung vom jeweiligen Abrechnungsmodell abhängig ist. Generell wird ein möglichst hoher Indexpunkt je kg Schlachtmasse angestrebt, um einen möglichst hohen Erlös zu erlangen. Neben dem Faktor zur Wertbestimmung wird der Kennwert Indexpunkt je kg Schlachtmasse in der Beratung zur Optimierung in der Erzeugerstufe, des Vermarktungsmanagements und in der Schweinezucht genutzt.

4.14 Knochenbruchfestigkeit

24 Stunden nach der Schlachtung wurde die rechte Vorderpfote der 48 Tiere, die zur Blutanalyse bei 110 kg Lebendmasse herangezogen wurden, durch einen Schnitt im Karpometakarpalgelenk abgesetzt. Die Pfoten wurden bei -18 °C bis zur weiteren Verarbeitung gelagert. Für die Durchführung der Knochenbruchfestigkeitsprüfung wurde der dritte Metakarpus (McIII) komplett präpariert und von anhängendem Gewebe befreit. Um ein Austrocknen und Andauen während des nachfolgenden Transportes in die Schweiz zu verhindern, wurden die Knochen gekühlt im Vakuum gelagert.

Die Analyse der Knochenbruchfestigkeit fand an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich mittels Dreipunktbiegeprüfung am Gerät Z010 (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm) statt. Die Datenerhebung erfolgte mit der Software testXpert[®] Version 10.11 (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm).

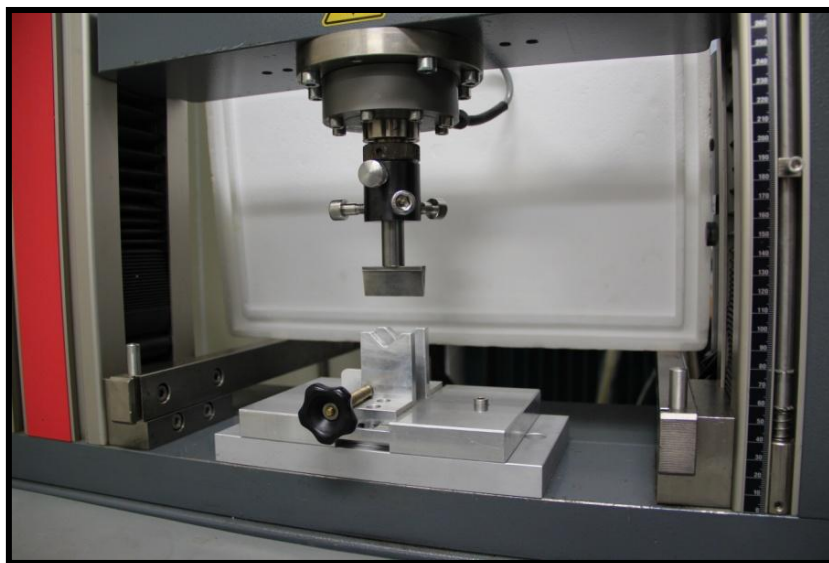


Abb. 6: Materialprüfmaschine Z010 (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm)

Dazu wurde der Metakarpus in die Vorrichtung mit der dorsalen Seite nach oben eingelegt. Der Abstand der beiden Auflageflächen betrug 20 mm. Der Belastungskeil (20° Spitze) fuhr mit 120 mm/min soweit auf den Knochen hinunter, bis ein Widerstand festgestellt wurde. Dieser Punkt wurde als Längenposition „0 mm“ festgelegt. Bei der nachfolgenden Belastungsprüfung wurde die maximal angewandte Kraft F_{\max} in Newton (N) gemessen. Die Strecke (L) in Millimetern (mm) von „0 mm“ bis zu der Längenposition, bei der die maximale Kraft anlag, wurde als L bei F_{\max} erfasst.

4.15 Chemische Analyse der Knochen

Die chemische Analyse der bereits bei der Bruchfestigkeitsprüfung herangezogenen Metakarpi fand wie im Folgenden beschrieben im Institut für Tierernährung der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover statt. Die Knochen wurden komplett von anhängenden Geweberesten gesäubert, gesägt und zur Ermittlung der Trockensubstanz (TS) gefriergetrocknet. Die Angabe der TS erfolgte in g/kg ursprünglicher Substanz (uS). Nach der Vorentfettung mit Petrolether (Soxleth-Apparatur, mind. sechs Stunden), folgte eine Trocknung bei 80 °C. Anschließend erfolgte das Mahlen der Knochenteile mit einer Hammermühle (Type DCFH 48, Fa. Culatti AG, Zürich, Schweiz). Ein Teil der Probe wurde für die fast fettfreie TS (fffr TS) ausgewogen und über Nacht bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet. Nun folgte durch Auswaage nach dem Trocknen die Bestimmung der fast fettfreien TS (fffr TS), die als Grundlage zur Berechnung der nachfolgenden Werte diente. Die Bestimmung der Rohasche erfolgte aus der bei 105 °C getrockneten Probe für die ffr TS, diese wurde 7 Stunden im Muffelofen bei 600 °C verascht.

Von den gemahlten Proben wurden 0,5 g in der Mikrowelle für den Mineralstoffaufschluss („Mega high performance microwave digestion unit“ der Fa. Milestone Inc., Shelton, USA) nach Zugabe von je 10 ml Salpetersäure (65 %) und 2 ml Wasserstoffperoxid (30 %) aufgeschlossen und auf ein Volumen von 50 ml im Messkolben mit Reinstwasser (hergestellt mittels „EASYPure LF compact ultrapure water system“, Fa. Barnstead/ThermoFisher, Dubuque, USA) aufgefüllt.

Der Gehalt an Calcium in der Probe wurde nach Verdünnung mit einer 0,5 %igen Lanthanchloridlösung mit einem Atomabsorptionsspektrometer (Thermo Elemental, Unicam SOLAAR M Series Flame and Furnace Atomic Absorption Spectrometer Systems, Cambridge, England) ermittelt.

Die Phosphorbestimmung erfolgte nach der Vanadat-Molybdat-Methode basierend auf Gericke und Kurmies 1952, modifiziert im Methodenbuch III „Die Chemische Analyse von Futtermitteln“ der VDLUFA (1983) mit institutseigenen Spezifikationen. Diese kolorimetrische Bestimmung beruht auf der Bildung einer gelben Komplexverbindung bei Zugabe von Orthophosphaten zu einem Reaktionsgemisch bestehend aus einer Salpetersäure-, einer Ammoniummolybdat- und einer Ammoniumvanadat-Lösung. Von diesem Reaktionsgemisch werden je 10 ml in 50 ml-Kolben vorgelegt. Während der „Null-Wert“ lediglich mit Reinstwasser auf Eichstrich aufgefüllt wird, werden zu den Eichstandards je definierte Mengen einer bekannten Phosphat-Stammlösung gegeben. Es folgt nun die Zugabe der Probeaschelösung zu den 10 ml Reaktionsgemisch bis die entstehende Gelbfärbung

zwischen der der Eichstandards liegt. Nachdem nun alle Kolben auf Eichstrich aufgefüllt, gut geschüttelt und ca. 30 min stehen gelassen wurden, erfolgte die photometrische Bestimmung im Spektralphotometer CADAS 100 (Fa. Dr. Lange, Berlin) bei einer Wellenlänge von 365 nm.

4.16 Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor

Die Berechnung der Stickstoff- und Phosphorausscheidung im Wirtschaftsdünger bei Anwendung des untersuchten Fütterungsregimes wurde mit dem Programm sfutt_98.exe (Landwirtschaftliche Software Erika und Ulrich Schneider, Coesfeld) durchgeführt. Es handelte sich hierbei um kalkulierte Werte auf Basis des deklarierten Inhalts. Aus Vereinfachungsgründen wurde nur die Mastphase betrachtet. Dabei wurden durch Gegenüberstellung der Summationswerte der Phosphor- und Stickstoffgehalte aller drei Mastphasen beide Fütterungsgruppen verglichen. Da die Stickstoffausscheidung innerhalb der beiden Gruppen gleich war, wurde sie in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet. Die P-Ausscheidung wurde nach Matrixwerten kalkulatativ ermittelt. Im Pflanzenbau wird die Phosphorbilanz nach der Düngeverordnung mit dem Molekül Phosphat (P_2O_5) erstellt. Daher diente zur Umrechnung von P zu P_2O_5 der Faktor 2,291. Für eine anschließende Berechnung der für die Tierhaltung notwendigen Fläche wurden pro Jahr für Stickstoff eine maximal erlaubte Ausbringungsmenge von 243 kg/ha und für Phosphat 75 kg/ha zugrunde gelegt.

4.17 Statistische Methoden

Die selbst durchgeführte Entnahme der Analysematerialien sowie deren Präparation und Aufbereitung wurden vom Autor mit größter Sorgfalt praktiziert, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten.

Die grundlegende Erfassung der Daten erfolgte im Programm Excel 2007 (Microsoft, Redmont, USA). Die Erstellung folgender statistischer Berechnungen

- arithmetrischer Mittelwert
- Standardfehler
- Prüfung auf Normal-/Gleichverteilung (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov)
- Klasseneinteilung unter-/überdurchschnittliche Tageszunahme (Klassierung)
- dreifaktorielle Varianzanalyse (Diät, Geschlecht, tägl. Zunahme)
- Interaktion zwischen Diät und Geschlecht, Diät und tägl. Zunahme
- Parameterkorrelation (Pearson)

wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Versuchsauswertung des Versuchs- und Bildungszentrums Landwirtschaft Haus Düsse mit der Software IBM[®] SPSS[®] Statistics 19 (SPSS Software GmbH, München) durchgeführt.

Alle Ergebnisse wurden als Mittelwert \pm Standardfehler angegeben. Einige Variablen waren nicht normalverteilt. Da diese nach dem Logarithmieren immer noch nicht den Kriterien der Normalverteilung entsprachen, wurden bei diesen Variablen zusätzlich der Medianwert und der Min./Max.-Wert deklariert (Angabe in eckigen Klammern).

Die Klassierung wurde anhand der durchschnittlichen Tageszunahme während der Gesamtmast vorgenommen, wobei nach initialer Sichtung der Daten ein Grenzwert von 875 g für die Klassierung in über- bzw. unterdurchschnittliche tägliche Zunahmen angesetzt wurde.

Bei den Interaktionen wurden entsprechend der Themenstellung nur Interaktion zwischen Diät und Geschlecht und Diät und täglicher Tageszunahme einer weiteren Betrachtung und Auswertung unterzogen. Waren diese Interaktionen statistisch signifikant, wurden diese unmittelbar im Ergebnisteil aufgeführt. Im Falle statistisch nicht signifikanter Interaktionen befinden sich die Ergebnisse der Interaktionsdaten im Datenanhang.

Statistische Unterschiede wurden ab einem Niveau von $P \leq 0,05$ als signifikant betrachtet.

Für die Betrachtung von Tendenzen wurde ein Signifikanzniveau $P < 0,1$ gefordert.

5 Ergebnisse

5.1 Ferkelaufzucht

Die Ferkel wurden mit vier Wochen von der Sau abgesetzt. Von den 380 in der Ferkelaufzucht aufgestellten Tieren konnten 376 statistisch ausgewertet werden. Im nachfolgenden Ergebnisteil der Ferkel wurden allerdings nur die insgesamt 242 Tiere statistisch berücksichtigt (siehe Tab. 10), die in der weiteren Mast im Versuch verblieben sind. Die Ferkelaufzucht dauerte in beiden Gruppen genau 41 Tage.

Die Kennwerte des Futters beziehen sich alle auf den Basiswert „Futteraufnahme“. Da dieser aus technischen Gründen pro Bucht erfasst wurde, handelt es sich bei den nachfolgend dargestellten Werten in Ferkelaufzucht und Mast um kalkulierte Buchtendurchschnitte pro Tier. Deswegen beträgt die Stichprobengröße bei den Kennwerten Futteraufnahme und Futteraufwand in der Ferkelaufzucht $n = 14$.

Bei der Betrachtung der Geburts- und Absetzmasse der Ferkel wurde deutlich, dass es sich initial um einen homogenen Ausgangsbestand handelte, der eine Vergleichbarkeit zuließ.

Bei der Auswertung der Kennwerte Futteraufnahme, Futteraufwand, tägliche Zunahme und Endmasse der Ferkelaufzucht zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede innerhalb der beiden geprüften Futtergruppen.

Beim Vergleich der Ferkelleistungen anhand der täglichen Zunahme und der Lebendmasse bei Ende der Ferkelaufzucht wurden gleichartige Ergebnisse innerhalb beider Gruppen festgestellt. Da die Tiere während der Ferkelaufzucht nicht getrenntgeschlechtlich aufgestellt wurden, konnte innerhalb dieser Phase keine Auswertung über den Geschlechtseinfluss auf relevante Leistungsgrößen gemacht werden.

Innerhalb der 41 Tage, in denen sich die Ferkel im Flatdeck befanden, zeigten sich bezüglich des Fundaments makroskopisch keine von der üblichen Norm abweichenden Bewegungsauffälligkeiten. Entsprechend sind hierzu keine Daten in der vorliegenden Arbeit gelistet.

Tab. 10: Geburts-, Absetzmasse und ausgewählte Kennwerte der Ferkelaufzucht

	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
Geburtsmasse (kg)	1,42 ± 0,03 [1,40; 0,80 -2,20] [#] (n = 120)	1,40 ± 0,03 [1,40; 0,80 -2,30] [#] (n = 122)	P = 0,66
Absetzmasse (kg)	7,6 ± 0,1 [7,5; 5,4 -11,7] [#] (n = 120)	7,7 ± 0,1 [7,5; 5,7 -11,5] [#] (n = 122)	P = 0,91
Kennwerte der Ferkelaufzucht	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
Futteraufnahme (g/Tag/Ferkel)	704 ± 17 (n = 14)	690 ± 14 (n = 14)	P = 0,54
Futteraufwand	1,51 ± 0,01 [1,50; 1,45 -1,66] [#] (n = 14)	1,51 ± 0,02 [1,49; 1,43 -1,65] [#] (n = 14)	P = 0,45
Tägliche Zunahme (g)	485 ± 6,6 (n = 120)	473 ± 5,6 (n = 122)	P = 0,15
Lebendmasse bei Ende der Ferkelaufzucht (kg)	28,6 ± 0,3 [28,3; 16,4 - 37,0] [#] (n = 120)	27,8 ± 0,3 [27,3; 21,1 - 41,2] [#] (n = 122)	P = 0,096

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert angegeben. Das betrifft ausschließlich Variablen, die nicht normalverteilt waren.

5.2 Mastphase

In die statistische Auswertung der Mastergebnisse wurden insgesamt 242 Tiere mit einbezogen (n = 120 in der Kontrollgruppe und n = 122 in der Versuchsgruppe). Eine Auflistung der Tierauffälle in der Mastphase ist im Anhang zu finden (siehe Kap. 13.4).

5.2.1 Futter

Wie in der Ferkelaufzucht wurden auch in der Mast die Kennwerte des Futters auf Basis der „Futteraufnahme“ kalkuliert. Es gab insgesamt 40 Mastbuchten. Zwei Buchten konnten aus Kapazitätsgründen nicht getrenntgeschlechtlich aufgestellt werden und sind daher nicht in die Auswertung mit eingegangen. Daher betrug die Stichprobengröße der Berechnung der Kennwerte des Futters in der Mast jeweils n = 19.

5.2.1.1 Futterraufnahme

Während der einzelnen Mastphasen sowie in der Betrachtung der gesamten Mastperiode wurde bezüglich der Diät kein statistisch signifikanter Einfluss auf die Futterraufnahme der Tiere festgestellt. Die Futterraufnahme stieg kontinuierlich von der Anfangs- bis zur Endmast hin an (siehe Tab. 11).

Im Unterschied zur Diät zeigte sich hinsichtlich des Geschlechts ein statistisch signifikanter Unterschied in der Beurteilung der End- und Gesamtmast ($P = 0,006$ bzw. $P = 0,007$). Männliche Schweine wiesen trotz der restriktiven Fütterung gegen Ende der Mast eine höhere Futterraufnahme als die Sauen auf.

Tab. 11: Futterraufnahme in den Mastphasen

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	Anfangsmast	1,75 ± 0,05 [1,81; 0,95 - 2,14] [#] (n = 19)	1,83 ± 0,05 [1,81; 1,51 - 2,18] [#] (n = 19)	P = 0,32
	Mittelmast	2,34 ± 0,05 (n = 19)	2,43 ± 0,05 (n = 19)	P = 0,30
	Endmast	2,50 ± 0,04 (n = 19)	2,49 ± 0,04 (n = 19)	P = 0,80
	Gesamt	2,33 ± 0,03 (n = 19)	2,32 ± 0,03 (n = 19)	P = 0,98
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	Anfangsmast	1,79 ± 0,05 [1,83; 0,95 - 2,18] [#] (n = 18)	1,80 ± 0,05 [1,79; 1,46 - 2,06] [#] (n = 20)	P = 0,92
	Mittelmast	2,41 ± 0,06 (n = 18)	2,36 ± 0,05 (n = 20)	P = 0,47
	Endmast	2,59 ± 0,05 (n = 18)	2,41 ± 0,04 (n = 20)	P = 0,006
	Gesamt	2,39 ± 0,03 (n = 18)	2,26 ± 0,03 (n = 20)	P = 0,007

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in kg/Tag/Mastschwein)

[#] In eckigen Klammern sind bei nicht normalverteilten Variablen der Medianwert und der Min./Max.-Wert angegeben.

5.2.1.2 Futteraufwand/-verbrauch je Tier

Der Futteraufwand (siehe Tab. 12) nahm von der Anfangsmast über die Mittelmast zur Endmast hin zu. Während der Mittelmast wiesen vor allem die weiblichen Schweine und die Schweine der Versuchsgruppe einen gegenüber dem Äquivalent numerisch erhöhten Futteraufwand auf. Es konnten aber sowohl beim Faktor Diät als auch beim Faktor Geschlecht keine statistisch signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Tab. 12: Futteraufwand

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	Anfangsmast	1,92 ± 0,04 (n = 19)	1,89 ± 0,04 (n = 19)	P = 0,61
	Mittelmast	2,53 ± 0,07 (n = 19)	2,61 ± 0,07 (n = 19)	P = 0,47
	Endmast	3,06 ± 0,05 (n = 19)	3,02 ± 0,05 (n = 19)	P = 0,60
	Gesamt	2,66 ± 0,04 (n = 19)	2,64 ± 0,04 (n = 19)	P = 0,71
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	Anfangsmast	1,90 ± 0,04 (n = 18)	1,92 ± 0,04 (n = 20)	P = 0,74
	Mittelmast	2,49 ± 0,07 (n = 18)	2,65 ± 0,07 (n = 20)	P = 0,12
	Endmast	3,05 ± 0,05 (n = 18)	3,03 ± 0,04 (n = 20)	P = 0,76
	Gesamt	2,64 ± 0,04 (n = 18)	2,66 ± 0,04 (n = 20)	P = 0,60

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

5.2.1.3 Futtermittelverbrauch je Tier

Wie aus Tab. 13 ersichtlich ist, war der Futtermittelverbrauch je Tier für die Mastperiode innerhalb beider Futtergruppen gleichartig. Durch die rationierte Futterzuteilung der Börgen während der Endmast hat der Kennwert Futtermittelverbrauch je Tier im Geschlechtervergleich nur eingeschränkte Aussagekraft. Hinsichtlich der Faktoren Diät und Geschlecht konnten keine statistisch signifikanten Einflüsse auf die Menge des Futtermittelverbrauchs je Tier nachgewiesen.

Tab. 13: Futtermittelverbrauch je Tier

Faktor Diät	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	245,0 ± 2,1 (n = 19)	247,7 ± 2,0 (n = 19)	P = 0,35
Faktor Geschlecht	Borg	Sau	
	247,4 ± 2,1 (n = 18)	245,3 ± 2,0 (n = 20)	P = 0,46

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in kg/Mastschwein)

5.2.2 Tägliche Zunahme

Die in Tabelle 14 ersichtliche tägliche Zunahme war in der stark P-abgesenkt gefütterten Gruppe in der Anfangsmast und in der Kontrollgruppe in der Mittelmast am höchsten. Sie nahm zur Endmast hin ab. Erwartungsgemäß sank die Entwicklungsintensität der Schweine mit steigendem Alter. Der Gesamtdurchschnitt der täglichen Zunahme während der gesamten Mast war innerhalb der Futtergruppen gleichartig. Bezüglich der Diät lagen keine statistisch signifikanten Unterschiede vor. Tendenziell ($P = 0,090$) gab es leicht verringerte tägliche Zunahmen während der Mittelmast in der Versuchsgruppe.

Die Sauen hatten während der Anfangsmast, die Börgen während der Mittelmast die höchsten Tageszunahmen. Bei den Börgen wurde in dieser Mastphase eine statistisch signifikant ($P = 0,001$) um 49 Gramm höhere Tageszunahme im Vergleich zu der Leistung der Sauen festgestellt. In den anderen Mastphasen waren keine statistisch signifikanten Veränderungen bezüglich des Geschlechts festzustellen. Der kurzfristige Geschlechterunterschied während der Mittelmast war jedoch in der Gesamtbetrachtung der Mast wieder nahezu ausgeglichen.

Da die täglichen Zunahmen klassiert dargestellt wurden, zeigten die unterdurchschnittlich wachsenden Schweine (≤ 875 g/Tag) in allen Mastphasen niedrigere Tageszunahmen als die überdurchschnittlich wachsenden Schweine (> 875 g/Tag). Bei der Betrachtung der Werte fiel auf, dass der Mittelwert der unterdurchschnittlichen Tiere in der Mittelmast über dem Klassierungsgrenzwert von 875 g/Tag lag. Das ist darin begründet, dass die Klassierung anhand der Durchschnittswerte der Gesamtbetrachtung der Mast durchgeführt wurde. Die Tiere mit überdurchschnittlichen Leistungen hatten während der Anfangsmast, die mit unterdurchschnittlichen Leistungen während der Mittelmast die besten täglichen Zunahmen.

