

Palatinit®-Verdaulichkeit, Umsetzbarkeit und Verwertung der Energie im Modellversuch an Sauen

M. Kirchgeßner und H. L. Müller

Institut für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität München
in Freising-Weihenstephan

Zusammenfassung

In einem Respirationsversuch mit 12 ausgewachsenen Sauen wurde die Auswirkung einer Palatinitzulage auf die Energie- und Stickstoffbilanz geprüft. Als Vergleichsdiäten dienten eine gerade den Erhaltungsbedarf deckende Grundration sowie eine zur Palatinitzufuhr isokalorische Saccharosediat.

Die scheinbare Verdaulichkeit der Energie lag für Palatinit bei 91,0 %, während Saccharose vollständig verdaut wurde. Die fäkale N-Ausscheidung war bei der Palatinitdiät gegenüber der Grunddiät und der Saccharosediat um 50 % erhöht. Die Energieverluste über Harn und CH₄ beliefen sich auf etwa 1 % der zugeführten Palatinitenergie. Die Verwertung der umsetzbaren Energie für die Retention von Körperenergie betrug bei Palatinit 68,9 %, bei Saccharose 75,3 %. Unter Berücksichtigung aller Verluste wurden bei Verabreichung der Energie in Form von Palatinit 62 % und in Form von Saccharose 74,5 % im Körper angesetzt.

Summary

A respiration trial with 12 adult sows was conducted as a balanced incomplete block design to study the effect of Palatinit on energy and nitrogen balance. The treatments were the basal diet fed at maintenance level alone or with the addition of sucrose and Palatinit, respectively.

The apparent digestibility of the energy of Palatinit was 91.0 %, whereas sucrose was completely digested. The fecal excretion of nitrogen after feeding of Palatinit increased about 50 % as compared to the group's basal diet and basal diet plus sucrose. The urine energy excretion and the methane losses amounted to 1 % of the ingested energy of Palatinit. The efficiency of utilization of metabolizable energy was 68.9 % for Palatinit and 75.3 % for sucrose. Altogether, the results show that 62 % of the Palatinit energy and 74.5 % of the sucrose energy were retained as body energy.

Schlüsselwörter: Zuckeraustauschstoff, Palatinit, Saccharose, Energiebilanz, Gaswechsel, Stickstoffbilanz

Einleitung

Neben günstigen technologischen Eigenschaften und geringer Kariogenität wird für den Zuckeraustauschstoff Palatinit® (Palatinit® ist ein registriertes Warenzeichen der Süddeutschen Zucker-AG, Mannheim) im Vergleich zur Saccharose auch der Vorteil einer energetischen Mindernutzung hervorgehoben. Aufgrund von Stoffwechselfersuchen an Ratten ist die Energieretention bei Palatinitzulage um ein Drittel niedriger als bei

isoenergetischer Saccharosezulage einzuschätzen (9). Die insgesamt schlechtere Energieausnutzung von Palatinit ist dabei auf verschiedenen Ebenen des Energieumsatzes im Stoffwechsel zu diskutieren. In einem Respirationsversuch mit Sauen bei vollständiger Erfassung des Gas- und Energiewechsels sollten deshalb neben der energetischen Verwertung des Palatinit vor allem die verschiedenen Arten der dabei auftretenden Energieverluste gemessen werden. Als Referenzsubstanz wurde Saccharose verwendet.

Material und Methodik

Der Versuch wurde mit 12 ausgewachsenen, nichttragenden Sauen (194 ± 23 kg Lebendmasse) nach einem balancierten, unvollständigen Blockplan durchgeführt. Als Futter wurde den Tieren eine Grunddiät (G) bzw. eine mit 30 % Palatinit (P) oder 30 % Saccharose (S) gemischte Grunddiät verabreicht. Jedes Tier erhielt in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsperioden zwei verschiedene Rationen, so daß sich bei den drei vorhandenen Behandlungen acht Wiederholungen je Behandlung ergaben.

