

## Einfluß Nicht-Stärke-Polysaccharid-spaltender Enzyme auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe und den Gehalt an umsetzbarer Energie beim Schwein

BARBARA HABERER, EDGAR SCHULZ und GERHARD FLACHOWSKY

Institut für Tierernährung

### 1 Einleitung

Zur Unterstützung und Erweiterung der tiereigenen Verdauungsenzyme werden fermentativ gewonnene Enzymkomplexe dem Futter zugesetzt. Seit etwa zehn Jahren kommen bei Schweinen Nicht-Stärke-Polysaccharid-spaltende Enzyme zum Einsatz, da diese vom Säugetierorganismus nicht gebildet werden können. Mit dem Einsatz derartiger Enzyme wird beabsichtigt, die physiko-chemischen Eigenschaften von Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP), vor allem des 1,3-1,4- $\beta$ -Glucan (im folgenden nur  $\beta$ -Glucan bezeichnet) und des Arabinoxylan, im Verdauungstrakt zu verändern. Dadurch können die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe, die Gewichtsentwicklung und die Futterausnutzung verbessert werden (Chesson 1993).

Für eine positive Wirkung der Enzyme auf die Verdaulichkeit werden die Senkung der Viskosität im Chymus des vorderen Verdauungstraktes (Burnett 1966) und die Zerstörung von Endosperm-Zellwandstrukturen im Getreidekorn („Käfigeffekt“; Hesselman und Åman 1986) als wichtige Erklärungsansätze herangezogen. Zum Einfluß auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe, insbesondere der NSP, liegen beim Schwein wenige Ergebnisse vor. Ein Grund ist darin zu sehen, daß speziell für die NSP und deren Fraktionen bisher keine entsprechenden Analyseverfahren vorlagen bzw. nicht angewandt werden konnten.

Daher wurde im Rahmen einer umfassenden Studie (Haberer 1997) zur Wirkung von Enzymen mit  $\beta$ -glucano- sowie xylanoly-

tischen Hauptaktivitäten des Mikroorganismus *Humicola insolens* auch die Verdaulichkeit der NSP und deren Fraktionen sowie der Rohnährstoffe und der Gehalt an umsetzbarer Energie (ME) bei Schweinen ermittelt.

Bisher wurden hauptsächlich Gerste-betonte Futtermischungen mit hohem Gehalt an Arabinoxylan und  $\beta$ -Glucan sowie Weizen-Gerste-Mischungen mit hohem Arabinoxylan- und mittlerem  $\beta$ -Glucan-Gehalt eingesetzt. Andere NSP-reiche Futtermischungen, z. B. mit höheren Anteilen an Roggen und Weizenkleie, wurden dagegen kaum untersucht. Aus diesem Grund erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Zusammenstellung der Futtermischung mit Gerste, Roggen und Weizenkleie als NSP-liefernde Komponenten.

### 2 Material und Methoden

#### 2.1 Versuchsdurchführung

##### 2.1.1 Versuchstiere

Für diesen Versuch wurden jeweils sechs Börgere der Rasse DL in der Kontrollgruppe (K) bzw. Enzymgruppe (E) im Gewichtsbereich von 26 kg bis 40 kg Lebendmasse (LM) eingesetzt. Während der Adaptationsperiode an das Futter erfolgte die Unterbringung der Schweine in einstreulosen Einzelboxen für zehn Tage (vollklimatisierter Raum, 20° C, rel. Luftfeuchte 55-66 %). Bei Erreichen von ca. 32 kg LM wurden sie für die Sammelperiode zur Bestimmung der Verdaulichkeit der Nährstoffe und der Energie in Bilanzkäfigen aufgestellt (Oslage und Farries 1961). Nach einer dreitägigen Gewöhnungsphase an den Käfig wurden Kot und Harn über sieben Tage quantitativ gesammelt. Vor und nach der Bilanzperiode erfolgte die Wägung der Tiere. Der Versuch verlief ohne Störungen.

##### 2.1.2 Versuchsfutter und Fütterung

Die eingesetzten Futtermischungen sind in Tabelle 1 beschrieben. Sie wurden in der institutseigenen Mahl- und Mischanlage hergestellt. Die Vermahlung der Komponenten erfolgte mit einem 3 mm Sieb.

