

M. Kirchgeßner
H.L. Müller

Thermogenese im Bereich der Überernährung bei Verabreichung von Olivenöl und Fischöl im Modellversuch an Sauen

Effect of fish oil and olive oil overfeeding on thermogenesis in sows

Zusammenfassung Zur Messung einer fettsäureninduzierten Thermogenese wurde ein Gesamtstoffwechselversuch mit 8 nichtgraviden, nichtlaktierenden Sauen über 8 Perioden von jeweils 16 Tagen Dauer durchgeführt. Die Tiere erhielten in der ersten und letzten Versuchsperiode eine den energetischen Erhaltungsbedarf deckende Grundration. In Periode 2 bis 7 wurden in zufälliger Reihenfolge Olivenöl, Fischöl bzw. als Referenznährstoff Weizenquellstärke in jeweils 2 Mengenstufen bis 50 % über das Erhaltungsniveau zugelegt. Alle Rationen wurden aufgrund der Anfangsmasse der Sauen eingestellt und über den gesamten Versuch in unveränderter Menge beibehalten. Die Fütterung erfolgte zweimal täglich. Von allen Tieren wurde in jeder Stoffwechselperiode eine vollständige Bilanzmessung mit Sammeltechnik (Futter,

Kot, Harn) und 48stündiger Messung des Gaswechsels in der Respirationskammer durchgeführt.

Die Körpermasse der Sauen stieg im Versuchsablauf linear um 5,8 kg je Zulageperiode an. Die drei Zulagearten hatten keinen Einfluß auf die Körpermasse der Tiere, sie wogen im Mittel bei Stärkezulage 205,5 kg, bei Olivenöl und Fischöl 204,8 bzw. 205,8 kg. Die Verdaulichkeit der Energie (DE/GE) betrug bei allen drei Zulagen 100 %, die Umsetzbarkeit der Energie (ME/GE) einen Prozentpunkt weniger. Der Kohlenstoff- und Energieansatz zeigte eine ausgeprägte lineare Abhängigkeit zur Zulagenhöhe sowie einen signifikanten Effekt der Zulagenart. Die Wärmebildung betrug bei alleiniger Fütterung der Grundration 20,9 MJ und im Mittel der beiden Zulagestufen bei Stärkefütterung 21,6 MJ und bei Olivenöl und Fischöl 21,0 bzw. 20,6 MJ/d. Die Abhängigkeit des Energieansatzes von der Zufuhr an ME ergab Regressionskoeffizienten von 0,9 MJ/MJ bei Verabreichung von Stärke und 1,0 MJ/MJ bei Fütterung der beiden Öle. Aus den Ergebnissen ist zu folgern, daß eine Zulage von Fetten mit einfach oder mehrfach ungesättigten Fettsäuren über dem energetischen Erhaltungsbedarf unter der Bedingung stark eingeschränkter Bewegungsaktivität (Respirationskammer) keinen

Einfluß auf die Thermogenese und somit einen energetischen Ansatz entsprechend der zugeführten Energie des Nahrungsfettes bewirkt.

Summary A trial on total metabolism was conducted in eight nonpregnant, nonlactating sows over eight periods, each of 16 days duration, to measure potential fatty acid induced thermogenesis. During the first and last experimental periods, the animals received a basal ration which just covered the energy maintenance requirement. In the second to seventh periods supplements of olive oil, fish oil, or puffed wheat starch as reference nutrient were added to the diet in random sequence at two levels up to 50 % above the maintenance requirement. All rations were calculated with reference to the sows' initial weight and remained quantitatively unchanged throughout the experiment. The animals were fed twice daily. During each metabolism period a complete energy balance was assessed for all sows by means of collection technique (feed, feces, urine), and 48-h measurements of the gas exchange in a respiration chamber.

The sows' body mass increased linearly during the course of the experiment by 5.8 kg per period. The three supplement types had no influence on the animals' final

Eingegangen: 20. Januar 1995
Akzeptiert: 15. April 1995

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. M. Kirchgeßner (✉) · H.L. Müller
Institut für Ernährungsphysiologie
Technische Universität München
85350 Freising-Weihenstephan

body weight, which averaged 205.5 kg with the starch supplement, 204.8 kg with olive oil, and 205.8 kg with fish oil. Energy digestibility (DE/GE) was 100 % for all three supplements, and metabolizability of energy (ME/GE) one percentage point less. Carbon and energy depositions showed a pronounced linear relationship to the level of supplementation and were also influenced by the type of supplement. Heat production was 20.9 MJ/d after feeding the basal ration alone and, taking the

average of the two supplementation levels, 21.6 MJ for the starch supplement, 21.0 MJ for olive oil, and 20.6 MJ for fish oil. The relationship between energy deposition and the supply of ME resulted in regression coefficients of 0.9 MJ/MJ after feeding starch and 1.0 MJ/MJ after feeding the two oils. It can be concluded from these results that supplementation of the diet with fat containing mono- or polyunsaturated fatty acids above the energetic maintenance requirement under conditions of severely restricted

movement (respiration chamber) has no influence on thermogenesis and consequently causes a deposition of energy equivalent to the amount supplied with the dietary fat.