Die Grunddiät bestand aus 68 % Gerste, 8 % Hafer, 5 % Sojaextraktionsschrot, 2 % Fischmehl, 10 % Weizenkleie, 5 % Luzernegrünmehl und 2 % Mineralstoff-Vitamin-Mischung. Das Futter wurde in mehliger Form verabreicht und auf täglich zwei Mahlzeiten aufgeteilt. Die Kalkulation der Grundration war auf das Erhaltungsniveau ausgerichtet und belief sich auf 2000 g/Tier. In den Behandlungen P und S wurden zu dieser Grundfuttermenge täglich 600 g Palatinit bzw. Saccharose zuge-mischt.

Je Tier und Behandlung wurde stets eine vollständige Bilanzmessung durchgeführt. Sie umfaßte eine Stoffwechselperiode von 3 Wochen, untergliedert in eine Vorperiode, eine 7tägige Sammelperiode (Kot, Harn) und eine sich unmittelbar anschließende 48stündige Messung des Gaswechsels in der Respirationskammer. In Behandlung P war es nötig, die Vorperiode auf 24 Tage zu erweitern, um die Tiere an Palatinit zu adaptieren. Die Adaptation erfolgte in zwei Stufen mit 15 % Palatinitzulage (= 300 g/d) in den ersten 5 Tagen und 22,5 % (= 450 g/d) weitere 7 Tage lang, bis die endgültige Zulage von 30 % in der eigentlichen Vorperiode erreicht war. Die Adaptationsphase verlief bei allen Tieren problemlos.

Die 7tägige Harnsammlung wurde über Dauerkatheter vorgenommen. Gegenüber den üblichen Verfahren mittels mechanischer Vorrichtungen konnte dadurch der Harn nicht nur exakter erfaßt werden, sondern es war auch gewährleistet, daß keinerlei Vermengung von Harn und Kot eintrat. Die Messung des Gaswechsels der Tiere erfolgte in Respirationskammern nach dem offenen System bei kontinuierlicher Erfassung des Luftdurchsatzes und der Konzentrationswerte an O_2 , CO_2 und CH_4 . Die Lufttemperatur betrug $20^\circ C$, die relative Feuchtigkeit 60 %. Aus den Respirationsdaten und den in der Sammelperiode festgestellten Meßdaten an Stickstoff, Kohlenstoff und Energie im Futter, Kot und Harn der Tiere wurde die N-Bilanz und Energiebilanz ermittelt. Die Energieretention wurde nach der CN-Methode, d. h. aus der C-Bilanz und der N-Bilanz gemäß der Formel $RE (kJ) = 51,76 \cdot C (g) - 19,47 \cdot N (g)$, berechnet. Die Wärmeproduktion ergibt sich dabei als Differenz zur umsetzbaren Energie. Zur Bilanzkontrolle wurde die Wärmeproduktion zusätzlich aus den Daten des Gaswechsels ermittelt (RQ-Methode, 1).

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte wegen der unvollständigen Datenstruktur des vorgegebenen Versuchsplanes mit Hilfe der Kleinstquadrat-Methode. In den Ergebnistabellen sind Mittelwerte und Standardfehler der Behandlungsmittel (s_e) angegeben. Der paarweise Vergleich der Behandlungen erfolgte nach dem Bonferroniverfahren. Mittelwerte innerhalb einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind mit $P < 0,05$ signifikant verschieden.

Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Energiebilanz, dargestellt als MJ pro Tier und Tag, gibt Tabelle 1 wieder. Die fäkale Energieausscheidung bei der Saccharosediät stimmt trotz einer um rund 10 MJ höheren Energiezufuhr mit derjenigen bei Verabreichung der Grundration überein. Bei der Palatinitzugabe ist dagegen eine um 0,87 MJ bzw. um 12 % höhere Kotenergie gegenüber der Grunddiät zu verzeichnen. Die renale Energieausscheidung erhöhte sich bei Palatinit- und Saccharosezugabe um 13 bzw. 11 % ($P \approx 0,10$). Die Methanbildung ist insgesamt unbedeutend – 0,75 % der Bruttoenergie bei der Grunddiät – und fällt von 0,24 MJ mit Zugabe von Saccharose zufällig auf 0,21 MJ und bei Palatinitzugabe auf 0,15 MJ ab. Als Folge der erhöhten Kotenergie und der nur wenig veränderten Harnenergie ist die umsetzbare Energie bei der Palatinitdiät im Vergleich zur Saccharosediät um etwa 1 MJ reduziert.