In der Adaptationsperiode erhielten die Tiere eine Futtermenge von 110 g/kg LM<sup>0,75</sup>, dagegen in der Zeit im Bilanzkäfig eine gleichbleibende Futtermenge von 1,7 kg je Tag. Das Futter wurde mit etwa 1 l Wasser direkt vor der Fütterung im Trog angerührt. Da die Tiere keinen freien Wasserzugang hatten, wurde ihnen nach der Fütterung zusätzlich Wasser angeboten.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Futtermischung der Kontrollgruppe (K) und der Enzymgruppe (E)

Komponenten		K	E
Gerste „Gaulois“	%	31,00	31,00
Roggen „Rapid“	%	30,00	30,00
Weizenkleie	%	18,00	18,00
Sojaextraktionsschrot	%	15,35	15,275
Sojaöl	%	2,50	2,50
Vitamine und Mineralstoffe	%	2,50	2,50
Calciumcarbonat	%	0,30	0,30
Lysin-HCl	%	0,25	0,25
DL-Methionin	%	0,05	0,05
L-Threonin	%	0,05	0,05
Enzymkomplex ZY 28*	%	---	0,075

\*) Hauptaktivitäten: 800 FXU Xylanase (EC 3.2.1.8, Substrat Remazol Brilliant Blue Xylan), 75 FBG 1,4- $\beta$ -Glucanase (EC 3.2.1.4, Substrat Carboxymethylcellulose) je g ZY 28 (Lohmann Animal Health, Cuxhaven)

Tabelle 2: Nährstoffzusammensetzung der Futtermischungen der Gruppen K und E

		K	E			K	E
Trocken-	%	87,15	86,97	NSP	% i.T	18,85	18,90
substanz		± 0,19	± 0,11			± 0,13	± 0,11
Organische	% i.T	93,72	93,73	NSPunlöslich	% i.T	14,34	14,40
Substanz		± 0,10	± 0,18			± 0,08	± 0,36
Rohprotein	% i.T	16,97	17,31	BG	% i.T	4,50	4,60
		± 0,29	± 0,34			± 0,01	± 0,13
Rohfett	% i.T	4,12	4,23	BGunlöslich	% i.T	2,59	2,66
		± 0,72	± 0,22			± 0,01	± 0,02
Rohfaser	% i.T	6,22	6,17	Cellulose	% i.T	2,94	2,84
		± 0,07	± 0,33			± 0,03	± 0,09
N-freie	% i.T	66,41	66,03	AX	% i.T	9,41	9,51
Extraktstoffe		± 0,98	± 0,02			± 0,06	± 0,02
Rohasche	% i.T	6,28	6,27	AXunlöslich	% i.T	7,42	7,55
		± 0,10	± 0,18			± 0,01	± 0,24
Stärke	% i.T	33,19	33,20	Lignin	% i.T	2,75	2,71
		± 0,03	± 0,06			± 0,02	± 0,02
Zucker	% i.T	5,27	5,17				
		± 0,05	± 0,07				

2.4 Mathematisch-statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem t-Test nach Student. Die Ergebnisse wurden bei  $p \leq 0,05$  als signifikant bzw. bei  $p \leq 0,01$  als hochsignifikant interpretiert und in den Tabellen mit unterschiedlichen, hochgestellten Buchstaben gekennzeichnet (signifikant mit a,b - hochsignifikant mit A,B).

3 Ergebnisse

Die analysierten In-

2.2 Probengewinnung und -aufbereitung

Von den eingesetzten Futtermischungen wurde zu Beginn, während und am Ende des Versuches Proben gezogen und auf 0,5 mm vermahlen. Der Kot wurde zweimal täglich aus den Auffangschalen gesammelt und bei -20° C gelagert. Nach Abschluß der siebentägigen Sammelperiode erfolgte die Gewichtsfeststellung, Homogenisierung, Gefriertrocknung und Vermahlung auf 0,5 mm. Der Harn wurde in Sammelbehältern mit Schwefelsäurezusatz aufgefangen, gewogen, jeweils ein Aliquot von 10 % entnommen und bei -20° C gelagert.