Schlüsselwörter Fischöl – Olivenöl – Überernährung – Sauen – Energiebilanz – Thermogenese – Gaswechsel

Key words Fish oil – olive oil – overfeeding – sows – energy balance – thermogenesis – gaseous exchange

Einleitung

Die thermogene Wirkung der Nahrung hängt neben der aufgenommenen Menge auch von ihrer Nährstoffzusammensetzung ab. Dabei stellt sich im Hinblick auf die Energiebilanz insbesondere in der Humanernährung die Frage, ob mit einseitig zusammengesetzten Diäten durch Stimulierung der Thermogenese eine gewichtssteigernde Wirkung bei überhöhter Energiezufuhr neutralisiert oder zumindest abgeschwächt werden könnte. Ältere Befunde mit fettreicher Kost ließen sich mit einer solchen diätinduzierten relativ überhöhten Wärmebildung deuten, wobei die Wirkung mehr den ungesättigten Fettsäuren zugeschrieben wurde (5, 9, 10). Exakte Bilanzversuche mit fettreichen Diäten beim Menschen wie auch im Modellversuch mit Sauen zeigten, daß die energetische Verwertung der umsetzbaren Energie weitgehend derjenigen bei kohlenhydratreicher Kontrollernährung entsprach (11, 12, 24). Auch bei einseitiger Zufuhr einfach oder zweifach ungesättigter Fettsäuren war die Thermogenese im Vergleich zu einer fettfreien, stärkereichen Ration nicht erhöht (14). Die Zugabe von Fischöl mit hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren tendierte im Vergleich zur Stärke sogar zu einer Reduzierung der Wärmeproduktion (19). Die Höhe der Energiezufuhr einschließlich der geprüften Fette lag in allen diesen Bilanzexperimenten im Bereich des Erhaltungsumsatzes, so daß die Fette im wesentlichen oxidativ genutzt wurden. Im folgenden Versuch sollte deshalb überprüft werden, wieweit thermogene Effekte auftreten, wenn Fette mit hohen Gehalten an ungesättigten Fettsäuren zu einer den energetischen Erhaltungsbedarf deckenden Basisration zugelegt werden und Energie angesetzt wird.

Material und Methoden

Der Versuch wurde nach einem Change-over-Plan mit 8 nichtgraviden Sauen durchgeführt. Die Lebendmasse der Tiere betrug zu Versuchsbeginn 179 ± 3 kg. Die Tiere

erhielten eine den Erhaltungsbedarf deckende Grundration sowie die zu prüfenden Zulagen an Weizenquellstärke, Olivenöl bzw. Fischöl (Olivenöl extra vierge; Marineöl Omega-3; Fa. Henry Lamotte, Bremen). Für die Berechnung der entsprechenden Futtermengen wurde ein aus früheren Versuchen ermittelter Erhaltungsbedarf von 0,43 MJ ME/kg $W^{0,75}$ (ME = umsetzbare Energie, W = Körpermasse) und eine Umsetzbarkeit der Energie der Grundration von 74 % zugrundegelegt (14, 18).

Die Grundration bestand aus 74,3 % Wintergerste, 10 % Sojaextraktionsschrot, 12 % Haferschälkleie, 1 % Sojaöl und 2,7 % Mineralstoff-Vitaminmischung. Die Auswahl der Komponenten richtete sich nach der Rationszusammensetzung eines vorausgehenden Versuchs vergleichbarer Problemstellung (19). Die verabreichte Menge betrug 36 g Frischmasse/kg $W^{0,75}$ und Tag. Durch die Zumischung von 1 % Sojaöl sollte sichergestellt werden, daß die Versorgung der Sauen mit essentiellen Fettsäuren in allen Rationen gewährleistet war. Die Nährstoffanteile sind in Tabelle 1 aufgezeigt. Die Fettsäurezusammensetzung der verwendeten Öle zeigt Tabelle 2. Die beiden Öle wurden in einer Kühlkammer gelagert.

Die Höhe der Zulagen war in zwei Stufen bis 50 % über den energetischen Erhaltungsbedarf vorgesehen. Da Weizenquellstärke eine sehr hochverdauliche Futterkomponente darstellt, wurde davon 1/5 weniger Bruttoenergie als von den beiden Ölen zugelegt, um auf der Energiestufe der ME in etwa eine isoenergetische Zufuhr zu erreichen. Die Zulagemengen betrugen bei Stärke 93 kJ und bei Olivenöl/Fischöl 113 kJ in der 1. Stufe und 186 bzw. 226 kJ Bruttoenergie/kg $W^{0,75}$ in Stufe 2. Dies entsprach folgenden Substanzmengen (pro kg $W^{0,75}$ und Tag): 5,8/11,6 g Stärke (16,1 kJ/g), 2,87/5,74 g Olivenöl (39,4 kJ/g) und 2,88/5,76 g Fischöl (39,2 kJ/g). Der Energiegehalt der Gesamtration wies damit in den hohen Zulagestufen auf der Basis der umsetzbaren Energie rechnerisch eine Relation von 2/3 Grundration zu 1/3 Zulage auf.

