

## ENTWICKLUNG DER DÜNNDARMFUNKTION BEIM FERKEL WÄHREND DER UMSTELLUNG VON DER FLÜSSIGEN AUF DIE FESTE NAHRUNGSFORM DEVELOPMENT OF GUT FUNCTION IN PIGLETS DURING THE TRANSITION FROM LIQUID TO SOLID FEEDING

Vaida Šileikienė<sup>1,2</sup>, Rainer Mosenthin<sup>2</sup>, Rolf Claus<sup>3</sup>, Monika Gutscher<sup>3</sup>, Myqerem Tafaj<sup>1</sup>, Romas Gružasuskas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim D-70593 Stuttgart, Deutschland

Tel.: +49-711/459-3938 Fax: +49-711/459-2421 E-mail: sileikiene@hotmail.com

<sup>2</sup>Litauische Veterinärmedizinische Akademie, 3000 Kaunas, Litauen,

<sup>3</sup>Institut für Tierhaltung und Leistungsphysiologie, Universität Hohenheim D-70593 Stuttgart, Deutschland

## ŽARNYNO FUNKCIJŲ VYSTYMAŠIS PARŠELIŲ ORGANIZME PEREINAMAJAME LAIKOTARPYJE NUO SKYSTOS PRIE KIETOS PAŠARO FORMOS

**Santrauka.** Nujunkymas asocijuojasi su žymiais histologiniais bei morfologiniais pakitimais plonosiose žarnose. Darbo tikslas - nustatyti plonųjų žarnų funkcijos pasikeitimą pereinamajame laikotarpyje nuo skystos prie kietos pašaro formos. Šiuo tikslu buvo atliktas bandymas su 7 nujunkytom kiaulaitėm (KM  $6,23 \pm 0,24$  kg; Vokietijos landrasų ir Pjetrenų veislių mišrūnai). Visiems paršeliams distalinėje klubinės žarnos dalyje buvo įsodinta paprastoji T - kaniulė. Kiaulaitės buvo šeriamos 2 kartus dienoje (0080 h ir 1500 h) *ad libitum*. 1-uoju bandymo periodu paršeliai buvo šeriami skystu pieno pakaitalu, turinčiu 18,3 MJ AE, 21,2 % ŽP ir 15,7 % ŽR/ kg pašaro. 2-uoju bei 3-uoju bandymo periodais paršeliai buvo šeriami sausu visaverčiu granuliuotu pašaru, kurio kilograme buvo 14,5 MJ AE, 21,2 % ŽP bei 5,6 % ŽR. Chymuso mėginiai buvo imami savaitę prieš nujunkymą (1 bandymo periodas) bei 14 d. po nujunkymo (2 ir 3 bandymo periodai) 3 kartus per dieną tarp 0080-0900 h (1 h postprandial), 1200-1300 h (4 h postprandial) ir 1500-1600 h (1 h postprandial). Chymuso mėginiuose buvo nustatytas fermentų maltazės (EC 3.2.1.20), laktazės (EC 3.2.1.23), sacharazės (EC 3.2.1.48), leucinaminopeptidazės (LAP, EC 3.4.11), šarminės fosfatazės (AP, EC 3.1.3.1) aktyvumas. Kaip matyti iš tyrimų rezultatų, maltazės ( $p < 0,01$ ), LAP ( $p < 0,001$ ), AP ( $p < 0,01$ ) bei sacharazės ( $p < 0,01$ ) aktyvumas po nujunkymo tolygiai didėjo lyginant su savaitę prieš nujunkymą. Tuo tarpu laktazės aktyvumas mažėjo ( $p > 0,05$ ). Tyrimais išaiškinta, kad maltazės, sacharazės, LAP, AP aktyvumas teigiamai koreliuoja ( $p < 0,01$ ) su gyvulio amžiumi ( $r = 0,30 / 0,14 / 0,30 / 0,14$ ) bei svoriu ( $r = 0,24 / 0,13 / 0,31 / 0,10$ ). Laktazės aktyvumas neigiamai koreliuoja ( $p < 0,01$ ) su gyvulio amžiumi ( $r = -0,25$ ) bei svoriu ( $r = -0,20$ ). Tyrimų rezultatai leidžia teigti, kad fermentų aktyvumas priklauso ne tik nuo raciono, bet ir nuo gyvulio amžiaus bei svorio. Taip pat tyrimų metu pastebėtas diurnalinis fermentų aktyvumo svyravimas, kuriam išaiškinti reikalingi išsamesni tyrimai.

**Raktažodžiai:** paršeliai, plonosios žarnos, fermentai.

## DEVELOPMENT OF GUT FUNCTION IN PIGLETS DURING THE TRANSITION FROM LIQUID TO SOLID FEEDING

**Summary.** After weaning, piglets often experience a growth check, associated with a high incidence of diarrhea. The objective of the study was to determine functional changes in the small intestine of piglets during the transition from liquid to solid diet by measuring brush-border enzyme activities. A total of 7 female piglets ( $6.23 \pm 0.24$  kg BW; German Landrace x Piétrain), weaned at 18 d of age, were fitted with a simple T - cannula at the distal ileum and housed individually in metabolism cages. The animals were fed twice daily (0800 h and 1500 h) *ad libitum*, and had free access to water. After surgery they received for 1wk a commercial milk-replacer with 21.9 % CP, 15.7 % CF and 18.3 MJ ME/kg (as fed). During wk 2 and 3, the animals were fed a pelleted diet based on grain and soybean meal with 21.2 % CP, 5.6 % CF and 14.5 MJ ME/kg (as fed). The activities of maltase ( $\alpha$ -glucosidase, EC 3.2.1.20), lactase, ( $\beta$ -galactosidase, EC 3.2.1.23), leucine aminopeptidase (LAP, EC 3.4.11), sucrase (sucrase  $\alpha$ -D glucohydrolase, EC 3.2.1.48) and alkaline phosphatase (AP, EC 3.1.3.1) were determined in ileal digesta samples collected 6 d before and 14 d after transition from liquid milk diet to a solid pelleted diet. Sampling was performed three times per d from 0800 to 0900 h, 1200 to 1300 h and 1500 to 1600 h.