2.3 Analysenmethoden

Die Bestimmung der Rohnährstoffe in den Futtermischungen und im Kot sowie des Stickstoff im Harn erfolgte nach den VDLUFA-Vorschriften (1993), die Bestimmung der Stärke nach Salomonson et al. (1984). Die Bestimmung der NSP wurde nach der Stärkeextraktion in drei Analysengängen (gesamte NSP - mit Fällung der löslichen NSP-, unlösliche NSP sowie unlösliche Nicht-Cellulose-Polysaccharide) nach Hydrolyse in Form von Monomeren als Alditolacetate gaschromatographisch gemessen (Theander et al. 1990). Die Ergebnisse erlaubten neben der Angabe der NSP (Summe aller Monomere) und des Arabinoxylan (AX, Summe Arabinose und Xylose) die rechnerische Differenzierung des NSP-Glucans in Cellulose und  $\beta$ -Glucan (BG) sowie jeweils in lösliche und unlösliche Fraktionen. Lignin wurde nach Theander und Westerlund (1986) gravimetrisch bestimmt. Die Energie in Futtermischungen, Kot und Harn wurde nach DIN-Norm 51900 bombenkalorimetrisch gemessen.

haltsstoffe der Futtermischung beider Versuchsgruppen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, waren die beiden Futtermischungen in ihrer Zusammensetzung nahezu identisch. Der NSP-Gehalt der Mischungen betrug etwa 18,9 % in der Trockensubstanz (T) ( $\beta$ -Glucan 4,5 % i. T, Arabinoxylan 9,4 % i. T, Cellulose 2,9 % i. T). Der Anteil der löslichen NSP betrug ca. 23 %, des löslichen Arabinoxylan 21 % und des löslichen  $\beta$ -Glucan 42 % jeweils an der gesamten Fraktion.

Die Schweine hatten in den Bilanzkäfigen im Mittel eine Lebendmassezunahme von 750 g je Tag (723 ± 60 g/d in K, 773 ± 68 g/d in E), was für diesen Gewichtsbereich als sehr gut zu beurteilen ist. In Tabelle 3 ist die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe ohne und mit Zusatz NSP-spaltender Enzyme dargestellt.

Durch den Zusatz des Enzymkomplexes konnte bei allen Rohnährstoffen eine Erhöhung der Verdaulichkeit in unterschiedlichem Umfang festgestellt werden. Deutlich war die Erhöhung nach Enzymzusatz ( $p \leq 0,01$ ) bei der Rohfaser mit 11 %-Punkten und der Rohasche mit 6,4 %-Punkten gegenüber den Ergebnissen der Kontrollgruppe. Geringer war der Unterschied beim Rohfett mit 3,6 %-Punkten und Rohprotein mit 1,4 %-Punkten. Die Ver-

Tabelle 3: Verdaulichkeit der Rohnährstoffe bei Zusatz NSP-spaltender Enzyme und Energiegehalt

		K		E	
Organische Substanz	(%)	78,7 <sup>A</sup>	± 0,8	80,2 <sup>B</sup>	± 0,8
Rohprotein	(%)	74,9	± 1,1	76,3	± 1,2
Rohfett	(%)	71,8	± 9,2	75,4	± 6,0
Rohfaser	(%)	23,7 <sup>A</sup>	± 5,0	34,7 <sup>B</sup>	± 2,9
NfE	(%)	85,3 <sup>a</sup>	± 0,3	85,9 <sup>b</sup>	± 0,5
Rohasche	(%)	40,8 <sup>A</sup>	± 1,7	47,2 <sup>B</sup>	± 2,4
Verdauliche Energie (MJ/kg T)		14,33 <sup>A</sup>	± 0,16	14,83 <sup>B</sup>	± 0,15
Umsetzbare Energie (MJ/kg T)		13,87 <sup>A</sup>	± 0,18	14,32 <sup>B</sup>	± 0,14

daulichkeit der N-freien Extraktstoffe (NfE) war nach Enzymzusatz lediglich um 0,6 %-Punkte erhöht ( $p \leq 0,05$ ). Daraus resultierte eine Steigerung der Verdaulichkeit der organischen Substanz um 1,5 %-Punkte ( $p \leq 0,01$ ).

Mit der Verbesserung der Verdaulichkeit der organischen Substanz war auch die tägliche Trockenkotmenge durch den Enzymzusatz hochsignifikant verringert ( $351 \pm 10$  g/d in K,  $323 \pm 12$  g/d in E), wobei der Trockensubstanzgehalt in beiden Gruppen annähernd gleich war. In beiden Gruppen war im Kot keine Stärke mehr vorhanden. In der Enzymgruppe konnte eine Erhöhung des Gehaltes an umsetzbarer Energie im Futter um 0,45 MJ je kg T festgestellt werden ( $p \leq 0,01$ ).

