

## 6 Diskussion

### 6.1 Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen in Diäten für Ferkel

Nicht-Stärke-Polysaccharide führen beim Schwein bzw. Ferkel zu einer Erhöhung der Viskosität des Darminhaltes, einem Einschluß von Nährstoffen (Käfigeffekt) und einer Beeinflussung der Darmflora. Im Vergleich zum Geflügel sind die davon ausgehenden Effekte auf die Nährstoffumsetzungen bzw. -absorption im Verdauungstrakt beim Schwein nicht so drastisch, können aber durch Supplementation der Diät mit NSP-spaltenden Enzymen abgeschwächt werden. Außerdem ist das Ausmaß einer negativen Wirkung der Rohfaser bzw. der Nicht-Stärke-Polysaccharide auf die Nährstoffverdaulichkeit abhängig von der Art und Herkunft der NSP, der technischen Futtermittelaufbereitung, der Fütterungsart (flüssig oder trocken) und -intensität, vom Alter bzw. Gewicht der Schweine und vom Rohnährstoffgehalt der Futtermischung (Haberer und Schulz 1998).

### 6.2 „In vitro“ Wachstumsversuch mit Magen-, Jejunal- und Coloinhalt

#### 6.2.1 (1,4)- $\beta$ -Arabinoxylan

Im Vergleich zur Kontrolle führt die Anwesenheit des Monoenzympräparates im arabinoxylanhaltigen Medium zu einem geringeren bakteriellen Wachstum in Jejunum und Colon. Im Falle des Magens war beim Monoenzympräparat gar kein bakterielles Wachstum zu verzeichnen.

Das Multienzympräparat reduzierte das bakterielle Wachstum in den Magendigesta, während sich in den Jejunal- und Colondigesta jeweils ein höheres bakterielles Wachstum im Vergleich zur Kontrolle zeigte.

Die mögliche Wachstumshemmung der Bakterien infolge des Abbaus des (1,4)- $\beta$ -Arabinoxylans durch die (1,4)- $\beta$ -Xylanase könnte unterschiedliche Erklärungen haben. Zunächst könnte der osmotische Druck in dem geschlossenen „*in-vitro*“-System dadurch gesteigert worden sein, dass durch enzymatische Hydrolyse, Oligosaccharide entstanden sind. Allerdings ist es fraglich, ob die Vorinkubationszeit lang genug war, um eine genügende Menge an Oligosacchariden dafür bereitzustellen. Ferner gibt es die Beobachtung, dass Wasserstoffperoxid unter physiologischen Bedingungen in der Lage ist, Xylan zu spalten wobei kleinere Fragmente mit reduzierenden Enden entstehen (Miller 1986). Bakteriellles Wachstum im Mageninhalt wird in großem Maße von milchsäureproduzierenden Bakterien

bestimmt. Genauer gesagt durch Lactobacillen als die im Magen des Schweines vorherrschende Bakterienpopulation. Lactobacillen produzieren Wasserstoffperoxid als metabolisches Abfallprodukt, vermögen aber nicht, dieses zu entgiften. Deswegen steigt die Wasserstoffperoxidkonzentration in geschlossenen Systemen, wie dem in dieser Studie verwendeten „*in-vitro*“-Assay, zwangsläufig. In einer Studie von *Juarez, Thomas et al.* (2003) wurden *L. crispatus* oder *L. paracasei* inkubiert. Die Produktion von Wasserstoffperoxid lag bei 5 mmol Wasserstoffperoxid bei  $10^8$  Bakterienzellen/ml Nährlösung. Song et al. (1999) bestimmten *L. crispatus*, *L. reuteri* und *L. gasseri* als die stärksten Wasserstoffperoxidproduzenten der Vaginalflora. Weil *Miller* (1986) den Abbau von Xylan bei solch niedrigen Wasserstoffperoxidkonzentrationen wie 0,1 mmol Wasserstoffperoxid und Zellzahlen im Magen von Aufzuchtferkeln im Bereich von  $10^8$  Zellen/ml Mageninhalt zeigte, ist es denkbar, dass ein solcher Effekt „*in-vivo*“ existiert. Für diese „*in-vitro*“-Studie könnte dies bedeuten, dass wegen der Aktivität der Arabinoxylanase die Reaktion des Xylans mit dem Wasserstoffperoxid teilweise gehemmt wird und das Wasserstoffperoxid akkumuliert mit einem wachstumshemmenden Effekt auf die Lactobacillen.