Tabelle 1 Nährstoffzusammensetzung der Grundration

Trockenmasse, %	88,4
in der Trockenmasse:	
Stickstoff, %	2,3
Bruttoenergie, kJ/g	18,3
Rohfett, %	3,4
Rohfaser, %	8,5
Asche, %	4,0

Tabelle 2 Zusammensetzung von Olivenöl und Fischöl, %

Fettsäure	Olivenöl	Fischöl	Fettsäure	Olivenöl	Fischöl
C14:0		7,9	C20:1	0,2	1,4
C16:0	7,9	16,3	C20:2		0,1
C16:1	0,4	8,8	C20:3		0,2
C16:4		2,6	C20:4		0,9
C17:0		0,5	C20:4n3		0,8
C17:1		1,6	C20:5n3		19,3
C18:0	3,3	3,1	C22:0	0,1	
C18:1	79,1	10,7	C22:1		0,1
C18:2	7,1	1,0	C22:4		0,8
C18:3	0,6	0,3	C22:5		0,3
C18:3n3		0,5	C22:5n3		2,5
C18:4		2,8	C22:6n3		12,7
C18:4n3		0,3	C24:1		0,5
C20:0	0,4	0,2			

nach Analysenzertifikat des Herstellers

Der Versuch umfaßte für jedes Tier 8 Stoffwechselperioden. In Periode 1 und 8 wurde nur die Grundration verabreicht. In den Perioden 2 bis 7 erhielten die Sauen zur Grundration die verschiedenen Zulagen in randomisierter Reihenfolge. Die vorgesehenen Rationsmengen wurden anhand der unmittelbar vor Versuchsbeginn an drei aufeinanderfolgenden Tagen ermittelten Anfangsmasse für jedes einzelne Tier eingestellt und über den gesamten Versuch unverändert beibehalten. Die Zulagen wurden erst zum Zeitpunkt der Fütterung im Futtertrog mit der Grundration vermischt. Die Rationen wurden täglich zweimal vorgelegt und stets vollständig aufgenommen. Jedes Tier erhielt pro Mahlzeit zusammen mit der Futterration 5 l Trinkwasser.

Von jedem einzelnen Tier wurde in jeder Stoffwechselperiode eine vollständige Bilanzmessung (Sammeltechnik und Respirationskalorimetrie) durchgeführt. Die Länge der Perioden betrug jeweils 16 Tage, aufgeteilt in 8 Tage Vorperiode, 6 Tage Sammlung von Kot und Harn und 48 h Gaswechselformung in der Respirationskammer. Außerhalb der Respirationsmessung wurden die Tiere in den Sauenboxen eines Stoffwechselstalls gehalten. Die Lufttemperatur war im ganzen Versuch auf 20–21°C reguliert. Während der Sammelperiode waren die Tiere mit einem Harnkatheter versehen.

Die zur Erstellung der Energiebilanz erforderlichen Meßdaten an N, C und Energie in Futter, Fäzes und Harn wurden mit Hilfe des Kjel-Foss-Automatic-Geräts, der konduktometrisch arbeitenden Wösthoff-Apparatur sowie eines adiabatischen Bombenkalorimeters bestimmt. Mit Ausnahme aller Stickstoffbestimmungen sowie des C-Gehaltes im nicht angesäuerten Frischharn wurden die Analysen mit gefriergetrocknetem Material durchgeführt.

Die Energierektion (RE) und die Wärmeproduktion (als Differenz $H = ME - RE$) der Tiere wurden nach der Kohlenstoff-Stickstoff-Bilanzmethode ermittelt. Außerdem wurde die Wärmeproduktion auch nach der RQ-Methode ($H [kJ] = 16,18 \cdot O_2 [l] + 5,02 \cdot CO_2 [l] - 2,17 \cdot CH[l] - 5,99 \cdot Harn-N [g]$) erfaßt (4). Da die Lebendmasse der Sauen während des Versuchsablaufs zunahm, wurde zusätzlich eine Korrektur der ermittelten RE-Werte aufgrund des sich verändernden Erhaltungsbedarfs vorgenommen.

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit Hilfe der Varianzanalyse unter Berücksichtigung der Faktoren Zulagenart und Zulagenhöhe sowie des Tieres als Blockungsfaktor. Der Effekt der Zulagenhöhe (2 Freiheitsgrade) wurde in eine lineare und eine quadratische Trendkomponente zerlegt (16). In den Ergebnistabellen sind neben den Mittelwerten der Behandlungen und dem Standardfehler der Mittelwerte (SE) auch die exakten Wahrscheinlichkeiten des F-Tests (α -Levels, $P > F$) auf die Behandlungseffekte angegeben. Zur Schätzung partieller Zulageeffekte wurde die lineare Regressionsrechnung verwendet.