Following transition from liquid to solid feeding, there was a constant increase in the activities of maltase ( $p < 0.01$ ), LAP ( $p < 0.001$ ) and AP ( $p < 0.01$ ), whereas the level of lactase decreased, however, not significantly ( $p > 0.05$ ). The activity of sucrase in wk 2 and 3 increased ( $p < .01$ ) compared to wk 1, while no difference was observed ( $p > 0.05$ ) between wk 2 and 3. The level of lactase is negatively correlated with age ( $r = -0.25$ ) and body weight ( $r = -0.20$ ). In contrast to the level of lactase, the level of maltase, sucrase, LAP and AP is positively correlated with age ( $r = 0.30 / 0.14 / 0.30 / 0.14$ ;  $p < 0.01$ ) and body weight ( $r = 0.24 / 0.13 / 0.31 / 0.10$ ;  $p < 0.01$ ). Enzyme activities were affected by the time of sampling. In conclusion, there is both a diet and age / body weight effect on the activities of brush-border enzymes in the small intestine of early - weaned pigs.

**Keywords:** Piglets, Small intestine, Enzymes, Granulation.

**Einleitung.** Die Absetzphase stellt in der Ferkelaufzucht einen besonders kritischen Lebensabschnitt dar. Während dieser Zeit wird der Organismus des Ferkels durch verschiedene Stressfaktoren belastet, wobei den nutritiven Faktoren eine besondere Bedeutung zukommt. Aus zahlreichen Publikationen (Hall et al., 1989; Hampson, 1986a; Kenworthy, 1976) lässt sich ableiten, dass die Futterumstellung beim Absetzen deutliche morphologische Veränderungen des Darmepithels verursacht, indem die Länge der Darmzotten bei gleichzeitiger Zunahme der Kryptentiefe reduziert wird. Dies führt wiederum zu einer Einschränkung der Verdauungs- und der Absorptionskapazität der intestinalen Mukosa (Kelly, 1990; Hampson et al., 1986b; Miller et al., 1986). Die geringsten Werte für die Laktase- und Saccharaseaktivitäten wurden am 5. Tag nach dem Absetzen und beim Übergang zur festen Nahrungsform ermittelt (Hampson und Kidder, 1986). Auch für die Aktivität der Isomaltase wurde eine Reduzierung um 50 % gegenüber den Vergleichswerten vor dem Absetzen festgestellt (Miller et al., 1986). Verschiedene Autoren (Hampson, 1986a; Hampson et al., 1986b; Miller et al., 1984) gehen davon aus, dass die reduzierte Enzymaktivität, verbunden mit einem Anstieg von pathogenen Keimen (z.B. enterotoxische *Escherichia coli*, Rotaviren) im Dünndarm, Malabsorptions- und Dehydratationsvorgänge während der Absetzphase begünstigt, so dass sich Diarrhöen manifestieren können.

Untersuchungen zum Verlauf und zur Regulation der Dünndarmfunktion während der Umstellungsphase von der flüssigen auf die feste Nahrungsform liegen kaum vor. Nach Pluske (1996) besteht zwischen der Trockenmasseaufnahme und der Darmproliferation eine lineare Beziehung. Aus Untersuchungen mit murenen Schweinen lässt sich ableiten, dass der Energiegehalt der Ration eine mitosefördernde Wirkung hat (Raab et al., 1998).

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen bestand darin, den Einfluss der Futterumstellung von der flüssigen auf die feste Nahrungsform während der Absetzphase auf die Sekretion von Enzymen des Bürstensaumepithels zu untersuchen.

**Material und Methoden.** Versuchstiere, Haltung und Operation. Die Untersuchungen wurden in den tierexperimentiellen Einrichtungen des Instituts für Tierernährung der Universität Hohenheim (Deutschland) durchgeführt.

Für den Versuch standen insgesamt 7 weibliche Kreuzungstiere der Rasse Deutsche Landrasse x Piétrain zur Verfügung, die im Alter von 18 Tagen von der Muttersau abgesetzt worden waren und anschließend an einen Milchaustauscher adaptiert wurden. Zur kontinuierlichen Entnahme von Dünndarmchymus wurde den Versuchstieren bei einem mittleren Lebendgewicht von  $5,76 \pm 0,80$  kg am 24. Lebenstag eine einfache T-Kanüle implantiert. Vor dem operativen Eingriff wurden die Tiere 16 h genüchert. Die Einleitung der Narkose erfolgte mit Stresnil/Ketamin (intramuskuläre Injektion). Die Narkose wurde dann durch Intubation mit einem

Gemisch aus Isofluran, Lachgas und Sauerstoff aufrecht erhalten. Die Intubation gewährleistet eine minimale Dosis von injiziertem Narkosemittel und lässt eine optimale Narkoseüberwachung zu.