Tab. 1. Energiebilanz, MJ/d.

	G	P	S	s _x
Aufnahme (GE)	32,13	41,76	42,05	–
Kot	7,07 ^a	7,94 ^b	7,08 ^a	0,16
verdauliche Energie (DE)	25,06 ^a	33,82 ^b	34,97 ^c	0,16
Harn	1,19 ^a	1,35 ^a	1,32 ^a	0,04
CH ₄	0,24 ^b	0,15 ^a	0,21 ^{ab}	0,02
umsetzbare Energie (ME)	23,63 ^a	32,31 ^b	33,44 ^c	0,15
Wärme	23,20 ^a	25,90 ^b	25,62 ^b	0,20
Energieretention (RE)	0,43 ^a	6,41 ^b	7,82 ^c	0,21
Fettenergie	0,13 ^a	5,62 ^b	7,16 ^c	0,23
Proteinenergie	0,30 ^a	0,79 ^a	0,66 ^a	0,25
		Zulagewirkung		
		Palatinit	Saccharose	
GE		9,63	9,92	
Kot		0,87 ^b	0,01 ^a	
DE		8,76 ^a	9,91 ^b	
Harn		0,16 ^a	0,13 ^a	
CH ₄		-0,09 ^a	-0,03 ^a	
ME		8,68 ^a	9,81 ^b	
Wärme		2,70 ^a	2,42 ^a	
RE		5,98 ^a	7,39 ^b	
RE-Fett		5,49 ^a	7,03 ^b	
RE-Protein		0,49 ^a	0,36 ^a	

Tab. 2. Gaswechsel, l/d.

	G	P	S	s _x
Sauerstoff	1139 ^a	1233 ^b	1205 ^b	13
Kohlendioxid	1067 ^a	1244 ^b	1268 ^b	9
Methan	6,0 ^b	3,9 ^a	5,3 ^{ab}	0,5

Tab. 3. Verdaulichkeit (VQ, %) und Verwertung (%) der Energie und des Stickstoffs der Gesamtration.

	G	P	S	s _x
VQ-Trockenmasse	77,8 ^a	81,6 ^b	83,4 ^c	0,4
VQ-Energie	78,0 ^a	81,0 ^b	83,1 ^c	0,4
ME/GE	73,6 ^a	77,4 ^b	79,5 ^c	0,4
RE/ME	1,3 ^a	19,9 ^b	23,3 ^c	0,8
VQ-Stickstoff	80,2 ^b	70,3 ^a	82,0 ^b	1,1
N-Retention/N-Aufnahme	4,6 ^a	12,3 ^a	10,2 ^a	3,9
N-Retention/N verdaut	5,3 ^a	16,4 ^a	13,0 ^a	5,1

Die Wärmebildung wurde sowohl durch Saccharose als auch durch Palatinit gesteigert, zwischen diesen beiden Versuchsbehandlungen ist keine wesentliche Differenz zu verzeichnen. Wird die tägliche Wärmeproduktion aus den Werten des Gasumsatzes (Tab. 2) berechnet, so ergeben sich für die Grundration 23,6 MJ, für die Palatinitdiät 26,0 MJ und für die Saccharosediat 25,7 MJ. Diese Resultate decken sich mit den in Tabelle 1 ermittelten Werten der Wärmeproduktion. Hinsichtlich der Energieretention befanden sich die Tiere bei Verabreichung der Grundration nahezu im energetischen Erhaltungsgleichgewicht. Die Zulage von Palatinit erhöhte die Energieretention um 6,0 MJ, Saccharose um 7,4 MJ. Der Unterschied zwischen beiden Zulagen in Höhe von 1,4 MJ bzw. 22 % ist signifikant. Die Energie wurde in beiden Zulagegruppen im wesentlichen als Fett abgelagert, die sich auf etwa 10 % des Energieansatzes belaufende Retention von Proteinenergie zeigte keinen Behandlungseffekt.