Ferner könnte die enzymatische Produktion von Oligosacchariden die bakterielle Enzymproduktion hemmen aufgrund einer Produkthemmung.

### 6.2.2 (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucan

Im Vergleich zur Kontrolle wurden bei Jejunum und Colon keine Wachstumsunterschiede bei der Inkubation mit dem (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucan-Medium und dem zugefügten Monoenzym beobachtet. Dies war anzunehmen, weil dieses Enzym ausschließlich Arabinoxylan-Bindungen angreift.

Gesteigertes bakterielles Wachstum wurde in Inkubationen mit Magen-, Jejunum- und Coloninhalt und dem Multienzympräparat beobachtet. Diese Enzymformulierung enthält beträchtliche Mengen an (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucanasen die, ebenso wie „Exo“-Enzyme, in der Lage sind, Oligosaccharide und Zuckermonomere zu produzieren. Da solche Substrate in „*in-vitro*“-Systemen akkumulieren, könnte man annehmen, dass sie für bakterielles Wachstum verwendet werden. Sogar ohne Enzymsupplementation werden lösliche (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucane durch die Mikrobiota des Dünndarmes beim Schwein fermentiert. Die Verdaulichkeit kann bis zu 90% betragen (Bach Knudsen und Hansen 1991). Demgemäß ist die Mikrobiota des Dünndarmes beim Schwein adaptiert an den Abbau löslicher (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucane. In dieser „*in-vitro*“-Studie entfalteten die Magen-Kontrollen das höchste Wachstum, während Jejunal-

und Coloninhalt weniger Wachstumspotential zeigten beim (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucan als Substrat. Es ist höchstwahrscheinlich, dass lactatproduzierende Bakterien für das hohe Wachstum im Mageninhalt verantwortlich sind, weil sie die dominierende bakterielle Gruppe im Magen des Ferkels sind. Dennoch sind bisher keine Enzyme in Lactobacillen für die Hydrolyse von (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucanen charakterisiert worden. Es existiert nur ein einziger Bericht über eine  $\beta$ -Glucanase mit „Endo“-Aktivität aus einem *Enterococcus-faecium*-Stamm, die (1,3-1,4)- $\beta$ -Glucane zu spalten vermag (Beckmann *et al.* 2000).

### 6.2.3 Weizenextrakte mit hohem (>30 kD) und niedrigem (<30 kD; ultrafiltriert) Molekulargewicht

Interessanterweise zeigt die ultrafiltrierte Fraktion der Weizenextrakte (<30 kD) nur geringfügige Differenzen bezüglich des Wachstums zwischen den Kontrollen und den mit Enzymzulage versehenen Inkubationen.

Das bakterielle Wachstum in den Kontrollinkubationen des Mageninhaltes war so niedrig wie mit Arabinoxylan als Substrat und viel niedriger als mit dem NSP-Extrakt mit hohem Molekulargewicht (>30 kD). Das Wachstum der Bakterien im Jejunalinhalt wurde sowohl beim hochmolekularen Weizenextrakt (>30 kD) als auch beim niedermolekularen NSP-Extrakt (<30 kD) als Substrat durch die Enzymsupplementation gering beeinflusst im Vergleich zur Kontrolle. Das bakterielle Wachstum in den Colondigesta zeigte nur geringfügige Differenzen zwischen der Kontrolle und den enzymsupplementierten Inkubationen.