Das Anlegen der Ileum-T-Kanüle erfolgte antimesenterial des kranialen *Ligamentum ileocaecale*, ca. 5 - 10 cm vor dem *Ostium ileocaecocolicum*. Nach dem Anlegen einer Tabaksbeutelnaht wurde das von der Naht umschlossene Gebiet mit dem Skalpell in Längsrichtung eröffnet und anschließend der Kanülenfuß unter leichtem Drehen in den Darm eingeführt. Die Länge der Tabaksbeutelnaht entsprach dem Längsdurchmesser des elliptisch geformten Kanülenfußes. Ein Abstand von 0,5 cm zwischen den beiden parallel verlaufenden Nahtbahnen war ausreichend, um die beschriebene Ileumincision mit dem Skalpell vornehmen zu können. Zum Ausführen des Kanülentubus wurde die Haut ca. 5 cm oberhalb des Hautschnittes perforiert. Die Öffnung wurde bis zur Bauchhöhle durchstoßen und die Kanüle mittels einer Mikuliczklemme nach außen gezogen. Die Platzierung der Kanüle erfolgte zwischen den letzten beiden Rippenbögen. Um eine feste Verwachsung der Darmserosa mit dem Bauchfell im Bereich des Kanülenfußes zu erreichen, wurde zur Fixierung der Kanüle ein PVC-Ring über den Kanülentubus geschoben und mit Hilfe einer Metallklemme derart befestigt, dass ein fester Hautkontakt hergestellt war. Zum Verschluss des Tubus diente ein Gummistopfen, der mit Klebeband vor dem Herausfallen gesichert wurde.

Nach der Operation wurden die Tiere einzeln in Stoffwechsellkäfigen aufgestellt und während der ersten 24 Stunden unter Wärmelampen gehalten. Bereits 12 h postoperativ erhielten die Tiere kleine Mengen des Versuchsfutters. Während des gesamten Versuches wurden die Tiere im Bereich der Kanüle mehrmals täglich mit handwarmem Wasser gewaschen und in diesem Bereich mit einer Zinksalbe eingerieben, um eventuell auftretenden Hautreizungen, hervorgerufen durch seitlich an der Kanüle austretenden Darmchymus, vorzubeugen. Dieser operative Eingriff orientierte sich an den Vorgaben des Deutschen Tierschutzgesetzes (Lorz et al., 1999) und war von der zuständigen Behörde genehmigt worden.

Versuchsbeschreibung. Die Ferkel wurden 2 mal täglich (0800 h und 1500 h) *ad libitum* gefüttert und hatten jederzeit freien Zugang zum Wasser. Der gesamte Versuchszeitraum, beginnend 2 Tage nach der Operation (Rekonvaleszenzperiode) wurde in drei Abschnitte unterteilt (Abbildung 1). Während in der Versuchsperiode 1 ein Milchaustauscher mit 21,9 % Rohprotein, 15,7 % Rohfett und 18,3 MJ ME/kg Futter in flüssiger Form verabreicht wurde, erhielten die Tiere in den darauffolgenden Perioden 2 und 3 eine pelletierte Ration in fester Form. Die Zusammensetzung der Ration sowie der Nährstoff- und Energiegehalt sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Diese Angaben orientieren sich an den Empfehlungen des NRC (1998).

Probeentnahme. Die Probeentnahme des Chymus über die Darmkanüle erfolgte 3 mal täglich postprandial zwischen 0800 - 0900 h (1 h postprandial), 1200 - 1300 h (4 h postprandial) und 1500 - 1600 h (1 h postprandial).

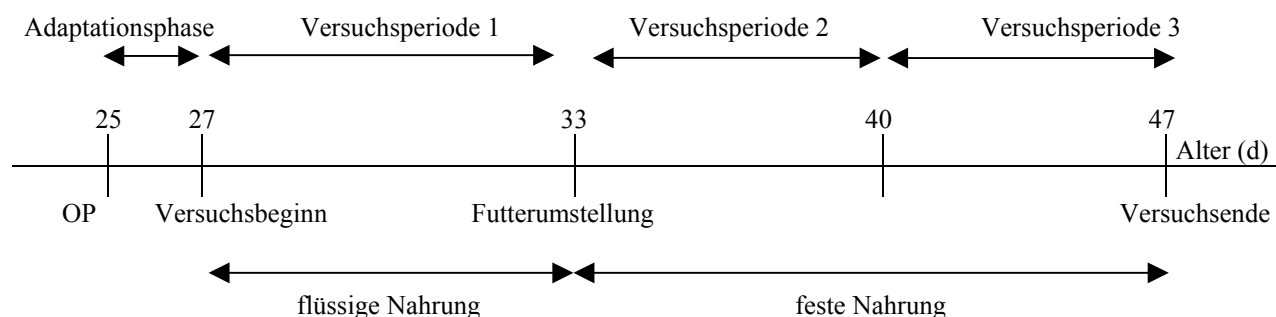


Abbildung 1. Versuchsaufbau

Tabelle 1. Zusammensetzung, Nährstoff- und Energiegehalt der Ration in den Versuchsperioden 2 und 3 (%)

Komponenten	%
Weizen	44,46
Weizenkleie	15,00
Sojaextraktionsschrot	23,00
Sojaöl	3,90
Magermilchpulver	7,00
Saccharose	4,00
DL-Methionin	0,21
L-Threonin	0,07
L-Lysin	0,21
Monocalciumphosphat	0,20
CaCO <sub>3</sub>	0,15
Premix	1,80
<b>Inhaltsstoffe und Energiegehalt (% FS)</b>	
Rohprotein	21,2
Rohfett	5,6
Stärke	30,4
Zucker	11,2
Energie (MJ ME / kg)	14,50

1 kg Futter enthält:

Vitamine: Vit. A – 7299,82 IU; Vit. D<sub>3</sub> – 900 IU; Vit. E – 66,23 IU; Vit. K – 0,54 mg; Vit. B<sub>6</sub> – 6,24 mg; Vit. B<sub>12</sub> – 20,52 µg; Folsäure – 0,54 mg; Mineralstoffe und Spurenelemente: 0,15 % Na; 0,7 % Ca; 0,7 % P; 161,86 mg Fe; 119,22 mg Zn; 0,58 mg Se

Für die Probeentnahme wurden Plastikbeutel (ca. 100 ml) mit Hilfe eines speziellen Klettverschlusses am äußeren Ende des Kanülentubus befestigt. Nach der Probeentnahme wurde der Chymus sofort in flüssigem Stickstoff schockgefroren und bis zur biochemischen Analyse bei –75° C im Ultrafreezer aufbewahrt.