Ergebnisse

Da die tägliche Zunahme (≤ 875 g/Tag vs. > 875 g/Tag) als Klassierungskriterium diene, waren die so klassierten Gruppen für den Faktor tägliche Zunahme erwartungsgemäß auf hohem Niveau statistisch signifikant voneinander verschieden (jeweils $P < 0,001$).

Tab. 14: Tägliche Zunahme in der Mast

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	Anfangsmast	923 ± 15 [932; 337 - 1242] [#] (n = 120)	945 ± 14 [958; 253 - 1395] [#] (n = 122)	P = 0,28
	Mittelmast	953 ± 11 (n = 120)	928 ± 10 (n = 122)	P = 0,090
	Endmast	830 ± 9 (n = 120)	831 ± 9 (n = 122)	P = 1,00
	Gesamt	882 ± 5 (n = 120)	876 ± 5 (n = 122)	P = 0,39
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	Anfangsmast	929 ± 15 [958; 253 - 1395] [#] (n = 112)	939 ± 14 [932; 337 - 1242] [#] (n = 130)	P = 0,63
	Mittelmast	965 ± 11 (n = 112)	916 ± 10 (n = 130)	P = 0,001
	Endmast	827 ± 9 (n = 112)	834 ± 9 (n = 130)	P = 0,57
	Gesamt	883 ± 5 (n = 112)	875 ± 5 (n = 130)	P = 0,27
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	Anfangsmast	875 ± 14 [903; 253 - 1216] [#] (n = 126)	993 ± 15 [1003; 647 - 1395] [#] (n = 116)	P < 0,001
	Mittelmast	896 ± 10 (n = 126)	984 ± 11 (n = 116)	P < 0,001
	Endmast	749 ± 9 (n = 126)	912 ± 9 (n = 116)	P < 0,001
	Gesamt	810 ± 5 (n = 126)	948 ± 5 (n = 116)	P < 0,001

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in g/Tag)

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

5.2.3 Lebendmasseentwicklung

Sowohl bei Mastbeginn als auch bei Mastende traten weder beim Faktor Diät noch beim Faktor Geschlecht statistisch signifikante Unterschiede im Vergleich zur jeweils anderen Gruppe auf (siehe Tab. 15). Die Schweine der beiden untersuchten Futtergruppen hatten vergleichbare Endmassen. Die Tiere der Versuchsgruppe hatten am Anfang der Mast in der Tendenz ($P = 0,096$) eine leichtere Lebendmasse. Die LM bei Mastbeginn repräsentierte dabei das Ergebnis der Ferkelaufzuchtphase. Bezüglich der LM bei Mastende ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert lediglich die Treffsicherheit beurteilt, die Tiere mit der gewünschten Lebendmasse von 115-120 kg zu schlachten. Langsamer wachsende Tiere wurden länger gemästet, um diese Zielmasse zu erreichen (siehe Kap. 4.12 und 5.2.4).

Die Schweine mit unterdurchschnittlichen Tageszunahmen waren sowohl am Beginn, als auch am Ende der Mastperiode statistisch signifikant leichter, als die Tiere mit überdurchschnittlichen Leistungen (jeweils $P = 0,016$ und $P < 0,001$).

Tab. 15: Lebendmasseentwicklung

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	Lebendmasse bei Mastbeginn	28,6 ± 0,3 [28,3; 16,4 - 37,0] [#] (n = 120)	27,8 ± 0,3 [27,3; 21,1 - 41,2] [#] (n = 122)	P = 0,096
	Lebendmasse bei Mastende	121,0 ± 0,4 [120,4; 107,2 - 132,1] [#] (n = 120)	120,8 ± 0,3 [121,3; 103,9 - 128,1] [#] (n = 122)	P = 0,66
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	Lebendmasse bei Mastbeginn	28,3 ± 0,3 [28,3; 16,4 - 41,2] [#] (n = 112)	28,1 ± 0,3 [27,3; 22,1 - 36,6] [#] (n = 130)	P = 0,60
	Lebendmasse bei Mastende	121,0 ± 0,4 [121,4; 107,5 - 128,1] [#] (n = 112)	120,8 ± 0,3 [120,8; 103,9 - 132,1] [#] (n = 130)	P = 0,68
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	Lebendmasse bei Mastbeginn	27,6 ± 0,3 [27,3; 21,1 - 41,2] [#] (n = 126)	28,8 ± 0,3 [28,4; 16,4 - 37,0] [#] (n = 116)	P = 0,016
	Lebendmasse bei Mastende	119,7 ± 0,3 [119,8; 103,9 - 125,8] [#] (n = 126)	122,0 ± 0,4 [121,9; 107,5 - 132,1] [#] (n = 116)	P < 0,001

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in kg)

[#]In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

5.2.4 Dauer der Mastphasen

Die Anfangsmast dauerte pauschal 19 Tage (siehe Tab. 16). Die stark P-abgesenkte Diät verlängerte die Dauer der Endmast statistisch signifikant ($P = 0,012$) um gut zwei Tage gegenüber der Kontrollgruppe. Über die gesamte Mastperiode betrachtet waren die Werte für die Mastdauer bezüglich der Diät jedoch nahezu ausgeglichen und statistisch signifikant nicht voneinander verschieden.

Tab. 16: Dauer der Mastphasen

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	Anfangsmast	19 ± 0,0 Tage pauschal		
	Mittelmast	30,7 ± 0,5 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 120)	29,9 ± 0,5 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 122)	P = 0,26
	Endmast	55,9 ± 0,7 [56,0; 34,0 - 83,0] [#] (n = 120)	58,2 ± 0,6 [56,0; 28,0 - 83,0] [#] (n = 122)	P = 0,012
	Gesamt	105,6 ± 0,8 [106,5; 89,0 - 124,0] [#] (n = 120)	107,1 ± 0,8 [103,0; 75,0 - 124,0] [#] (n = 122)	P = 0,18
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	Anfangsmast	19 ± 0,0 Tage pauschal		
	Mittelmast	29,5 ± 0,5 [29,0; 22,0 - 36,0] [#] (n = 112)	31,1 ± 0,5 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 130)	P = 0,040
	Endmast	57,2 ± 0,7 [55,0; 28,0 - 83,0] [#] (n = 112)	56,9 ± 0,6 [57,0; 34,0 - 83,0] [#] (n = 130)	P = 0,74
	Gesamt	105,7 ± 0,8 [103,0; 75,0 - 124,0] [#] (n = 112)	106,9 ± 0,8 [110,0; 82,0 - 124,0] [#] (n = 130)	P = 0,28
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	Anfangsmast	19 ± 0,0 Tage pauschal		
	Mittelmast	31,5 ± 0,5 [34,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 126)	29,1 ± 0,5 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 116)	P = 0,001
	Endmast	63,5 ± 0,7 [63,0; 34,0 - 83,0] [#] (n = 126)	50,6 ± 0,7 [50,0; 28,0 - 64,0] [#] (n = 116)	P < 0,001
	Gesamt	114,0 ± 0,8 [117,0; 89,0 - 124,0] [#] (n = 126)	98,7 ± 0,8 [96,0; 75,0 - 117,0] [#] (n = 116)	P < 0,001

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in Tagen)

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Die Sauen hatten in der Mittelmast zum Erreichen ihrer Schwellenmasse zwar nur minimal aber statistisch signifikant ($P = 0,040$) länger gebraucht (siehe Tab. 16). Auch dieser Unterschied stellte sich bei Betrachtung der gesamten Mastperiode als kompensiert dar.

Logischerweise war die Dauer der Mittel- und Endmast bei den Tieren mit unterdurchschnittlicher Tageszunahme statistisch signifikant (jeweils $P = 0,001$ und $P < 0,001$) erhöht. So war bei diesen Tieren die Dauer der Gesamtmast statistisch signifikant ($P < 0,001$) um ca. 15 Tage länger. Den größten Einfluss auf die Verlängerung der Gesamtmastdauer hatte hierbei, gegenüber der Gesamtmastdauer überdurchschnittlich wachsender Tiere, die alleine um ca. 13 Tage verlängerte Endmastphase.

5.3 Schlachtkörperbewertung

Stellvertretend für alle anderen AUTO-FomTM generierten Daten, die sich weitestgehend nicht innerhalb der Kontroll- und Versuchsgruppe unterschieden, wurden in dieser Arbeit nur die Indexpunkte je kg Schlachtmasse berücksichtigt und dargestellt. Je höher der Wert des Indexpunkts je kg Schlachtmasse, desto höher ist die Schlachtkörperqualität. Zwei Tiere konnten nicht ausgewertet werden. Somit wurden die Werte von 240 Tieren in die statistische Auswertung der Indexpunkte je kg Schlachtmasse mit einbezogen (siehe Tab. 17).

Tab. 17: Indexpunkt je kg Schlachtmasse

Faktor Diät	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	0,996 ± 0,006 [1,013; 0,724 -1,050] [#] (n = 120)	0,995 ± 0,005 [1,008; 0,701 -1,050] [#] (n = 120)	P = 0,88
Faktor Geschlecht	Borg	Sau	
	0,986 ± 0,006 [1,005; 0,701 -1,050] [#] (n = 111)	1,005 ± 0,005 [1,018; 0,749 -1,050] [#] (n = 129)	P = 0,020
Faktor tägl. Zunahme	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	0,995 ± 0,006 [1,019; 0,701 -1,050] [#] (n = 124)	0,996 ± 0,006 [1,002; 0,747 -1,050] [#] (n = 116)	P = 0,98

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#]In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Wie Tab. 17 zu entnehmen ist, hatten alle Tiere im Mittel eine hohe Schlachtkörperqualität. Die Diät hatte dabei keinen negativen Einfluss auf den Indexpunkt je kg Schlachtmasse. So schnitten die beiden Futtergruppen bezüglich der Qualität des Schlachtkörpers gleich ab.

Der Indexpunkt je kg Schlachtmasse war bei den Sauen statistisch signifikant ($P = 0,020$) höher als bei den männlichen Tieren. Hierbei handelte es sich durchschnittlich um eine Erhöhung um 0,019 Indexpunkte je kg Schlachtmasse.

Die Leistung der Tiere in Bezug auf die tägliche Zunahme hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Indexpunkt je kg Schlachtmasse.

5.4 Biomarker des Knochenstoffwechsels im Blut

Von den bei 40 kg Lebendmasse genommenen Blutproben sind 22 ($n = 10$ in der Kontrollgruppe und $n = 12$ in der Versuchsgruppe), von den bei 110 kg Lebendmasse gesammelten Blutproben sind 43 ($n = 21$ in der Kontrollgruppe und $n = 22$ in der Versuchsgruppe) in die Analyse der Knochenmarker Osteocalcin und β -Crosslaps eingegangen.

5.4.1 Osteocalcin

Der Osteocalcingehalt im Serum (siehe Tab. 18) der stark P-abgesenkt versorgten Tiere war sowohl bei einer Lebendmasse von 40 kg als auch von 110 kg niedriger als im Serum der Kontrolltiere. Diese Beobachtung war statistisch signifikant (jeweils $P = 0,022$ und $P = 0,015$). Dabei war der Gehalt des Osteocalcins bei 40 kg Lebendmasse gegenüber der Kontrollgruppe um 24,7 % und bei 110 kg Lebendmasse um 15,3 % erniedrigt.

Tab. 18: Osteocalcinkonzentration im Serum bei 40 und 110 kg Lebendmasse

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	40 kg Lebendmasse	98,8 ± 7,1 (n = 10)	74,4 ± 6,1 (n = 12)	P = 0,022
	110 kg Lebendmasse	65,2 ± 2,8 (n = 21)	55,2 ± 2,7 (n = 22)	P = 0,015
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	40 kg Lebendmasse	75,4 ± 7,2 (n = 9)	92,0 ± 6,1 (n = 13)	P = 0,17
	110 kg Lebendmasse	57,1 ± 2,9 (n = 19)	63,3 ± 2,6 (n = 24)	P = 0,12
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	40 kg Lebendmasse	83,8 ± 6,9 (n = 11)	85,7 ± 6,2 (n = 11)	P = 0,73
	110 kg Lebendmasse	61,0 ± 2,8 (n = 23)	59,5 ± 2,7 (n = 20)	P = 0,70

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in ng/ml)

Die Osteocalcinkonzentration war bei den Sauen numerisch, jedoch nicht statistisch signifikant, erhöht (siehe Tab. 18). Zwischen den Faktoren Diät und Geschlecht gab es bei einer Lebendmasse von 110 kg eine statistisch signifikante Interaktion (P = 0,049; siehe Kap. 13.2).

Das Ausmaß der durchschnittlichen täglichen Zunahme hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Osteocalcinmenge im Blut.

5.4.2 β -Crosslaps

Bei der Betrachtung der β -Crosslapsgehalte im Blut der Schweine in Tab. 19 wurden weder bei 40 kg noch bei 110 kg Lebendmasse statistisch signifikante Unterschiede gefunden. Das betraf die Berechnung aller drei Faktoren. Zwischen den Faktoren Diät und Geschlecht gab es bei einer Lebendmasse von 110 kg jedoch eine statistisch signifikante Interaktion (P = 0,049; siehe Kap. 13.2).

Tab. 19: β -Crosslapskonzentration im Serum bei 40 und 110 kg Lebendmasse

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	40 kg Lebendmasse	0,359 ± 0,056 [0,360; 0,260 - 0,520] [#] (n = 10)	0,367 ± 0,049 [0,340; 0,230 - 0,740] [#] (n = 12)	P = 0,78
	110 kg Lebendmasse	0,561 ± 0,032 (n = 21)	0,560 ± 0,030 (n = 22)	P = 0,99
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	40 kg Lebendmasse	0,424 ± 0,057 [0,395; 0,230 - 0,740] [#] (n = 9)	0,318 ± 0,048 [0,310; 0,230 - 0,610] [#] (n = 13)	P = 0,26
	110 kg Lebendmasse	0,550 ± 0,032 (n = 19)	0,571 ± 0,030 (n = 24)	P = 0,64
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	40 kg Lebendmasse	0,369 ± 0,055 [0,340; 0,290 - 0,610] [#] (n = 11)	0,359 ± 0,049 [0,360; 0,230 - 0,740] [#] (n = 11)	P = 0,84
	110 kg Lebendmasse	0,567 ± 0,031 (n = 23)	0,553 ± 0,031 (n = 20)	P = 0,64

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in ng/ml)

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

5.5 Knochenbruchfestigkeit

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Knochenbruchfestigkeitsanalyse und der Strecke L bei F_{\max} in Tabellenform dargestellt.

Die ermittelten Durchschnittswerte der Knochenbruchfestigkeit (siehe Tab. 20) in der Dreipunktbiegeprüfung ergaben keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Schweinen bezüglich beider geprüften Diäten, beider Geschlechter und bezüglich der Leistungen hinsichtlich der täglichen Zunahme.

Tab. 20: Knochenbruchfestigkeit

Faktor Diät	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	1782 ± 65 (n = 24)	1742 ± 67 (n = 24)	P = 0,66
Faktor Geschlecht	Borg	Sau	
	1703 ± 70 (n = 19)	1821 ± 62 (n = 29)	P = 0,21
Faktor tägl. Zunahme	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	1804 ± 65 (n = 28)	1720 ± 67 (n = 20)	P = 0,38

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in N)

Dieselbe Beobachtung konnte bei der Betrachtung der Ergebnisse der Strecke L bei F_{\max} (siehe Tab. 21) gemacht werden.

Tab. 21: Strecke L bei F_{\max}

Faktor Diät	Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	6,93 ± 0,22 (n = 24)	6,93 ± 0,23 (n = 24)	P = 0,99
Faktor Geschlecht	Borg	Sau	
	6,82 ± 0,24 (n = 19)	7,04 ± 0,21 (n = 29)	P = 0,49
Faktor tägl. Zunahme	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	6,69 ± 0,23 (n = 28)	7,17 ± 0,23 (n = 20)	P = 0,14

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (in mm)

5.6 Mineralisierung des Knochens

Bei der Bewertung von TS-, Rohasche- und Calciumgehalten (siehe Tab. 22) konnten im Vergleich der beiden Diäten keine statistisch signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Der Gehalt an Phosphor war bei den Metakarpi der stark P-abgesenkten Futtergruppe in der Tendenz ($P = 0,096$) um etwa 2,7 % reduziert.

Bezüglich des Geschlechts konnte beim Calciumgehalt ein statistisch signifikant ($P = 0,030$) erhöhter Wert in den Knochen der Sauen nachgewiesen werden. Die anderen erhobenen Kennwerte zeigten keine Geschlechtsbeeinflussung.

Der Faktor durchschnittliche tägliche Zunahme hatte keine statistisch signifikante Auswirkung auf die analysierten Werte der Knochenmineralisation.

Tab. 22: Kennwerte der Knochenmineralisierung

Faktor Diät		Kontrolle	stark P-abgesenkt	
	TS	696,2 ± 3,0 (n = 24)	694,5 ± 3,1 (n = 24)	P = 0,70
	Rohasche	540,0 ± 4,1 (n = 24)	532,7 ± 4,2 (n = 24)	P = 0,22
	Calcium	205,1 ± 2,5 (n = 24)	200,8 ± 2,5 (n = 24)	P = 0,24
	Phosphor	95,7 ± 1,1 (n = 24)	93,1 ± 1,1 (n = 24)	P = 0,096
Faktor Geschlecht		Borg	Sau	
	TS	695,1 ± 3,2 (n = 19)	695,6 ± 2,8 (n = 29)	P = 0,90
	Rohasche	535,4 ± 4,4 (n = 19)	537,3 ± 3,9 (n = 29)	P = 0,75
	Calcium	199,0 ± 2,6 (n = 19)	207,0 ± 2,3 (n = 29)	P = 0,030
	Phosphor	93,7 ± 1,2 (n = 19)	95,1 ± 1,0 (n = 29)	P = 0,37
Faktor tägliche Zunahme		≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
	TS	697,8 ± 3,0 (n = 28)	692,9 ± 3,1 (n = 20)	P = 0,26
	Rohasche	541,2 ± 4,1 (n = 28)	531,5 ± 4,2 (n = 20)	P = 0,10
	Calcium	201,1 ± 2,5 (n = 28)	204,8 ± 2,5 (n = 20)	P = 0,30
	Phosphor	94,3 ± 1,1 (n = 28)	94,6 ± 1,1 (n = 20)	P = 0,84

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler (bei TS in g/kg uS, ansonsten in g/kg ffr TS)

5.7 Korrelationen

Nachfolgend werden die Korrelationen (nach Pearson) der im Blut und im Knochen erhobenen Kennwerte und der täglichen Zunahme dargestellt. Bei statistisch signifikanten Korrelationen wurden der Korrelationskoeffizient und P-Wert fett gedruckt. Im Folgenden wurde nur auf diese Beziehungen eingegangen:

Die Serumkonzentration der β -Crosslaps (siehe Tab. 23) korrelierten bei 40 kg Lebendmasse mit denen bei 110 kg Lebendmasse ($r = 0,46$, $P = 0,029$).

Tab. 23: Korrelationen zwischen Blutkennwerten

		Osteocalcin 40 kg LM	Osteocalcin 110 kg LM	β -Crosslaps 40 kg LM
Osteocalcin 110 kg LM	Korrelation	0,34		
	P-Wert	0,11		
	n	23		
β -Crosslaps 40 kg LM	Korrelation	-0,05	-0,02	
	P-Wert	0,81	0,93	
	n	23	23	
β -Crosslaps 110 kg LM	Korrelation	0,15	0,06	0,46
	P-Wert	0,49	0,71	0,029
	n	23	44	23

Die Bruchfestigkeit der Knochen F_{\max} korrelierte positiv ($r = 0,36$, $P = 0,013$) mit der Strecke L bei F_{\max} (siehe Tab. 24). Die Knochenkennwerte Rohaschegehalt und Calciumgehalt ($r = 0,44$, $P = 0,002$) und Rohasche- und Phosphorgehalt ($r = 0,50$, $P < 0,001$) wiesen eine positive Beziehung zueinander auf. Weiterhin standen auch der Calcium- und Phosphorgehalt in positiver Korrelation zueinander ($r = 0,80$, $P < 0,001$).

Positiv dagegen korrelierte der Serum-Osteocalcingehalt bei 110 kg Lebendmasse (siehe Tab. 25) mit den Kennwerten der Knochenmineralisation Rohasche ($r = 0,35$, $P = 0,022$), Calciumgehalt ($r = 0,32$, $P = 0,042$) und Phosphorgehalt ($r = 0,38$, $P = 0,013$). Die Serumkonzentration der β -Crosslaps bei 40 kg Lebendmasse korrelierten mit denen der TS-Gehalte ($r = 0,44$, $P = 0,047$). Die Bruchfestigkeit der Knochen F_{\max} korrelierte negativ ($r = -0,32$, $P = 0,029$) mit der täglichen Zunahme der Schweine. Auch bei dem TS-Gehalt der Knochen war eine negative Beziehung ($r = -0,46$, $P = 0,001$) zur täglichen Zunahme nachzuweisen.