Tabelle 4: Verdaulichkeit der NSP und deren Fraktionen bei Zusatz NSP-spaltender Enzyme

	K		E	
NSP	56,2 <sup>a</sup>	$\pm 2,2$	59,8 <sup>b</sup>	$\pm 2,5$
• unlöslich	45,5 <sup>A</sup>	$\pm 1,9$	50,0 <sup>B</sup>	$\pm 2,3$
• löslich	90,1	$\pm 4,3$	91,1	$\pm 3,2$
BG	84,6	$\pm 3,5$	86,2	$\pm 1,5$
• unlöslich	79,8	$\pm 2,6$	81,9	$\pm 1,9$
• löslich	91,0	$\pm 7,8$	91,3	$\pm 3,2$
Cellulose	-6,9 <sup>A</sup>	$\pm 4,8$	7,3 <sup>B</sup>	$\pm 5,3$
AX	58,4	$\pm 2,3$	59,6	$\pm 2,6$
• unlöslich	49,3	$\pm 1,9$	51,1	$\pm 2,3$
• löslich	92,2	$\pm 5,0$	92,2	$\pm 3,9$

Die Verdaulichkeit der NSP, die in Tabelle 4 dargestellt ist, betrug in der Kontrollgruppe 56 %. Die Verdaulichkeit der unlöslichen Fraktion mit 45 % war deutlich geringer als die der löslichen, die mit 90 % nahezu vollständig verdaut wurde. Durch den Enzymzusatz konnte die Verdaulichkeit der NSP signifikant um 3,6 %-Punkte gesteigert werden, was mit der Steigerung der Verdaulichkeit der unlöslichen Fraktion mit 4,5 %-Punkten ( $p \leq 0,01$ ) zu erklären ist, da die Verdaulichkeit der löslichen NSP lediglich um einen Prozentpunkt verbessert wurden.

Das  $\beta$ -Glucan war hochverdaulich (unlösliches BG mit 80 % und lösliches BG mit 91 %), so daß der Enzymzusatz lediglich eine Erhöhung der Verdaulichkeit des gesamten  $\beta$ -Glucan um etwa 2 %-Punkte bewirkte ( $p > 0,05$ ).

Bei der Cellulose wurde in der Kontrollgruppe eine negative Verdaulichkeit festgestellt, während nach Enzymzusatz trotz erheblicher Streuung eine reale Celluloseverdaulichkeit festgestellt werden konnte.

Die Verdaulichkeit der Arabinoxylane mit 58 % wies eine Größenordnung wie die der gesamten NSP auf (unlösliche Arabinoxylane etwa 49 %, lösliche 92 %). Die Verdaulichkeit war durch den Enzymzusatz bei dem gesamten sowie dem unlöslichen Arabinoxylan nur geringfügig erhöht ( $p > 0,05$ ).

#### 4 Diskussion

Die Wahl der Futterkomponenten bzw. die Zusammensetzung der Futtermischungen und der damit verbundene Rohfaser- bzw.

NSP-Gehalt führte, wie nach den Futterwerttabellen zu erwarten, zu einer relativ geringen Verdaulichkeit der Rohnährstoffe.

Für die hier erzielte Erhöhung der Verdaulichkeit der organischen Substanz durch die Enzymzugabe um 1,5 %-Punkte liegen in der Literatur bei Einsatz ähnlicher Futtermischungen (hoher Arabinoxylan-, mittlerer  $\beta$ -Glucan-Gehalt) keine Vergleiche für diesen Gewichtsbereich vor. In Untersuchungen mit Absetzferkeln konnten jedoch Verbesserungen der Verdaulichkeit von 1,1 bis 3,7 %-Punkten festgestellt werden (Schmitz 1992, Dusel et al. 1997). Die im eigenen Versuch ermittelte Verbesserung der Verdaulichkeit des Rohprotein mit 1,4 %-Punkten gegenüber den Tieren der Kontrollgruppe wurde in der Literatur in etwa gleicher Höhe berichtet (Bell und Keith 1989). Es konnten jedoch auch Steigerungen der Verdaulichkeit bis zu 4 % nach Enzymzusatz festgestellt werden (Wenk et al. 1993, Schmitz 1995). Für die Verdaulichkeit von Rohfett war aufgrund von Literaturangaben bei Futtermischungen ähnlicher NSP-Zusammensetzung sogar eine Erhöhung von fast 9 % zu erwarten (Graham et al. 1988a, Hennig et al. 1991, Schmitz 1995, Dusel et al. 1997), was im eigenen Versuch mit 3,6 %-Punkten nicht erzielt werden konnte.