Analytische Methoden. Die Chymusproben wurden in der Ultrazentrifuge zentrifugiert (60 min; 3° C; 21780 x g); die Messung der Enzymaktivitäten (U/l) und des Proteingehaltes (mg/ml) erfolgte im Überstand. Die Bestimmung der Aktivitäten von Maltase (EC 3.2.1.20), Laktase (EC 3.2.1.23) und Saccharase (EC 3.2.1.48) wurde in Anlehnung an Dahlqvist (1968) sowie Bergmeyer und Bernt (1974), modifiziert nach Dehnhard (1984) für die Verwendung von Mikrotiterplatten, vorgenommen. Die Leucinaminopeptidase (LAP, EC

3.4.11) wurde photometrisch mit dem klinischen Boehringer/Mannheim LAP-Testverfahren in Anlehnung an Maroux (1973) bestimmt. Für die Messung der alkalischen Phosphatase (AP, EC 3.1.3.1) wurde ein kinetisches Testverfahren entsprechend den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Klinische Chemie angewendet (Thomas, 1984). Die Proteinbestimmung erfolgte nach Bradford (1976).

Statistische Auswertung. Die Varianzanalyse wurde mit der „Mixed Procedure“ für wiederholte Messungen (Littell et al., 1996) des Statistikpaketes SAS (SAS Institute, Release 8.2) durchgeführt. Als wiederholte Messungen wurden der Messtag und der Probeentnahmezeitpunkt betrachtet. Die Versuchswoche, die Diät und die Wechselwirkungen zwischen dem Messtag und dem Probeentnahmezeitpunkt wurden als Einflussfaktoren (feste Effekte) in das Modell einbezogen. Die Wechselwirkungen zwischen Tier und Versuchswoche wurden als Zufall betrachtet. Die Linearen Pearson Korrelationen zwischen der Enzymaktivität und der Lebendmasse bzw. dem Alter wurden mit dem SAS - Verfahren „Corr“ (SAS/STAT, 1987) berechnet.

**Ergebnisse.** Der Einfluss der Futterumstellung auf die Enzymentwicklung im Dünndarm. Der Wechsel von flüssiger auf die feste Nahrungsform hat einen nachhaltigen Effekt auf die Enzymaktivitäten im Dünndarmchymus. Der Verlauf der Enzymaktivitäten während dieser Phasen ist in den Abbildungen 2 bis 4 für die Disaccharidasen, die AP sowie die LAP dargestellt. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, ergibt sich für die Aktivität der Maltase in der zweiten und dritten Versuchsperiode (feste Nahrung) ein kontinuierlicher ( $p < 0,01$ ) Anstieg der Werte im Vergleich zur Periode vor der Nahrungsumstellung. Ebenso wie die Maltaseaktivität, steigt ( $p < 0,01$ ) die Saccharaseaktivität in der zweiten und dritten Versuchsperiode (feste Nahrung) im Vergleich zur Periode vor der Umstellung an (Abbildung 2). Die Laktaseaktivität fällt nach der Umstellung auf feste Nahrung kontinuierlich ( $p > 0,05$ ) ab (Abbildung 2).

Die Aktivität der Disaccharidasen korreliert mit dem Alter und mit der Lebendmasse der Tiere. Für die Aktivitäten der Maltase und Saccharase ergibt sich eine schwache, jedoch signifikante ( $p < 0,01$ ) positive Korrelation mit dem Alter ( $r = 0,30 / 0,14$ ) und mit der Lebendmasse ( $r = 0,24 / 0,13$ ). Die Laktaseaktivität korreliert negativ ( $p < 0,01$ ) sowohl mit dem Alter ( $r = -$

0,25) als auch mit der Lebendmasse ( $r = - 0,20$ ) der Ferkel. Die Aktivität der alkalischen Phosphatase nimmt nach der Umstellung auf die feste Nahrung kontinuierlich ( $p < 0,01$ ) zu (Abbildung 3). Ebenso wie für die

Disaccharidasen, ergab sich auch für die Aktivität der alkalischen Phosphatase eine schwache, jedoch signifikant ( $p < 0,01$ ) positive Korrelation mit dem Tieralter ( $r = 0,14$ ) und mit der Lebendmasse ( $r = 0,10$ ).