Ergebnisse

Tab. 24: Korrelationen zwischen Knochenkennwerten

		F _{max}	TS	Rohasche	Calcium	Phosphor
TS	Korrelation	0,15				
	P-Wert	0,31				
	n	48				
Rohasche	Korrelation	0,21	-0,08			
	P-Wert	0,15	0,57			
	n	48	48			
Calcium	Korrelation	0,15	-0,10	0,44		
	P-Wert	0,29	0,52	0,002		
	n	48	48	48		
Phosphor	Korrelation	0,13	0,00	0,50	0,80	
	P-Wert	0,37	0,98	< 0,001	< 0,001	
	n	48	48	48	48	
L bei F _{max}	Korrelation	0,36	-0,23	0,08	0,02	-0,14
	P-Wert	0,013	0,11	0,61	0,90	0,35
	n	48	48	48	48	48

Tab. 25: Korrelationen zwischen Blut-, Knochenkennwerten und täglicher Zunahme

		Osteocalcin 40 kg LM	Osteocalcin 110 kg LM	β-Crosslaps 40 kg LM	β-Crosslaps 110 kg LM	tägliche Zunahme
F _{max}	Korrelation	-0,16	0,18	-0,35	-0,21	-0,32
	P-Wert	0,50	0,26	0,12	0,19	0,029
	n	21	42	21	42	48
L bei F _{max}	Korrelation	-0,24	0,22	-0,12	-0,17	0,16
	P-Wert	0,30	0,16	0,60	0,28	0,28
	n	21	42	21	42	48
TS	Korrelation	0,36	-0,07	0,44	0,01	-0,46
	P-Wert	0,10	0,66	0,047	0,93	0,001
	n	21	42	21	42	48
Rohasche	Korrelation	0,31	0,35	-0,24	-0,28	-0,26
	P-Wert	0,17	0,022	0,29	0,078	0,080
	n	21	42	21	42	48
Calcium	Korrelation	0,20	0,32	-0,12	-0,21	0,00
	P-Wert	0,38	0,042	0,59	0,18	0,99
	n	21	42	21	42	48
Phosphor	Korrelation	0,28	0,38	0,03	-0,09	-0,04
	P-Wert	0,22	0,013	0,90	0,56	0,79
	n	21	42	21	42	48
tägliche Zunahme	Korrelation	-0,29	-0,18	-0,11	-0,18	
	P-Wert	0,20	0,26	0,62	0,26	
	n	22	43	22	43	

5.8 Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor

In der Tabelle 26 wurden die Unterschiede in der Feld- und Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor innerhalb der beiden Futtergruppen dargestellt. Die Betrachtung betraf nur die Periode der Mast. Bei der Berechnung des Flächenbedarfs wurde als Beispiel die Mast von 1000 Schweinen fiktiv zugrunde gelegt.

Aufgrund der verminderten Phosphorgehalte in der Futtermittelration der stark P-abgesenkten Futtergruppe verringerte sich die P-Aufnahme pro Schwein in der gesamten Mastphase um 142 g und somit um 14,6 %. Die P-Ausscheidung reduzierte sich in der Versuchsgruppe um 141 g oder 28,0 % pro Schwein. Im Pflanzenbau wird die Phosphorbilanz mit dem Molekül Phosphat (P_2O_5) erstellt. Der Umrechnungsfaktor von P zu P_2O_5 ist 2,291. Somit ergab sich eine Reduktion der P_2O_5 -Ausscheidung pro Schwein um 0,323 kg.

Der Flächenbedarf für 1000 Schweine nach maximalem P_2O_5 -Düngewert (75 kg/ha) hat sich durch die Maßnahme der P-Reduktion von 15,36 ha auf 11,06 ha reduziert. Er wurde aus dem Quotienten aus der P_2O_5 -Ausscheidung für einen Mastdurchgang von 1000 Tieren und dem maximalen P_2O_5 -Düngewert, wie folgt, gebildet:

$$\text{Für } P_2O_5: 1,152 \text{ kg } P_2O_5 \times 1000 \text{ Tiere} / 75 \text{ kg/ha} = 15,36 \text{ ha}$$

Die Ausscheidung an Stickstoff wurde durch die Maßnahme der P-Reduktion nicht beeinflusst. Daher wurde auf die Berechnung nicht weiter eingegangen.

Tab. 26: Feld-/Stallbilanz von N und P

	Kontrolle	stark P-reduziert	Veränderung zur Kontrolle in %	
P-Gehalte im Futter dreiphasig je nach Lebendmasse (g/kg Frischsubstanz)	ab 28 kg	4,5	4,1	8,9
	ab 40 kg	4,0	3,4	15
	ab 75 kg	3,9	3,4	12,8
P-Aufnahme in der gesamten Mastphase (g/Mastschwein)	973	831	-14,6	
P-Ausscheidung in der gesamten Mastphase (g/Mastschwein)	503	362	-28,0	
P_2O_5 -Ausscheidung in der gesamten Mastphase (kg/Mastschwein)	1,152	0,829	-28,0	
Flächenbedarf für 1000 Tiere nach Grenzwert für P_2O_5 -Düngung (ha)	15,36	11,06	-28,0	
Flächenbedarf für 1000 Schweine nach Grenzwert für N-Düngung (ha)	17,20	17,20	-	

5.9 Auffälligkeiten

Es traten bei mindestens 33 Tieren (13 %) Lahmheiten und/oder Gelenkveränderungen im Knie auf. Die Lahmheiten wurden vom Stallpersonal grobsinnlich eingeschätzt und vermerkt. Eine exakte Quantifizierung der lahmen Schweine konnte im Nachgang aufgrund eines nicht erfolgten Lahmheitsmonitorings inklusiver klarer Lahmheitsdefinition nicht durchgeführt werden. Auffällig war jedoch, dass die Lahmheiten in beiden Futtergruppen gleich auftraten. Wegen fehlender exakter Trennung von lahmen und nicht lahmen Tieren konnte ein Vergleich der Knochen hinsichtlich Mineralisierung und Bruchfestigkeit bei kranken und gesunden Tieren und zwischen den Gruppen nicht durchgeführt werden.

Durch eine pathologische Untersuchung im Staatlichen Veterinäruntersuchungsamt Arnsberg wurde eine beidseitige Osteochondrosis dissecans (OCD) in den Kniegelenken diagnostiziert. Bei der mikrobiologischen Untersuchung der Gelenke ergab sich kein direkter Rückschluss der klinischen Erscheinung auf eine virale oder bakterielle Infektionskrankheit.

Die Lahmheiten traten vermehrt in einem der beiden Abteile mit vermindertem Platzbedarf (5er Buchten) auf. Hier wurden Tiere der Rasse Topigs 20 gehalten. In den 12er Buchten waren Schweine der Rasse Porkuss. Die Fläche entsprach auch in den 5er Buchten mindestens den Vorgaben der *„Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung“*, kurz Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV; 2006). Somit hatten die Schweine der 5er Buchten relativ betrachtet, verglichen mit den Tieren der 12er Buchten, die gleiche Fläche. Das absolute Platzangebot war in den 5er Buchten jedoch vermindert, sodass die Tiere keine „längere Strecke“ gehen konnten, um Knorpel und Knochengerüst ausreichend zu trainieren.

6 Diskussion

In den letzten Jahren wurden bereits viele Studien zur Phytase und deren Wirkung in der Schweinemast durchgeführt. Oft wurden allerdings dabei nur bestimmte Alters- oder Lebendmasseabschnitte untersucht (Qian et al., 1996a; Kies et al., 2006; Wetscherek-Seipelt et al., 2007; Bühler et al., 2010). Nicht selten wurden die Tiere lediglich innerhalb einiger Wochen P-reduziert gefüttert. Inwiefern eine starke P-Reduktion mit Phytasezusatz in der Ration auf Schweine vom Absetzen bis zur Schlachtung wirkt, ist bisher noch wenig untersucht worden. Weiterhin fehlt es an Aussagen über den geschlechtlichen Einfluss und die Bedeutung der täglichen Zunahme auf die Physiologie des Knochens von Schweinen mit restriktiver Phosphorversorgung.

Mit dieser Studie sollte ein Beitrag dazu geleistet werden, die genauen Auswirkungen auf die Entwicklung des Körpermasseansatzes (Leistung) - unter der Prämisse der Verfütterung stark Phosphor-reduzierter Ferkelaufzucht- und Mastrationen - besser abschätzen und verstehen zu können. Das knöcherne Gerüst, das besonders auf eine ausreichende Grundversorgung an Mineralien wie vor allem Calcium und Phosphor angewiesen ist, wird bei Nutztieren mit hohen Tageszunahmen speziellen Belastungen ausgesetzt. Deswegen verdiente die Betrachtung des Fundaments in den Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit.

6.1 Haltung und Fütterung

Die Haltung der Ferkel fand in praxisüblichen Flatdeckställen auf Kunststoffrosten statt. In der Mast bestand der Boden aus Betonvollspalten. Die Tiere wurden so auf die bestehenden Buchten aufgeteilt, dass mögliche Störgrößen wie Lichteinfall und Klimavariabilität weitestgehend gleichverteilt waren. Die sukzessive Veränderung der Temperatur wurde nach einer definierten Temperaturkurve durchgeführt, die im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse standardmäßig angewandt wird. Bei wetterbedingten Klimaschwankungen mussten allerdings stallspezifisch manuelle Veränderungen vorgenommen werden. Diese befanden sich jedoch im Rahmen üblicher Toleranzen. Da sich die Schweine beider geprüften Futtergruppen in den gleichen Abteilen befanden, war die Abweichung des Klimas gleichverteilt.

Die Schweine wurden während der Ferkelaufzuchtphase mit Trockenfutter und während der Mastphase mit Flüssigfutter versorgt. Die Flüssigfütterung in der Mast erleichterte die Erfassung der Futtermengen (Daldrup, 2011). Die Tendenz der geplanten Mineralstoffunterschiede innerhalb der Kontroll- und stark P-abgesenkten Futtergruppe konnte bei der Herstellung realisiert werden.

Durch die extreme Variabilität der natürlichen Phytasegehalte in Futtermitteln (Eeckhout und De Paepe, 1994) ist es bei der Herstellung eines Alleinfutters eine besondere Herausforderung, die erwünschte Phytasemenge im Futter einzustellen. Im vorliegenden Versuch wurde nur Getreide einer Charge verwandt. Somit wurde das Risiko eventuell bestehender Unterschiede in der Phytasemenge und Zusammensetzung der Nährstoffanteile bei Verwendung mehrerer Chargen umgangen.

Um einer Entmischung einzelner Komponenten im Futter vorzubeugen, wurde das Futter im Mischwerk granuliert. Jongbloed und Kemme (1990) und Blaabjerg et al. (2012) wiesen in ihren Arbeiten eine Verringerung der intrinsischen Phytaseaktivität durch den Hitzeeinfluss während des Pelletierens/Granulierens nach. Da die mikrobielle Phytase ähnlich empfindlich gegenüber Hitze ist (Slominski et al., 2007), wurde diese im vorliegenden Versuch erst nach dem Vorgang der Konfektionierung auf das Granulat durch ein Sprühverfahren aufgetragen.

6.2 Leistungen

6.2.1 Ferkelaufzuchtphase

Bei der Betrachtung der Geburts- und Absetzmasse der Ferkel (siehe Tab. 10) wurde deutlich, dass es sich initial um einen Ausgangsbestand handelte, der eine Vergleichbarkeit zuließ. Somit ist von einem homogenen Tiermaterial mit vergleichbarem Leistungspotential auszugehen. Während der Ferkelaufzucht war die Futterraufnahme in der Kontroll- und Versuchsgruppe ähnlich und der Futteraufwand mit jeweils 1,51 im praxisüblichen Durchschnitt. In den Arbeiten von Eckel et al. (1992) und Eidelsburger et al. (1992) bewegten sich die Ergebnisse des Futteraufwands bei Ferkeln (Deutsche Landrasse × Pietrain) bei insgesamt neun getesteten Rationen (verschiedene Modifikationen mit NaHCO_3 , Calciumformiat und Ameisensäure) plus zweier Negativkontrollen im Bereich zwischen 1,43 und 1,60.

Auch bei den Werten der täglichen Zunahme konnte keine statistisch signifikante Beeinflussung durch die Wahl der Diät festgestellt werden. Die Ferkel wiesen am Ende der Ferkelaufzucht eine nach gleicher Verweildauer im Stall innerhalb der beiden getesteten Futtergruppen ähnliche Lebendmasse auf.

Zusammenfassend konnte in der Ferkelaufzucht bei keinem der erhobenen Werte statistisch signifikante negative Rückschlüsse auf die Maßnahme der starken P-Reduktion gemacht werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass das Leistungspotential der Tiere im getesteten Rahmen während der Ferkelaufzucht nicht beeinflusst wurde. Des Weiteren zeigten die Ferkel

innerhalb der 41 Tage, in denen sie im Flatdeckstall verblieben, bezüglich des Fundaments makroskopisch keine von der Norm abweichenden Bewegungsauffälligkeiten.

Die Resultate der Ferkelaufzucht decken sich mit den Ergebnissen eines zuvor durchgeführten vergleichbaren Ferkelversuchs im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse (Stalljohann und Patzelt, 2010). Hier wurden die Auswirkungen einer der Kontrollgruppe (dreiphasig: P 6,0/5,5/5,0 g/kg) gegenüber um 0,5 g Phosphor-reduzierten Ration in der Ferkelaufzucht untersucht. Allerdings wurde der Unterschied im Phosphorgehalt durch die Modifizierung der zugegebenen Mineralstoffmenge und nicht wie im vorliegenden Versuch durch die Wahl phosphorarmer Komponenten realisiert. Es konnte festgestellt werden, dass die P-Reduktion um 8,3/9,1/10,0 % statistisch keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Leistung herbeiführte. Eine weitere Verfolgung der Leistungsentwicklung der Schweine während der Mast wurde in dem oben genannten Versuch jedoch nicht durchgeführt.

6.2.2 Mastphase

Die **Futteraufnahme** der Schweine während der Mast (siehe Tab. 11) zeigte mit fortlaufender Mastphase einen deutlichen Anstieg. Das ist durch die erhöhte Aufnahmekapazität und den erhöhten Futterbedarf in den späten Mastphasen zu begründen. Während die Veränderung der verfütterten Diät keinen Einfluss auf die Futteraufnahme hatte, gab es bei der Betrachtung des Geschlechts deutliche Unterschiede in der End- und Gesamtmast. So nahmen die männlichen Tiere statistisch signifikant (Endmast: $P = 0,006$, Gesamtmast: $P = 0,007$) mehr Futter auf als die weiblichen.

Der **Futteraufwand** (siehe Tab. 12) stieg im Laufe der Mast an. Somit war die Umsetzung des Futters in Gewebeansatz bei den jüngeren Schweinen effizienter. Weder im Hinblick auf die Diät noch auf das Geschlecht konnten statistisch signifikante Einflüsse beobachtet werden. Im Gesamtdurchschnitt der Mast wurde eine Futterverwertung von 1:2,66 (K) bzw. 1:2,64 (V) ermittelt. Der **Gesamtfutterverbrauch je Tier** (siehe Tab. 13) zeigte sich weder durch die Diät noch durch das Geschlecht beeinflusst.

Die futterbezogenen Messwerte wurden aus technischen Gründen durch Bildung von Buchtendurchschnitten ermittelt. Somit konnte eine Einzelhaltung der Schweine umgangen werden. Obwohl eine tierindividuelle Messung präzisere Ergebnisse geliefert hätte, kann der Kennwert Futteraufnahme, auf dem alle anderen kalkulierten Futterkennwerte basieren, durch die Anzahl der Wiederholungen (FAZ: 28 Buchten; Mast: 38 Buchten) als statistisch abgesichert angesehen werden.

Bei der Betrachtung der **täglichen Zunahme** (siehe Tab. 14) gab es hinsichtlich des Faktors Diät in allen Mastabschnitten und somit auch in der Gesamtauswertung keine statistisch signifikanten Unterschiede. Interessanterweise waren die höchsten Tageszunahmen der Kontrollgruppe in der Mittelmast und der Versuchsgruppe in der Anfangsmast zu verzeichnen. Die Entwicklungsintensität nahm im Allgemeinen zum Ende der Mast ab. Insgesamt zeigten beide Futtergruppen mit 882 g (K) bzw. 876 g (V) praxisübliche Tageszunahmen. Bezüglich des Geschlechts wurde in der Mittelmast ein erheblicher Unterschied ($P = 0,001$) zwischen Börgen und Sauen deutlich. Während die Börgen durchschnittlich 965 g in dieser Phase pro Tag zunahm, betrug der Wert bei den Sauen nur 916 g. In der gesamten Auswertung kompensierte sich diese Differenz nahezu wieder, sodass es sich lediglich um einen temporären Effekt handelte. Bei der Klassierung nach Tageszunahme hatten die Tiere mit unterdurchschnittlicher Leistung (≤ 875 g/Tag) in der Gesamtbetrachtung im Mittel 810 g tägliche Zunahme und die mit überdurchschnittlicher Leistung (> 875 g/Tag) eine Zunahme von 948 g pro Tag. Dabei fielen 47,9 % (116 Schweine) aller Tiere in die Kategorie mit überdurchschnittlichen Leistungen. Es fällt auf, dass der Mittelwert der Tiere mit unterdurchschnittlichen Leistungen in der Mittelmast über 875 g Zunahme pro Tag lag. Das ist darin begründet, dass die Klassierung anhand der Durchschnittswerte der Gesamtbetrachtung der Mast durchgeführt wurde und somit Werte der einzelnen Mastphasen davon abweichen konnten.

Die **Lebendmasse** bei Mastende (siehe Tab. 15) ist zwischen beiden Diäten annähernd gleich. Da zum Erreichen der Schlachtreife eine Lebendmasse von ca. 120 kg vorausgesetzt wurde, verblieben die Tiere bis dahin im Stall.

Somit ist der Vergleich der Endlebensmasse von eingeschränkter Aussagekraft. Die Auswertung der Mastdauer kann hierbei als ein geeigneteres Maß angesehen werden, um vergleichende Aussagen treffen zu können.

Bei der Betrachtung des Faktors tägliche Zunahme fiel jedoch auf, dass die unterdurchschnittlich wachsenden Tiere sowohl am Ende der Ferkelaufzucht (= Beginn der Mast), als auch am Ende der Mast eine verringerte Lebendmasse aufwiesen. Dieser Unterschied war statistisch signifikant mit jeweils $P = 0,016$ und $P < 0,001$.

Eine mögliche Erklärung hierfür kann sein, dass die im Stall verbliebenen Tiere mit geringerer Wachstumsintensität bereits vor Erreichen der Schlachtreife der Verwertung zugeführt wurden. Somit konnte eine lange unökonomische Blockierung des Stalls für einen folgenden Mastdurchgang verhindert werden.

Bezüglich der **Dauer** der Mastphasen (siehe Tab. 16) wurde beim Faktor Diät während der Endmast eine gegenüber der Kontrollgruppe statistisch signifikante Erhöhung ($P = 0,012$) um 2,3 Tage bei der Versuchsgruppe beobachtet.

Daraus kann abgeleitet werden, dass sich geringe Unterschiede eher in der Endmast zeigten, da die Massespanne hier am größten war (75-120 kg). Zwischen Börgen und Sauen trat ein statistisch signifikanter Unterschied bereits in der Mittelmast auf ($P = 0,040$). Die Sauen benötigten im Schnitt 1,6 Tage länger. Das ist mit der bereits erwähnten verminderten Tageszunahme der Sauen in der Mittelmast zu erklären. Während die Tiere mit überdurchschnittlicher Tageszunahme im Mittel 98,7 Tage in der Mast verblieben, benötigten die Tiere mit unterdurchschnittlicher Tageszunahme 114,0 Tage. Damit lagen selbst letztere im praxisüblichen Durchschnitt.

Durch die rationierte Futterzuteilung der Böрге während der Endmast ist der Geschlechtervergleich bezüglich der Kennwerte des Futters für die Betrachtung der Endmast und somit auch der gesamten Mast eingeschränkt aussagekräftig.

Die direkte Gegenüberstellung einer restriktiven und *ad libitum* Fütterung bei Börgen führten Ramaekers et al. (1996) durch. Dabei wurde deutlich, dass die restriktiv gefütterten Tiere gegenüber den *ad libitum* versorgten einen höheren Magerfleischanteil aufwiesen. Ein hoher Magerfleischanteil hat positive Auswirkungen auf die Berechnung der Karkassenqualität und steigert somit den Erlös des Schlachtkörpers. Im vorliegenden Versuch wurde beobachtet, dass die Böрге hinsichtlich der täglichen Zunahme trotz der Futterrestriktion ab 75 kg Lebendmasse vergleichbare Ergebnisse wie die weiblichen Tiere erzielten, die durchgängig unlimitierten Zugang zu Futter hatten.

Im Vorfeld wurden im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse bereits die Auswirkungen eines Verzichts auf anorganischen Phosphor in der Mast untersucht (Walgern et al., 2011). Dabei lagen die deklarierten Phosphorgehalte der dreiphasigen Ration in der Gruppe ohne Zusatz anorganischen Phosphors (Versuchsgruppe) bei 3,7, 3,5 und 3,4 g/kg Frischsubstanz mit einem Phytasezusatz (Phyzyme[®] XP) von 1000, 500 und 350 FTU/kg Frischsubstanz. Die Resultate der Schweine der starken P-Absenkung deckten sich weitestgehend mit den oben diskutierten Mastleistungskennwerten. Auch hier waren die Leistungen der Tiere nicht durch die P-Reduktion negativ beeinflusst. Die Schweine in der Arbeit von Walgern et al. (2011) wurden nur in der Mast phosphorreduziert gefüttert, sodass eine Beurteilung der Auswirkungen einer P-reduzierten Ferkelaufzucht auf die weitere Entwicklung nicht möglich war.

Mit Betrachtung der oben diskutierten Werte kann festgehalten werden, dass die in der vorliegenden Arbeit geprüfte starke P-Absenkung keinerlei negativen Einfluss auf die erhobenen Kennwerte der Leistung während der Entwicklung der Schweine hatte. Die Aussage bezieht die kontinuierliche Fortführung der schon in der Ferkelaufzucht P-reduziert versorgten Tiere in der Mast mit ein.