Die Relativwerte des Energieumsatzes sind in Tabelle 3 aufgezeigt. Sowohl die Verdaulichkeit der Energie als auch die Umsetzbarkeit der Energie (ME/GE) und der energetische Gesamtwirkungsgrad (RE/ME) sind zwischen den Behandlungen signifikant verschieden. Aus den Daten

Tab. 4. N-Bilanz, g/d.

	G	P	S	s _x
N-Aufnahme	43,4	43,4	43,0	—
N im Kot	8,6 ^a	12,9 ^b	7,7 ^a	0,5
N verdaut	34,7 ^b	30,6 ^a	35,3 ^b	0,6
N im Harn	32,7 ^b	25,3 ^a	30,8 ^{ab}	1,8
N-Retention	2,0 ^a	5,3 ^a	4,4 ^a	1,7
	Zulagewirkung			
		Palatinit	Saccharose	
N-Aufnahme		0	-0,4	
N im Kot		4,3 ^b	-0,9 ^a	
N verdaut		-4,1 ^a	0,6 ^b	
N im Harn		-7,4 ^a	-1,9 ^a	
N-Retention		3,3 ^a	2,4 ^a	

der Zulagewirkung (Tab. 1) geht hervor, daß die partielle Verdaulichkeit bzw. Umsetzbarkeit der Energie von Palatinit 91,0 % ($s_{\bar{x}} = \pm 1,7\%$) bzw. 90,1 % ($\pm 1,6\%$) betrug. Für Saccharose lauten die entsprechenden Werte 99,9 % ($\pm 1,6\%$) bzw. 98,9 % ($\pm 1,5\%$). Die partielle Effizienz der umsetzbaren Energie für den Fett- und Proteinansatz ($\Delta RE/\Delta ME$) belief sich bei Palatinit auf 68,9 % ($\pm 2,7\%$), bei Saccharose auf 75,3 % ($\pm 2,4\%$).

In Tabelle 4 sind die verschiedenen Kriterien der N-Bilanz zusammengestellt. Bei gleicher täglicher N-Zufuhr in allen drei Diäten lag die N-Ausscheidung im Kot bei Verabreichung der Palatinitdiät mit 12,9 g um 50 % höher als in der Grundration. Die Zulage an Zucker erhöhte dagegen den Kot-N nicht. Andererseits betrug die täglichen N-Verluste im Harn bei der Palatinitzulage nur 25,3 g. Dadurch ergibt sich ein Ausgleich zur höheren fäkalen N-Exkretion, so daß bei der Retention an Stickstoff keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festzustellen sind. Auch die Relativwerte spiegeln diese Verhältnisse wider (siehe Tab. 3).

Diskussion

Bei der energetischen Ausnutzung von Palatinit, einem Substanzgemisch der Disaccharidalkohole α -D-Glucopyranosido-1,6-sorbit und α -D-Glucopyranosido-1,6-mannit, sind im Vergleich zur Saccharose sowohl verdauungsphysiologische als auch intermediäre Aspekte zu diskutieren.