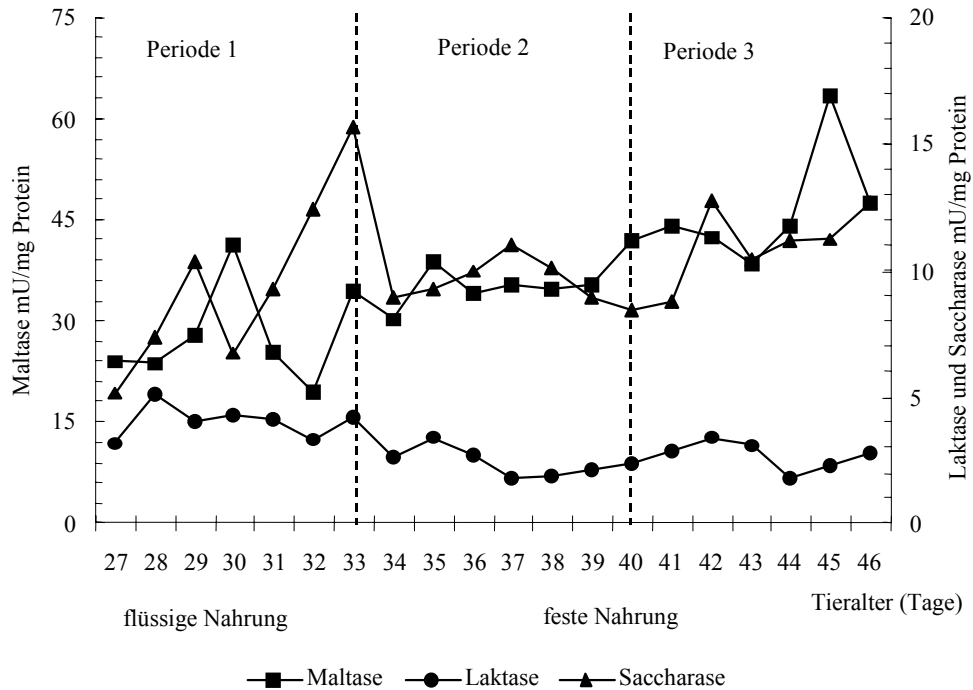


Abbildung 2. Der Verlauf der Aktivität von Disaccharidasen im Dünndarmchymus (LS-means)

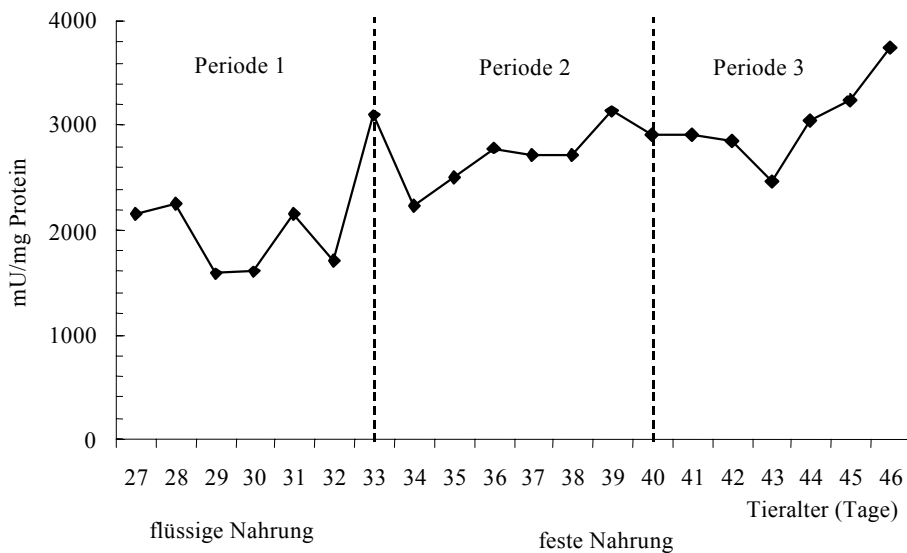


Abbildung 3. Der Verlauf der Aktivität der alkalischen Phosphatase im Dünndarmchymus (LS-means)

Für die Aktivität der Leucinaminopeptidase konnte im Vergleich zur ersten Versuchsperiode (flüssige Nahrung) in der zweiten Versuchsperiode ein signifikanter ( $p < 0,01$ ) Anstieg der Enzymaktivitäten verzeichnet werden. Die Enzymaktivität stabilisierte sich auf diesem Niveau in

der dritten Versuchsperiode (Abbildung 4). Die Aktivität der Leucinaminopeptidase zeigte eine signifikant positive ( $p < 0,01$ ) Korrelation mit dem Tieralter ( $r = 0,3$ ) und mit der Lebendmasse ( $r = 0,31$ ).

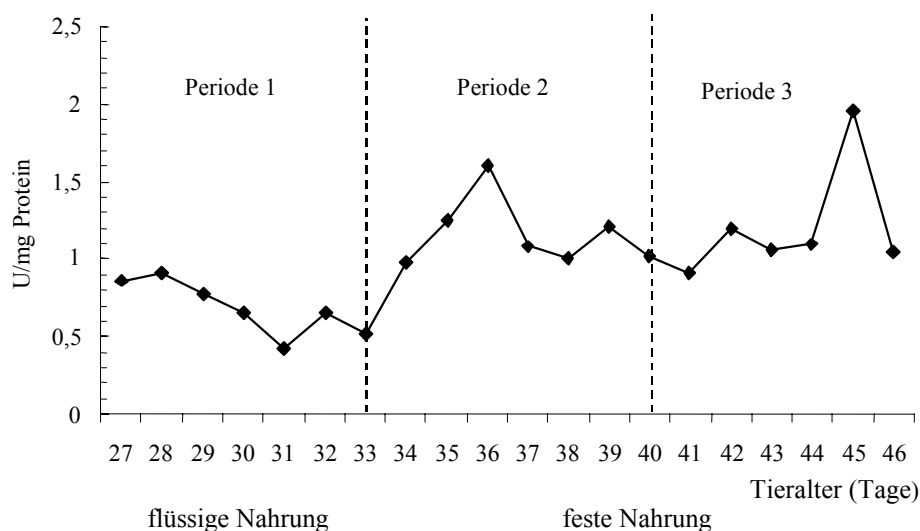


Abbildung 4. Der Verlauf der Aktivität der Leucinaminopeptidase im Dünndarmchymus (LS-means)