Der bereits genannte Versuch von Stalljohann und Patzelt (2010) und die Ergebnisse des Ferkelaufzuchtversuchs dieser Arbeit zeigten, dass die überprüfte, gegenüber der Standard-P-reduzierten Ration veränderte Futterkomposition bei Ferkeln gleiche Leistungen erzielte. Als Ergänzung wiesen Walgern et al. (2011) die Unbedenklichkeit während der Mastphase nach. Die vorliegende Untersuchung zeigte als Zusammenfassung der zwei zuvor genannten Arbeiten, dass eine P-Reduktion auch in Kombination von Ferkelaufzucht und Mast im überprüften Rahmen auf die Leistungen der Tiere in der Gesamtbetrachtung keinen negativen Einfluss hat.

6.3 Wirtschaftlichkeit

Beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit beider getesteter Futterrationen wurden die Qualität des Schlachtkörpers erfasst und anschließend Aussagen zur Kostenstruktur in der Erstellung des Futters gemacht.

Bei der Betrachtung der durchgeführten Maßnahme der starken P-Reduktion hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit wurden die Schlachtkarkassen bezüglich potenzieller Einbußen im Schlachtkörperwert begutachtet. Eine entsprechende Qualitätsminderung würde mit sinkenden Erlösen einhergehen.

Mittels vollautomatischer Klassifizierungsmethode (AutoFomTM-Gerät) wurden die ermittelten Indexpunkte pro kg Schlachtmasse zum Vergleich innerhalb des Versuchs herangezogen. Die Schlachtkörperbewertung durch AutoFomTM-Indexermittlung ist bei führenden deutschen Unternehmen der Fleischvermarktung nach der Schlachtung von Schweinen Routine. Da es jedoch innerhalb der verarbeitenden Betriebe Unterschiede in der Gewichtung einzelner Teilstücke (Adam, 2012a) und Schlachtmasseklassen (Adam, 2012b) geben kann, wurden alle Tiere des vorliegenden Versuchs in einem Schlachthof verarbeitet.

Wetscherek-Seipelt et al. (2007) beobachteten durch die P-Reduktion und Phytasezugabe (genaue P- und Phytasewerte siehe Kap. 3.5.4) keinen Einfluss auf die Merkmale der Karkasse. Auch im vorliegenden Versuch wurde die Karkassenbewertung durch Betrachtung der Indexpunkte je kg Schlachtmasse (siehe Tab. 17) durch die Diät und die Wachstumsintensität nicht beeinflusst. Statistisch signifikante Unterschiede ($P = 0,020$) konnten jedoch beim Faktor Geschlecht festgestellt werden. Dabei schnitten die Sauen im Allgemeinen mit 1,005 Indexpunkten je kg Schlachtmasse besser ab als die Börgen (0,986). Insgesamt zeigte die Schlachtkörperqualität mit 0,996 (K) bzw. 0,995 (V) praxisübliche Ergebnisse.

Durch den Vergleich der erhobenen Indexpunkte wurde deutlich, dass die P-Absenkung im überprüften Rahmen keine negativen Einflüsse auf den Schlachtkörperwert hatte.

Zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit gehört auch die Betrachtung der Kosten von Rohstoff und Herstellung des Futters: Es besteht keine Garantie, dass stark P-reduzierte Futterrationen zu gleichen Kosten wie konventionelle Mischungen hergestellt werden können. Landwirte, die zum größten Teil eigenes Getreide im Schweinefutter verwenden (Eigenmischer), können die Rohstoffe zu Selbstkosten ansetzen. Das führt zur Kostenreduktion und erleichtert die finanzielle Umsetzbarkeit. Im Gegensatz zu Eigenmischern setzen Futtermischwerke unter anderem preisgünstige Nebenprodukte der Mehl- und Ölindustrie ein. Diese Ingredienzen sind reich an Phosphor (Eeckhout und De Paepe, 1994; Steiner et al., 2007) und werden somit unattraktiv als Grundlage stark P-reduzierter Rationen. Alternativ müssen andere teurere Rohstoffe eingesetzt werden, die je nach Marktlage die Gesamtkosten des Futters in die Höhe treiben (Walgern et al., 2011).

Letztendlich muss durch eine betriebsindividuelle Kalkulation festgestellt werden, ob die Herstellung von stark P-reduzierten Rationen wirtschaftlich realisierbar ist.

6.4 Blutwerte

6.4.1 Osteocalcin

Der Gehalt an Osteocalcin (siehe Tab. 18), das von den knochenbildenden Osteoblasten synthetisiert wird (Beresford et al., 1984; Bronckers et al., 1985), war bei 40 kg und 110 kg Lebendmasse bei den stark Phosphor-reduziert versorgten Schweinen statistisch signifikant (jeweils $P = 0,022$ bzw. $P = 0,015$) gegenüber der Kontrollgruppe vermindert. Dabei war der Unterschied zwischen den beiden Futtergruppen bei 40 kg Lebendmasse am größten. Der Wert dieser Tiere ist verglichen mit den Konzentrationen aus der Studie von Carter et al. (1996) deutlich niedriger. Die geringe Datengrundlage zu Serumkonzentrationen der Knochenmarker Osteocalcin und β -Crosslaps beim Schwein lässt es derzeit nicht zu, Normwerte, die der Einordnung der aufgetretenen Effekte dienen können, zu etablieren. Die ausgeprägte Abhängigkeit der Marker zu Mineralstoffmodifikationen in der Ration erschwert die Normierung des Weiteren.

Obwohl die Sauen vor allem bei der Blutentnahme bei 40 kg Lebendmasse einen den Börgen gegenüber numerisch höheren Osteocalcingehalt im Blut aufwiesen, konnten statistisch keine geschlechtsspezifischen Signifikanzen nachgewiesen werden. Zwischen den Faktoren Diät und Geschlecht gab es bei einer Lebendmasse von 110 kg eine statistisch signifikante Interaktion ($P = 0,049$; siehe Kap. 13.2). Auch die durchschnittliche tägliche Zunahme schien keine direkte Beziehung zum Osteocalcingehalt beim Schwein zu haben.

In der Literatur zeigt sich Osteocalcin mit negativer Korrelation zum Calcium- bzw. Phosphorgehalt im Futter und zu vielen Knochenkennwerten. Thomas et al. (1991) verglichen die Osteocalcingehalte von Ratten, die mit unterschiedlichem Calciumgehalt gefüttert wurden. Als Resultat waren die Osteocalcingehalte im Serum der Tiere, die mit mehr Calcium versorgt wurden, vermindert. Carter et al. (1996) erhöhten den Calcium- und Phosphorgehalt im Futter wachsender Schweine und beobachteten einen Abfall des Osteocalcins im Blut. Des Weiteren wiesen die Knochen dieser Schweine eine bessere Mineralisation und bei der Bruchfestigkeitsprüfung des Femurs eine erhöhte Stabilität auf. Carter et al. (1996) ermittelten bei den ca. 40 kg Lebendmasse schweren Tieren eine statistisch signifikant negative Korrelation zwischen dem Osteocalcingehalt im Blut und der Rohaschekonzentration des Metakarpus. Diese negative Beziehung konnte im vorliegenden Versuch nicht nachgewiesen werden (siehe Tab. 25). Allerdings korrelierten die Serumgehalte des Osteocalcins bei 110 kg Lebendmasse mit den gemessenen Werten Calcium ($r = 0,32$, $P = 0,042$), Phosphor ($r = 0,38$, $P = 0,013$) und Rohasche ($r = 0,35$, $P = 0,022$), jedoch positiv. Ein Grund für die dargestellte Vorzeichenumkehr der Korrelationen zwischen Osteocalcin und den Knochenkennwerten während der Entwicklungsphase kann die mit steigendem Alter und/oder mit steigender Lebensmasse herabgesenkte Wachstumsintensität der Knochen sein.

Im vorliegenden Versuch zeigten die Schweine, die Phosphor-reduziert versorgt wurden, eine der Kontrollgruppe gegenüber verminderte Osteocalcinkonzentration (siehe Tab. 18). Mit Blick auf die oben diskutierten Ergebnisse der vorangegangenen Forschung liegt die Vermutung nahe, dass die Tiere der stark P-abgesenkten Futtergruppe unerwarteterweise einen höheren Gehalt an verdaulichem Phosphor im Futter zur Verfügung hatten, als die der Kontrollgruppe. Der Mehrgehalt an Phytase in der stark P-reduzierten Ration war vermutlich in der Lage die P-Reduktion im Durchschnitt mehr als auszugleichen. Bei Überlegungen diese Vermutung absichern zu können läge es nahe, den Phosphorgehalt im Blut der Schweine zu analysieren. Jedoch ist die Bestimmung im Blut nicht sensitiv genug um Unterschiede des Phosphorgehalts im Futter herauszuarbeiten (Koch und Mahan, 1985). In einem Versuch von Bühler et al. (2010) zeigte die Zugabe von Phytase (Erhöhung der Phosphorverdaulichkeit) im Blut ebenfalls keine statistisch signifikante Veränderung der Mineralkonzentration im Blut. Deswegen wurde in der vorliegenden Arbeit auf eine Analyse von Calcium und Phosphor im Blut verzichtet.

Der Osteocalcingehalt im Blut der Schweine sank mit steigendem Alter und steigender Lebendmasse. Als Grund für diese Beobachtung kann angenommen werden, dass die Synthese des Peptidhormons durch die mit steigendem Alter und/oder mit steigender Lebendmasse sinkende Entwicklungsintensität abnahm. Die Untersuchung an weiblichen Göttinger Minipigs von Tsutsumi et al. (2004) kam ebenfalls zu dem Schluss, dass sich der

Blutgehalt vieler „Knochen-Turnovermarker“ mit dem Alter verringert. Vanderschueren et al. (1990) analysierten die Osteocalcinkonzentration in Menschen. Dabei wurde deutlich, dass die älteren Männer und Frauen weniger Osteocalcin im Blut vorwiesen als die jüngeren. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Knochenmetabolismus bestimmten Anpassungen unterliegt und sich zeitlebens in seiner Intensität verändert.

Bei der noch ungeklärten Frage der genauen Funktion des Osteocalcins scheint die Definition von Ducy et al. (1996) am plausibelsten. Sie titulierte Osteocalcin als „negativen Regulator der Knochenbildung“ nachdem Osteocalcin-defiziente (Knockout-) Mäuse in einem Versuch eine erhöhte Knochenbildung zeigten. Eine pauschalere Definition lieferte Azria (1989). Er sieht in dem Peptidhormon allgemein einen Indikator des Knochen-Turnovers.

6.4.2 β -Crosslaps

Die β -Crosslapskonzentration im Blut (siehe Tab. 19) wurde weder durch den Faktor Diät noch durch den Faktor Geschlecht statistisch signifikant beeinflusst. Zwischen diesen gab es bei einer Lebendmasse von 110 kg jedoch eine statistisch signifikante Interaktion ($P = 0,049$; siehe Kap. 13.2). Keine Unterschiede konnten durch die tägliche Zunahme herausgearbeitet werden. Diese Aussage traf für beide Zeitpunkte der Blutabnahmen zu. Zwischen dem β -Crosslapsgehalt bei 40 kg Lebendmasse und der Trockensubstanz der Knochen gab es eine positive statistisch signifikante Korrelation ($r = 0,44$, $P = 0,047$; siehe Tab. 25). Die Serumkonzentration der β -Crosslaps korrelierten bei 40 kg Lebendmasse mit denen bei 110 kg Lebendmasse ($r = 0,46$, $P = 0,029$; siehe Tab. 23).

Bei der Betrachtung der β -Crosslapskonzentration fiel auf, dass der Knochenmarker mit steigendem Alter und/oder mit steigender Lebendmasse bei Börgen und Sauen anstieg. In der Dissertation von Babel (2007) erhöhte sich der β -Crosslapsgehalt im Blut von Minipigs bis zum zehnten Lebensmonat. Da die Schweine in der vorliegenden Arbeit ein Alter von acht Monaten nicht überschritten, können die Ergebnisse zum Vergleich herangezogen werden. Beim Mastschwein ist das Wachstum der Knochen erst mit ca. 18 Monaten beendet (Nagel, 2013).

Eine orale Calciumgabe bei Frauen (1 g in 250 ml Wasser gelöst) führte gegenüber der Kontrollgruppe (250 ml Wasser) zu einem statistisch signifikanten Abfall des β -Crosslapsgehalts im Blut (Zikan et al., 2001). In einer Studie von Crofton et al. (2003) mit

unterernährten Kindern sank der β -Crosslapsgehalt binnen eines Monats nach (Wieder-) Aufnahme normaler Nahrungsmengen statistisch signifikant ($P < 0,01$).

Liesegang et al. (2002) führten einen Vergleich von einem vegetarischen Ferkelfutter und einem mit Fischmehl versetzten Ferkelfutter durch. Die Verdaulichkeit des Phosphors im vegetarischen Futter war geringer. Das zeigte sich nach der Schlachtung ebenfalls in einer reduzierten Knochenmineraldichte in Tibia und Phalanx. Die Blutanalysen dieser Tiere wiesen einen erhöhten β -Crosslapsgehalt auf.

Die angeführten Arbeiten machen die Wechselwirkung der Nährstoffaufnahme mit dem Knochenmarker β -Crosslaps deutlich. Es ließen sich somit Unterschiede in den β -Crosslapskonzentrationen zwischen den Futtergruppen in der eigenen Studie erwarten. Da diese nicht festgestellt werden konnten, ist zu vermuten, dass das Ausmaß der P-Reduktion zu gering war, um statistisch signifikante Veränderungen im β -Crosslapsgehalt im Blut hervorzurufen. Die Differenzen in der Nährstoffausstattung der beiden Diäten wurden durch eine Futteranalyse nachgewiesen. Die Unterschiede in der Osteocalcinkonzentration unterstützen die Ergebnisse der Futteranalyse weiterhin. Somit kann geschlussfolgert werden, dass der Knochenmarker β -Crosslaps wahrscheinlich nicht sensitiv genug ist, um auch geringe nutritive Unterschiede von Calcium/Phosphor in der Ration aufzudecken.

6.4.3 Einfluss des Geschlechts

Bei beiden Knochenmarkern wurden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede festgestellt. Bei Vollblüterstuten analysierten Chiappe et al. (1999) gegenüber männlichen Tieren erst nach dem Beginn der Pubertät einen erhöhten Osteocalcinblutspiegel. Crofton et al. (2002) untersuchten die Entwicklung der β -Crosslapskonzentrationen beim Menschen. Im Neonaten fanden sie den höchsten Gehalt. Der niedrigste wurde im Alter zwischen 1-9 Jahren nachgewiesen. Ab diesem Alter konnte ein Unterschied zwischen Jungen und Mädchen beobachtet werden. Während die weiblichen Probanden zwischen 11 und 13 Jahren einen erneuten β -Crosslapspeak im Blut aufwiesen, erfolgte dieser bei den Jungen erst zwischen 14 und 17 Jahren.

In der oben angegebenen Literatur gibt es deutliche geschlechtsabhängige Unterschiede der Knochenmarker, die sich erst ab einem bestimmten Alter entwickeln. Der Vergleich zu dem vorliegenden Versuch ist nur eingeschränkt möglich, da hier die männlichen Tiere kastriert waren und somit von veränderten endokrinologischen Verhältnissen in der weiteren Entwicklung ausgegangen werden muss. Dennoch stellt sich die Frage, ob sich in älteren

Tieren zwischen den Geschlechtern signifikante Differenzen bei der Bestimmung von Knochenmarkern gezeigt hätten.

Zuletzt muss betont werden, dass die Analyse der Knochenmarker Osteocalcin und β -Crosslaps nur eine Momentaufnahme des sehr dynamischen Knochenstoffwechsels geben kann (Bühler et al., 2010). Piatek et al. (2013) untersuchten sechs Knochenkennwerte beim Menschen, unter anderem auch β -Crosslaps. Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass keiner der erhobenen Marker allein oder in Kombination mit genügender Sicherheit osteoporotische von nicht-osteoporotischen Frauen nach der Menopause unterscheiden kann. Somit bleibt festzuhalten, dass Knochenmarker immer im Kontext der klinischen Erscheinung gesehen werden müssen (Seibel, 2005).

6.5 Untersuchungen am Knochen

Knochenbruchfestigkeit: In der Prüfung der Knochen mittels Dreipunktbiegetechnik zeigten sich in der Bruchfestigkeit (siehe Tab. 20) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Diäten. So hielten die Metakarpi eine durchschnittliche, maximale Kraft von 1782 N (K) und 1742 N (V) aus. Umgerechnet hielten die Knochen somit in etwa einer maximalen Belastung von 180 kg stand. Die Bruchfestigkeit schien keinerlei Beziehung zum Geschlecht zu haben. Es zeigte sich allerdings eine statistisch signifikante, negative Korrelation zum Faktor tägliche Zunahme ($r = -0,32$, $P = 0,029$; siehe Tab. 25), sodass davon auszugehen ist, dass sich eine gesteigerte Tageszunahme negativ auf die Stabilität der Knochen auswirkt.

Die Strecke L bei F_{\max} (siehe Tab. 21) war während der Knochenbruchfestigkeitsprüfung innerhalb der beiden Diäten absolut identisch. Es konnte keine statistisch signifikante Beeinflussung durch das Geschlecht oder die tägliche Zunahme ermittelt werden. Der Kennwert L bei F_{\max} hatte zur Bruchfestigkeit eine positive Korrelation ($r = 0,36$, $P = 0,013$; siehe Tab. 24). Setzt man L bei F_{\max} mit der Elastizität gleich, wiesen die Knochen mit der größten Elastizität die höchste Bruchfestigkeit auf. Zu beachten ist jedoch, dass es sich bei der vorliegenden Überprüfung um die Messung der Biegefestigkeit handelte. Andere physiologisch auftretende Belastungen (Zug-, Druck, Scherkräfte etc.) blieben in der Messung unberücksichtigt. Da die Strecke L bei F_{\max} in der gesichteten Literatur in keiner Arbeit erhoben wurde, fehlen Vergleichswerte zur Interpretation.

Knochenmineralisierung: Bei der Analyse der Knochen auf Mineralisierung (siehe Tab. 22) wurden beim Faktor Diät keine statistisch signifikanten Einflüsse nachgewiesen. Zwar war

der Gehalt an Phosphor in den Knochen in der Futtergruppe der starken P-Reduktion vermindert, jedoch handelte es sich hierbei lediglich um eine Tendenz ($P = 0,096$). Die Gehalte der Trockensubstanz, Rohasche und des Calciums blieben hiervon unberührt.

In der Unterteilung des Geschlechts fiel auf, dass die Metakarpi der Sauen eine gegenüber denen der Börgen statistisch signifikant höhere Calciumkonzentration ($P = 0,030$) aufwiesen. Alle anderen Kennwerte der Knochenmineralisierung waren im Vergleich ähnlich.

Erwarteterweise korrelierte der Rohasche- mit dem Calcium- ($r = 0,44$, $P = 0,002$) und Phosphorgehalt ($r = 0,50$, $P < 0,001$) und Calcium- mit dem Phosphorgehalt ($r = 0,80$, $P < 0,001$) statistisch signifikant in der vorliegenden Arbeit (siehe Tab. 24).

Diese Beziehung kann mit der Struktur des Hydroxyapatits ($\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$) erklärt werden, indem die Phosphor/Calciumratio 1 : 2,17 (46 %) beträgt. Dieses Verhältnis wurde sowohl im vorliegenden Versuch als auch in der Arbeit von Walgern et al. (2011) gezeigt. Allerdings waren die Kennwerte Rohaschekonzentration, Calcium- und Phosphorgehalt in der eigenen Untersuchung gegenüber den Untersuchungen von Walgern et al. (2011) um jeweils ca. 8 % reduziert.

Bei der Unterscheidung der Tiere mit unter- und überdurchschnittlichen Tageszunahmen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Knochenmineralisierung festgestellt werden (siehe Tab. 22). Allerdings korrelierte die tägliche Zunahme (siehe Tab. 25) statistisch signifikant negativ mit dem Trockensubstanzgehalt ($r = -0,46$, $P = 0,001$) und tendenziell negativ mit dem Rohaschegehalt der Metakarpi ($r = -0,26$, $P = 0,080$).

Schmid (2011) nahm in seiner Dissertation Untersuchungen an Metatarsi von Schweinen vor, die unterschiedlich versorgt wurden (drei Gruppen: Bio: Ca 12,2 g/kg, verd. P 3,6 g/kg; Phosphor-reduziert: Ca 12,1 g/kg, verd. P 4,1 g/kg; mit Molkezusatz: Ca 14,4 g/kg, verd. P 4,2 g/kg). Die Resultate der Brechkraft der Knochen (jeweils 1545 N, 1655 N und 1736 N) waren mit denen der vorliegenden Analyse vergleichbar. Es wurde gezeigt, dass sich die höhere Verfügbarkeit des Phosphors im Molkezusatz positiv auf die Knochenmineralisierung und -stabilität auswirkte.

In der Mineralisierung verschiedener Knochen im Skelett scheint es Unterschiede zu geben. Koch und Mahan (1986) sahen durch eine Erhöhung des Phosphorgehalts im Futter keine statistisch signifikanten Unterschiede der Rohaschekonzentration in Metakarpus und -tarsus, jedoch in Humerus und Femur. Diese Tatsache lässt auf eine eventuelle Versorgungshierarchie der beiden letztgenannten Knochen mit Mineralien hindeuten. Die Gewinnung der Humeri und Femura zur Analyse bedeutet immer eine Wertminderung des Schlachtkörpers. Daher wurde darauf in der vorliegenden Untersuchung aus ökonomischen

Gründen verzichtet. Zu empfehlen ist für weitere Untersuchungen die Einbeziehung von Humerus und Femur wegen der empfindlicheren Reaktion auf Phosphorgaben (Koch und Mahan, 1986).