Versuchsergebnisse

Die Körpermasse der Sauen betrug am Ende der ersten Versuchsperiode nach Verabreichung der Grundration im Mittel 184 kg. In den Zulageperioden nahm die Körpermasse von Periode zu Periode linear um 5,8 kg zu, erreichte in der letzten Zulageperiode 218,6 kg und fiel am Ende der darauffolgenden Periode mit Grundration nur geringfügig auf 218,1 kg ab. Im Gegensatz dazu war zwischen den Behandlungen, die im Versuchsablauf zeitlich zufällig aufeinander folgten, kein Unterschied in der Körpermasse der Tiere festzustellen. Die Sauen wogen im Mittel bei der Stärkeration 205,5 kg, bei der Olivenölratio 204,8 kg und bei der Fischölratio 205,8 kg.

Tab. 3 enthält Angaben über den Gasumsatz und die Harnzusammensetzung sowie die mittleren Bilanzdaten von Kohlenstoff und Stickstoff. Der O_2 -Verbrauch betrug im Mittel beider Grundrationen 996 l/d und erreichte in der 1. Zulagestufe mit 1003 l und in der 2. Zulagestufe mit 1022 l/d nur geringfügig höhere Werte, die sich aber statistisch nicht absichern ließen ($p = 0,27$). Die Abgabe von CO_2 stieg von 981 l/d bei Fütterung der Grundration auf 1050 bzw. 1105 l/d bei Zulage von Stärke deutlich an, während sich die beiden Stufen der Ölrationen nicht

Tabelle 3 Behandlungsmittel bei Verabreichung von Grundration plus Zulage sowie der alleinigen Grundration zu Versuchsanfang und zu Versuchsende

	Zulagestufe 1				Zulagestufe 2				SE	A	H	A*H	
	Ganfang	S1	O1	F1	S2	O2	F2	Gende					
Gasumsatz, Liter/Tier und Tag													
O2	946	1013	1010	987	1033	1014	1019	1046	20	0,73	0,27	0,94	
CO2	941	1050	983	959	1105	987	982	1021	17	0,00	0,01	0,00	L
CH4	6,9	7,7	6,9	7,3	8,5	7,7	7,1	7,6	0,4	0,15	0,18	0,45	
RQ	0,994	1,037	0,974	0,972	1,071	0,974	0,965	0,976	0,008	0,00	0,04	0,00	L
Harn													
Menge kg/d	8,7	8,9	8,9	8,8	8,6	8,7	8,9	–	0,1	0,72	0,15	0,43	
N %	0,24	0,25	0,27	0,23	0,24	0,25	0,24	–	0,01	0,17	0,61	0,55	
C %	0,23	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	–	0,01	0,91	0,07	0,89	
Energie J/g	102	111	110	106	113	112	115	–	5	0,95	0,03	0,94	L
Kohlenstoffumsatz, g/Tier und Tag													
Aufnahme	703,3	817,6	810,1	812,5	932,4	917,5	922,2	703,3	–				
Kot	140,1	131,1	129,9	120,2	139,2	140,2	134,8	140,1*	4,6	0,31	0,00	0,78	Q
Harn	19,6	21,9	21,2	20,9	20,6	20,9	22,3	19,6*	0,8	0,88	0,02	0,59	L
CH4	3,7	4,1	3,7	3,9	4,6	4,1	3,8	4,0	0,2	0,15	0,18	0,45	
CO2	504,1	562,6	526,9	514,0	592,1	528,9	526,4	547,4	9,2	0,00	0,01	0,00	L
Retention	35,9	97,8	128,5	153,5	175,9	223,4	235,0	-7,8	10,3	0,00	0,00	0,03	L
Stickstoffumsatz, g/Tier und Tag													
N-Aufnahme	35,5	37,0	35,5	35,5	38,5	35,5	35,5	–	–				
Kot-N	6,6	6,6	6,0	5,7	7,0	6,3	6,0	–	0,2	0,01	0,02	0,24	Q
Harn-N	20,6	22,6	24,0	20,2	20,6	21,8	20,9	–	1,0	0,15	0,11	0,32	
N-Retention	8,3	7,8	5,5	9,7	10,9	7,4	8,6	–	1,0	0,02	0,24	0,06	

Ganfang: Grundration Versuchsperiode 1

Gende: Grundration Versuchsperiode 8

S: Stärkeration, O: Olivenölreration, F: Fischölreration (Reihenfolge in den Versuchsperioden 2 bis 7 zufällig)

* Werte von Ganfang übernommen

A: P > F für Effekt der Zulagenart

H: P > F für Effekt der Zulagenhöhe

A*H: P > F für Effekt der Interaktion

L: signifikanter linearer Effekt der Zulagenhöhe (p < 0,01)