Durch den Einfluß des Enzymkomplexes war vor allem eine Beeinflussung der Verdaulichkeit der NSP zu erwarten. Dies bestätigte sich auch bei der Rohfaser, mit der jedoch lediglich ein Teil der NSP und zwar offenbar nur Cellulose erfaßt wird, mit einer Steigerung der Verdaulichkeit um 11 %-Punkte im Vergleich zur Kontrolle. Eine ähnliche Erhöhung der Rohfaserverdaulichkeit nach Enzymzusatz wurde von Schmitz (1995) bei Schweinen gleichen Gewichtes beobachtet. Bei Tieren mit geringerer Lebendmasse kam es sogar zu Erhöhungen der Verdaulichkeit bis zu 20 % gegenüber der Kontrollgruppe (Schmitz 1992, Inbarr und Graham 1991). Die NfE stellen im Gegensatz zur Rohfaser eine sehr heterogene und komplexe Kohlenhydratfraktion (Stärke, Hemicellulose) dar, deren geringe Erhöhung der Verdaulichkeit durch Enzymzusatz kaum sinnvoll interpretierbar ist.

Die Erhöhung der Verdaulichkeit der Rohasche nach Enzym supplementation um etwa 6 %-Punkte gegenüber der Kontrollgruppe übertrifft die Ergebnisse von Graham et al. (1988a) sowie Inbarr und Graham (1991) bei ähnlichem Versuchsfutter. Aulrich (1997) konnte in *in vitro*-Untersuchungen bei Einsatz desselben Enzymkomplexes ein höheres Verschwinden von Rohasche aus der unlöslichen NSP-Fraktion beobachten. Dies führt zu der Vermutung, daß durch Enzymzusatz die Kationenbindekapazität der NSP gesenkt wird bzw. der „Käfigeffekt“ teilweise beseitigt wird.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Fragestellung interessierte besonders die Wirksamkeit des Enzymkomplexes auf die Nicht-Stärke-Polysaccharide und deren Fraktionen. Die ermittelte Erhöhung der Verdaulichkeit der gesamten NSP um etwa 3 %-Punkte nach Zugabe NSP-spaltender Enzyme wird durch Literaturangaben mit im Mittel um 2,5 %-Punkte bestätigt (Graham et al. 1986, 1988a, 1988b, 1989). Die Erhöhung betraf im eigenen Versuch in erster Linie die unlöslichen NSP. Der im Experiment festgestellten geringen Erhöhung der Verdaulichkeit der löslichen NSP dürfte aber in Wirklichkeit eine wesentlich größere Steigerung der verdauten Menge zugrunde liegen. Diese

These stützt sich auf Befunde von Vervaeke et al. (1991), die nach Enzym-supplementation *in vivo* eine Erhöhung der Konzentration der löslichen Fraktion feststellten, sowie auf *in vitro*-Ergebnisse von Aulrich (1997), die nach Enzymzusatz eine Senkung der Menge an unlöslichen NSP und gleichzeitig eine Erhöhung der löslichen Fraktion feststellte.

Im eigenen Versuch lag die Verdaulichkeit von  $\beta$ -Glucan mit 85 % niedriger im Vergleich zu Literaturwerten mit 99 % (Graham et al. 1986, 1988a, 1988b, 1989).

Die Verdaulichkeit der Cellulose war trotz der zu berücksichtigenden methodischen Schwächen in der Enzymgruppe signifikant erhöht. Die negativen Werte der Kontrollgruppe könnten mit der Bildung von Lignin-Kohlenhydrat-Komplexe (Koshijima et al. 1989) zusammenhängen. Beim hier nicht aufgeführten Lignin wurden unrealistisch negative Verdaulichkeitswerte ermittelt, die beim Kot im Vergleich zum Futter auf eine Miterfassung anderer Substanzen schließen lassen. Für die Verdaulichkeit der Cellulose werden in der Literatur Werte von 31 % bis 56 % (Hennig et al. 1991, Graham et al. 1989) angegeben, die durch Enzymzusatz nicht signifikant erhöht wurden. Ein Grund für die Unwirksamkeit der Enzyme auf diese NSP-Fraktion dürfte in der weitgehend kristallinen Struktur der Cellulosefibrillen liegen (Penner und Liaw 1990). Die Cellulasen können in diesen Bereichen aufgrund der dichtgepackten Struktur der Fibrillen und der enzymeigen dreidimensionalen Struktur kaum angreifen (Schulz und Hirte 1994).