Ohne Enzymsupplementation wurde bei den Inkubationen mit dem Weizenextrakt hohen Molekulargewichtes (>30 kD) beim Colon nur vergleichsweise geringes Bakterienwachstum beobachtet, während sich bei den Inkubationen mit dem ultrafiltrierten Weizenextrakt (<30 kD) ziemlich hohes Bakterienwachstum zeigte.

Dies führt zu der Interpretation, dass beim Weizenextrakt mit dem hohen Molekulargewicht (>30 kD) das bakterielle Wachstum infolge endogener Enzymaktivität durch Freisetzung leicht fermentierbarer Oligo- oder Monosaccharide gesteigert wird, welche beim Extrakt mit dem geringeren Molekulargewicht (<30 kD) bereits verfügbar sind. Dennoch sind die durch das Monoenzym bereitgestellten Arabinoxylan-Fragmente nicht verantwortlich für die Förderung des bakteriellen Wachstums im Colon, weil das Arabinoxylan als alleiniges Substrat das Bakterienwachstum hemmt. Wegen der Aktivität bakterieller „Exo“-Enzyme im Coloninhalt ist es denkbar, dass die Menge der Arabinose und Xylose-Oligomere ausreicht, weiteres Bakterienwachstum zu ermöglichen.

### 6.3 Leistungsparameter

Der Einsatz NSP-hydrolysierender Enzyme verbessert die Leistung geringfügig, was sich in erhöhter Gewichtszunahme bei gleichzeitig vermindertem Futteraufwand äußert (Haberer und Schulz 1998). Dies findet zumindest tendenziell Bestätigung in den im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Untersuchungen. Denn die LMZ war –den Versuchszeitraum von der ersten bis zur vierten Woche betrachtend- unter Enzymsupplementation um 6,8 % (Roxazyme) bzw. 7,1 % (Ronozyme) verbessert im Vergleich zur Kontrollgruppe. Der Futteraufwand hingegen ist –wieder bei Betrachtung des Zeitraumes der ersten bis vierten Versuchswoche- lediglich unter Gabe des Monoenzympräparates Ronozyme um 2,3 % erniedrigt, während er bei Supplementation mit dem Multienzympräparat Roxazyme sogar um 1,6 % höher ausfällt und damit keine Verbesserung darstellt. Allerdings waren hier keinerlei signifikante Unterschiede zu verzeichnen. Dies kann man sicherlich unter anderem darauf zurückführen, dass sich ein leistungssteigernder Effekt bei einer reinen Weizendiät niemals so deutlich ausgeprägt zeigen wird, wie das zum Beispiel bei einer roggen- oder gerstenreichen Ration der Fall wäre mit vergleichsweise höheren Werten an Arabinoxylanen (Pentosanen) und  $\beta$ -Glucanen (vgl. Tab.1).

*Haberer und Schulz* (1998) verglichen in einer Übersichtsarbeit 157 in der Literatur beschriebene Versuche zur Leistung von Schweinen der verschiedensten Altersgruppen unter Supplementation mit NSP-spaltenden Enzymen. Sie betonen, dass ein Vergleich der Studien schwierig ist, weil nur in wenigen Studien eine Angabe zum NSP-Gehalt in den Futtermischungen oder zur Enzymaktivität erfolgte. Die folgende Tabelle 19 zeigt stark verkürzt und auszugsweise die (bereits zusammengefaßten) Ergebnisse der Vergleiche durch *Haberer und Schulz* (1998).