Q: signifikanter quadratischer Effekt der Zulagenhöhe (p < 0,01)

vom Mittelwert der Grundrationen unterschieden. Demzufolge lag der respiratorische Quotient (CO₂/O₂) bei Stärkezulage über dem Niveau der Grundration und der Ölzulagen. Die CH₄-Bildung betrug im Mittel aller Messungen 7,5 l/d und wurde durch die einzelnen Rationen nicht wesentlich verändert. Dasselbe gilt für die Harnmenge und die N-Konzentration im Harn. Hingegen lagen der C-Gehalt und der Energiegehalt des Harns im Mittel der Zulagen gegenüber der Grundration um 6 % bzw. 9 % höher. Der Kohlenstoffumsatz wurde bei allen Kriterien mit Ausnahme von CH₄-C von der Zulagenhöhe beeinflusst. Die C-Retention betrug im Mittel beider Grundrationen 14 g/d, in der ersten Zulagestufe 127 g und in der

zweiten Stufe 211 g, so daß ein ausgeprägter linearer Effekt zu verzeichnen war. Daneben traten auch Effekte der Rationsart und Interaktionen zur Zulagenhöhe auf. Aus den Daten des N-Umsatzes der Sauen geht hervor, daß der größte Teil des aufgenommenen Stickstoffs in Kot und Harn wieder ausgeschieden wurde. Der N-Ansatz war insgesamt leicht positiv und zeigte keine wesentliche Abhängigkeit zur Zulagenhöhe (p = 0,24). Der signifikante Effekt der Rationsart beruhte hauptsächlich nur auf dem relativ niedrigen Wert der Olivenölgruppe 1, so daß insgesamt gesehen keine systematische Veränderung des N-Umsatzes durch die verschiedenen Rationen bewirkt wurde.

Tabelle 4 Mittelwerte des Energieumsatzes, MJ/Tier und Tag

	Ganfang	Zulagestufe 1			Zulagestufe 2			Gende	SE	A	H	A*H	
		S1	O1	F1	S2	O2	F2						
GE	28,52	33,06	34,05	34,06	37,60	39,57	39,58	28,52	–				
Kot	5,84	5,51	5,42	5,04	5,88	5,91	5,69	5,84*	0,18	0,31	0,00	0,79	Q
DE	22,68	27,55	28,63	29,01	31,72	33,66	33,89	22,68*	0,19	0,00	0,00	0,00	L
Harn	0,89	0,99	0,97	0,93	0,97	0,97	1,01	0,89*	0,03	0,99	0,01	0,68	L
CH ₄	0,272	0,305	0,271	0,287	0,336	0,305	0,282	0,298	0,02	0,17	0,18	0,48	
ME	21,52	26,26	27,39	27,79	30,41	32,38	32,60	21,50	0,19	0,00	0,00	0,00	L
Hcn	19,83	21,35	20,84	20,04	21,52	20,96	20,60	22,06	0,44	0,17	0,75	0,72	
Hrq	19,89	21,50	21,11	20,65	22,11	21,21	21,27	21,91	0,40	0,21	0,16	0,71	
REcnrq	1,66	4,84	6,41	7,45	8,60	11,29	11,66	-0,49	0,49	0,00	0,00	0,02	L
RE (204)	0,39	4,99	6,59	7,42	8,66	11,22	11,95	0,42	0,45	0,00	0,00	0,01	L

* Werte von Ganfang übernommen

Hcn, Hrq: Wärmeproduktion nach der CN- bzw. RQ-Methode

REcnrq: Mittelwert aus CN- und RQ-Methode

RE (204): Energieretention auf die mittlere Körpermasse der Tiere von 204 kg berichtigt

A, H, A*H, L, Q: siehe Tabelle 3

In Tabelle 4 sind die Mittelwerte des Energieumsatzes dargestellt. Die Zulagestufen wirkten sich auf die Energieverluste in Kot, Harn und Methan nur minimal aus. Damit stand die Energie der Zulagen den Tieren praktisch vollständig als ME zur Verfügung. Die Wärmeproduktion der Tiere wurde sowohl nach der CN- als auch nach der RQ-Methode ermittelt. Die Übereinstimmung der beiden Methoden lag im Bereich von 1 %. Die tägliche Wärmeabgabe wurde von den Behandlungen tendenziell beeinflusst und betrug im Mittel bei Fütterung der Grundration 20,9 MJ, bei den Zulagen Stärke, Olivenöl und Fischöl 21,6, 21,0 bzw. 20,6 MJ/d. Die Energieretention (REcnrq) zeigte, weitgehend in Analogie zur Kohlenstoffretention, eine strenge lineare Abhängigkeit zur Zulagenhöhe sowie einen signifikanten Effekt der Zulagenart und Interaktion. Da die Futtermenge für das einzelne Tier im Versuch konstant gehalten wurde, die Körpermasse der Tiere während des Versuchs aber laufend zunahm, mußte der damit verbundene Anstieg des energetischen Erhaltungsbedarfes auf Kosten der Energieretention bereitgestellt werden. Dieser Bedarfsanteil wurde aus den Meßwerten mit Hilfe des Regressionsmodells $RE = c + \text{Tier} + aME + bW^{0,75}$ ermittelt. Er berechnete sich zu $b = -0,32 \pm 0,055$ MJ RE je Erhöhung von $W^{0,75}$ um eine Einheit. Die RE-Werte