Die ermittelte Verdaulichkeit von Arabinoxylan mit etwa 59 % liegt etwas über den Literaturangaben über gleichschwerer Tiere mit 44 bzw. 56 % (Graham et al. 1986, 1988a), was zum einen an der schätzungsweise geringeren Menge an AX in deren eingesetzten Futtermischungen und zum anderen an kürzeren Adaptationsphasen an das Versuchsfutter liegen könnte. Die geringe Verdaulichkeit des AX, die von Schmitz (1995) mit 24 % angegeben wurde, könnte auf Unterschiede in der Analyse-methode zurückzuführen sein. Wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist, war nach Enzymzusatz nur eine unbedeutende Erhöhung der Verdaulichkeit der unlöslichen AX um 1,8 %-Punkte zu vermerken. Die lösliche Fraktion der AX blieb durch die Behandlung unbeeinflusst. Eine signifikante Erhöhung der Verdaulichkeit nach Enzymzusatz konnte in der Literatur nur von Graham et al. (1988a) beobachtet werden.

In der Literatur existieren nur wenige Untersuchungen zum Einfluß NSP-spaltender Enzyme auf den Gehalt an umsetzbarer Energie. Bei Verfütterung reiner Gerstestationen (zwei Gersten mit unterschiedlichem NSP-Gehalt) an Schweine mit einer LM von 25 kg konnten Schulze et al. (1997) nach Xylanase- bzw.  $\beta$ -Glucanase-Zulage eine signifikante Erhöhung des ME-Gehaltes um 0,28 bzw. 0,46 MJ/kg T ermitteln. Bolduan et al. (1997) fanden in Weizen-betonten Mischungen (ebenfalls zwei Sorten) eine Erhöhung der umsetzbaren Energie um 0,28 bzw. 0,20 MJ je kg T des Futters. Die im eigenen Versuch beobachtete Erhöhung des Gehaltes an umsetzbarer Energie nach Enzymzusatz um 0,45 MJ ME/kg T des Futters steht somit in Übereinstimmung mit den in der Literatur beschriebenen Verbesserungen.

## Zusammenfassung

In einem Bilanzversuch (Kot- und Harnsammlung über 7 Tage nach 10tägiger Gewöhnungsphase) mit 2 x 6 Schweinen mit ca. 36 kg LM wurde der Effekt von Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-spaltenden Enzymen (ZY 28; Hauptaktivitäten: 600 FXU Xylanase, EC 3.2.1.8, und 56 FBG 1,4- $\beta$ -Glucanase, EC 3.2.1.4, per kg Futter) auf die Verdaulichkeit der Nährstoffe, insbesondere der NSP, untersucht. Das Versuchsfutter setzte sich aus den Komponenten Gerste (31 %), Roggen (30 %), Weizenkleie (18 %) and Sojaextraktionsschrot (15 %) zusammen und enthielt 18,9 % NSP (4,5 %  $\beta$ -Glucan, 9,4 % Arabinoxylan, 2,9 % Cellulose).

Durch den Enzymzusatz stieg die Verdaulichkeit der organischen Substanz von 78,7 % auf 80,2 %, die des Rohprotein von 74,9 % auf 76,3 %, die des Rohfettes von 71,8 % auf 75,4 %, die der Rohfaser von 23,7 % auf 34,7 % und die der Rohasche von 40,8 % auf 47,2 % an. Damit wurde auch der kalorimetrisch ermittelte Gehalt an umsetzbarer Energie um 0,45 MJ je kg Futtertrockenmasse um etwa 3 % erhöht.

Durch die Enzym-supplementierung konnte eine Erhöhung der Verdaulichkeit der gesamten NSP von 56,2 % auf 59,8 % ermittelt werden, die vor allem durch eine Steigerung der Verdaulichkeit der unlöslichen Fraktion bedingt war (von 45,5 % auf 50,0 %). Diese Erhöhung war sowohl beim unlöslichen  $\beta$ -Glucan, beim unlöslichen Arabinoxylan als auch bei der Cellulose festzustellen. Die hohe Verdaulichkeit der löslichen Fraktionen blieb vom Enzymzusatz unbeeinflusst.

## The effect of non-starch polysaccharides degrading enzymes on the overall digestibility of nutrients and the content of metabolizable energy in growing pigs

The effect of non-starch polysaccharides (NSP) degrading enzymes to a diet rich in NSP on the overall digestibility of nutrients and the content of metabolizable energy (ME) was studied in pigs. The experimental diets consisted of barley (31 %), rye (30 %), wheat bran (18 %) and soy bean meal (15 %), containing 18,9 % NSP with 4,5 %  $\beta$ -glucan, 9,4 % arabinoxylan and 2,9 % cellulose. The diet supplemented with a commercially available enzyme premix (ZY 28) provided 600 FXU Xylanase (EC 3.2.1.8) and 56 FBG 1,4- $\beta$ -Glucanase (EC 3.2.1.4) per kg feed as main enzyme activities.

