

Praeileale Stärkeverdauung in Abhängigkeit von Stärkeart und -zubereitung

Ellen Kienzle, Simone Radicke, S. Wilke, Elisabeth Landes und H. Meyer

Institut für Tierernährung der Tierärztlichen Hochschule Hannover

Schlüsselwörter: Pferd, Stärkeverdauung, Dünndarm

Einleitung

In der Ernährung freilebender Equiden spielt Stärke eine untergeordnete Rolle. In der modernen Sportpferdehaltung wird dagegen im Mittel etwa $\frac{1}{3}$ der Energie in Form von Stärke bereitgestellt, in Extremfällen sogar bis zu 40 Prozent (berechnet nach Erhebungen von Zmija, 1991). Für die Gesamtverdaulichkeit der Stärke verschiedener Herkunft liegen hinreichend Ergebnisse vor (Arnold et al., 1981). In Hinblick auf die energetische Ausnutzung, aber auch die Verträglichkeit dieses wichtigen Futterinhaltsstoffs ist jedoch die Verdauung im Dünndarm entscheidend. Beim Pferd liegen bisher verlässliche Aussagen über die Verdaulichkeit der Stärke bis zum Dünndarmende nur für mikronisiertes Material vor (Potter et al., 1992), Daten über unbehandeltes oder mechanisch zerkleinertes Getreide fehlen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, die praeileale Verdaulichkeit verschiedener Stärkearten (Mais, Hafer) in Abhängigkeit von der Zubereitung (heil, gebrochen bzw. gequetscht, geschrotet) bei jejunumfistulierten Pferden bei möglichst repräsentativer Probenahme zu überprüfen. Um Anhaltspunkte über die praeileale mikrobielle Aktivität zu erhalten, erfolgte außerdem die Bestimmung verschiedener Parameter des mikrobiellen Stoffwechsels (Lactat, kurzkettige Fettsäuren, pH) im Jejunumchymus.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 6 Kleinpferde (Körpermasse [KM] 157 bis 273 kg, 2 Stuten, 2 Wallache, 2 Hengste) in der Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule mit einer Fistel am terminalen Jejunum versehen (OP-Technik und Wartung s. Gerhards et al., 1991). Die Pferde erhielten Mais und Hafer in jeweils 3 Zubereitungen, geschrotet, gequetscht bzw. gebrochen und heil. Die Rationsgestaltung wurde so gewählt, daß die Stärkeaufnahme bei der Morgenfütterung in allen Gruppen annähernd bei 2 g/kg KM lag (Tab. 1). Da Mais stärkereicher ist als Hafer, unterschied sich die Getreidezuteilung entspre-

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die praeileale Stärkeverdaulichkeit von Mais und Hafer überprüft. 6 Pferde mit einer Fistel im terminalen Jejunum erhielten Mais bzw. Hafer in 3 Zerkleinerungsgraden (heil, gequetscht bzw. gebrochen, geschrotet; 2 Mahlzeiten in 12stündigem Abstand, Stärkeaufnahme bei der Morgenfütterung ca. 2 g/kg KM). Eine Grünmehlzulage erfolgte bei heilem, gequetschtem und gebrochenem Getreide nur abends, bei geschrotetem dagegen bei beiden Mahlzeiten. Nach der Morgenfütterung wurde stündlich für je 15 Minuten nach der Fütterung Chymus aufgefangen (geschrotetes Getreide 3.-7., übrige Rationen 1.-11. Stunde). Als Marker diente Chromoxid. Die Bestimmung der Stärke erfolgte polarimetrisch. Im frischen Chymus wurde nach Fütterung von heilem oder gebrochenem bzw. gequetschtem Getreide der pH-Wert sowie die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren (gaschromatographisch) und des Lactats (enzymatisch) bestimmt. Die praeileale Verdaulichkeit der Haferstärke war bei vergleichbarem Zerkleinerungsgrad signifikant niedriger als die der Maisstärke. Schroteten erbrachte bei beiden Getreiden eine deutliche Verbesserung der praeilealen Verdaulichkeit (Haferschrot 98,1 Prozent; Maisschrot 70,6 Prozent), während Quetschen oder Brechen wenig effektiv war (heiler Hafer 83,5 Prozent; Quetschhafer 85,2 Prozent; heiler Mais 28,9 Prozent, Bruchmais 29,9 Prozent). Der Gehalt an organischen Säuren im Jejunumchymus war postprandial bei Hafer signifikant höher als bei Maisfütterung, der pH-Wert verhielt sich umgekehrt (5. Stunde postprandial: Lactat: Hafer 27,8, Mais 16,6 mmol/l; kurzkettige Fettsäuren: Hafer 8,1, Mais 5,0 mmol/l; pH: Hafer 7,01, Mais 7,32).