aller Einzelmessungen wurden dann unter Verwendung dieser Zahl auf die mittlere Körpermasse von 204 kg standardisiert (RE₂₀₄). Die daraus berechneten Mittelwerte der einzelnen Zulagerationen unterscheiden sich allerdings kaum von den Mittelwerten der direkten Meßwerte, was auf die randomisierte Folge der Zulagen zurückzuführen ist. Die Streuung ist bei den auf gleiche Körpermasse korrigierten RE-Werten aber etwas geringer. Interessant ist jedoch, daß die Differenz in der Energieretention bei Verabreichung der Grundration zwischen Versuchsbeginn und Versuchsende verschwindet, wenn diese Korrektur auf gleiche Körpermasse durchgeführt wird.

Zur Ermittlung der energetischen Ausnutzung der Zulagen wurde für jede Rationsart eine Regressionsauswertung durchgeführt, deren Ergebnis in Tabelle 5 aufgezeigt ist. Alle drei Zulagen wiesen eine Verdaulichkeit der Energie (dDE/dGE) von 100 % auf, die Umsetzbarkeit der Energie (dME/dGE) lag bei 99 %. Für die Abhängigkeit des Energieansatzes von der Zufuhr an ME wurden Regressionskoeffizienten zwischen 0,90 und 1,05 erhalten. Im Mittel lag der Wert für Olivenöl um 10 % und der von Fischöl um 13 % über dem Koeffizienten von Stärke.

Tabelle 5 Veränderung von Energiegrößen bei Zulage von Stärke, Olivenöl und Fischöl

Modell: Y, MJ	$Y = \text{Tier} + \beta_0 + \beta \cdot X + e$ X, MJ	P (Tier)	$\beta_0 \pm s\beta_0$	$\beta \pm s\beta$	RSD	t (β)
Stärke:						
DE	GE	0,18	$-5,87 \pm 0,62$	$1,003 \pm 0,019$	0,41	52,3
ME	GE	0,07	$-6,62 \pm 0,59$	$0,988 \pm 0,018$	0,39	54,0
ME	DE	0,02	$-0,83 \pm 0,09$	$0,984 \pm 0,003$	0,07	297
RE _{cnrq}	ME	0,65	$-18,76 \pm 1,61$	$0,899 \pm 0,064$	1,35	14,1
RE (204)	ME	0,04	$-19,68 \pm 1,05$	$0,934 \pm 0,042$	0,88	22,4
Olivenöl:						
DE	GE	0,08	$-5,80 \pm 0,66$	$1,001 \pm 0,020$	0,52	49,9
ME	GE	0,06	$-6,71 \pm 0,67$	$0,992 \pm 0,020$	0,53	48,8
ME	DE	0,05	$-0,96 \pm 0,09$	$0,991 \pm 0,003$	0,08	303
RE _{cnrq}	ME	0,31	$-20,84 \pm 1,52$	$0,995 \pm 0,058$	1,50	17,1
RE (204)	ME	0,01	$-21,36 \pm 1,06$	$1,012 \pm 0,041$	1,05	24,9
Fischöl:						
DE	GE	0,41	$-6,46 \pm 0,75$	$1,026 \pm 0,023$	0,59	44,9
ME	GE	0,47	$-7,32 \pm 0,78$	$1,015 \pm 0,024$	0,61	43,1
ME	DE	0,28	$-0,94 \pm 0,12$	$0,990 \pm 0,004$	0,11	234
RE _{cnrq}	ME	0,80	$-21,04 \pm 1,36$	$1,010 \pm 0,052$	1,37	19,5
RE (204)	ME	0,19	$-22,16 \pm 0,94$	$1,052 \pm 0,036$	0,95	29,3

P (Tier): Wahrscheinlichkeiten des F-Tests auf den Tiereffekt

RSD: Wurzel aus Restvarianz

RE (204): siehe Tabelle 4

Diskussion

Die verwendeten Zulagen wurden vollständig verdaut. Damit reproduzierten sich Ergebnisse, die bei gleichen Substanzmengen an Stärke und Ölen, aber wesentlich niedrigerer Zufuhr an Grundration auf dem indirekten Wege einer Differenzbewertung erhalten wurden (19). Eine weitestgehend präzise Verdauung der Öle deckt sich auch mit dem vorliegenden konstanten Niveau der CH₄-Bildung aus der Fermentation im Dickdarm, da sich eine stärkere Einstromung von Triglyceriden in den Dickdarm nämlich negativ auf die Bildung von Methan ausgewirkt hätte (12). Weiterhin war die Ausscheidung von Kohlenstoff und Energie mit dem Harn von der Rationsart unabhängig, so daß eine Ausscheidung von Ketonkörpern im Harn nicht zur Diskussion steht.