A total of twelve pigs (German Landrace) received the diets during the balance trial (850 g per meal, reaching about 40 kg bodyweight). The feces and urine were collected over seven days after a adaption period of ten days. In all samples raw nutrients, starch, NSP including soluble and non-soluble fractions and energy were determined. The comparison of the groups with (E) and without (K) enzyme supplementation based each on the number of six animals. The following results were obtained.

After enzyme supplementation the digestibility of organic matter increased from 78,7 % to 80,2 %, of crude protein from 74,9 % to 76,3 %, of crude fat from 71,8 % to 75,4 %, of crude fibre from 23,7 % auf 34,7 %, and of ash from 40,8 % to 47,2 %. Thereby the content of metabolizable energy determined by calorimeter was enhanced by 0,45 MJ ME per kg feed dry matter (increase of 3 %).

By enzyme supplementation an increased digestibility of non-soluble NSP from 45,5 % to 50,0 % and consequently of total NSP (from 56,2 % to 59,9 %) was achieved. At the same time digestibility of nonsoluble  $\beta$ -glucan, arabinoxylan and cellulose was increased, whereas the general high digestibility of the soluble NSP-fractions remained unaltered.

## Literatur

- Aulrich, K. (1997): Einfluß Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-spaltender Enzyme auf den „Käfigeffekt“ - *in vitro*-Studien mit Weizenkleie. - Proc. Soc. Nutr. Physiol., 6, S. 37.
- Bell, J. M., Keith, M. O. (1989): Nutritional evaluation of low-mucilage canola meal for swine. Nutr. Rep. Int., 40, S. 1081-1089.
- Bolduan, G., Hennig, U., Kluge, H., Hackl, W., Stölken, B. (1997): Xylanasewirkungen in Schweinerationen bei Einsatz von zwei Weizensorten. - 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, 26.11.-28.11.1996 Halle (Saale); Niederkleen: Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, S. 124-128.
- Burnett, G. (1966): Studies of viscosity as the probable factor in the improvement of certain barleys for chickens by enzyme supplementation. - Brit. Poultry Sci., 7, S. 55-75.
- Chesson, A. (1993): Feed enzymes. - Anim. Feed. Sci. Techn., 45, S. 65-79.
- DIN 51900 (Nov. 1989): Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe. - DIN-Institut, Berlin.
- Dusel, G., Kluge, H., Simon, O., Jeroch, H., Schulze, H. (1997): Untersuchungen zum Einfluß von NSP-spaltenden Enzymen in getreidereichen Futtermischungen auf intestinale Viskosität sowie Nährstoffverdaulichkeit bei Ferkeln. - Proc. Soc. Nutr. Physiol., 6, S. 31.
- Graham, H., Hesselman, K., Jonsson, E., Åman, P. (1986): Influence of  $\beta$ -glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in pig gastrointestinal tract. - Nutr. Rep. Int., 34, S. 1089-1096.
- Graham, H., Åman, P., Löwgren, W. (1988a): Enzyme supplementation of pig feeds. - In: Proc. of the 4th Intern. Symp. on Digestive Physiology in the Pig. Polish Academy of Sciences, Inst. of Anim. Physiol. and Nutr.; Jablonna/Poland, S. 371-376.
- Graham, H., Löwgren, W., Pettersson, D., Åman, P. (1988b): Effect of enzyme supplementation on digestion of a barley/pollard-based pig diet. - Nutr. Rep. Int., 38, S. 1073-1079.
- Graham, H., Fadel, J. G., Newman, C. W., Newman, R. K. (1989): Effect of pelleting and  $\beta$ -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. - J. Anim. Sci., 67, S. 1293-1298.
- Haberer, B. (1997): Untersuchungen zur Wirkung eines Zusatzes Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-spaltender Enzyme auf Fraktionen der NSP und weitere Nährstoffe im Verdauungstrakt von Schweinen. - Diss. med. vet., Gießen (eingereicht März 1997).
- Hennig, U., Borgmann, E., Wünsche, J. (1991): Einfluß von Enzympräparaten auf die Rohrnährstoff- und Aminosäurenverdaulichkeit beim Schwein. - In: Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 3. Symp., 26./27. Sept. 1991, Stadtroda bei Jena (Thüringen); Flachowsky, G. (ed.) Niederkleen: Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, S. 388-393.