Praeileal starch digestion in relation to source and preparation of starch

In this investigation praeileal starch digestibility of maize and oats was determined. Six horses with a cannula in the terminal jejunum were fed maize or oats in 3 degrees of processing (whole, rolled or broken resp. and ground). Two meals per day were offered in 12 hour intervals, starch intake with the morning meal amounted to 2 g/kg BW. Grass meal was added to the evening meal only for whole, rolled or broken cereals, to both meals for ground material. After the morning meal jejunal chyme was collected hourly for 15 minutes (ground material 3.-7. hour, other diets 1.-11. hour postprandially). Chromic oxide was used as a marker. Starch was determined polarimetrically. In fresh chyme pH, lactate (enzymatically) and short chain fatty acid concentration (gas chromatography) were investigated. Praeileal digestibility of oats starch was significantly higher than in maize starch, if the same degree of processing was compared. Grinding led to a considerable improvement of praeileal starch digestibility in both cereals (ground oats 98.1 per cent; ground maize 70.6 per cent), while rolling or breaking had little effect (whole oats 83.5 per cent; rolled oats 85.2 per cent, whole maize 28.9 per cent, broken maize 29.9 per cent). The concentration of organic acids in the jejunal chyme increased postprandially, while pH decreased. This effect was significantly greater in oats than in maize (5. hour postprandial: lactate: oats 27.8, maize 16.6 mmol/l, short chain fatty acids: oats 8.1, maize 5.0 mmol/l, pH: oats 7.01, maize 7.32).

chend. Getreide wird ohne Rauhfutterzusatz von Pferden nicht längerfristig aufgenommen, daher mußte Grünmehl zugelegt werden. Bei den ersten beiden Versuchsdurchgängen mit geschrotetem Getreide (MS, HS) wurde morgens und abends das Getreide in Verbindung mit Grünmehl gefüttert, beide Mahlzeiten waren hier gleich groß. Bei den übrigen 4 Rationen wurde die Grünmehlzulage auf abends beschränkt, dafür wurde abends weniger Getreide gefüttert. Diese Versuchsanstellung gewährleistete eine zügige

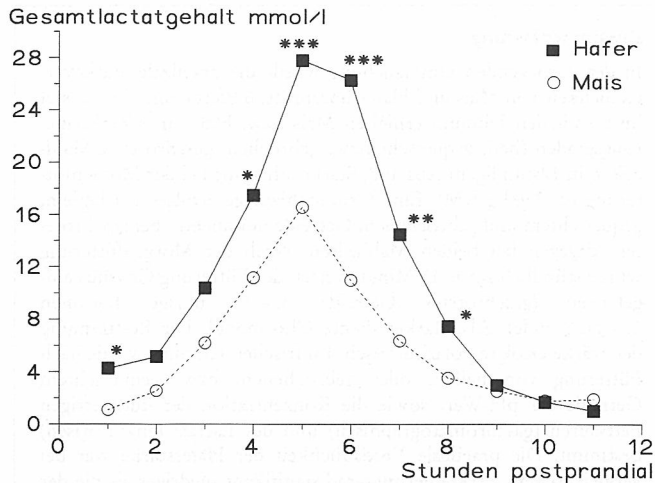


Abb. 1: Postprandialer Verlauf der Lactatkonzentration im Jejunumchymus nach Fütterung von Hafer (heil, gequetscht, n > 36) oder Mais (heil, gebrochen, n > 36). Signifikante Differenz zwischen Mais und Hafer im paarigen t-Test bei paarweiser Zuordnung des jeweils 1. bis 5. Versuchstages des betreffenden Pferdes bei den Rationen hH und hM bzw. QH und BM: * p < 5 Prozent, ** p < 1 Prozent, *** p < 0,1 Prozent.