In der Studie wurden die Werte intakter Sauen denen kastrierter, männlicher Tiere gegenübergestellt. Stepan et al. (1989) beobachteten bei kastrierten Männern einen erhöhten Knochenverlust. Diese Tatsache begründeten die Autoren, eine Parallele zum weiblichen Östrogen ziehend, mit dem fehlenden Einfluss des Testosterons auf den Knochenstoffwechsel. Auch bei männlichen, kastrierten Ratten wurde diese Beobachtung gemacht. Zwei Monate nach der erfolgten Kastration konnten osteoporotische Veränderungen der Femura festgestellt werden, die sich in den folgenden Monaten weiter verschlechtert hatten (Wink und Felts, 1980). Weitere Forschungsvorhaben sollten einen Vergleich der Knochenkennwerte intakter und kastrierter Eber einbeziehen, um den exakten hormonalen Einfluss zu prüfen.

6.5.1 Tierauswahl

Da aus Kapazitätsgründen nicht alle Tiere der Ferkelaufzucht in der Mast weiter verwandt werden konnten, wurden Schweine mit den besten und den schlechtesten Tageszunahmen sowie jedes dritte Tier aus dem mittleren Massebereich ausgeschlossen. Daher verblieben nur Tiere mit durchschnittlichen Leistungen in der Mast. Gegenstand weiterer Forschung muss es folglich sein, die hier ausgeschlossenen Tiere mit besten und schlechtesten Leistungen während der Ferkelaufzucht auf Verträglichkeit der Maßnahme zu überprüfen.

Hinsichtlich Mastleistung und Schlachtkörperbeschaffenheit gibt es zwischen den Schweinerassen große Unterschiede. Laut Rotaru (2013) wird die Mastleistung unter anderem vom Genotyp beeinflusst. Im vorliegenden Versuch wurden Tiere zweier Sauenlinien (Porkuss und Topigs 20) und der Eberlinie Pietrain verwandt. Zukünftig müssen weitere Versuche die Auswirkungen auf andere Rassen untersuchen.

6.6 Feld-/Stallbilanz von Stickstoff und Phosphor

Durch die Maßnahme der starken P-Reduzierung im Futter nehmen die Schweine kalkulatив 14,6 % weniger Phosphor auf (siehe Tab. 26). Da die P-Verdaulichkeit durch den erhöhten Phytasegehalt in der Ration steigt, wird gleichzeitig weniger Phosphor ausgeschieden. Während sich die Gesamtmenge an Wirtschaftsdünger (W) nicht ändert, reduziert sich jedoch die Phosphorkonzentration. Von dieser und der des Stickstoffs hängt (ein gleichbleibender

Nährstoffentzug vorausgesetzt) die auszubringende Menge pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche (LF) ab. Somit entstehen, bedingt durch die verminderte Nährstoffkonzentration in der gleichen Menge an W, vor allem in Betrieben mit extra für die Tierhaltung zugepachteter LF drei relevante Szenarien: 1) Die gleiche Menge an W kann auf weniger LF ausgebracht werden. 2) Eine erhöhte Menge an W kann auf der gleichen LF ausgebracht werden. 3) Die gleiche Menge an W wird auf der gleichen LF ausgebracht. Szenario 1 und 2 sind von ökonomischem Interesse getragen. Hierbei können Kosten für teures Pachtland eingespart (1) oder der Umsatz durch eine Erhöhung der Tierzahl auf gleicher LF (2) gesteigert werden. Szenario 3 führt zur Entlastung der Umwelt durch den verminderten Phosphoreintrag in den Boden und somit letztendlich zu einer Verminderung des Auswaschens in die Gewässer.

Im vorliegenden Versuch wurden keine Maßnahmen zur Stickstoffreduktion durchgeführt, um das Versuchsgeschehen nicht zu beeinflussen. Jedoch bleibt Stickstoff weiterhin der limitierende Faktor, der die benötigte Größe der LF bestimmt. Die Minimierung der Stickstoffemission muss Gegenstand folgender Versuche sein.

6.7 Fazit

Die Studie sollte die Unbedenklichkeit eines stark P-reduzierten Schweinefutters auf Leistung und ausgewählte Blut- und Knochenkennwerte prüfen. Es muss betont werden, dass die getestete P-Reduktion auch mit der Reduktion des Calciumgehalts und entsprechender Anpassung der Phytasemenge einherging. Dementsprechend sind die aufgetretenen Effekte auf die Kombination dieser Modifikationen zurückzuführen und können nicht lediglich dem veränderten Phosphorgehalt zugeschrieben werden.

Vor allem in der Endmast ist eine erhöhte Lahmheitsinzidenz aufgefallen. Es ist wahrscheinlich, dass die aufgetretenen Fundamentprobleme eine multifaktorielle Genese hatten. So hat vermutlich ein vermindertes Platzangebot zusammen mit einer eventuell grenzwertigen Nährstoffausstattung in beiden Futtergruppen zu Entwicklungsproblemen des knöchernen Skeletts geführt, die sich in Form von Lahmheiten und/oder Gelenkauffälligkeiten äußerten. Da diese Pathologien sowohl in der Versuchs- als auch in der Kontrollgruppe beobachtet wurden, ist das Auftreten nicht direkt auf die P-Reduktion zurückzuführen. Die Kennwerte der Mastleistung und der Knochenuntersuchung zeigten zufriedenstellende Ergebnisse.

Abschließend sind die beiden Futterrationen unter den getesteten Bedingungen nur unter Vorbehalt zu empfehlen. Gegenstand weiterer Forschung muss es sein, die Frage zu beantworten, ob die mittlerweile etablierten, praxisüblichen, P-reduzierten Rationen den

unteren Grenzwert des Normbereichs darstellen. Mit der Antwort könnte ein wichtiger Beitrag zur Aufklärung der hohen Lahmheitsinzidenzen im Feld geleistet werden.

Die niedrigen Osteocalcingehalte im Blut als Indikator für eine höhere P-Verfügbarkeit im Futter der Versuchsgruppe sowie die Feststellung gleicher Leistungen zwischen den Gruppen lassen sich durch die hohe Aktivität der Phytase begründen. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Produkt Natuphos 5000L[®] eine höhere Effektivität zur Phosphatfreisetzung aus Phytat besitzt als bisher bekannt.

7 Zusammenfassung

L. Nethe: Reduktion des Zusatzes von anorganischem Phosphor im Futter - Auswirkungen auf Mastleistung und Schlachtkörperbewertung von Mastschweinen mit besonderer Betrachtung der Bruchfestigkeit und Zusammensetzung der Knochen

Hintergrund: Das Schwein als Monogastrier ist auf eine leicht verdauliche Phosphorquelle angewiesen. Deshalb wird dem veganen Futter anorganischer Phosphor aus Minen hinzugesetzt. Der Preis für Rohphosphat ist in den vergangenen Jahren jedoch um ein Vielfaches gestiegen und durch den Zusatz montanen Phosphats erhöht sich der Nährstoffanteil in Wirtschaftsdüngern. Vor allem in Regionen mit einem hohen Tier-Ackerfläche-Verhältnis sind landwirtschaftliche Flächen nicht zuletzt durch die Ausbringung dieser Dünger oft überexponiert an Mineralien wie Phosphor und Stickstoff. Durch anschließendes Auswaschen in die Gewässer erhöht sich der Nährstoffgehalt mit teils dramatischen ökologischen Folgen. Wird dem Schweinefutter das Enzym Phytase zugesetzt, kann das in Pflanzen natürlich vorkommende phosphorhaltige Molekül Phytat im Magen-Darmtrakt aufgespalten werden. Somit erhöht sich der Anteil verdaulichen Phosphors und anorganische Ressourcen können eingespart werden.

Zielsetzung: In dieser Studie sollte der Frage nachgegangen werden, ob das Verfüttern einer stark Phosphor-reduzierten Ration (Versuchsgruppe, V) bei zusätzlicher Gabe mikrobieller Phytase auf Mastschweine vom Absetzen bis zum Ende der Mast negative Auswirkungen hat. Als Kontrollgruppe (K) fungierte hierbei eine in Westfalen für Eigenmischer übliche Standard-P-reduzierte Ration. Insgesamt sollten alle erhobenen Werte auf den Einfluss der Faktoren Diät, Geschlecht und Tageszunahme (über-/unterdurchschnittlich) überprüft werden.

Material und Methoden: In der Ferkelaufzucht wurden die Tiere masseabhängig zweiphasig durch eine Trockenfütterung versorgt (K: P 5,9/4,8 g/kg, Ca 8,3/6,9 g/kg, Phytase 500/500 FTU/kg; V: P 4,5/4,5 g/kg, Ca 5,8/6,6 g/kg, Phytase 1000/1000 FTU/kg). In der Mast erfolgte eine dreiphasige Flüssigfütterung (K: P 4,6/3,6/3,8 g/kg, Ca 10,3/ 5,3/4,7 g/kg, Phytase 500/500/250 FTU/kg; V: P 4,0/3,4/3,4 g/kg, Ca 6,8/5,1/5,3 g/kg, Phytase 1000/1000/500 FTU/kg). Ab einer Lebendmasse (LM) von 40 kg wurde in der Versuchsgruppe auf den Zusatz von anorganischem Phosphat verzichtet. Zu den erhobenen Messwerten zählten ausgewählte Messgrößen der Mastleistung und zur Bewertung der Schlachtkarkasse wurde der Indexpunkt je kg Schlachtmasse herangezogen. Um einen Einblick in die Auf- und Abbauverhältnisse des Knochens *in vivo* zu erlangen wurde der Serumgehalt der Knochenmarker Osteocalcin und β -Crosslaps bei 40 kg und 110 kg LM analysiert. Nach der Schlachtung mit ca. 120 kg LM gehörte die Bestimmung der Bruchfestigkeit und Zusammensetzung der Metakarpi III zu den geprüften Kriterien.

Ergebnisse: Beim Faktor Diät wurde durch die Maßnahme der starken P-Reduktion sowohl in der Ferkelaufzucht als auch in der Mast kein statistisch signifikanter Einfluss auf die Schlachtkörperbewertung oder die Kennwerte der Mastleistung festgestellt. Davon ausgeschlossen war die Dauer der Endmast, die sich in der Versuchsgruppe statistisch signifikant um 2,3 Tage verlängerte. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Diäten zeigten sich auch in den Osteocalcinanalysen bei 40 kg und 110 kg LM. Die Konzentrationen waren jeweils in der Versuchsgruppe geringer. Die β -Crosslapskonzentration wurde weder von der Diät und dem Geschlecht noch von der Tageszunahme beeinflusst.

Im Vergleich beider Geschlechter fiel auf, dass die Sauen eine in der End- und Gesamtmast geringere Futtermittelaufnahme, in der Mittelmast eine geringere Tageszunahme und längere Mastdauer, aber einen höheren Indexpunkt je kg Schlachtmasse erreichten (jeweils statistisch signifikant). Die Metakarpi der Sauen hatten einen statistisch signifikant höheren Ca-Gehalt.

Bei dem Faktor tägliche Zunahme wurde ein statistisch signifikant höheres LM bei Tieren mit überdurchschnittlichen Tageszunahmen bei Ende der Ferkelaufzucht bzw. bei Mastbeginn und Mastende festgestellt. Erwarteterweise benötigten diese Tiere eine in der Mittel-, End- und Gesamtmast kürzere Dauer zum Erreichen der jeweiligen Schwellenmasse.

Es wurde eine statistisch signifikante negative Korrelation der Tageszunahme mit der Bruchfestigkeit und der Trockensubstanz der Metakarpi beobachtet. Zwischen der Bruchfestigkeit und der Strecke (L) bei maximaler Krafteinwirkung (F_{\max}) bestand eine positive Korrelation. Die β -Crosslapskonzentration bei 40 kg LM korrelierte positiv mit der bei 110 kg LM und der Trockensubstanz der Knochen. Der Serum-Osteocalcingehalt bei 110 kg LM korrelierte statistisch signifikant positiv mit den Rohasche-, Ca- und P-Gehalten der Knochen. In der Rohaschekonzentration bestand eine statistisch signifikante positive Korrelation zum Ca- und P-Gehalt, die ebenfalls miteinander korrelierten.

Bei mind. 13 % der Tiere wurden Lahmheiten und/oder Gelenkauffälligkeiten in Form von Osteochondrosis dissecans festgestellt. Die Pathologien traten in beiden Diäten auf, waren aber vor allem in Buchten mit verringerter Bewegungsmöglichkeit gehäuft.

Schlussfolgerung: Die starke Phosphorreduktion hatte weder auf die geprüften Kennwerte der Mastleistung noch auf die der Schlachtkörperqualität einen negativen Einfluss. Die in der Kontroll- und Versuchsgruppe aufgetretenen Bewegungsauffälligkeiten lassen keinen direkten Zusammenhang zur Maßnahme der P-Reduktion nachweisen. Weitere Forschungsvorhaben sollten den unteren Grenzwert der mittlerweile etablierten, praxisüblichen P-reduzierten Rationen kritisch hinterfragen. Die nachgewiesenen Serumosteocalcinkonzentrationen implizieren eine in der Versuchsgruppe erhöhten verdaulichen P-Gehalt. Daraus kann abgeleitet werden, dass die verwendete Phytase (Natuphos 5000L[®]) eine höhere Effektivität zur Phosphatfreisetzung aus Phytat besitzt als bisher bekannt.

8 Summary

L. Nethe: *Reduction of inorganic phosphorus in a porcine diet; influence on the fattening performance and the carcass assessment with a special view to the breaking strength and composition of the bone*

Background: Monogastric animals like pigs need easily digestible phosphorus sources. Therefore it is necessary to add inorganic phosphorus originating from mines to a vegan diet. However, the price of phosphorus increased heavily in the last years. Moreover, phosphorus supplementation of feed causes an increase of the phosphorus content in the natural fertilizers. As a result, especially areas with a high animal-arable land ratio are often oversupplied with minerals like phosphorus and nitrogen. The subsequent washing out of minerals into natural water resources raises their nutrient content with dramatic environmental consequences.

By adding the enzyme phytase to the porcine diet, inorganic phosphorus can be liberated from the plant phosphorus source phytate in the gastrointestinal tract. Thus, the amount of digestible phosphorus increases while expensive and limited resources of inorganic phosphorus can be saved.

Objective: The objective of this study was to test whether a greatly P-reduced diet (test group) impairs the development of fattening pigs when fed from weaning to slaughter. A standard P-reduced diet as commonly used by self-producers in Westphalia was given to the control group. All data were intended for testing the effects of the factors diet, sex and daily weight gain (above-/below-average).

Methods: During piglet rearing, animals were fed with two-phase dry feed (control group: P 5.9/4.8 g/kg, Ca 8.3/6.9 g/kg, phytase 500/500 FTU/kg; test group: P 4.5/4.5 g/kg, Ca 5.8/6.6 g/kg, phytase 1000/1000 FTU/kg). In the fattening stage, pigs were three-phase liquidly feed (control group: P 4.6/3.6/3.8 g/kg, Ca 10.3/5.3/4.7 g/kg, phytase 500/500/250 FTU/kg; test group: P 4.0/3.4/3.4 g/kg, Ca 6.8/5.1/5.3 g/kg, phytase 1000/1000/500 FTU/kg). No inorganic phosphorus was added to the diet of the test group for animals above 40 kg body weight (BW). Fattening performance traits and index point per kg carcass weight for the assessment of the carcass quality were obtained, as well as the serum concentrations of the bone markers osteocalcin and β -crosslaps at 40 kg and 110 kg BW. After slaughtering at approximately 120 kg BW, the breaking strength and composition of metacarpi III were analyzed.

Results: The greatly P-reduced diet did not affect the carcass and fattening performance traits statistically significantly during the piglet rearing and fattening stage. Only the fattening period of the test group was statistically significantly extended by 2.3 days. Furthermore, there were statistically significant differences between the diets regarding osteocalcin concentration at 40 kg and 110 kg BW. Osteocalcin concentrations were decreased in the test group at both time points compared to the control group. Serum concentration of β -crosslaps was not influenced by the factors diet, sex or daily weight gain.

The comparison of both sexes showed that gilts had a decreased feed intake during the final stage and in the total assessment of the fattening stage. During the middle stage the gilts' daily weight gain was decreased, so the fattening period was prolonged. On the other hand, female carcasses got a higher index point on average. Furthermore the calcium content of the metacarpi of gilts was greater (all statistically significant).

Regarding the factor daily weight gain, the pigs with above-average gain had a statistically significant higher BW at the end of piglet rearing (= beginning of the fattening stage) and at the end of the fattening stage. Thus, the required period for reaching the particular threshold weight for slaughter was less in the middle and final stages, as well as and in total.

There was a statistically significant negative correlation of the daily weight gain with the breaking strength and the dry matter of the metacarpi. Between breaking strength and distance (L) at maximal force (Fmax), there was a positive correlation. The concentration of β -crosslaps at 40 kg BW correlated positively with the concentration at 110 kg BW and with the dry matter of the bones. Serum osteocalcin at 110 kg BW correlated positively and statistically significantly with ash, calcium and phosphorus contents. There was a statistically significant positive correlation between ash and calcium and phosphorus content of the metacarpi, the latter two correlated with each other as well.

At least 13% of the pigs showed lameness and/or indications for joint diseases in the form of osteochondrosis dissecans. Animals of both the test and control diets were affected similarly, with an increased incidence in stables with restricted exercise space.

Conclusions: The great reduction of phosphorus in the diet had no negative impact on the traits of the fattening performance and carcass quality. Gait and joint abnormalities occurred in both the control and the test groups. Thus there was no direct link between these pathologies and phosphorus reduction. Further research should critically examine the lower limit of the customary practice to use P-reduced rations. The analyzed concentration of osteocalcin implied a higher content of digestible phosphorus in the test group. Thus it is tempting to speculate that the used phytase product (Natuphos 5000L[®]) is more efficient in liberating phosphate from phytate than originally assumed.

9 Literaturverzeichnis

(2006):

Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutzV) vom 22.08.2006, zul. geändert am 1.10.2009 URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tierschnutzv/gesamt.pdf>.

(2007):

Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) vom 27.02.2007, zul. geändert am 24.02.2012.
URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf.

Adam, F. (2012a):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

AutoFOM-Abrechnungsmasken ab 04.10.2011 bzw. aktualisiert im Vergleich.

Abgerufen am: 16.09.2013 um 13.47 Uhr, von

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/pdf/tabelle-autofommasken.pdf>.

Adam, F. (2012b):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

AutoFOM: Neue Preisbildung durch Anpassung der Klassifizierung.

Abgerufen am: 16.09.2013 um 13.48 Uhr, von

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/management/autofom-2011.htm>.

Adeola, O.; Lawrence, B. V.; Sutton, A. L.; Cline, T. R. (1995):

Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs.
J Anim Sci. 73(11), 3384-3391.

Agrarmarkt Informationsgesellschaft (2011):

AMI-Marktbilanz Vieh und Fleisch 2011. -

Bonn: Agrarmarkt Informationsgesellschaft.

al-Asheh, S. D., Z. (1995):

The effect of phosphate concentration on phytase production and the reduction of phytic acid content in canola meal by *Aspergillus carbonarius* during a solid-state fermentation process.

Appl Microbiol Biotechnol. 43, 25-30.

Applegate, T. J.; Angel, R.; Classen, H. L. (2003):

Effect of dietary calcium, 25-hydroxycholecalciferol, or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens.

Poultry Science. 82(7), 1140-1148.

Azria, M. (1989):

The value of biomarkers in detecting alterations in bone metabolism.

Calcif Tissue Int. 45(1), 7-11.

Babel, B. (2007):

Investigations on bone metabolism in intact and ovariectomized miniature pigs.

München, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München 176 S. -

URL: http://edoc.ub.uni-muenchen.de/7084/1/Babel_Brenda.pdf.

- Barrett-Connor, E.; Siris, E. S.; Wehren, L. E.; Miller, P. D.; Abbott, T. A.; Berger, M. L.; Santora, A. C.; Sherwood, L. M. (2005):**
Osteoporosis and fracture risk in women of different ethnic groups.
J Bone Miner Res. 20(2), 185-94.
- Baxter, C. A.; Joern, B. C.; Ragland, D.; Sands, J. S.; Adeola, O. (2003):**
Phytase, High-Available-Phosphorus Corn, and Storage Effects on Phosphorus Levels in Pig Excreta.
J. Environ. Qual. 32(4), 1481-1489.
- Beresford, J. N.; Gallagher, J. A.; Poser, J. W.; Russell, R. G. (1984):**
Production of osteocalcin by human bone cells in vitro. Effects of 1,25(OH)2D3, 24,25(OH)2D3, parathyroid hormone, and glucocorticoids.
Metab Bone Dis Relat Res. 5(5), 229-34.
- Berne, R. M.; Levy, M. N.; Koepfen, B. M.; Stanton, B. A. (2004):**
Endocrine Regulation of Calcium and Phosphate Metabolism.
In: Physiology. / Hrsg. R. M. Berne. - St. Louis: Mosby. - ISBN:0-323-02225-1. S. 794-818.
- Blaabjerg, K.; Nørgaard, J. V.; Poulsen, H. D. (2012):**
Effect of microbial phytase on phosphorus digestibility in non-heat-treated and heat-treated wheat-barley pig diets.
J Anim Sci. 90(Supplement 4), 206-208.
- Body, J. J. (2002):**
Calcitonin for the long-term prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis.
Bone. 30(5, Supplement 1), 75-79.
- Borchhardt, K.; Sulzbacher, I.; Benesch, T.; Fodinger, M.; Sunder-Plassmann, G.; Haas, M. (2007):**
Low-turnover bone disease in hypercalcemic hyperparathyroidism after kidney transplantation.
Am J Transplant. 7(11), 2515-21.
- Bracher, A.; Spring, P. (2010):**
Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen bei Schweinen. Bericht der Vorstudie.
Einzelpublikation der SHL Zollikofen und der ALP Posieux, 1-98.
- Bronckers, A. L.; Gay, S.; Dimuzio, M. T.; Butler, W. T. (1985):**
Immunolocalization of gamma-carboxyglutamic acid containing proteins in developing rat bones.
Coll Relat Res. 5(3), 273-81.
- Brown, J. P.; Delmas, P. D.; Malaval, L.; Edouard, C.; Chapuy, M. C.; Meunier, P. J. (1984):**
Serum bone Gla-protein: a specific marker for bone formation in postmenopausal osteoporosis.
Lancet. 1(8386), 1091-3.
- Bühler, K.; Liesegang, A.; Bucher, B.; Wenk, C.; Broz, J. (2010):**
Influence of benzoic acid and phytase in low-phosphorus diets on bone characteristics in growing-finishing pigs.
J Anim Sci. 88(10), 3363-71.
- Calvo, M. S.; Eyre, D. R.; Gundberg, C. M. (1996):**
Molecular basis and clinical application of biological markers of bone turnover.
Endocrine reviews. 17(4), 333-68.
-

Carnovale, E.; Lugaro, E.; Lombardi-Boccia, G. (1988):

Phytic acid in faba bean and pea: effect on protein availability.
Cereal Chemistry. 65(2), 114-117.