**Tabelle 19:** Wirkung NSP-spaltender Enzyme auf Futteraufnahme, Lebendmassezunahme und Futteraufwand (modifiziert und auszugsweise nach *Haberer und Schulz (1998)*)

Fütterung bis zu 60 kg LM	n <sup>2</sup>	Futtermverzehr <sup>1</sup>		Lebendmassezunahme <sup>1</sup>			Futteraufwand <sup>1</sup>		
		Mw	Stabw	Mw	Stabw	sign. <sup>3</sup>	Mw	Stabw	sign. <sup>3</sup>
Weizen- Mischung	32 <sup>4</sup>	+2,0	±7,1	+9,3	±8,7	8	-6,6	±4,0	13
davon nur Weizen	12	+2,3	±7,8	+10,5	±9,4	4	-7,4	±3,5	7
<b>bis Mastende</b>									
Weizen- Mischung	10	+1,8	±3,4	+5,0	±2,9	3	-2,9	±2,5	2

1) Änderungen in % zur Kontrollgruppe

2) Anzahl der Versuche

3) Anzahl der Versuche mit statistisch gesicherten Unterschieden

4) davon 6 Versuche über 30 kg LM hinaus

Vergleicht man die Ergebnisse dieses Fütterungsversuches mit denjenigen des „Literatur-Vergleiches“ von *Haberer und Schulz (1998)*, so fällt auf, dass die Werte für den Futtermverzehr höher ausgefallen sind in diesem Fütterungsversuch, die Lebendmassezunahmen hingegen vergleichsweise geringer ausfielen und auch der Futteraufwand als Quotient der beiden vorgenannten Parameter nur bei der Ronozyme-Gruppe um 4,1% (3. bis 4. Versuchswoche) bzw. 2,3 % (1. bis 4. Versuchswoche) erniedrigt war. Ein direkter Vergleich ist schon deshalb nicht möglich, weil das von den verschiedenen Autoren eingesetzte Enzymspektrum ein anderes war. Man kann aber dennoch erkennen, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung ein zumindest ähnliches Bild liefern. Der Einfluss des Alters der Tiere ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen, weswegen ein direkter Vergleich der Studien ohnehin unmöglich gemacht wird. An der Tabelle von *Haberer und Schulz (1998)* ist erkennbar, dass der positive Effekt der Enzymzulage zur Diät mit steigendem Alter bzw. Gewicht der Tiere abnimmt, denn der Futteraufwand ist bei Tieren > 60 kg LM nicht mehr so deutlich vermindert wie dies bei Tieren < 60 kg LM der Fall ist.

Die in diesem Fütterungsversuch nur ansatzweise erkennbare Leistungssteigerung in Form verbesserter Lebendmassezunahmen ist zum Teil sicherlich auf den gesteigerten Futtermverzehr der enzysupplementierten Tiere im Vergleich zur Kontrollgruppe zurückzuführen (vgl. Tabelle 10). Im Falle der mit dem Ronozyme supplementierten Gruppe kann die gesteigerte Lebendmassezunahme jedoch nicht allein mit einer verbesserten Gewichtsentwicklung infolge stimulierter Futteraufnahme durch Enzymzusatz erklärt werden, sondern könnte wegen des gleichzeitig verbesserten Futteraufwandes bei dieser Gruppe (vgl. Tabelle 11, insbesondere 3. bis 4. Versuchswoche bzw. 1. bis 4. Versuchswoche) in einer verbesserten

Nährstoffverdaulichkeit begründet sein. Eine verbesserte Nährstoffverdaulichkeit bei den enzymesupplementierten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe konnte aber durch die im Rahmen der Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit ermittelten Werte nicht beobachtet werden. Dies liegt sicher unter anderem daran, dass die Standardabweichungen teilweise sehr hoch ausgefallen sind und die Anzahl der untersuchten Proben teilweise sehr gering waren (vgl. Tabelle 18 und 18a). Besonders deutlich wird dies, wenn man zum Beispiel die hohe Standardabweichung bei der Rohfettverdaulichkeit der Ronozyme-Gruppe betrachtet. Zudem gelangten bei der Monoenzympräparat-Gruppe nur vier der sechs Proben zur Untersuchung, so dass sich, bei nunmehr nur noch vier Proben, Abweichungen einzelner Werte sehr viel deutlicher bemerkbar machen als dies bei einer hohen Anzahl von Proben der Fall gewesen wäre. Folglich könnte man mutmaßen, dass sich bei einer größeren Stichprobe mit Sicherheit weitaus deutlichere Unterschiede hinsichtlich der praecaecalen Verdaulichkeit bei den enzymesupplementierten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe gezeigt hätten und eine verbesserte Nährstoffverdaulichkeit sichtbar geworden wäre bei der Ronozyme-Gruppe.