und weitgehend vollständige Aufnahme des Getreides und hatte außerdem den Vorteil, daß während der 11stündigen Chymussammlung tagsüber das Grünmehl nicht interferierte. Als Marker wurde Chromoxid verwendet in einer Dosierung von 0,25 Prozent der Trockensubstanz (TS). Die Versuchsdurchgänge mit geschrotetem Getreide (MS, HS) wurden mit je 2, die übrigen (hM, hH, BM, QH) mit je 4 der insgesamt 6 fistulierten Kleinpferde durchgeführt. Bei jedem Tier wurde 5 Tage Chymus gesammelt. Die Probenahme erfolgte stündlich. Die Fistel wurde für je 15 Minuten geöffnet und der spontan abfließende Chymus aufgefangen. Bei den Rationen mit geschrotetem Getreide war der Chymus von sehr gleichmäßiger Beschaffenheit, so daß die Sammlung auf die 3. bis 7. Stunde postprandial beschränkt wurde, bei den 4 anderen Rationen wurde von der 1. bis zur 11. Stunde nach der Fütterung Chymus aufgefangen. Dies entspricht bei den Rationen MS und HS

einer Sammelzeit von 10 Prozent und bei den übrigen von 23 Prozent der Zeit zwischen Morgen- und Abendfütterung. In dieser Zeit wurden im Mittel jeweils 15 bzw. 21 Prozent des Markers wiedergefunden. Die Proben können daher als repräsentativ angesehen werden.

Die Stärkebestimmung im Chymus erfolgte polarimetrisch. Eine ausreichende Klärung konnte durch den Einsatz einer größeren Menge an Carrezlösungen erreicht werden (Radicke, 1990). Bei den beiden Durchgängen mit Schrot wurden die Resultate parallel enzymatisch überprüft. Die Chrombestimmung erfolgte nach Petry und Rapp (1970). Frischer Chymus wurde bei den Versuchsdurchgängen hH, Qh, hM und BM außerdem stündlich mit einem pH-Meter auf den pH untersucht sowie für die Untersuchung von Lactat (Enteweißung mit Perchlorsäure) und kurzkettigen Fettsäuren (Abzentrifugieren der Partikel, Zugabe von 10 Prozent Ameisen- und 4-Methylvaleriansäuregemisch 100 + 1) vorbereitet. Die Lactatbestimmung erfolgte enzymatisch mit L- bzw. D-Lactatdehydrogenase und NAD in Glycin-Hydrazin-Puffer, die der kurzkettigen Fettsäuren gaschromatographisch. Der Chymus wurde außerdem qualitativ mit der Lupe, licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die praeileale Verdaulichkeit der Haferstärke war bei vergleichbarem Zerkleinerungsgrad signifikant höher als die der Maisstärke. Schrotten erbrachte bei beiden Getreiden eine deutliche Verbesserung der praeilealen Verdaulichkeit, während Quetschen oder Brechen wenig effektiv war (Tab. 2). Die geringe Verdaulichkeit des heilen und des gebrochenen Maises war nach Beobachtungen zur Beschaffenheit des Chymus nicht überraschend. Während der Chymus bei Fütterung des Hafers weitgehend homogen war und nur vereinzelt heile Haferkörner enthielt, traten nach Aufnahme von heilem oder gebrochenem Mais große Mengen an makroskopisch erkennbaren Mais Kornpartikeln im Jejunumchymus auf. Diese Beobachtungen zeigen, daß die botanische Struktur des Getreidekorns, die beim Schrotten, nicht aber beim Brechen oder Quetschen weitgehend zerstört wird, eine erhebliche Rolle für die Stärkever-

Tab. 1: Rationsgestaltung und Futteraufnahme (g pro kg KM/d)

Stärkeherkunft Abkürzung	Maisschrot MS	Bruchmais BM	heiler Mais hM	Haferschrot HS	Quetschhafer QH	heiler Hafer hH
Morgens						
Getreide	2,3	2,8	2,6	3,5	4,0	4,6
Grünmehl ¹	2,3	-	-	1,1	-	-
Stärke	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	2,0
Abends						
Getreide	2,3	1,4	1,3	3,5	1,9	2,3
Grünmehl ¹	2,3	3,3	3,2	1,1	2,9	3,2
Stärke	1,8	1,1	1,0	1,8	0,9	1,0

¹ zusätzlich Mineralfutter

daulichkeit spielt. Die Beschaffenheit der Stärkegranula, die bei allen Rationen lichtmikroskopisch wenig verändert im Chymus nachgewiesen wurden, ist erst nach Aufbruch der Struktur des Getreidekorns durch Schrotten von ausschlaggebender Bedeutung. Wie rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen (Pohlenz et al., 1992), werden Maisstärkegranula durch Korrosionskanäle nur punktuell abgebaut, während Haferstärkegranula in kleinere Unterheiten zerfallen, die rundherum gleichmäßig von den Amylasen angegriffen werden können.