- Hesselman, K., Åman, P. (1986): The effect of  $\beta$ -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chicks fed on barley of low- or high-viscosity. - Anim. Feed. Sci. Techn., 15, S. 83-93.
- Inbarr, J., Graham, H. (1991): The effect of enzyme supplementation of a wheat-barley-based starter diet on nutrient fecal digestibility in early-weaned pigs. - Anim. Prod., 52, S. 565.
- Koshijima, T., Watanabe, T., Yaku, F. (1989): Structure and properties of the lignin-carbohydrate complex polymer as an amphipathic substance. - In: Lignin. Properties and Materials. Glasser, W. (ed.) New York: Amer. Chem. Soc., ACS Symp. Series 397, S. 11-28.
- Oslage, H. J., Farries, F. E. (1961): Zur Technik langfristiger Stoffwechselversuche an wachsenden Schweinen. - Z. Tierphysiol., Tierernährg. Futtermittelkde., 16, S. 11-18.
- Penner, M. H., Liaw Ean-Tun (1990): Utilization of purified cellulose in fiber studies. - In: New Developments in Dietary Fiber: Physiological, Physicochemical, and Analytical Aspects. Furda, I. (ed.) New York: Plenum Press, Advances in experimental medicine and biology, Band 270, S. 169-178.
- Salomonsson, A. C., Theander, O., Westerlund, E. (1984): Chemical characterization of some Swedish cereal whole meal and bran fractions. - Swed. J. Agric. Res., 14, S. 111-117.
- Schmitz, M. (1992): Einsatz von Enzymen bei Ferkeln und Mastschweinen. - In: Erste Futtermittel-Enzymtagung der Finsugar GmbH in Deutschland. Enzyme im Aufwind. 24.11.-25.11.1992.
- Schmitz, W. (1995): Zum Einfluß NSP-abbauender Enzyme auf die N-Verwertung beim wachsenden Schwein. - In: Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. - 5. Symp. 28./29.9.1995, Jena/Thüringen; Schubert, R., Flachowsky, G., Bitsch, R. (eds.) Weimar: Keßler GmbH, S. 405-411.
- Schulz, G., Hirte, W. F. (1994): 11. Einsatz von Enzympräparaten bei der Lebensmittelproduktion. - In: Industrielle Enzyme. Ruttloff, H. (ed.) Hamburg: Behr's Verlag, S. 686-727.
- Schulze, H., McCracken, K. J., Yin, Y. L., McEvoy, J. (1997): Einfluß von kohlenhydrat-spaltenden Futterenzymen auf die Verdaulichkeit von Gerste-betonten Futtermischungen unterschiedlicher Qualität beim Schwein. - 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, 26.11.-28.11.1996 Halle (Saale); Niederkleen: Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, S. 129-132.
- Theander, O., Westerlund, E. (1986): Studies on dietary fiber. 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. - J. Agric. Food Chem., 34, S. 330-336.
- Theander, O., Åman, P., Westerlund, E., Graham, H. (1990): The Uppsala method for rapid analysis of total dietary fiber. - In: New Developments in Dietary Fiber: Physiological, Physicochemical, and Analytical Aspects. - Furda, I. (ed.) New York: Plenum Press, Advances in experimental medicine and biology, Band 270, S. 273-281.
- VDLUFU (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) (1993): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln (Band III). - VDLUFU-Verlag: Darmstadt.

Vervaeke, I. J., Graham, H., Dierick, N. A., Demeyer, D. I., Decuyper, J. A. (1991): Chemical analysis of cell wall and energy digestibility in growing pigs. - Anim. Feed. Sci. Tech., 32, S. 55-61.

Wenk, C., Weiss, E., Bee, G. (1993): Whole maize plants in diets for growing pigs: effect of three different enzymes on the feed utilization. in: Enzymes in Animal Nutrition. - Proc. of the 1st Symp., Kartause Ittingen, Switzerland, 13.-16. Okt. 1993;

Wenk, C. (ed.) Zürich, Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften Gruppe Ernährung, Band 11, S. 165-169.

Verfasser: Haberer, Barbara, Tierärztin; Schulz, Edgar, Dr. agr.; Flachowsky, Gerhard, Prof. Dr. agr., Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Professor Dr. agr. Gerhard Flachowsky.