Verdauungsphysiologisch wurde gezeigt, daß Palatinit von intestinalen α -Glucosidasen langsamer gespalten wird als Saccharose (2, 6). Diese verringerte Hydrolyse im Dünndarm führt zu einer Verlagerung von Palatinit und seiner Spaltprodukte in den Dickdarm, die damit als Substrate für mikrobielle Umsetzungen zur Verfügung stehen. Gesteigerte Mikrobentätigkeit mit der Folge erhöhter N-Exkretion im Kot wird sowohl im vorliegenden Versuch als auch bei Palatinitzulagen an Ratten (4) gefunden. Verbunden damit ist eine Reduzierung der N-Ausscheidung im Harn, wobei diese Verlagerung im N-Umsatz vom Harn zum Kot bei ausgewachsenen Tieren ohne Proteinretentionsvermögen als eindeutig anzusehen ist. Auch in anderen Fällen wurde bei Stimulierung des mikrobiellen Abbaues eine erhöhte N-Exkretion im Kot festgestellt, so bei intestinalen Glucosehemmern und bei Cellulosefütterung (3, 7). Eine unterschiedliche Verdauung von Palatinit und Saccharose wird auch durch das Fehlen eines postprandialen Anstiegs der Insulinaktivität im Serum bei Zulage von Palatinit belegt (4). Die in vorliegendem Versuch gemessenen Verdaulichkeiten von 90 % für Palatinit und von nahezu 100 % für Saccharose decken sich weitgehend mit Ergebnissen bei Ratten (4).

In der Ausscheidung von Energie im Harn trat zwischen der Palatinit- und der Saccharosezulage kein wesentlicher Unterschied auf. Unterstellt man, daß die verringerte Harn-N-Ausscheidung in der Palatinitgruppe entsprechend einer Harnstoffenergie von 124 kJ/d durch Ausscheidung von Palatinit bzw. seiner Hexite energetisch kompensiert wurde, ergeben sich etwa 7 g/d. Das sind 1,3 % der zugeführten Palatinitenergie. Diese Kalkulation stimmt sehr gut mit Meßergebnissen an der Ratte überein, bei der 1,4 % der zugeführten Palatinitenergie als Palatinitausscheidung im Harn nachgewiesen wurden (4). Damit wird deutlich, daß die Ausschei-

dung von nicht verstoffwechseltem Palatinit im Harn im Rahmen der gesamten Zulage an Palatinitenergie quantitativ keine Rolle spielt. Trotz aller Hinweise auf verstärkte mikrobielle Umsetzungen bei Palatinit konnte in vorliegendem Versuch keine erhöhte CH₄-Produktion festgestellt werden. Möglicherweise finden methanogene Bakterien unter den gegebenen Substratverhältnissen keine Entwicklungsbedingungen, bzw. CO₂ kann nicht zu Methan reduziert werden, weil im Fermentationsprozeß vorzugsweise andere Wasserstoffakzeptoren auftreten.

Betrachtet man die Wirkung der Palatinitzulage und Saccharosezulage insgesamt, so zeigen die Resultate, daß von der zugeführten Energie bei Palatinit 62 % und bei Saccharose 74,5 % als angesetzte Körperenergie erscheinen. Hierbei treten die Energieverluste bei Saccharosezugabe ausschließlich im intermediären Bereich als Wärmeverluste bei der Umwandlung der umsetzbaren Energie in Energieansatz auf, während bei Palatinitzugabe etwa 1/3 der Energieverluste bis zur Stufe der umsetzbaren Energie in Erscheinung treten und die weiteren Verluste in Form von Wärmeabgabe bei der mikrobiellen Umsetzung im Dickdarm und den intermediären Umsetzungen erscheinen.