Nicht nur zwischen den Rationen, sondern auch zwischen den Pferden bestanden erhebliche Unterschiede hinsichtlich der praeilealen Stärkeverdaulichkeit. Bei Fütterung von heilem Mais waren die Differenzen am höchsten. Die geringste praeileale Verdaulichkeit wies bei dieser Ration ein Versuchspferd auf, das auffallend schlecht kaute ($1,0 \pm 19,3\%$, $n = 5$). Dagegen wurde die höchste bei dem Pferd beobachtet ($49,8 \pm 16,6\%$; $n = 5$), das das Futter am gründlichsten zerkleinerte. Bei den anderen Rationen bestanden ebenfalls Unterschiede zwischen den Pferden, wobei in der Regel Pferde mit höherer Amylaseaktivität im Chymus (Radicke et al., 1992) zu höheren Verdaulichkeiten tendierten. Da das Kauverhalten und die Amylaseaktivität nicht gleichsinnig verteilt waren, ergaben sich zwischen Pferden und Rationen signifikante Wechselwirkungen.

Die unterschiedliche praeileale Verdaulichkeit der Stärke hat erhebliche Konsequenzen für die energetische Bewertung. Während die im Dünndarm aus Stärke freigesetzten Zucker dem Tier vollständig zur Verfügung stehen, wird die in den Dickdarm einfließende Stärke mikrobiell fermentiert unter Entstehung von nicht nutzbarer Wärme und Gasen. Dieser Energieverlust beträgt nach vorläufiger Erfahrung bei anderen monogastrischen Species etwa 40 Prozent (Livingstone und Fowler, 1987).

Allerdings trat bereits im Jejunumchymus ein erheblicher postprandialer Anstieg der Lactatkonzentration (x ; mmol/l) begleitet von einem Absinken des pH-Wertes (y) auf ($y = 7,98 - 0,0004x$; $r = 0,84^{**}$, $n = 848$). Dieser Effekt war bei Haferfütterung ausgeprägter als bei Maisfütterung (Abb. 1), Unterschiede zwischen heilen und gebrochenen

bzw. gequetschten Körnern bestanden jedoch nicht. Das Maximum der Lactatkonzentration bzw. Minimum des pH-Wertes (Hafer: 1. Stunde postprandial $7,86 \pm 0,36$, $n = 39$; 5. Stunde $7,01 \pm 0,69$; $n = 38$); Mais: $8,00 \pm 0,19$; $n = 39$ bzw. $7,32 \pm 0,75$, $n = 38$) wurde im Mittel 5 Stunden postprandial beobachtet. Das Lactat lag zu über 90 Prozent in der L-Form vor. Die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren war bei Hafer ebenfalls höher als bei Mais (5. Stunde: Hafer $8,1 \pm 3,9$, $n = 35$, Mais $5,0 \pm 4,8$ mmol/l, $n = 36$), sie war jedoch erheblich niedriger als im Caecum, wo bei gleicher Fütterung etwa 3- bis 5mal höhere Werte gemessen wurden (Landes, 1992).

Diese Ergebnisse zeigen, daß praeileal leichter verdauliche Stärke auch für die mikrobielle Fermentation in diesem Abschnitt des Verdauungskanals besser verfügbar ist. Damit steigt möglicherweise das Risiko für Fehlgärungen im praeilealen Bereich, vor allem im Magen. Umgekehrt gelangt von der schwerverdaulichen Stärke aus unzerkleinerten Maiskörnern zwar mehr in den Dickdarm, die groben Maispartikel können aber möglicherweise auch dort nur langsam fermentiert werden, so daß das Risiko für eine Caecumacidose nicht so hoch ist, wie wenn eine vergleichbare Menge an leichtverdaulicher Stärke in den Blinddarm gelangt. Dies könnte z. B. der Fall sein, wenn so große Mengen an leicht abbaubarer Stärke aufgenommen werden, daß die Kapazität des Dünndarms zur Verdauung dieser Stärke überschritten wird. Ergebnisse von Potter et al. (1992) zeigen, daß dies auch bei leichtverdaulicher Stärke aus mikronisiertem Getreide möglich ist, die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm nahm bei seinen Untersuchungen mit steigender Aufnahme ab.

Literatur

- Arnold, F. F., Potter, G. D., Kreider, J. L., Schelling, G. T., und Jenkins, W. L. (1981): Carbohydrate digestion in the small and large intestine of the equine. Proc. 7th Equine Nutr. Physiol. Symp., 19 - 22.
Gerhardts, H., Radicke, S., und Hipp, K.-P. (1991): Anlage, Pflege und Nutzung von Dünndarmfisteln bei Ponys. Pferdeheilkde. 7, 243 - 248.