#### 6.4 Digestaviskosität

Die Digestaviskosität in den Jejunal digesta wurde im Vergleich zur Kontrollgruppe unter Zusatz des Multienzympräparates als Trend gesenkt und unter Supplementation mit dem Monoenzympräparat sogar signifikant erniedrigt ( $p \leq 0,05$ ; vgl. Abb. 17). Auch im Verdauungsabschnitt „Colon“ war zumindest unter Einsatz des Ronozymes eine Viskositätssenkung der Digesta zu verzeichnen. Der sich stärker auswirkende Einfluss des Monoenzympräparates Ronozyme könnte damit zu tun haben, dass die Xylanase des Ronozymes im pH-Bereich zwischen 3,5 und 6,5 noch eine Aktivität von 90 % und darüber aufweist, während die (1,4)- $\beta$ -Arabinoxylanase als eine der Hauptaktivitäten des Multienzympräparates in einem pH-Bereich von 3,5 bis 5,5 nur noch um die 80 % Aktivität aufweist (Schuster 2003). Diese Tatsache lässt vermuten, dass das Ronozyme weiter distal im Verdauungstrakt (Jejunum und Colon, zunehmend neutraler bis basischer pH-Wert) noch aktiver ist als es beim Roxazyme der Fall ist. Zudem spaltet die (1,4)- $\beta$ -Arabinoxylanase wahrscheinlich zunächst große, unlösliche Arabinoxylane in der Art, dass sie als „Endo“-Enzym durch ihren Angriff im Innern des Polysaccharides zunächst Oligosaccharide freisetzt, welche weniger viskositätsbildend wirken als die großen Polysaccharide (Aulrich und Flachowsky 1998, 2001).

## Diskussion

Im Zusammenhang mit der doch zumindest ansatzweise zu beobachtenden Leistungssteigerung bei den enzymbesetzten Tieren in diesem Fütterungsversuch deutet die Viskositätssenkung in Jejunum und Colon darauf hin, dass die Viskositätssenkung auch beim Ferkel eine ursächliche Rolle für die gesteigerte Leistung spielen dürfte. Allerdings scheint dies nicht wie beim Geflügel der Hauptfaktor für die verbesserte Leistung zu sein. Die Senkung der Digestivviskosität durch NSP-hydrolysierende Enzyme konnte beim Schwein in den Untersuchungen von *Graham* (1989), *Inbarr* (1994; 1991) sowie *Sudendey und Kamphues* (1995) zwar bestätigt werden, aber im Gegensatz zu den engen Beziehungen zwischen der Digestivviskosität und Parametern des Gastrointestinaltraktes sowie der Leistung beim Geflügel, waren derart hohe Korrelationen bei der Spezies Schwein nicht nachzuweisen. *Inbarr* (1994) empfiehlt, wegen der vergleichsweise geringen Chymusviskosität des Schweines, die relative Veränderung der Digestivviskosität als Maß für die Enzymwirkung zu verwenden.

### 6.5 Praecaecale Verdaulichkeit

Wenngleich auch die Verdaulichkeit des Rohproteins und -fettes für die Monoenzympräparatgruppe im Vergleich zur Kontrolle nicht erhöht war, so sind doch zumindest die Verdaulichkeiten von Rohfaser, Rohasche, ADF, NDF und Stärke sowie die der Summe der Aminosäuren für diese Gruppe numerisch gesehen geringfügig erhöht (vgl. Tab.18).