Carter, S. D.; Cromwell, G. L.; Combs, T. R.; Colombo, G.; Fanti, P. (1996):

The determination of serum concentrations of osteocalcin in growing pigs and its relationship to end-measures of bone mineralization.
J Anim Sci. 74(11), 2719-29.

Caverzasio, J.; Bonjour, J.-P. (1991):

IGF-I, a Key Regulator of Renal Phosphate Transport and 1,25-Dihydroxyvitamin D3 Production During Growth.
Physiology. 6(5), 206-210.

Cheryan, M.; Anderson, F. W.; Grynspan, F. (1983):

Magnesium-phytate complexes: effect of pH and molar ratio on solubility characteristics.
Cereal chemistry. 60(3), 235-237.

Chiappe, A.; Gonzalez, G.; Fradinger, E.; Iorio, G.; Ferretti, J. L.; Zanchetta, J. (1999):

Influence of age and sex in serum osteocalcin levels in thoroughbred horses.
Arch Physiol Biochem. 107(1), 50-4.

Christgau, S.; Bitsch-Jensen, O.; Hanover Bjarnason, N.; Gamwell Henriksen, E.; Qvist, P.; Alexandersen, P.; Bang Henriksen, D. (2000):

Serum CrossLaps for monitoring the response in individuals undergoing antiresorptive therapy.
Bone. 26(5), 505-11.

Cordell, D.; Drangert, J.-O.; White, S. (2009):

The story of phosphorus: Global food security and food for thought.
Global Environmental Change. 19(2), 292-305.

Crenshaw, T. D. (2001):

Calcium, Phosphorus, Vitamin D, and Vitamin K in Swine Nutrition.
In: Swine Nutrition /Hrsg. Lewis A.J. - Boca Raton, FL.: CRC Press. - ISBN:978-0-8493-0696-9.
S. 49-66.

Crofton, P. M.; Evans, N.; Stephen, R. (2003):

Serum CrossLaps compared with other markers of bone turnover in severely malnourished children before and after refeeding.
Clin Chem. 49(1), 192-5.

Crofton, P. M.; Evans, N.; Taylor, M. R. H.; Holland, C. V. (2002):

Serum CrossLaps: Pediatric Reference Intervals from Birth to 19 Years of Age.
Clin Chem. 48(4), 671-673.

Daldrup, T. L. (2011):

Baulehrschau-Sondertag 3.März 2011, "Trocken- oder Flüssigfütterung Kriterien zur Auswahl des richtigen Systems Beispieldarstellung für einen Maststall in einseitiger Kammbauweise".
Abgerufen am: 7.10.2013 um 19.43 Uhr, von
<http://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/leherschau/pdf/2011/2011-03-03-futtertechnik-01.pdf>.

Davies, N. T.; Nightingale, R. (1975):

The effects of phytate on intestinal absorption and secretion of zinc, and whole-body retention of Zn, copper, iron and manganese in rats.
Br J Nutr. 34(2), 243-58.

Ducy, P.; Desbois, C.; Boyce, B.; Pinero, G.; Story, B.; Dunstan, C.; Smith, E.; Bonadio, J.; Goldstein, S.; Gundberg, C.; Bradley, A.; Karsenty, G. (1996):

Increased bone formation in osteocalcin-deficient mice.
Nature. 382(6590), 448-52.

Eckel, B.; Kirchgessner, M.; Roth, F. X. (1992):

Zum Einfluß von Ameisensäure auf tägliche Zunahmen, Futteraufnahme, Futterverwertung und Verdaulichkeit.
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 67(1-5), 93-100.

Eeckhout, W.; De Paepe, M. (1994):

Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs.
Animal Feed Science and Technology. 47(1-2), 19-29.

Eidelsburger, U.; Roth, F. X.; Kirchgessner, M. (1992):

Zum Einfluß von Ameisensäure, Calciumformiat und Natriumhydrogencarbonat auf tägliche Zunahmen, Futteraufnahme, Futterverwertung und Verdaulichkeit.
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 67(1-5), 258-267.

Engelen, A. J.; van der Heeft, F. C.; Randsdorp, P. H.; Smit, E. L. (1994):

Simple and rapid determination of phytase activity.
Journal of AOAC International. 77(3), 760-764.

Ferrari, S. L. (2005):

Osteoporosis: a complex disorder of aging with multiple genetic and environmental determinants.
World Rev Nutr Diet. 95, 35-51.

Fisher, H. (1992):

Low-calcium diets enhance phytate-phosphorus availability.
Nutr Rev. 50, 170.

Fledelius, C.; Johnsen, A. H.; Cloos, P. A.; Bonde, M.; Qvist, P. (1997):

Characterization of urinary degradation products derived from type I collagen. Identification of a beta-isomerized Asp-Gly sequence within the C-terminal telopeptide (alpha1) region.
J Biol Chem. 272(15), 9755-63.

Fuchs, G. H. (2010):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Stimmt die Düngebilanz?

Abgerufen am: 04.10.2013 um 17.41 Uhr, von

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/duengebilanz.pdf>.

Garabedian, M.; Tanaka, Y.; Holick, M. F.; Deluca, H. F. (1974):

Response of Intestinal Calcium Transport and Bone Calcium Mobilization to 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ in Thyroparathyroidectomized Rats.
Endocrinology. 94(4), 1022-1027.

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2006):

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen.

Frankfurt a.M.: DLG-Verlag.

Goff, J. P.; Caperna, T. J.; Steele, N. C. (1990):

Effects of growth hormone administration on vitamin D metabolism and vitamin D receptors in the pig.
Domestic Animal Endocrinology. 7(3), 425-433.

Graf, E.; Eaton, J. W. (1993):

Suppression of colonic cancer by dietary phytic acid.
Nutrition and Cancer. 19(1), 11-19.

Graf, E.; Empson, K. L.; Eaton, J. W. (1987):

Phytic acid. A natural antioxidant.
J Biol Chem. 262(24), 11647-50.

Greiner, R.; Konietzny, U. (2006):

Phytase for food application.
Food Technology and Biotechnology. 44(2), 125-140.

Gundberg, C. M.; Wilson, P. S.; Gallop, P. M.; Parfitt, A. M. (1985):

Determination of osteocalcin in human serum: results with two kits compared with those by a well-characterized assay.
Clin Chem. 31(10), 1720-3.

Gunther, F. (2005):

A solution to the heap problem: The doubly balanced agriculture: integration with population.
Abgerufen am: 7.10.2013 um 19.52 Uhr, von
<http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml>.

Gürtler, H. (1987):

Ernährungsbedingte Erkrankungen von Ferkeln, Mast- und Zuchtschweinen.
In: Neudorf, R.; Seidel, H.: Schweinekrankheiten. / Hrsg. P. Kielstein. - Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. - ISBN:3-432-89633-6. S. 84-96.

Harland, B. F.; Smikle-Williams, S.; Oberleas, D. (2004):

High performance liquid chromatography analysis of phytate (IP6) in selected foods.
Journal of Food Composition and Analysis. 17(2), 227-233.

Harper, A. F.; Kornegay, E. T.; Schell, T. C. (1997):

Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion.
J Anim Sci. 75(12), 3174-86.

Heaney, R. P. (1962):

Radiocalcium metabolism in disuse osteoporosis in man.
The American Journal of Medicine. 33(2), 188-200.

Heinritzi, K.; Plonait, H. (2004):

Blutkrankheiten.
In: Lehrbuch der Schweinekrankheiten. / Hrsg. K. H. Waldmann. - Stuttgart: Parey. - ISBN:3-8304-4104-5. S. 169-196.

Hollinger, H. Z.; Pattee, C. J. (1956):

A review of normal calcium and phosphorus metabolism.
Can Med Assoc J. 74(11), 912-21.

Hu, H. L.; Wise, A.; Henderson, C. (1996):

Hydrolysis of phytate and inositol tri-, tetra-, and penta- phosphates by the intestinal mucosa of the pig.
Nutrition Research. 16(5), 781-787.

Huq, N. L.; Teh, L. C.; Christie, D. L.; Chapman, G. E. (1984):

The amino acid sequences of goat, pig and wallaby osteocalcins.
Biochem Int. 8(4), 521-7.

Huyghebaert, G.; Bleukx, W.; Ruysveldt, F.; Delezie, E.; Maertens, L. (2009):

Phosphorus Supply and Usage.

Abgerufen am: 7.10.2013 um 20.20 Uhr, von

http://www.cabi.org/animalscience/Uploads/File/AnimalScience/additionalFiles//WPSAEdinburgh2009/4_huyghebaert_nutrition2009.pdf.

Iqbal, T. H.; Lewis, K. O.; Cooper, B. T. (1994):

Phytase activity in the human and rat small intestine.
Gut. 35(9), 1233-6.

Ivaska, K. K.; Hentunen, T. A.; Vaaraniemi, J.; Ylipahkala, H.; Pettersson, K.; Vaananen, H. K. (2004):

Release of intact and fragmented osteocalcin molecules from bone matrix during bone resorption in vitro.

J Biol Chem. 279(18), 18361-9.

Jondreville, C.; Hayler, R.; Feuerstein, D. (2005):

Replacement of zinc sulphate by microbial phytase for piglets given a maize-soya-bean meal diet.
Animal Science. 81(1), 77-83.

Jongbloed, A. W.; Kemme, P. A. (1990):

Effect of pelleting mixed feeds on phytase activity and the apparent absorbability of phosphorus and calcium in pigs.

Animal Feed Science and Technology. 28(3-4), 233-242.

Jongbloed, A. W.; Poulsen, H. D.; Dourmad, J. Y.; van der Peet-Schwering, C. M. C. (1999):

Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark.
Livestock Production Science. 58(3), 243-249.

Kamphues, J.; Coenen, M.; Iben, C.; Kienzle, E.; Pallauf, J.; Simon, O.; Wanner, M.; Zentek, J. (2009):

Supplemente zu den Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 11. -
Hannover: M. & H. Schaper. - ISBN:978-3-7944-0223-6.

Ketaren, P. P.; Batterham, E. S.; Dettmann, E. B.; Farrell, D. J. (1993):

Phosphorus studies in pigs. 3. Effect of phytase supplementation on the digestibility and availability of phosphorus in soya-bean meal for grower pigs.

Br J Nutr. 70(1), 289-311.

Kies, A. K.; Kemme, P. A.; Sebek, L. B.; van Diepen, J. T.; Jongbloed, A. W. (2006):

Effect of graded doses and a high dose of microbial phytase on the digestibility of various minerals in weaner pigs.

J Anim Sci. 84(5), 1169-75.

Kim, O. H.; Kim, Y. O.; Shim, J. H.; Jung, Y. S.; Jung, W. J.; Choi, W. C.; Lee, H.; Lee, S. J.; Kim, K. K.; Auh, J. H.; Kim, H.; Kim, J. W.; Oh, T. K.; Oh, B. C. (2010):

beta-propeller phytase hydrolyzes insoluble Ca(2+)-phytate salts and completely abrogates the ability of phytate to chelate metal ions.

Biochemistry. 49(47), 10216-27.

Koch, M. E.; Mahan, D. C. (1985):

Biological Characteristics for Assessing Low Phosphorus Intake in Growing Swine.
J Anim Sci. 60(3), 699-708.

Koch, M. E.; Mahan, D. C. (1986):

Biological Characteristics for Assessing Low Phosphorus Intake in Finishing Swine.
J Anim Sci. 62(1), 163-172.

Kular, J.; Tickner, J.; Chim, S. M.; Xu, J. (2012):

An overview of the regulation of bone remodelling at the cellular level.
Clinical Biochemistry. 45(12), 863-873.

Lei, X. G.; Ku, P. K.; Miller, E. R.; Yokoyama, M. T.; Ullrey, D. E. (1994):

Calcium level affects the efficacy of supplemental microbial phytase in corn-soybean meal diets of weanling pigs.
J Anim Sci. 72(1), 139-43.

Lei, X. G.; Weaver, J. D.; Mullaney, E.; Ullah, A. H.; Azain, M. J. (2013):

Phytase, a New Life for an "Old" Enzyme.
Annual Review of Animal Biosciences. 1(1), 283-309.

Lenis, N. P.; Jongbloed, A. W. (1999):

New technologies in low pollution swine diets : diet manipulation and use of synthetic amino acids, phytase and phase feeding for reduction of nitrogen and phosphorus excretion and ammonia emission-
-review. Asian-Australasian journal of animal sciences. 12(2), 305-327.

Lian, J. B.; Carnes, D. L.; Glimcher, M. J. (1987):

Bone and serum concentrations of osteocalcin as a function of 1,25-dihydroxyvitamin D3 circulating levels in bone disorders in rats.
Endocrinology. 120(5), 2123-30.

Lian, J. B.; Coutts, M.; Canalis, E. (1985):

Studies of hormonal regulation of osteocalcin synthesis in cultured fetal rat calvariae.
J Biol Chem. 260(15), 8706-10.

Lian, J. B.; Tassinari, M.; Glowacki, J. (1984):

Resorption of implanted bone prepared from normal and warfarin-treated rats.
J Clin Invest. 73(4), 1223-6.

Liesegang, A.; Burgi, E.; Sassi, M. L.; Risteli, J.; Wanner, M. (2002):

Influence of a vegetarian diet versus a diet with fishmeal on bone in growing pigs.
J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med. 49(5), 230-8.

Liesegang, A.; Huttenmoser, D.; Risteli, J.; Leiber, F.; Kreuzer, M.; Wanner, M. (2013):

Influence of high-altitude grazing on bone metabolism of growing sheep.
Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 97, 58-66.

Lindermayer, H. (2013):

Futtermitteln und Fütterungsstrategien der Zukunft - Schweinehaltung -
Abgerufen am: 8.10.2013 um 12.04 Uhr, von
<http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/lindermayer.pdf>.

Liu, J.; Bollinger, D. W.; Ledoux, D. R.; Eilersieck, M. R.; Veum, T. L. (1997):

Soaking increases the efficacy of supplemental microbial phytase in a low-phosphorus corn-soybean meal diet for growing pigs.
J Anim Sci. 75, 1292-1298.

Nagel, H. (2013):

Lahmheiten durch Futtermängel.
dlz primus Schwein, September 2013, 38-41

Näsi, M.; Helander, E. (1994):

Effects of microbial phytase supplementation and soaking of barley-soybean meal on availability of plant phosphorus for growing pigs.
Acta Agriculturae Scandinavica. 44, 79-86.

National Osteoporosis Foundation (2003):

Physician's guide to prevention and treatment of osteoporosis. -
Washington D.C.

Naumann, C.; Bassler, R.; Buchholz, H. (1983):

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten: VDLUFA-
Methodenbuch, Bd. 3, Die chemische Untersuchung von Futtermitteln
SBN 978-3-941273-14-6.

Neve, A.; Corrado, A.; Cantatore, F. P. (2013):

Osteocalcin: skeletal and extra-skeletal effects.
Journal of cellular physiology. 228(6), 1149-53.

Nicodemo, M. L.; Scott, D.; Buchan, W.; Duncan, A.; Robins, S. P. (1998):

Effects of variations in dietary calcium and phosphorus supply on plasma and bone osteocalcin concentrations and bone mineralization in growing pigs.
Exp Physiol. 83(5), 659-65.

Oberender, P. O.; Fritschi, D. A. (2003):

Disease Management und Osteoporose: Versorgungsmängel bei einer relevanten Frauenkrankheit.
Dtsch Arztebl. 100(25), 20. Juni 2003.

Ozono, K.; Liao, J.; Kerner, S. A.; Scott, R. A.; Pike, J. W. (1990):

The vitamin D-responsive element in the human osteocalcin gene. Association with a nuclear proto-oncogene enhancer.
J Biol Chem. 265(35), 21881-8.

Pallauf, J.; Höhler, D.; Rimbach, G. (1992):

Effect of microbial phytase supplementation to a maize-soya-diet on the apparent absorption of Mg, Fe, Cu, Mn and Zn and parameters of Zn-status in piglets.
Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 68, 1-9.

Piatek, S.; Adolf, D.; Wex, T.; Halangk, W.; Klose, S.; Westphal, S.; Amthauer, H.; Winckler, S. (2013):

Multiparameter analysis of serum levels of C-telopeptide crosslaps, bone-specific alkaline phosphatase, cathepsin K, osteoprotegerin and receptor activator of nuclear factor κ B ligand in the diagnosis of osteoporosis.
Maturitas. 74(4), 363-368.

Pontoppidan, K.; Pettersson, D.; Sandberg, A.-S. (2007):

Interaction of phytate with protein and minerals in a soybean–maize meal blend depends on pH and calcium addition.
Journal of the Science of Food and Agriculture. 87(10), 1886-1892.

Pretlow, T. P.; O'Riordan, M. A.; Somich, G. A.; Amini, S. B.; Pretlow, T. G. (1992):

Aberrant crypts correlate with tumor incidence in F344 rats treated with azoxymethane and phytate.
Carcinogenesis. 13(9), 1509-12.

Price, P. A. (1987):

Vitamin K-dependent proteins.

In: Calcium regulation and bone metabolism: basic and clinical aspects. / Hrsg. D. V. Cohn. - Amsterdam: Elsevier Science. - S. 419-25.

Price, P. A.; Williamson, M. K.; Lothringer, J. W. (1981):

Origin of the vitamin K-dependent bone protein found in plasma and its clearance by kidney and bone. J Biol Chem. 256(24), 12760-6.

Qian, H.; Gregory, E. M.; Kornegay, E. T. (1996b):

Characterization of *Aspergillus niger* phytase and investigation of the inhibitory effect of cations on the phytase activity.

J Anim Sci. 74(Suppl. 1), 8 (Abstr).

Qian, H.; Kornegay, E. T.; Conner, D. E., Jr. (1996a):

Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels.

J Anim Sci. 74(6), 1288-97.

Raboy, V. (2003):

myo-Inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate.

Phytochemistry. 64(6), 1033-1043.

Ramaekers, P. J. L.; Swinkels, J. W. G. M.; Huiskes, J. H.; Verstegen, M. W. A.; Hartog, L. A. d.; Peet-Schwering, C. M. C. v. d. (1996):

Performance and carcass traits of individual pigs housed in groups as affected by ad libitum and restricted feeding.

Abgerufen am: Research Institute for Pig Husbandry, PO Box 83, 5240 AB Rosmalen, Netherlands., von http://ac.els-cdn.com/S0301622696000358/1-s2.0-S0301622696000358-main.pdf?_tid=79a54782-aa2d-11e3-8d99-00000aab0f01&acdnat=1394659984_ce23267da627dbe045ed7cfec27cc1cf.

Raun, A.; Cheng, E.; Burroughs, W. (1956):

Ruminant Nutrition, Phytate Phosphorus Hydrolysis and Availability to Rumen Microorganisms.

Journal of Agricultural and Food Chemistry. 4(10), 869-871.

Referat Landbau. (2012):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Kontrolle der Düngeverordnung (Ordnungswidrigkeiten und CC-Verstöße).

Abgerufen am: 25.09.2013 um 15.43 Uhr, von

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/du-ev-owi-cc.pdf>.

Rodehutschord, M.; Abel, H. J.; Friedt, W.; Wenk, C.; Flachowsky, G.; Ahlgrimm, H. J.; Johnke, B.; Kühl, R.; Breves, G. (2002):

Consequences of the Ban of By-Products from Terrestrial Animals in Livestock Feeding in Germany and The European Union: Alternatives, Nutrient and Energy Cycles, Plant Production, and Economic Aspects.

Archiv für Tierernaehrung. 56(2), 67-91.

Rodehutschord, M.; Faust, M.; Lorenz, H. (1996):

Digestibility of phosphorus contained in soybean meal, barley, and different varieties of wheat, without and with supplemental phytase fed to pigs and additivity of digestibility in a wheatsoybean-meal diet.

J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 75(1-5), 40-48.

Rosenquist, C.; Fledelius, C.; Christgau, S.; Pedersen, B. J.; Bonde, M.; Qvist, P.; Christiansen, C. (1998):

Serum CrossLaps One Step ELISA. First application of monoclonal antibodies for measurement in serum of bone-related degradation products from C-terminal telopeptides of type I collagen. Clin Chem. 44(11), 2281-9.

Rotaru, I. (2013):

The effect of using Pietrain breed on improving carcass quality on pigs. Scientific Papers. Series D. Animal Science. 56, 177-180.

Salo, J.; Lehenkari, P.; Mulari, M.; Metsikko, K.; Vaananen, H. K. (1997):

Removal of osteoclast bone resorption products by transcytosis. Science (New York, N.Y.). 276(5310), 270-3.