Tabelle 2. Diurnale Schwankungen der Enzymaktivität im Dünndarmchymus

Diäten Versuchsperiode	Flüssige Nahrung		Feste Nahrung			
	Periode 1		Periode 2		Periode 3	
	LS-means <sup>4</sup>	SEM <sup>5</sup>	LS-means	SEM	LS-means	SEM
<b>Maltase (mU/mg Protein)</b>						
1 h postprandial <sup>1</sup>	27.7	0.15	49.9 c	0.12	73.7 c	0.13
4 h postprandial <sup>3</sup>	-	-	19.5 bc	0.12	23.3 bc	0.11
1 h postprandial <sup>2</sup>	25.0	0.15	42.1 b	0.11	55.2 b	0.11
<b>Laktase (mU/mg Protein)</b>						
1 h postprandial <sup>1</sup>	14.4	0.14	15.5 ac	0.10	20.1 ac	0.11
4 h postprandial <sup>3</sup>	-	-	6.1 bc	0.10	5.7 bc	0.10
1 h postprandial <sup>2</sup>	15.2	0.13	9.6 ab	0.10	8.3 ab	0.10
<b>Saccharase (mU/mg Protein)</b>						
1 h postprandial <sup>1</sup>	8.5	0.14	11.4 c	0.08	15.4 ac	0.08
4 h postprandial <sup>3</sup>	-	-	8.7 bc	0.08	7.1 bc	0.08
1 h postprandial <sup>2</sup>	7.9	0.14	11.3 b	0.08	11.1 ab	0.09
<b>Alkalische Phosphase (mU/mg Protein)</b>						
1 h postprandial <sup>1</sup>	1734.7	0.14	2996.5 c	0.08	3799.8 c	0.08
4 h postprandial <sup>3</sup>	-	-	2229.2 bc	0.09	1895.4 bc	0.08
1 h postprandial <sup>2</sup>	2061.3	0.14	3023.3 b	0.09	3783.1 b	0.08
<b>Leucinaminopeptidase (U/mg Protein)</b>						
1 h postprandial <sup>1</sup>	0.8	0.16	1.3 c	0.10	1.4 c	0.10
4 h postprandial <sup>3</sup>	-	-	0.8 bc	0.10	0.8 bc	0.10
1 h postprandial <sup>2</sup>	0.6	0.16	1.1 b	0.10	1.2 b	0.10

Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante ( $p < 0,05$ ) Unterschiede zwischen den Probeentnahmezeiten innerhalb der Versuchsperioden.

<sup>1</sup> 1 h nach der Morgenfütterung

<sup>2</sup> 1 h nach der Abendfütterung

<sup>3</sup> 4 h nach der Morgenfütterung

<sup>4</sup> Umrechnung von logarithmierten LS-means (Least Square Means) Werte.

<sup>5</sup> Standard error of the mean (log)

Der Proteingehalt (mg/ml) im Dünndarmchymus wurde von der Futtermittelstellung nicht beeinflusst und blieb konstant. Der Proteingehalt im Chymus während der festen Fütterung lag in der Versuchsperiode 2 bei 2,20 mg/ml und in der Versuchsperiode 3 bei 2,27 mg/ml,

während sich für die Fütterung mit dem Milchaustauscher ein Vergleichswert von 2,38 mg/ml ergab.

Diurnale Schwankungen der Enzymaktivität im Dünndarmchymus. Die Aktivitäten der Enzyme des Bürstensaumepithels (Maltase, Saccharase, LAP, Laktase

und AP) wiesen erhebliche diurnale Schwankungen auf (Tabelle 2). Die Enzymaktivitäten in den Chymusproben, die zwischen 0800 und 0900 h (1 h postprandial nach der Morgenfütterung) gewonnen wurden, waren numerisch höher oder auf gleichem Niveau wie die Aktivitäten in den Vergleichsproben, die zwischen 1500-1600 h (1 h postprandial nach der Abendfütterung) entnommen wurden. Andererseits ergaben sich für die Enzymaktivitäten, die auf den Zeitraum 4 h postprandial entfielen, signifikant ( $p < 0,05$ ) niedrigere Werte im Vergleich zu den übrigen Messperioden.

**Diskussion und Schlussfolgerungen.** Die eigenen Ergebnisse zur Entwicklung der Darmfunktion nach dem Wechsel von flüssiger auf die feste Nahrungsform zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (Kidder und Manners, 1980; Kelly et al., 1991). Jedoch ist anzumerken, dass die Messungen für die spezifischen Aktivitäten der Laktase, Maltase, Saccharase, AP und LAP, als Indikatoren für den Grad der Differenzierung der Enterocyten (Fortin-Magana et al., 1969; Norén et al., 1986), im Homogenat oder im Extrakt der Darmmukosa durchgeführt wurden.

Der in den eigenen Untersuchungen ermittelte kontinuierliche Rückgang der Laktaseaktivität nach der Umstellung auf feste Nahrung (Abbildung 2) stimmt mit den Befunden von Miller et al. (1986) überein. Auch Kelly (1991) und Hampson et al. (1986b) wiesen einen signifikanten ( $p < 0,05$ ) Abfall der Laktaseaktivität nach der Futterumstellung und mit steigendem Alter der Ferkel nach. Motohashi et al. (1997) konnten in Versuchen mit Ratten nachweisen, dass der Abfall der Laktaseaktivität nicht von der Substratzufuhr abhängig sondern genetisch bedingt ist.