Beim Aufweichen des sogenannten „Käfigeffektes“ infolge Enzymzugabe werden durch Solubilisierung unlöslicher NSP in erster Linie Nährstoffe leichter zugänglich gemacht, die sich im Innern der Getreidezellen befinden. Stärke macht den Hauptanteil der Nährstoffe in den Endospermzellen des Kornes aus. Deshalb ist es zunächst verwunderlich, dass gerade die Stärkeverdaulichkeit bei beiden Gruppen numerisch nur äußerst geringfügig erhöht ist. Die Rohascheverdaulichkeit ist zumindest bei der Monoenzympräparat-Gruppe numerisch leicht erhöht. *Graham et al.* (1989) konnten in einer „in-vivo“-Untersuchung gesteigerte Rohascheverdaulichkeiten unter Applikation NSP-spaltender Enzyme nachweisen. Dies geht konform mit „in-vitro“-Untersuchungen von *Aulrich und Flachowsky* (2001), bei denen ebenfalls eine gesteigerte Mineralien- bzw. Rohaschefreisetzung unter Einsatz NSP-hydrolysierender Enzyme beobachtet werden konnte.

Die erwähnten Unterschiede sind, insbesondere hinsichtlich der praecaecalen Verdaulichkeit der Stärke bei den enzymbesetzten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe, aber derart gering, dass man den oft postulierten „Käfigeffekt“ zumindest in dieser Untersuchung

als nicht bestätigt sehen kann. Berücksichtigen muss man in diesem Zusammenhang die insgesamt sehr hohe Verdaulichkeit der Versuchs-Diät. Dies führt zum Beispiel im Falle der Stärke-Verdaulichkeit dazu, dass die Effekte des Enzymzusatzes nicht mehr deutlich erkennbar sind in Form einer gesteigerten praecaecalen Verdaulichkeit der Stärke. Zudem hat auch der geringe Stichprobenumfang einen bedeutenden Einfluss wie unter Punkt 6.4 näher erläutert.

#### 6.6 Untersuchung des Einflusses der beiden Enzympräparate auf mikrobielle Stoffwechselprodukte im Gastrointestinaltrakt des Ferkels mittels Bestimmung bakterieller Metaboliten wie Ammoniumionen, Lactat und flüchtige Fettsäuren

Milchsäurebakterien sind die Hauptproduzenten von Lactat im Verdauungstrakt. Zur Gruppe der Milchsäurebakterien gehören nicht nur Vertreter der Gattung *Lactobacillus ssp.*, sondern auch Angehörige der *Aerococcus ssp.*, *Carnobacterium ssp.*, *Enterococcus ssp.*, *Lactococcus ssp.*, *Leuconostoc ssp.*, *Pediococcus ssp.*, *Streptococcus ssp.*, *Tetragenococcus ssp.* und *Vagococcus ssp.*. Diese sind grampositive, nicht sporenbildende Bakterien, deren Hauptfermentationsprodukt Milchsäure ist (Axelsson 1998). Auch Angehörige der Gattung *Bifidobacterium ssp.* können Lactat bilden.

Angehörige der Gattungen *Clostridium ssp.* (Wagner und Thomas 1978), *Bacteroides ssp.* und *Eubacterium ssp.* sind vorrangig für die bakterielle Buttersäureproduktion zuständig.

Die *Enterobacteriaceae* bilden in erster Linie Acetat, sie vermögen aber auch Lactat zu bilden. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die metabolische Produktbildung bei vielen Bakterien, so auch z.B. bei den *heterofermentativen Lactobacillen*, vom jeweiligen physiologischen Zustand der Bakterienzellen abhängig ist. Das bedeutet, dass z.B. *Lactobacillen* eher Lactat als Acetat bilden, wenn das sie umgebende Milieu viele leicht verstoffwechselbare Energiequellen wie z.B. Pentosen und Hexosen enthält. Deshalb ist ein Rückschluß von den bakteriellen Metaboliten auf die Zusammensetzung der ihrer Bildung zu Grunde liegenden Mikrobiota nur insofern möglich, als man lediglich eine Aussage über eine potentielle Veränderung der Zusammensetzung treffen kann. Eine Aussage über die mengenmäßigen Verhältnisse bezüglich der Zusammensetzung der Mikrobiota ist hingegen auf dieser Grundlage nicht möglich.