Die Saccharoseverwertung in Höhe von 75 % als Referenzpunkt stimmt mit dem von Nehring und Schiemann (1966) aus Experimenten über die Verwertung der Kohlenhydrate für die Fettbildung beim Schwein mitgeteilten Wert von 74,6 % für Saccharose völlig überein. Auch aus der biochemischen Umwandlung von Hexosen in Körperfett mit theoretisch 80 % energetischer Effizienz (5) ist eine Verwertung in dieser Höhe zu erwarten. Im Vergleich zur Saccharose ist die energetische Verwertung von Palatinit niedriger einzuschätzen. Neben den Wärmeverlusten bei der mikrobiellen Fermentation kommt hinzu, daß die Energielieferung aus den bei der Fermentation hauptsächlich entstehenden und absorbierten kurzkettigen Fettsäuren für die Regeneration von ATP schlechter genutzt wird als die Energielieferung aus Glucose. Eine niedrigere Effizienz für Palatinit im Vergleich zur Glucose war deshalb zu erwarten. Der für die Verwertung der umsetzbaren Energie für den Ansatz an Körperenergie gefundene Wert von 69 % deckt sich mit der Energieausnutzung aus der nur mikrobiell abbaubaren Cellulose beim Schwein (7). Andererseits läßt die ermittelte Höhe des Verwertungskoeffizienten den Schluß zu, daß in vorliegendem Sauenversuch Palatinit bzw. die Endprodukte seiner mikrobiellen Verdauung im Intermediärstoffwechsel weitgehend für den Energieansatz genutzt wurden. Dies zeigt sich auch unmittelbar aus den Daten des Gasumsatzes. Im Vergleich zur Saccharose liegt nämlich die CO₂-Bildung bei Palatinit eher niedriger. Bei einem vergleichsweise weit aus höheren katabolischen Stoffwechsel von Palatinit müßte die CO₂-Produktion dagegen weit über der von Saccharose liegen, was tatsächlich aber nicht gemessen wurde.

Die insgesamt um 1/3 niedrigere Energieretention aus Palatinit im Vergleich zur Saccharose ist nicht so stark ausgeprägt wie in Experimenten mit wachsenden Ratten (9). Neben möglichen Unterschieden in der enzymatischen und mikrobiellen Verdauung bzw. deren Anteilen an der Gesamtverdauung ist auch die Form der Energieretention zu diskutieren. Während im vorliegenden Versuch sowohl bei Saccharose als auch Palatinit hauptsächlich Fett angesetzt wurde, reagierten die Ratten bei Palatinit

mit verringertem Fettansatz und einem relativ erhöhten Proteinansatz. Es ist aber bekannt, daß die Bildung von Proteinansatz etwa den 1,5fachen Energiebedarf erfordert als die Retention von Körperfett. Je nach Spezies und je nach der Art der zu erbringenden Leistung (Wachstum, Erhaltung) dürfte demnach die gesamte energetische Verwertung von Palatinin im Vergleich zu Saccharose 20–30 % geringer sein.

Literatur

1. Brouwer, E.: Report of Sub-committee on Constants and Factors. Proc. 3rd Symp. Energy Metabolism, Academic Press (London, New York 1965).
2. Grupp, Uta, G. Siebert: Res. Exp. Med. (Berl.) **173**, 261–278 (1978).
3. Kirchgeßner, M., H. L. Müller, F. X. Roth: Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **44**, 155–164 (1980).
4. Kirchgeßner, M., P. M. Zinner, H.-P. Roth: Intern. J. Vit. Nutr. Res. **53**, 86–93 (1983).
5. Kleiber, M., A. L. Black: Function of the Energy in the Animal. World Congr. Animal Feeding, 2nd to 8th Oct. 1966, Madrid. Vol. I, 91–113.
6. Musch, K., G. Siebert, H. Schiwiek, G. Steinle: Z. Ernährungswiss. (Suppl.) **15**, 3–16 (1973).
7. Müller, H. L., M. Kirchgeßner: Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde. **49**, 127–133 (1983).
8. Nehring, K., R. Schiemann: Die energetische Bewertung der Nahrungs- und Futterstoffe: In: Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere (A. Hock, Hrsg.), VEB Gustav Fischer Verlag (Jena 1966).
9. Zinner, P. M., M. Kirchgeßner: Z. Ernährungswiss. **21**, 272–278 (1982).

Eingegangen am 16. März 1983

Für die Verfasser:

Dr. M. Kirchgeßner, Inst. f. Ernährungsphysiologie d. Techn. Univ. München in Freising-Weihenstephan, 8050 Freising-Weihenstephan