Neben der hohen Umsetzbarkeit der Energie bei allen drei Zulagen war auch eine sehr hohe Konvertierung der im Überschuß zugeführten umsetzbaren Energie in Energieansatz festzustellen. Aus den Daten der C-Retention und N-Retention läßt sich folgern, daß die retinierte Energie dabei überwiegend aus Fettansatz bestand (Fettenergie = RE – N-Retention*6,25*0,0238), so daß die Verwertung der Energie für den Ansatz im vorliegenden Versuch in erster Linie die Frage der Energietransformation in Körperfett aufwirft. Nach der Regressionsauswertung der Daten folgte für Stärke eine Verwertung von 90 % und

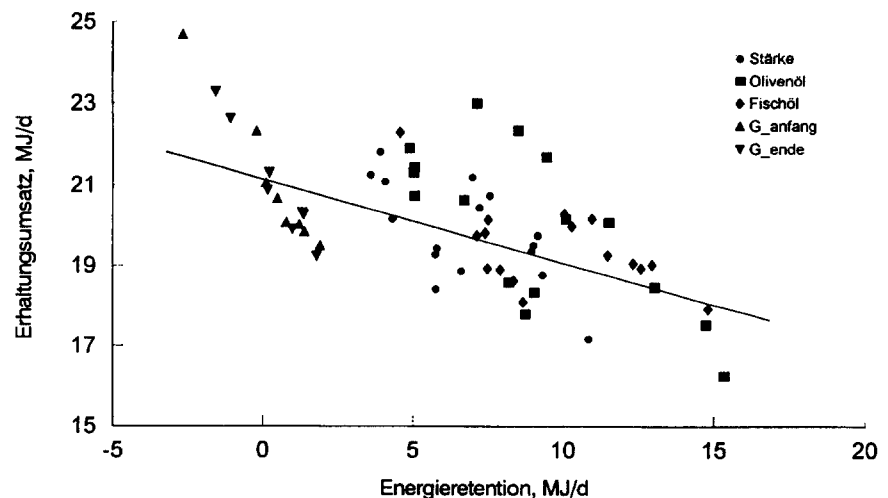
für die beiden Öle um 100 %. Die theoretische Effizienz der Bildung von Körperfett aus Glucose wird auf 80–84 % eingeschätzt (15, 17). Bei Fetten läßt sich eigentlich nur ein größerer Bereich angeben, da der energetische Wirkungsgrad davon abhängt, ob die Bildung von Körperfett über Abbau und Resynthese von Fettsäuren (theoretische Effizienz = 75 %) oder über direkten Einbau von Nahrungsfett erfolgt (Effizienz = 95 %) (7, 20). Die hohe Effizienz der Fettzulagen im vorliegenden Versuch spricht für einen direkten Übergang in Körperfett und hat zur Folge, daß sich die Wärmeproduktion der Sauen bei Verabreichung der Zulagerationen mit Öl gegenüber der alleinigen Fütterung von Grundration nicht unterscheidet.

Verglichen mit den theoretisch berechneten Effizienzen liegen die erhaltenen Regressionskoeffizienten unabhängig von der Art der Zulage absolut um 5–10 Prozentpunkte höher. Die relative Differenz zwischen Stärke und den Ölen stimmt jedoch mit der bioenergetischen Erwartung überein. Die Modelle zur theoretischen Herleitung der Wirkungsgrade von Biosynthesen gehen im allgemeinen von optimalen Reaktionsverhältnissen und optimaler ATP-Regenerierung aus, so daß die theoretischen Werte eine obere Grenze der Effizienz darstellen. Die vorliegenden Regressionskoeffizienten der Energieverwertung sollten deshalb als Hinweis darauf gesehen werden, daß im Energiestoffwechsel der Tiere bei Verabreichung der Zulagen Überlagerungen zwischen dem Energiebedarf für