Salomon, F. V.; Geyer, H.; Gille, U. (2008):

Anatomie für die Tiermedizin. 2. - Stuttgart: Enke. - ISBN:978-3-8304-1075-1.

Sauer, W.; Cervantes, M.; Yanez, J.; Araiza, B.; Murdoch, G.; Morales, A.; Zijlstra, R. T. (2009):

Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs. Livestock Science. 122(2-3), 162-168.

Schalk, M.; Schafzahl, W. (2010):

Einfluss der Fütterung auf Fundamentprobleme bei der Sau. Praktischer Tierarzt. 91(5), 424-429.

Schindler, D. W.; Hecky, R. E.; Findlay, D. L.; Stainton, M. P.; Parker, B. R.; Paterson, M. J.; Beaty, K. G.; Lyng, M.; Kasian, S. E. (2008):

Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 105(32), 11254-8.

Schlemmer, A.; Hassager, C. (1999):

Acute fasting diminishes the circadian rhythm of biochemical markers of bone resorption. Eur J Endocrinol. 140(4), 332-7.

Schmid, S. A. (2011):

Einfluss der Phosphorversorgung auf die Knochengesundheit von Mastschweinen. Zürich, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich. 80 S. - URL: <http://www.zora.uzh.ch/47973/1/20111146.pdf>.

Secer, R. (2011):

Einfluss des Apolipoprotein E auf den Knochenstoffwechsel. Hamburg, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. 87 S. - URL: <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2011/5419/pdf/Dissertation.pdf>.

Seeman, E. (2003):

The structural and biomechanical basis of the gain and loss of bone strength in women and men. Endocrinol Metab Clin North Am. 32(1), 25-38.

Seibel, M. J. (2005):

Biochemical markers of bone turnover: part I: biochemistry and variability. Clin Biochem Rev. 26(4), 97-122.

Selle, P. H.; Ravindran, V. (2007):

Microbial phytase in poultry nutrition.
Animal Feed Science and Technology. 135(1-2), 1-41.

Selle, P. H.; Ravindran, V. (2008):

Phytate-degrading enzymes in pig nutrition.
Livestock Science. 113(2-3), 99-122.

Seynaeve, M.; Janssens, G.; Hesta, M.; Van Nevel, C.; De Wilde, R. O. (2000):

Effects of dietary Ca/P ratio, P level and microbial phytase supplementation on nutrient digestibilities in growing pigs: breakdown of phytic acid, partition of P and phytase activity along the intestinal tract.
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 83(4-5), 193-204.

Simons, P. C.; Versteegh, H. A.; Jongbloed, A. W.; Kemme, P. A.; Slump, P.; Bos, K. D.; Wolters, M. G.; Beudeker, R. F.; Verschoor, G. J. (1990):

Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs.
Br J Nutr. 64(2), 525-40.

Skoglund, E.; Larsen, T.; Sandberg, A.-S. (1997):

Comparison between steeping and pelleting a mixed diet at different calcium levels on phytate degradation in pigs.
Canadian Journal of Animal Science. 77(3), 471-477.

Slominski, B. A.; Davie, T.; Nyachoti, M. C.; Jones, O. (2007):

Heat stability of endogenous and microbial phytase during feed pelleting.
Livestock Science. 109(1-3), 244-246.

Smil, V. (2000):

Phosphorus in the environment: Natural Flows and Human Interferences.
Annual Review of Energy and the Environment. 25(1), 53-88.

Stalljohann, G.; Bußmann, H.; Höne, K. (2012):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Rechenmeister für die Schweinefütterung. Neuauflage 2012. -
Münster: Landwirtschaftsverlag Münster.

Stalljohann, G.; Patzelt, S. (2010):

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Ferkelfutter mit hoher Phosphorverwertbarkeit geprüft.
Abgerufen am: 7.03.2013 um 17.10 Uhr, von
<http://www.duesse.de/tierhaltung/schweine/versuche/ferkel/pdf/2010-phosphor.pdf>.

Statistisches Bundesamt (2013):

2012 erstmals seit 1997 weniger Fleisch produziert als im Vorjahr
Pressemitteilung Nr. 056 vom 13.02.2013.

Steen, I. (1998):

Phosphorus availability in the 21st Century: Management of a non-renewable resource.
Phosphorus and Potassium. 217, 25-31.

Stein, H. H. (2002):

Experience of feeding pigs without antibiotics: a European perspective.
Animal Biotechnology. 13(1), 85-95.

Steinberg, M. E.; Trueta, J. (1981):

Effects of activity on bone growth and development in the rat.
Clin Orthop Relat Res(156), 52-60.

Steiner, T.; Mosenthin, R.; Zimmermann, B.; Greiner, R.; Roth, S. (2007):

Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar.
Animal Feed Science and Technology. 133(3-4), 320-334.

Stepan, J. J.; Lachman, M.; Zverina, J.; Pacovsky, V.; Baylink, D. J. (1989):

Castrated men exhibit bone loss: effect of calcitonin treatment on biochemical indices of bone remodeling.
J Clin Endocrinol Metab. 69(3), 523-7.

Suzuki, U.; Yoshimura, K.; Takaishi, M. (1907):

Über ein Enzym "Phytase" das Anhydro-oxy-methylen-diphosphosäure spaltet.
Coll. Agric. Bull. Tokyo Imp. Univ. 7, 503-505.

Swaminathan, R. (2001):

Biochemical markers of bone turnover.
Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry. 313(1-2), 95-105.

Thomas, M. L.; Simmons, D. J.; Kidder, L.; Ibarra, M. J. (1991):

Calcium metabolism and bone mineralization in female rats fed diets marginally sufficient in calcium: effects of increased dietary calcium intake.
Bone Miner. 12(1), 1-14.

Tsutsumi, H.; Katagiri, K.; Morimoto, M.; Nasu, T.; Tanigawa, M.; Mamba, K. (2004):

Diurnal variation and age-related changes of bone turnover markers in female Gottingen minipigs.
Lab Anim. 38(4), 439-46.

Vanderschueren, D.; Gevers, G.; Raymaekers, G.; Devos, P.; Dequeker, J. (1990):

Sex- and age-related changes in bone and serum osteocalcin.
Calcif Tissue Int. 46(3), 179-82.

Vasikaran, S.; Eastell, R.; Bruyere, O.; Foldes, A. J.; Garnero, P.; Griesmacher, A.; McClung, M.; Morris, H. A.; Silverman, S.; Trenti, T.; Wahl, D. A.; Cooper, C.; Kanis, J. A. (2011):

Markers of bone turnover for the prediction of fracture risk and monitoring of osteoporosis treatment: a need for international reference standards.
Osteoporos Int. 22(2), 391-420.

von Engelhardt, W.; Breves, G. (2010):

Physiologie der Haussäugetiere. 3. -
Stuttgart: Enke. - ISBN:9783830410782.

Vucenik, I.; Sakamoto, K.; Bansal, M.; Shamsuddin, A. M. (1993):

Inhibition of rat mammary carcinogenesis by inositol hexaphosphate (phytic acid). A pilot study.
Cancer Lett. 75(2), 95-102.

Walgern, B.; Stalljohann, G.; Schulze-Langenhorst, C.; Greimann, H.; Grothaus, K. (2011):

43. Verzicht auf die Zugabe von anorganischem Phosphor in Schweinemastrationen mit niedrigem nativem Phosphorgehalt und Einsatz von Phytase.
Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Verband der Landwirtschaftskammern, Fulda, am 6./7.04.2011 - S.164-167.

Weiss, M. J.; Cole, D. E.; Ray, K.; Whyte, M. P.; Lafferty, M. A.; Mulivor, R. A.; Harris, H. (1988):

A missense mutation in the human liver/bone/kidney alkaline phosphatase gene causing a lethal form of hypophosphatasia.

Proc Natl Acad Sci U S A. 85(20), 7666-9.

Wetscherek-Seipelt, G.; Roth, F. X.; Windisch, W. (2007):

Effect of dietary phytase addition and P reduction on performance of fattening pigs during the entire production period.

Proceedings of the Society of Nutrition Physiology- S.38.

WHO Study Group. (1994):

Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis.

Abgerufen am: 8.10.2013 um 11.40 Uhr, von http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_843.pdf.

Wichers, M.; Schmidt, E.; Bidlingmaier, F.; Klingmüller, D. (1999):

Diurnal rhythm of CrossLaps in human serum.

Clin Chem. 45(10), 1858-60.

Windhorst, H. W. (2012):

Chancen und Risiken der deutschen Schweinehaltung in Zeiten der Globalisierung der Märkte.

6. Leipziger Tierärztekongress, Leipzig - S.186-189.

Wink, C. S.; Felts, W. J. (1980):

Effects of castration on the bone structure of male rats: a model of osteoporosis.

Calcif Tissue Int. 32(1), 77-82.

Wise, A. (1983):

Dietary factors determining the biological activities of phytate. .

Nutrition Abstracts and Reviews. 53, 791.

www.indexmundi.com. (2013):

Rock Phosphate Monthly Price - US Dollars per Metric Ton.

Abgerufen am: 04.10.2013 um 18.29 Uhr, von

<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=120>.

Yanke, L. J.; Bae, H. D.; Selinger, L. B.; Cheng, K. J. (1998):

Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria.

Microbiology. 144 (Pt 6), 1565-73.

Yao, M. Z.; Zhang, Y. H.; Lu, W. L.; Hu, M. Q.; Wang, W.; Liang, A. H. (2012):

Phytases: crystal structures, protein engineering and potential biotechnological applications.

J Appl Microbiol. 112(1), 1-14.

Yoon, J. H.; Thompson, L. U.; Jenkins, D. J. (1983):

The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response.

Am J Clin Nutr. 38(6), 835-42.

Zikan, V.; Haas, T.; Stepan, J. J. (2001):

Acute effects in healthy women of oral calcium on the calcium-parathyroid axis and bone resorption as assessed by serum beta-CrossLaps.

Calcif Tissue Int. 68(6), 352-7.

10 Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Phosphorgehalt ausgewählter Futtermittel.....	11
Tab. 2: Phytasen in ausgewählten Organismen.....	14
Tab. 3: Empfohlener Calcium- und Phosphorgehalt im Ferkelaufzuchtfutter.....	18
Tab. 4: Empfohlener Calcium- und Phosphorgehalt im Mastfutter.....	18
Tab. 5: Auszug einiger relevanter Mediatoren im Knochenstoffwechsel.....	21
Tab. 6: Reihenfolge und Aufteilung der Ferkeleinrichtungen.....	28
Tab. 7: Reihenfolge und Aufteilung der Einrichtungen in der Mast.....	30
Tab. 8: Phosphor-, Calciumgehalt und Phytaseeinheiten im Ferkelfutter.....	32
Tab. 9: Phosphor-, Calciumgehalt und Phytaseeinheiten im Mastfutter.....	32
Tab. 10: Geburts-, Absetzmasse und ausgewählte Kennwerte der Ferkelaufzucht.....	44
Tab. 11: Futteraufnahme in den Mastphasen.....	45
Tab. 12: Futteraufwand.....	46
Tab. 13: Futterverbrauch je Tier.....	47
Tab. 14: Tägliche Zunahme in der Mast.....	48
Tab. 15: Lebendmasseentwicklung.....	49
Tab. 16: Dauer der Mastphasen.....	50
Tab. 17: Indexpunkt je kg Schlachtmasse.....	51
Tab. 18: Osteocalcinkonzentration im Serum bei 40 und 110 kg Lebendmasse.....	52
Tab. 19: β -Crosslapskonzentration im Serum bei 40 und 110 kg Lebendmasse.....	53
Tab. 20: Knochenbruchfestigkeit.....	54
Tab. 21: Strecke L bei F_{\max}	54
Tab. 22: Kennwerte der Knochenmineralisierung.....	55
Tab. 23: Korrelationen zwischen Blutkennwerten.....	56
Tab. 24: Korrelationen zwischen Knochenkennwerten.....	57
Tab. 25: Korrelationen zwischen Blut-, Knochenkennwerten und täglicher Zunahme.....	57
Tab. 26: Feld-/Stallbilanz von N und P.....	58

11 Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: vereinfachte Reaktionsgleichung	13
Abb. 2: Ferkelflatdeck.....	28
Abb. 3: Mastabteil, Fünferbuchten.....	29
Abb. 4: Lagerung des Futters	33
Abb. 5: Mischbehälter der Flüssigfütterung.....	33
Abb. 6: Materialprüfmaschine Z010 (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm).....	39

12 Diagrammverzeichnis:

Diag. 1: Entwicklung der Rohphosphatpreise (Marokko)	9
Diag. 2: erwartete Lebendmasseentwicklung und Futterenergiemenge.....	33
Diag. 3: Stalltemperatur in der Mastphase	34

13 Anhang

13.1 Futterdeklaration

Ferkelaufzucht

Phase	Lebend- masse	Phosphor		Calcium		Phytaseeinheiten (FTU)	
		Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
1	8-15 kg	5,4	4,9	7,7	7,0	500	1000
Summe verd. Phosphor		3,5	3,4				
2	15-27 kg	5,0	4,4	7,4	6,5	500	1000
Summe verd. Phosphor		3,1	3,0				

Angaben des deklarierten Gehalts an Phosphor-, verdaulichem Phosphor und Calcium in g/kg Frischsubstanz und Angabe der zugesetzten Menge an mikrobieller Phytase in Enzym-einheiten (FTU) pro kg Frischsubstanz

Mastphase

Phase	Lebend- masse	Phosphor		Calcium		Phytaseeinheiten (FTU)	
		Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Anfangsmast	28-40 kg	4,5	4,1	6,0	5,5	500	1000
Summe verd. Phosphor		3,1	3,1				
Mittelmast	40-75 kg	4,0	3,4	5,0	4,5	500	1000
Summe verd. Phosphor		2,8	2,7				
Endmast	75-120 kg	3,9	3,4	5,0	4,5	250	500
Summe verd. Phosphor		2,3	2,3				

Angaben des deklarierten Gehalts an Phosphor-, verdaulichem Phosphor und Calcium in g/kg Frischsubstanz und Angabe der zugesetzten Menge an mikrobieller Phytase in Enzym-einheiten (FTU) pro kg Frischsubstanz

Deklarationsbeschreibung:

Kontrolle

Ferkelaufzuchtfutter 1 von 8 - 15 kg LM Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein 1,35 % Lysin

5,00 % Rohfett 0,49 % Methionin

3,50 % Rohfaser 0,77 % Calcium

4,50 % Rohasche 0,54 % Phosphor

13,9 MJ ME/kg 0,20 % Natrium

Hydroxy-Analog von Methionin:

0,24 % Gesamtsaeure, 0,18 % monomere Saeure

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

500 FTU 3-Phytase (EC 3.1.3.8) (4a1600), 11 IU

Endo-1,4-beta-Xylanase EC3.2.1.8, (E1606), 1,

28 x 10 hoch 9 KBE, Mischung aus

B.licheniformis DSM 5749, + B.subtilis DSM

5750 im Verh. 1:1 (E1700)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin

D3 (E671), 150 mg Vitamin E, 150 mg Kupfer

(E4) als, Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat,

250 mg Eisen (E1) als, Eisen-(II)-carbonat,

125 mg Zink (E6) als, Zinksulfat, Monohydrat,

80 mg Mangan (E5) als, Mangan-(II)-oxid, 0,8

mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,

40 mg Selen als, Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330),

Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure

(E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Futterhaferflocken, Weizen, Mais,

Sojaprotein-Konzentrat, Sojaschrot geschält,

extr.1), Suessmolkenpulver, Sojaschalen1),

Traubenzucker, Pflanzenfettsaeuren,

Sojabohnen, getoastet1), Erbseneiweiss,

Calciumcarbonat, Monocalciumphosphat,

Natriumchlorid, Sojaschrot, extr.1)

Deklarationsbeschreibung:

Kontrolle

Ferkelaufzuchtfutter 2 von 15 - 27 kg LM (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein 1,25 % Lysin

4,00 % Rohfett 0,39 % Methionin

4,00 % Rohfaser 0,74 % Calcium

5,00 % Rohasche 0,50 % Phosphor

13,5 MJ ME/kg 0,20 % Natrium

Hydroxy-Analog von Methionin:

0,12 % Gesamtsaeure, 0,09 % monomere Saeure

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

500 FTU 3-Phytase (EC 3.1.3.8) (4a1600), 11 IU

Endo-1,4-beta-Xylanase EC3.2.1.8, (E1606), 1,

28 x 10 hoch 9 KBE, Mischung aus

B.licheniformis DSM 5749, + B.subtilis DSM

5750 im Verh. 1:1 (E1700)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin

D3 (E671), 100 mg Vitamin E, 150 mg Kupfer

(E4) als, Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat,

250 mg Eisen (E1) als, Eisen-(II)-carbonat,

125 mg Zink (E6) als, Zinksulfat, Monohydrat,

80 mg Mangan (E5) als, Mangan-(II)-oxid, 0,8

mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,

40 mg Selen als, Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330),

Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure

(E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Mais, Sojaschrot geschält,

extr.1), Weizenkleie, Sojaprotein-Konzentrat,

Sojabohnen, getoastet1), Calciumcarbonat,

Pflanzenfettsaeuren, Monocalciumphosphat,

Natriumchlorid

Deklarationsbeschreibung:

stark P-abgesenkt

Ferkelaufzuchtfutter 1 von 8 - 15 kg LM Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein 1,35 % Lysin

5,00 % Rohfett 0,49 % Methionin

3,50 % Rohfaser 0,70 % Calcium

4,50 % Rohasche 0,49 % Phosphor

13,9 MJ ME/kg 0,20 % Natrium

Hydroxy-Analog von Methionin:

0,24 % Gesamtsaeure, 0,18 % monomere Saeure

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

1000 FTU 3-Phytase (EC 3.1.3.8) (4a1600), 11

IU Endo-1,4-beta-Xylanase EC3.2.1.8, (E1606),

1,28 x 10 hoch 9 KBE, Mischung aus

B.licheniformis DSM 5749, + B.subtilis DSM

5750 im Verh. 1:1 (E1700)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin

D3 (E671), 150 mg Vitamin E, 150 mg Kupfer

(E4) als, Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat,

250 mg Eisen (E1) als, Eisen-(II)-carbonat,

125 mg Zink (E6) als, Zinksulfat, Monohydrat,

80 mg Mangan (E5) als, Mangan-(II)-oxid, 0,8

mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,

40 mg Selen als, Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330),

Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure

(E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Futterhaferflocken, Weizen, Mais,

Sojaprotein-Konzentrat, Sojaschrot geschält,

extr.1), Suessmolkenpulver, Sojaschalen1),

Traubenzucker, Pflanzenfettsaeuren,

Sojabohnen, getoastet1), Erbseneiweiss,

Calciumcarbonat, Monocalciumphosphat,

Natriumchlorid, Sojaschrot, extr.1)

Deklarationsbeschreibung:

stark P-abgesenkt

Ferkelaufzuchtfutter 2 von 15 - 27 kg LM (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein 1,25 % Lysin

4,00 % Rohfett 0,39 % Methionin

4,00 % Rohfaser 0,70 % Calcium

5,00 % Rohasche 0,44 % Phosphor

13,5 MJ ME/kg 0,20 % Natrium

Hydroxy-Analog von Methionin:

0,12 % Gesamtsaeure, 0,09 % monomere Saeure

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

1000 FTU 3-Phytase (EC 3.1.3.8) (4a1600), 11

IU Endo-1,4-beta-Xylanase EC3.2.1.8, (E1606),

1,28 x 10 hoch 9 KBE, Mischung aus

B.licheniformis DSM 5749, + B.subtilis DSM

5750 im Verh. 1:1 (E1700)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin

D3 (E671), 100 mg Vitamin E, 150 mg Kupfer

(E4) als, Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat,

250 mg Eisen (E1) als, Eisen-(II)-carbonat,

125 mg Zink (E6) als, Zinksulfat, Monohydrat,

80 mg Mangan (E5) als, Mangan-(II)-oxid, 0,8

mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,

40 mg Selen als, Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330),

Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure

(E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Mais, Sojaschrot geschält,

extr.1), Weizenkleie, Sojaprotein-Konzentrat,

Sojabohnen, getoastet1), Calciumcarbonat,

Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid,

Monocalciumphosphat

Deklarationsbeschreibung:

Kontrolle (7151)

Anfangsmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein	1,15 % Lysin
3,00 % Rohfett	0,35 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,60 % Calcium
4,40 % Rohasche	0,45 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

500 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin D3(E671), 80 mg Vitamin E, 140 mg Kupfer (E4) als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat, Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330), Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure (E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1), Mais, Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid, Monocalciumphosphat

Deklarationsbeschreibung:

stark P-abgesenkt (7150)

Anfangsmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,50 % Rohprotein	1,15 % Lysin
3,00 % Rohfett	0,35 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,55 % Calcium
4,20 % Rohasche	0,41 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

1000 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

16000 IE Vitamin A (E672), 2000 IE Vitamin D3(E671), 80 mg Vitamin E, 140 mg Kupfer (E4) als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat, Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Citronensaure (E330), Milchsaeure (E270), Orthophosphorsaure (E338), Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1), Mais, Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid, Monocalciumphosphat

Deklarationsbeschreibung:

Kontrolle (7153)

Mittelmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,00 % Rohprotein	1,05 % Lysin
2,90 % Rohfett	0,29 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,50 % Calcium
4,10 % Rohasche	0,40 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

500 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

12000 IE Vitamin A (E672), 1500 IE Vitamin
D3(E671), 80 mg Vitamin E, 15 mg Kupfer (E4)
als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg
Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg
Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat,
Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als
Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als
Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als
Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Milchsaeure (E270),
Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1),
Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat
Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid,
Monocalciumphosphat

Deklarationsbeschreibung:

P-abgesenkt (7152)

Mittelmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

17,00 % Rohprotein	1,05 % Lysin
2,80 % Rohfett	0,29 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,45 % Calcium
3,90 % Rohasche	0,34 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

1000 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

12000 IE Vitamin A (E672), 1500 IE Vitamin
D3(E671), 80 mg Vitamin E, 15 mg Kupfer (E4)
als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg
Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg
Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat,
Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als
Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als
Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als
Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Milchsaeure (E270),
Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1),
Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat
Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid

Deklarationsbeschreibung:

Kontrolle (7155)

Endmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

16,50 % Rohprotein	1,00 % Lysin
3,00 % Rohfett	0,27 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,50 % Calcium
4,10 % Rohasche	0,39 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

250 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

8000 IE Vitamin A (E672), 1000 IE Vitamin
D3(E671), 70 mg Vitamin E, 15 mg Kupfer (E4)
als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg
Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg
Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat,
Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als
Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als
Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als
Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Milchsaeure (E270),
Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1),
Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat
Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid,
Monocalciumphosphat

Deklarationsbeschreibung:

stark P-abgesenkt (7154)

Endmastfutter, granuliert (Alleinfutter)

Gehalt an Inhaltsstoffen:

16,50 % Rohprotein	1,00 % Lysin
2,90 % Rohfett	0,27 % Methionin
3,50 % Rohfaser	0,45 % Calcium
3,80 % Rohasche	0,34 % Phosphor
13,4 MJ ME/kg	0,20 % Natrium

Zusatzstoffe je kg:

Zootechnische Zusatzstoffe:

500 FTU 3-Phytase(EC 3.1.3.8) (4a1600)

Ernaehrungsphysiologische Zusatzstoffe:

8000 IE Vitamin A (E672), 1000 IE Vitamin
D3(E671), 70 mg Vitamin E, 15 mg Kupfer (E4)
als Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 150 mg
Eisen (E1) als Eisen-(II)-carbonat, 105 mg
Zink (E6) als Zinkoxid, Zinksulfat,
Monohydrat, 80 mg Mangan (E5) als
Mangan-(II)-oxid, 0,8 mg Jod (E2) als
Calciumjodat, wasserfrei, 0,40 mg Selen als
Natriumselenit (E8)

Technologische Zusatzstoffe:

Ameisensaure (E236), Milchsaeure (E270),
Propionsaeure (E280)

Zusammensetzung:

Gerste, Weizen, Sojaschrot, extr.1),
Sojaschrot geschält,extr.1), Calciumcarbonat
Pflanzenfettsaeuren, Natriumchlorid

13.2 Interaktionen (Diät × Geschlecht)

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × Geschlecht
	Borg	Sau	Borg	Sau	
Futteraufnahme (kg)					
Anfangsmast	1,73 ± 0,08 [1,81; 0,95 - 2,14] [#] (n = 9)	1,78 ± 0,07 [1,78; 1,46 - 2,06] [#] (n = 10)	1,85 ± 0,08 [1,85; 1,51 - 2,18] [#] (n = 9)	1,81 ± 0,07 [1,79; 1,59 - 2,04] [#] (n = 10)	P = 0,51
Mittelmast	2,34 ± 0,08 (n = 9)	2,35 ± 0,07 (n = 10)	2,49 ± 0,08 (n = 9)	2,37 ± 0,07 (n = 10)	P = 0,40
Endmast	2,59 ± 0,06 (n = 9)	2,42 ± 0,06 (n = 10)	2,59 ± 0,06 (n = 9)	2,39 ± 0,06 (n = 10)	P = 0,83
Gesamte Mast	2,39 ± 0,05 (n = 9)	2,26 ± 0,05 (n = 10)	2,39 ± 0,05 (n = 9)	2,26 ± 0,05 (n = 10)	P = 0,92
Futteraufwand					
Anfangsmast	1,90 ± 0,06 (n = 9)	1,94 ± 0,06 (n = 10)	1,89 ± 0,06 (n = 9)	1,89 ± 0,06 (n = 10)	P = 0,78
Mittelmast	2,40 ± 0,11 (n = 9)	2,66 ± 0,10 (n = 10)	2,57 ± 0,11 (n = 9)	2,64 ± 0,10 (n = 10)	P = 0,35
Endmast	3,04 ± 0,07 (n = 9)	3,08 ± 0,06 (n = 10)	3,06 ± 0,07 (n = 9)	2,98 ± 0,06 (n = 10)	P = 0,37
Gesamte Mast	2,63 ± 0,05 (n = 9)	2,69 ± 0,05 (n = 10)	2,64 ± 0,05 (n = 9)	2,64 ± 0,05 (n = 10)	P = 0,52
Futterverbr. je Tier (kg)	245,1 ± 3,0 (n = 9)	244,9 ± 2,9 (n = 10)	249,8 ± 2,9 (n = 9)	245,7 ± 2,7 (n = 10)	P = 0,49
Tägliche Zunahme (g)					
Anfangsmast	923 ± 21 [932; 453 - 1211] [#] (n = 54)	923 ± 21 [919; 337 - 1242] [#] (n = 66)	935 ± 21 [963; 253 - 1395] [#] (n = 58)	955 ± 19 [932; 484 - 1216] [#] (n = 64)	P = 0,64
Mittelmast	980 ± 15 (n = 54)	926 ± 15 (n = 66)	949 ± 15 (n = 58)	907 ± 14 (n = 64)	P = 0,68
Endmast	827 ± 13 (n = 54)	834 ± 13 (n = 66)	827 ± 13 (n = 58)	834 ± 12 (n = 64)	P = 0,98
Gesamte Mast	888 ± 7 (n = 54)	877 ± 7 (n = 66)	878 ± 7 (n = 58)	874 ± 7 (n = 64)	P = 0,61

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Anhang

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × Geschlecht
	Borg	Sau	Borg	Sau	
Lebendmasse (kg)					
Mastbeginn	28,6 ± 0,5 [29,1; 16,4 - 37,0] [#] (n = 54)	28,6 ± 0,5 [27,6; 22,1 - 36,6] [#] (n = 66)	28,1 ± 0,5 [27,8; 21,1 - 41,2] [#] (n = 58)	27,6 ± 0,4 [27,3; 22,5 - 36,0] [#] (n = 64)	P = 0,58
Mastende	121,1 ± 0,5 [121,2; 111,9 - 127,5] [#] (n = 54)	120,9 ± 0,5 [119,9; 107,2 - 132,1] [#] (n = 66)	120,9 ± 0,5 [121,7; 107,5 - 128,1] [#] (n = 58)	120,6 ± 0,5 [121,0; 103,9 - 128,0] [#] (n = 64)	P = 0,85
Dauer (Tage)					
Anfangsmast	19 ± 0,0 Tage pauschal				
Mittelmast	30,3 ± 0,8 [29,0; 22,0 - 36,0] [#] (n = 54)	31,1 ± 0,7 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 66)	28,8 ± 0,7 [29,0; 22,0 - 35,0] [#] (n = 58)	31,0 ± 0,7 [34,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 64)	P = 0,39
Endmast	55,6 ± 1,0 [55,0; 34,0 - 71,0] [#] (n = 54)	56,2 ± 0,9 [57,0; 41,0 - 83,0] [#] (n = 66)	58,8 ± 0,9 [55,5; 28,0 - 83,0] [#] (n = 58)	57,6 ± 0,9 [57,0; 34,0 - 83,0] [#] (n = 64)	P = 0,32
Gesamte M.	104,8 ± 1,2 [103,0; 89,0 - 124,0] [#] (n = 54)	106,3 ± 1,1 [110,0; 89,0 - 124,0] [#] (n = 66)	106,6 ± 1,1 [103,0; 75,0 - 124,0] [#] (n = 58)	107,6 ± 1,1 [110,0; 82,0 - 124,0] [#] (n = 64)	P = 0,78
Index je kg Schlacht- masse	0,988 ± 0,008 [1,008; 0,724 - 1,050] [#] (n = 54)	1,004 ± 0,008 [1,020; 0,749 - 1,050] [#] (n = 66)	0,985 ± 0,008 [1,003; 0,701 - 1,050] [#] (n = 57)	1,005 ± 0,007 [1,017; 0,865 - 1,050] [#] (n = 63)	P = 0,81

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Anhang

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × Geschlecht
	Borg	Sau	Borg	Sau	
Osteocalcin (ng/ml)					
bei 40 kg LM	84,9 ± 8,8 (n = 4)	105,8 ± 9,6 (n = 6)	70,6 ± 9,8 (n = 5)	78,1 ± 7,4 (n = 7)	P = 0,35
bei 110 kg LM	66,1 ± 4,1 (n = 9)	64,3 ± 3,9 (n = 12)	48,1 ± 4,0 (n = 10)	62,3 ± 3,6 (n = 12)	P = 0,049
β-Crosslaps (ng/ml)					
bei 40 kg LM	0,440 ± 0,070 [0,430; 0,300 - 0,520] ^{# a} (n = 4)	0,318 ± 0,076 [0,325; 0,260 - 0,490] [#] (n = 6)	0,416 ± 0,078 [0,360; 0,230 - 0,740] [#] (n = 5)	0,318 ± 0,058 [0,310; 0,230 - 0,610] [#] (n = 7)	P = 0,81
bei 110 kg LM	0,532 ± 0,046 (n = 9)	0,589 ± 0,044 (n = 12)	0,569 ± 0,045 (n = 10)	0,552 ± 0,040 (n = 12)	P = 0,049
Knochenanalysen					
Bruchfestigkeit (N)	1775 ± 100 (n = 9)	1790 ± 83 (n = 15)	1631 ± 98 (n = 10)	1852 ± 92 (n = 14)	P = 0,27
L bei F _{max} (mm)	7,04 ± 0,35 (n = 9)	6,83 ± 0,29 (n = 15)	6,60 ± 0,34 (n = 10)	7,26 ± 0,32 (n = 14)	P = 0,18
Trockensubstanz (g/kg uS)	693,2 ± 4,6 (n = 9)	699,2 ± 3,8 (n = 15)	697,0 ± 4,5 (n = 10)	692,0 ± 4,2 (n = 14)	P = 0,21
Rohasche (g/kg fffr TM)	541,1 ± 6,3 (n = 9)	538,9 ± 5,2 (n = 15)	529,7 ± 6,1 (n = 10)	535,7 ± 5,8 (n = 14)	P = 0,49
Calcium (g/kg fffr TM)	202,7 ± 3,8 (n = 9)	207,5 ± 3,1 (n = 15)	195,3 ± 3,7 (n = 10)	206,4 ± 3,5 (n = 14)	P = 0,39
Phosphor (g/kg fffr TM)	94,8 ± 1,7 (n = 9)	96,6 ± 1,4 (n = 15)	92,6 ± 1,6 (n = 10)	93,6 ± 1,5 (n = 14)	P = 0,80

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

^a Der Median-, Min.- und Max.-Wert beruht auf n = 5. In die Berechnungen der Parameter Mittelwert und Standardfehler sind nur vier Tiere eingegangen, da ein Tier ausgefallen ist.

13.3 Interaktionen (Diät × tägl. Zunahme)

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × tägl. Zunahme
	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
Tägliche Zunahme (g)					
Anfangsm.	864 ± 20 [869; 337 - 1158] [#] (n = 68)	981 ± 22 [982; 647 - 1242] [#] (n = 52)	885 ± 21 [905; 253 - 1216] [#] (n = 58)	1005 ± 19 [1005; 700 - 1395] [#] (n = 64)	P = 0,95
Mittelm.	907 ± 15 (n = 68)	999 ± 16 (n = 52)	885 ± 15 (n = 58)	970 ± 14 (n = 64)	P = 0,84
Endm.	755 ± 12 (n = 68)	906 ± 13 (n = 52)	744 ± 13 (n = 58)	918 ± 12 (n = 64)	P = 0,34
Gesamte M.	817 ± 6,95 (n = 68)	948 ± 7,61 (n = 52)	804 ± 7,13 (n = 58)	948 ± 6,61 (n = 64)	P = 0,35
Lebendmasse (kg)					
Mastbeginn	28,0 ± 0,5 [27,3; 21,6 - 36,6] [#] (n = 68)	29,2 ± 0,5 [29,6; 16,4 - 37,0] [#] (n = 52)	27,3 ± 0,5 [27,3; 21,1 - 41,2] [#] (n = 58)	28,3 ± 0,4 [27,8; 22,6 - 36,0] [#] (n = 64)	P = 0,81
Mastende	119,8 ± 0,5 [119,7; 107,2 - 125,8] [#] (n = 68)	122,2 ± 0,5 [122,4; 111,9 - 132,1] [#] (n = 52)	119,7 ± 0,5 [120,3; 103,9 - 125,8] [#] (n = 58)	121,8 ± 0,5 [121,5; 107,5 - 128,1] [#] (n = 64)	P = 0,71

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Anhang

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × tägl. Zunahme
	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
Dauer (Tage)					
Anfangsmast	19 ± 0,0 Tage pauschal				
Mittelmast	31,9 ± 0,7 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 68)	29,6 ± 0,8 [29,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 52)	31,1 ± 0,7 [34,0; 22,0 - 41,0] [#] (n = 58)	28,6 ± 0,7 [28,5; 22,0 - 36,0] [#] (n = 64)	P = 0,90
Endmast	61,8 ± 0,9 [63,0; 50,0 - 83,0] [#] (n = 68)	49,9 ± 1,0 [49,0; 34,0 - 62,0] [#] (n = 52)	65,1 ± 0,9 [64,0; 34,0 - 83,0] [#] (n = 58)	51,3 ± 0,9 [50,0; 28,0 - 64,0] [#] (n = 64)	P = 0,30
Gesamte Mast	112,7 ± 1,1 [110,0; 96,0 - 124,0] [#] (n = 68)	98,5 ± 1,2 [96,0; 89,0 - 117,0] [#] (n = 52)	115,2 ± 1,1 [117,0; 89,0 - 124,0] [#] (n = 58)	98,9 ± 1,1 [103,0; 75,0 - 117,0] [#] (n = 64)	P = 0,35
Index je kg Schlachtmasse	0,989 ± 0,008 [1,020; 0,724 - 1,050] [#] (n = 68)	1,004 ± 0,008 [1,008; 0,807 - 1,050] [#] (n = 52)	1,002 ± 0,008 [1,018; 0,701 - 1,050] [#] (n = 56)	0,988 ± 0,007 [1,000; 0,747 - 1,050] [#] (n = 64)	P = 0,060

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#]In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

Anhang

Parameter	Kontrolle		stark P-abgesenkt		Diät × tägl. Zunahme
	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	≤ 875 g/Tag	> 875 g/Tag	
Osteocalcin (ng/ml)					
bei 40 kg LM	98,6 ± 7,9 (n = 5)	99,0 ± 9,8 (n = 5)	76,4 ± 9,6 (n = 6)	72,4 ± 7,6 (n = 6)	P = 0,38
bei 110 kg LM	66,3 ± 3,9 (n = 12)	64,2 ± 4,1 (n = 9)	55,7 ± 3,9 (n = 11)	54,8 ± 3,6 (n = 11)	P = 0,88
β-Crosslaps (ng/ml)					
bei 40 kg LM	0,376 ± 0,062 [0,340; 0,290 - 0,490] [#] (n = 5)	0,350 ± 0,078 [0,430; 0,260 - 0,520] [#] (n = 5)	0,365 ± 0,076 [0,340; 0,300 - 0,610] [#] (n = 6)	0,369 ± 0,060 [0,320; 0,230 - 0,740] [#] (n = 6)	P = 0,96
bei 110 kg LM	0,548 ± 0,044 (n = 12)	0,573 ± 0,046 (n = 9)	0,587 ± 0,044 (n = 11)	0,534 ± 0,041 (n = 11)	P = 0,37
Knochenanalysen					
Bruchfestigkeit (N)	1796 ± 92 (n = 14)	1769 ± 91 (n = 10)	1811 ± 92 (n = 14)	1672 ± 98 (n = 10)	P = 0,55
L bei F _{max} (mm)	6,73 ± 0,32 (n = 14)	7,13 ± 0,32 (n = 10)	6,64 ± 0,32 (n = 14)	7,22 ± 0,34 (n = 10)	P = 0,77
Trockensubstanz (g/kg uS)	695,2 ± 4,2 (n = 14)	697,1 ± 4,2 (n = 10)	700,4 ± 4,2 (n = 14)	688,6 ± 4,5 (n = 10)	P = 0,12
Rohasche (g/kg fffr TM)	545,2 ± 5,8 (n = 14)	534,7 ± 5,7 (n = 10)	537,2 ± 5,8 (n = 14)	528,2 ± 6,1 (n = 10)	P = 0,90
Calcium (g/kg fffr TM)	204,0 ± 3,5 (n = 14)	206,2 ± 3,5 (n = 10)	198,2 ± 3,5 (n = 14)	203,5 ± 3,7 (n = 10)	P = 0,66
Phosphor (g/kg fffr TM)	95,2 ± 1,5 (n = 14)	96,2 ± 1,5 (n = 10)	93,3 ± 1,5 (n = 14)	92,9 ± 1,6 (n = 10)	P = 0,65

Angaben in **Mittelwert** ± Standardfehler

[#] In eckigen Klammern sind der Medianwert und der Min./Max.-Wert bei nicht normalverteilten Variablen angegeben.

13.4 Tierauffälle

	Kontrolle	stark P-abgesenkt	Gesamt
Gesamtanzahl der Tiere am Beginn der Mast	128	127	255
Ausfallgrund			
Herz-/Kreislaufversagen	1	1	2
Verdauungsstörung	3	2	5
Skelettschäden	2	2	4
sonst. Gründe/Unfälle	2	0	2
Gesamtanzahl der Tiere am Ende der Mast	120	122	242

Der Ausfallgrund wurde vom Stallpersonal dokumentiert.

14 Publikationsverzeichnis

Teile der vorliegenden Dissertation wurden auf folgender Tagung vorgestellt:

Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung

Vortrag:

Einfluss abgesenkter Phosphorgehalte in Ferkelaufzucht und Mast auf Leistung und Knochenparameter bei Mastschweinen

L. Nethe¹, S. Patzelt², C. Norda², D. Feuerstein³, G. Stalljohann⁴, B. Walgern⁵, H. Tönhardt¹

¹*Institut für Veterinär-Physiologie, Freie Universität Berlin, Oertzenweg 19b, 14163 Berlin;*

²*Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, Ostinghausen, 59505 Bad Sassendorf; ³BASF-Agrarzentrum 67117 Limburgerhof;*

⁴*Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Nevinghoff 40, 48147 Münster; ⁵Agravis Futtermittel GmbH, Industrieweg 110, 48155 Münster*

publiziert in:

Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung

Tagungsunterlage, Beiträge der Veranstaltung vom 09. und 10. April 2013 in Fulda

Verband der Landwirtschaftskammern. S. 130-134

15 Danksagung

Ganz besonders bedanke ich mich bei meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Heike Tönhardt für die Überlassung dieses spannenden Themas. Mein spezieller Dank gilt auch dem von ihr entgegengebrachten Vertrauen, die Dissertation innerhalb des Studiums anfertigen zu können. Durch ihre optimistisch motivierende Art und ihren wissenschaftlichen Sachverstand trug sie ganz erheblich zum guten Gelingen der Arbeit bei.

Herrn Univ.-Prof. Dr. Jörg R. Aschenbach möchte ich weiterhin herzlich danken für die tatkräftige Unterstützung, das Gesamtwerk so werden zu lassen, wie es jetzt ist. Durch sein analysierendes Vorgehen bekam ich während der Bearbeitung hilfreiche Ratschläge zu komplexen Fragestellungen. Ich schätze ihn als einen sehr professionellen Wissenschaftler.

Herrn Dr. Gerhard Stalljohann, Frau Christiane Norda und Frau Sybille Patzelt vom Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, Herrn Dr. Dieter Feuerstein von der Firma BASF und Herrn Bernhard Walgern von der Firma Agravis gilt mein spezieller Dank für die Möglichkeit, den durchgeführten Versuch veterinärmedizinisch zu begleiten und die stets respektvolle Zusammenarbeit. Sie standen mir jederzeit mit ratsamen Tipps zur Seite und machten es möglich, die gewünschten Untersuchungen in vollem Umfang durchzuführen.

Vielen Dank an Herrn Gisbert Topp für die Mithilfe bei der Blutprobenentnahme und an Herrn Josef Arens für die Anleitung und Durchführung der Messungen im Schlachthof.

Ich danke herzlich Herrn Friedhelm Kißing und den Mitarbeitern der Firma Laboratoriumsmedizin Dortmund Dr. Eberhard & Partner für den wissenschaftlichen Austausch und die Unterstützung bei der Durchführung der Blutanalysen.

Mein Dank gilt auch Frau Prof. Dr. Annette Liesegang vom Institut für Tierernährung der Universität Zürich für die Vermittlung der Möglichkeit der Knochenbruchfestigkeitsprüfung. Ihrer Mitarbeiterin Frau Dr. Carla Soliva danke ich herzlich für die Betreuung und Herrn Horst Adelman für die Einarbeitung in die Durchführung der Dreipunktbiegeprüfung an der Eidgenössischen Technischen Universität Zürich.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Ludger Bütfering vom Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse für die fundamentale Unterstützung bei der statistischen Auswertung der erhobenen Daten.

Frau Dr. Katharina Fibbe und meinem Vater Heinz danke ich sehr für das Korrekturlesen dieser Arbeit und das verlässliche Aufspüren eingeschlichener Fehler.

Zuletzt möchte ich noch besonders meiner Familie danken, die mich vor allem finanziell, aber auch wie meine Freunde in meinen Zielen unterstützt und stets an mich geglaubt hat.

Unser Motto: „Alle sagten immer, das geht nicht. Da kam einer, der wusste das nicht, und der hat's gemacht...“ (Autor unbekannt)

16 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 15.04.2014

.....

Lars Nethe