Tab. 2: Praeileale Verdaulichkeit der Stärke

Ration	Verdaulichkeit %	Versuchstage insgesamt	Pferde
Hafer			
heil hH	83,50 ± 9,45*	20	4
gequetscht QH	85,23 ± 13,38*	20	4
geschrotet HS	98,05 ± 1,64**	10	2
Mais			
heil hM	28,93 ± 25,03*	20	4
gebrochen BM	29,91 ± 19,83*	20	4
geschrotet MS	70,56 ± 23,24**	10	2

Mittelwert ± Standardabweichung, Tukey-Test für Mittelwertvergleich nach Getreideart/Zerkleinerungsgrad unterteilt geprüft, $p < 5\%$

* signifikante Differenz zwischen Mais und Hafer

signifikanter Einfluß des Zerkleinerungsgrades

Landes, E. (1992): Amylaseaktivität sowie Konzentration organischer Säuren im Jejunum- und Caecumchymus des Pferdes nach Hafer- und Maisfütterung. Vet. Diss., Hannover.

Livingstone, R. H., und Fowler, V. R. (1987): The correction of digestive energy for fermentative losses: a simple concept for the evaluation of unusual feed sources for pigs. 38. Jahrestag. EAAP, Lissabon.

Petry, H., und Rapp, W. (1970): Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Verdauungsversuchen. Z. Tierphysiol. 27, 181 - 189.

Pohlenz, J., Kienzle, E., und Radicke, S. (1992): Qualitative, licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Stärkeverdaulichkeit beim Pferd. Unveröffentlicht.

Potter, G. D., Arnold, F. F., Householder, D. D., Hansen, D. H., und Brown, K. M. (1992): Digestion of starch in the small or large intestine of the equine. Pferdeheilkunde, Sonderheft, 107-111.

Radicke, S. (1990): Untersuchungen zur Verdauung von Mais- und Haferstärke beim Pferd. Vet. Diss., Hannover.

Radicke, S., Landes, E., Kienzle, E., und Meyer, H. (1992): Aktivität der Amylase im Dünndarmchymus in Abhängigkeit von der Futterart. Pferdeheilkunde, Sonderheft, 99-102.

Zmija, G. (1991): Fütterungspraxis bei Galopp- und Trabrennpferden. Vet. Diss., Hannover.

Priv.-Doz. Dr. Ellen Kienzle
 Institut für Tierernährung
 Tierärztliche Hochschule Hannover
 Bischofsholer Damm 15
 3000 Hannover 1

Die Amylaseaktivität im Jejunum- und Caecumchymus des Pferdes wurde nach Hafer- und Maisfütterung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Amylaseaktivität im Jejunum nach Haferfütterung signifikant höher war als nach Maisfütterung. Im Caecum hingegen war die Amylaseaktivität nach Maisfütterung signifikant höher als nach Haferfütterung. Dies deutet darauf hin, dass die Verdauung von Stärke im Jejunum vorzuziehen ist, während die Verdauung von Stärke im Caecum weniger effizient ist. Die Konzentration organischer Säuren im Jejunum- und Caecumchymus wurde ebenfalls untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Konzentration organischer Säuren im Jejunum nach Haferfütterung signifikant höher war als nach Maisfütterung. Im Caecum hingegen war die Konzentration organischer Säuren nach Maisfütterung signifikant höher als nach Haferfütterung. Dies deutet darauf hin, dass die Verdauung von Stärke im Jejunum zu einer höheren Produktion von organischen Säuren führt, während die Verdauung von Stärke im Caecum zu einer niedrigeren Produktion von organischen Säuren führt.

Tab. 2: Stärkeverdaulichkeit im Jejunum und Caecum des Pferdes

Verdauungsorgan	Futterart	Stärkeverdaulichkeit (%)
Jejunum	Hafer	~85
	Mais	~75
Caecum	Hafer	~65
	Mais	~75

Die Stärkeverdaulichkeit im Jejunum und Caecum des Pferdes wurde nach Hafer- und Maisfütterung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Stärkeverdaulichkeit im Jejunum nach Haferfütterung signifikant höher war als nach Maisfütterung. Im Caecum hingegen war die Stärkeverdaulichkeit nach Maisfütterung signifikant höher als nach Haferfütterung. Dies deutet darauf hin, dass die Verdauung von Stärke im Jejunum vorzuziehen ist, während die Verdauung von Stärke im Caecum weniger effizient ist.