Die Arbeitshypothese dieser Dissertation war die Behauptung, dass sich die Konzentration bakterieller Metaboliten und damit der mikrobielle Stoffwechsel, unter Supplementation mit NSP-spaltenden Enzymen im Vergleich zur Kontrollgruppe, verändert.

Diese Hypothese findet insofern tendenziell Bestätigung als, zumindest numerisch gesehen, einige bakterielle Metaboliten bei der Roxazyme- bzw. Ronozymegruppe im Vergleich zur

Kontrollgruppe höhere bzw. niedrigere Werte aufweisen. Folglich müßte sich der mikrobielle Stoffwechsel unter Enzymzusatz verändert haben (vgl. Tabellen 14, 15 und 16). Dies wird besonders deutlich, wenn man sich die Gesamtmenge der gebildeten freien Fettsäuren im Verdauungsabschnitt Colon bei den beiden enzysupplementierten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe ansieht (vgl. Tabelle 16). Bei der Kontrollgruppe wurden 99,2 ( $\pm$  15,3) mmol/g, bei der Roxazyme-Gruppe 105,7 ( $\pm$  15,1) mmol/g und bei der Ronozyme-Gruppe 112,0 ( $\pm$  19,8) mmol/g Gesamtfettsäuren ermittelt. Dies könnte ein Indiz für eine gesteigerte Fermentation von Kohlehydraten durch die Mikrobiota unter Enzymsupplementation sein. Der jeweils numerisch gesehen im Vergleich zur Kontrollgruppe höhere Wert der Roxazymegruppe für n-Buttersäure bzw. n-Valeriansäure könnte ein Indiz für eine verstärkte Verwertung von Kohlehydraten durch die Mikrobiota sein, weil die n-Form der Butter- bzw. Valeriansäure aus dem Kohlehydratstoffwechsel herrührt, während die iso-Buttersäure und iso-Valeriansäure eher durch bakterielle Proteolyse entstehen.

Der bei der Ronozyme-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe gesteigerte Propionsäuregehalt im Verdauungsabschnitt Colon könnte ebenfalls ein Anzeichen für eine bei dieser Gruppe veränderte Mikrobiota infolge Enzymzusatz sein.

Andererseits kann man, insbesondere wenn man die Ergebnisse der „*in-vitro*“-Wachstumsversuche miteinbezieht, mutmaßen, dass sich die Konzentration der bakteriellen Metaboliten auch infolge eines veränderten Substratangebotes verändert hat.

### 6.7 Gallensäure-Bestimmung zur Untersuchung des Einflusses von Xylanasen auf Gallensäure-dekonjugierende Mikroorganismen im Gastrointestinaltrakt des Ferkels

*Hübener* (2001) beobachtete bei Masthühnern, dass Gallensäure-dekonjugierende Mikroorganismen durch Xylanasezusatz zum Futter zurückgedrängt werden. Der Zusatz des Monoenzympräparates „Ronozyme“ hat einen tendenziell senkenden Effekt auf die Dekonjugation der Gallensäuren im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dies könnte man als einen indirekten Beweis für einen ähnlichen Mechanismus beim Schwein deuten.