Der signifikante ( $p < 0,05$ ) Anstieg der spezifischen Aktivität der Disaccharidasen Maltase und Saccharase beim Ferkel nach dem Wechsel von flüssiger zu fester Nahrungsform (Abbildung 2) stimmt mit den Ergebnissen der Untersuchung von Le Huërou-Luron et al. (2001), Kelly et al. (1991) und Kelly (1990) überein. Demgegenüber war in den Untersuchungen von Miller et al. (1986), Hall et al. (1989) und Hampson et al. (1986b) ein Rückgang der Saccharaseaktivität nach der Futterumstellung zu beobachten. Diese Ergebnisse, die im Widerspruch zu den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen stehen, sind möglicherweise durch Unterschiede in der Diätzusammensetzung zu erklären. In den eigenen Untersuchungen erhielten die Tiere nach der Umstellung auf feste Nahrung eine mit Saccharose ergänzte Diät. Im Gegensatz dazu wurden die Ferkel in der Studie von Miller et al. (1986) und Hall et al. (1989) an eine Ration ohne Saccharose adaptiert. Es ist anzunehmen, dass der erhöhte Anstieg der Saccharaseaktivität in den eigenen Untersuchungen durch die Substratzufuhr induziert wurde. Ein eventueller Einfluss des Alters der Tiere auf den Aktivitätsverlauf lässt sich ausschließen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Ferkel im Alter von 33 Tagen abgesetzt, und in der vergleichbaren Studie von Miller (1986) betrug das Tialter beim Absetzen 35 Tage.

Die Aktivität der Leucinaminopeptidase nahm nach

der Umstellung auf feste Nahrung kontinuierlich ( $p < 0,01$ ) zu (Abbildung 4). In der Literatur liegen kaum Angaben über den Verlauf der Aktivität der Leucinaminopeptidase nach dem Absetzen der Ferkel vor. Le Huërou-Luron et al. (2001) beobachteten nach dem Absetzen eine tendenzielle Erhöhung der Aktivitäten für andere intestinale Peptidasen (Aminopeptidase N, Dipeptidylpeptidase IV und Glutamyltransferase).

Die in der vorliegenden Studie ermittelte Aktivitätszunahme der alkalischen Phosphatase (AP) nach der Futterumstellung (Abbildung 3) stimmt mit den Ergebnissen von Le Huërou-Luron et al. (2001) überein. In den eigenen Untersuchungen wurden signifikante ( $p < 0,05$ ) Beziehungen zwischen dem Alter bzw. der Lebendmasse und der Aktivität von AP bzw. anderen Enzymen des Bürstensaumepithels (Laktase, Maltase, LAP und Saccharase) nachgewiesen. Auch Kidder et al. (1980) konnten feststellen, dass zwischen der Enzymaktivität und dem Ferkelalter bzw. der Lebendmasse eine enge signifikante Beziehung besteht. Demgegenüber ließ sich in den Untersuchungen von Miller et al. (1986) kein Effekt des Absetzens bzw. des Alters auf die Aktivität von AP nachweisen.

In der vorliegenden Arbeit wurden die diurnalen Schwankungen für die Aktivitäten der untersuchten Enzyme ermittelt (Tabelle 2). Diese Ergebnisse lassen sich aufgrund fehlender Angaben in der Literatur kaum vergleichen. In Versuchen mit murenen Schweinen beobachteten Raab et al. (1998) diurnale Schwankungen für die Aktivitäten von Saccharase und AP. Jedoch konnte in dieser Studie kein einheitlicher Trend, z. B. bedingt durch den Einfluss der Fütterungszeiten, festgestellt werden. Allerdings wurde in Untersuchungen zur exokrinen Pankreassekretion ermittelt, dass neben der Futterzusammensetzung auch die Fütterungsfrequenz die Höhe und den Verlauf der Pankreassekretion beim Schwein beeinflussen kann (Hee et al., 1988; Botermans et al., 1999a; Botermans et al., 1999b). In Studien von Hee et al. (1988) ergaben sich bei zweimaliger bzw. dreimaliger täglicher Fütterung für die untersuchten Pankreasenzymaktivitäten und den Proteingehalt im Pankreassaft postprandial signifikant ( $p < 0,05$ ) höhere Werte als praepandial. Auch Botermans et al. (1999b) konnten signifikant ( $p < 0,0043$ ) höhere Werte in der postprandialen gegenüber der praepandiale Phase nachweisen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Pankreassekretion teilweise durch einen „zephalischen Phase – Effekt“ reguliert wird. Ob und in welchem Umfang auch die Enzymsekretion des Dünndarmepithels durch vergleichbare Mechanismen gesteuert wird, bedarf weiterer Untersuchungen.

**Schlussfolgerungen.** Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Die Umstellung von flüssiger auf feste Nahrung während der Absetzphase übt einen Einfluss auf die Aktivität der Enzyme Maltase, Laktase, LAP, Saccharase und AP des Bürstensaumepithels des Dünndarms aus.

2. Die regressionsanalytische Auswertung ergibt, dass die Aktivität der Enzyme vom Alter und von der Lebendmasse der Tiere beeinflusst wird.

3. Es wurden signifikante Unterschiede in den Aktivitäten der Enzyme Maltase, Laktase, Saccharase, LAP und AP im postprandialen Verlauf ermittelt, deren Ursachen in weiteren Untersuchungen geklärt werden müssen.

#### Literaturverzeichnis

1. Bergmeyer H. U., Bernt E. Bestimmung mit Glucose – Oxidase und Peroxidase. In Methoden der enzymatischen Analyse. Bergmeyer H. U. (Hrsg.) 1974.