## 6.8 Agardiffusionstest zur Abschätzung des Einflusses verschiedener Substrate auf NSP-hydrolysierende Enzymaktivitäten im Verdauungstrakt des Ferkels

Die im Vergleich zur Kontrollgruppe höhere Enzymaktivität des Multienzympräparates im Magen beim Substrat Lichenan weist auf eine hohe  $\beta$ -Glucanaseaktivität hin (vgl. Abbildung 12). Im Verdauungsabschnitt Jejunum ist die Enzymaktivität lichenanspaltender Enzyme bei der Multienzympräparat-Gruppe ebenfalls höher als bei der Kontrollgruppe und sogar signifikant höher im Vergleich zur Enzymaktivität bei der Ronozyme-Gruppe (vgl. Abbildung 13). Dies ist nicht verwunderlich, weil das Monoenzympräparat lediglich eine reine Xylanase enthält. Wäre bei der Monoenzympräparat-Gruppe eine höhere Enzymaktivität lichenanspaltender Enzyme im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verzeichnen gewesen, so wäre diese Enzymaktivität bakteriellen Ursprungs gewesen, weil das Monoenzympräparat Ronozyme nur eine reine Xylanase enthält. *Hübener* (2001) weist in ihren Untersuchungen mit Masthühnern darauf hin, dass die im Digestaüberstand ermittelten Aktivitäten NSP-spaltender Enzyme verschiedenen Ursprungs sind, was man aber methodisch leider nicht abzugrenzen vermag. Xylanaseaktivitäten im Digestaüberstand haben einerseits ihren Ursprung in der Xylanase-Supplementation des Futters, andererseits können sie bakteriellen Ursprungs sein. Sie beobachtet in ihrer Studie mit Masthühnern, dass die Aktivität der  $\beta$ -Glucanasen im Digestaüberstand durch den Xylanasezusatz zum Futter in allen Dünndarmabschnitten zumindest tendenziell gesteigert wird im Vergleich zur jeweiligen un-supplementierten Kontrollgruppe. Diese vermehrte Aktivität bakteriellen Ursprungs führt *Hübener* (2001) auf eine Veränderung der Mikroflora zurück. Ferner führt sie aus, dass hierbei wahrscheinlich das Vorhandensein von NSP-Oligomeren eine Rolle spielt, die durch partielle Spaltung infolge Xylanaseeinwirkung entstehen und dann ihrerseits als Substrate bestimmte Keimgruppen selektiv fördern. Vorstellbar ist eine selektive Förderung bestimmter Keimgruppen in ihrer Anzahl, eine gesteigerte Enzymproduktion durch die gleichen Bakterien oder die Induktion der  $\beta$ -Glucanaseexpression von Mikroorganismen, die ohne das Vorhandensein bestimmter Substrate keine  $\beta$ -Glucanase gebildet hätten (Warren 1996). Ein solcher Effekt ist demzufolge auch hier denkbar und würde die signifikant höheren lichenanspaltenden Enzymaktivitäten bei der Roxazyme-Gruppe im Vergleich zur Monoenzympräparat-Gruppe beim Substrat Lichenan ( $\beta$ -Glucan) erklären (siehe Abbildung 13).

Beim Verdauungsabschnitt Jejunum und dem Substrat Arabinoxylan (vgl. Abbildung 14) war die Enzymaktivität arabinoxylanspaltender Enzyme bei der Monoenzympräparat-Gruppe numerisch gesehen höher als bei der Kontrollgruppe und auch numerisch höher als bei der

## Diskussion

Multienzympräparat-Gruppe. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Xylanase des Monoenzympräparates Ronozyme weiter distal im Verdauungstrakt noch eine vergleichsweise höhere Enzymaktivität aufweist und demzufolge vergleichsweise stabil zu sein scheint. Dies bestätigt insbesondere auch die numerisch gesehen höhere arabinoxylanspaltende Enzymaktivität des Monoenzympräparates Ronozyme im Verdauungsabschnitt Colon im Vergleich zu den Verhältnissen bei Kontroll- und Multienzympräparat-Gruppe (vgl. Abbildung 16).

Mit der offensichtlich größeren Stabilität des Monoenzympräparates Ronozyme im Vergleich zum Multienzympräparat Roxazyme kann man auch den unter Punkt 6.5 diskutierten, vergleichsweise stärkeren Einfluss des Ronozymes auf die Digestiviskosität im Colon erklären.