2. Botermans J. A. M., Pierzynowski S. G. Relations Between Body Weight, Feed Intake, Daily Weight Gain, and Exocrine Pancreatic Secretion in Chronically Catheterized Growing Pigs. *J. Anim. Sci.* 1999 b. Vol. 77. P. 450 – 456.

3. Botermans J. A. M., Svendsen J., Svendsen L. S. and Pierzynowski S. G. The exocrine pancreas in pig growth and performance. In *Biology of the Pancreas in Growing Animals* (ed. S. G. Pierzynowski and Zabielski R.) 1999 a. P. 395 – 408.

4. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding. *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248 – 254.

5. Dahlqvist A. Assay of Intestinal Disaccharidases. *Analytical Biochem.* 1968. Vol. 22. P. 99 – 107.

6. Dehnhard M. Charakterisierung enzymatischer Aktivitäten für Umwandlung und Umbau des Östradiolrezeptors. Max-Planck-Institut für experimentelle Endokrinologie, Schriftenreihe Nr. 2. 1984.

7. Fortin - Magana R., Hurwitz R., Herbst J. J., Kretchmer N. Intestinal enzymes: indicators of proliferation and differentiation in the jejunum. *Science.* 1970. Vol. 167. P. 1627 – 1628.

8. Hall G. A., Byrne T. F. Effects of age and diet on small intestinal structure and function in gnotobiotic piglets. *Res. in Vet. Sci.* 1989. Vol. 47. P. 387 – 392.

9. Hampson D. J. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Res. in Vet. Sci.* 1986. Vol. 40. P. 32 – 40.

10. Hampson D. J. Attempts to modify changes in the piglet small intestine after weaning. *Res. in Vet. Sci.* 1986 a. Vol. 40. P. 313 – 317.

11. Hampson D. J., Kidder D. E. Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine. *Res. in Vet. Sci.* 1986 b. Vol. 40. P. 24 – 31.

12. Hee J., Sauer W. C., Mosenthin R. The effect of frequency of feeding on the pancreatic secretions in the pig. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1988. Vol. 60. P. 249 - 256.

13. Kelly D., Smyth J. A., McCracken K. J. Digestive development of early – weaned pigs. *J. of Nutr.* 1991. Vol. 65. P. 169 – 180.

14. Kelly D., Smyth J. A., McCracken K. J. Effect of creep feeding on structural and functional changes of the gut of early weaned pigs. *Res. in Vet. Sci.* 1990. Vol. 48. P. 350 – 356.

15. Kenworthy R. Observations on the effects of weaning in the young pigs clinical and histopathological studies of intestinal function and morphology. *Res. in Vet. Sci.* 1976. Vol. 21. P. 69 – 75.

16. Kidder D. E., Manners M. J. The level and distribution of carbohydrases in the small intestine mucosa of pigs from 3 weeks of age to maturity. 1980. Vol. 43. P. 141.

17. Le Huërou – Luron, Peiniau J., Guilloteau P., Aumaitre A. Are the Activities of Intestinal Peptidases Age – and Diet – dependent in Piglets? 2001. In *Digestive Physiology of Pigs. Proc. of the 8<sup>th</sup> Symposium.* Ed. Lindberg J. E. and Ogle B. P. 20 – 23.

18. Littell R. C., Milliken G. A., Stroup W. W., Wolfinger R. D.. Analysis of Repeated Measures Data. SAS System for Mixed Models. SAS Inst. Inc., Cary, NC. 1996. P. 87 – 133.

19. Lorz A., Metzger E. Tierschutzgesetz: Tierschutzgesetz mit allgemeiner Verwaltungsvorschrift, Rechtsverordnungen und europäischen Übereinkommen; Kommentar. 1999. 5. Neubearb. Aufl., München, Beck.

20. Maroux S., Louvard D., Baratti J. The aminopeptidase from hog intestinal brush border. *Biochem. Biophys. Acta.* 1973. Vol. 321. P. 282 – 295.

21. Miller B. G., James P. S., Smith M. W., Bourne F. J. Effect of weaning on the capacity of pig intestinal villi to digest and absorb nutrients. *J. agric. Sci., Camb.* 1986. Vol. 107. P. 579 – 589.

22. Motohashi Y., Fukushima A., Kondo T., Sakuma K. Lactase Decline in Weaning Rats Is Regulated at the Transcriptional Level and

Not Caused by Termination of Milk Ingestion. *J. of Nutr.* 1997. Vol. 127. P. 1737 – 1743.

23. Norén O., Sjöström H., Danielsen E. M., Cowell G. M., Skovbjerg H. The enzymes of the enterocyte plasma membrane. In *Molecular and Cellular Basis of Digestion*, Elsevier Science Publishers B. V. (Biomedical Division). 1986. P. 335 - 365.

24. Pluske J. R. Morphological and functional changes in the small intestine of newly – weaned pig. In *Gut Environment of Pigs.* Ed. by Piva A., Bach Knudsen K. E., Lindberg J. E. 2001. P. 1 – 27.

25. Raab S. Effects of energy and purines in the diet on the proliferation, differentiation and apoptosis in the small intestine of the pig. *J. Metabolism.* 1998. Vol. 47. P. 1105 – 1111.

26. SAS / STAT <sup>TM</sup> Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. 1987 Cary, NC: SAS Institute INC. Ed. by Luginbuhl R. C., Schlotzhauer S. D., Parker J. C., Ingraham K. P. Thomas L. Alkalische Phosphatase (AP). In *Labor und Diagnose, die Medizinische Verlagsgesellschaft Marburg / Lahn*, 2. Aufl. P. 37-45.

2002 10 28