den eigentlichen Stoffansatz und anderen energieverbrauchenden Prozessen stattfanden. Die Summe aller Vorgänge, die nicht unmittelbar die Synthesekosten betreffen, kann als Erhaltungsbedarf zusammengefaßt werden. Dieser Umsatz müßte nach Beginn der Zulagefütterung abgenommen und die entsprechende Energieeinsparung sich in vermehrte Retention niedergeschlagen haben. Als ein qualitatives Anzeichen dafür ist die visuelle Beobachtung anzuführen, daß sich die Tiere während des ganzen Tages unabhängig von der jeweiligen Zulageration ungewöhnlich ruhig verhielten. Aus den Meßdaten läßt sich das Ausmaß der Absenkung des Erhaltungsumsatzes nicht beweisen, da die Höhe der Energieretention (bzw. der ermittelte Wirkungsgrad) und der Erhaltungsbedarf (am Koordinatenpunkt $RE = 0$) rechnerisch zusammenhängen. Man kann aber abschätzen, welche Veränderung in der Erhaltung eingetreten sein müßte, damit sich die gefundenen Wirkungsgrade den theoretischen Werten annähern. Hierzu wurde zunächst der Erhaltungsumsatz gemäß der Formel $MEM = ME - RE/k$ unter Vorgabe von Wirkungsgraden, die geringfügig unter den theoretischen Werten angenommen wurden, für die Perioden mit Stärke ($k = 0,8$) sowie Oliven- und Fischöl ($k = 0,9$) errechnet. Die erhaltenen MEM-Werte wurden dann mit Hilfe einer Regression mit der gemessenen Energieretention in Beziehung gesetzt. Das Ergebnis zeigt eine lineare Abnahme des Erhaltungsumsatzes um $0,22 \pm 0,034$ MJ pro MJ Anstieg der RE (Abb. 1). Bei einer RE von 4 bis 12 MJ/Tag entspricht dies im Mittel etwa 8 % weniger Erhaltungsaufwand. Die in einem vorangegangenen Versuch (19) beobachtete tendenziell verminderte Thermogenese bei Verabreichung von Fischöl gegenüber Olivenöl ist im vorliegenden Versuch nur sehr schwach zu erkennen. Die Relation Wärme zu ME (Tab. 4) liegt zwar bei der Fischölrätion um etwa zwei Prozentpunkte niedriger als bei Olivenöl, kann aber als Differenz statistisch nicht abgesichert werden.

Das vorliegende Ergebnis zeigt insgesamt im Überernährungsbereich nicht nur eine optimale energetische Verwertung der ungesättigten Fettsäuren wie auch der Quellstärke, sondern zusätzlich einen unspezifischen positiven Effekt auf den Energieansatz, der sich als verringerte Erhaltung interpretieren läßt. Hinweise auf eine Steuerung der Energiebilanz durch Erhöhung der Thermogenese bei überschüssiger Fettzufuhr lieferte der vorliegende Versuch somit in keiner Weise. Im allgemeinen sind Resultate vom Schwein auf die Humanernährung übertragbar, da die Vergleichbarkeit von Ergebnissen zwischen beiden Spezies durch zahlreiche Experimente belegt ist (3, 13). Die Messungen des vorliegenden Versuchs wurden allerdings bei ganztägigem Aufenthalt der Tiere in den Respirationskammern durchgeführt, so daß die Thermogenese aus Bewegungsaktivität versuchsbedingt eingeschränkt war. In einigen Versuchen an Menschen wurde festgestellt, daß körperliche Belastung (Fahrradergometer) den thermischen Effekt der Nahrung bei Gesunden mit Normalgewicht verstärkt (21, 22, 25), jedoch gibt es auch kontroverse Ergebnisse dazu (6, 23). Die erhaltenen energetischen Effizienzen des Modellversuchs an den Sauen dürften deshalb auf den Menschen unter Alltagsbedingung transformiert im absoluten Zahlenwert geringfügig niedriger anzusetzen sein. Was die Stärke anbelangt, so scheint beim Menschen ihre Umwandlung in Körperfett nur von geringer Bedeutung zu sein, da für Kohlenhydrate aus der Nahrung, soweit diese nicht oxidativ genutzt werden, die Umwandlung in Glykogen Vorrang besitzt. Erst bei längerer hoher Zufuhr findet eine *de novo* Lipogenese statt (1, 2, 8). Beim vorliegenden Ergebnis über die Stärkeration, die im Versuch als Referenzration verwendet und zu einem starken Fettansatz führte, muß deshalb in der Folgerung für den Menschen neben der Höhe der Zufuhr unbedingt auch die Dauer der Verabreichung berücksichtigt werden.

Abb. 1 Veränderung des Erhaltungsumsatzes in Abhängigkeit der Energieretention (Berechnung des Erhaltungsumsatzes s. Text)



Literatur

1. Acheson KJ, Flatt JP, Jéquier E (1982) Glycogen synthesis versus lipogenesis after a 500 g carbohydrate meal in man. *Metabolism* 31:1234–1240
2. Acheson KJ, Schutz Y, Bessard T, Anantharaman K, Flatt JP, Jéquier E (1988) Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man. *Am J Clin Nutr* 48:240–247
3. Barth CA, Pfeuffer M, Scholtissek J (1990) Animal models for the study of lipid metabolism, with particular reference to the Göttingen minipig. *Adv Anim Physiol Nutr* 20:39–49
4. Brouwer E (1965) Report of sub-committee on constants and factors. *Proc. 3rd Symp. Energy Metabolism, EAAP-Publ.* No. 11:441–443. Academic Press London
5. Dallosso HM, James WPT (1984) Whole-body calorimetry studies in adult men. 1. The effect of fat overfeeding on 24-h energy expenditure. *Brit J Nutr* 52:49–64
6. Dallosso HM, James WPT (1984) Whole-body calorimetry studies in adult men. 2. The interaction of exercise and over-feeding on the thermic effect of food. *Brit J Nutr* 52:65–72
7. Flatt JP (1978) The biochemistry of energy expenditure. *Rec Adv Obesity Res* 2:211–228
8. Jequier E (1992) Calorie balance versus nutrient balance. In: Kinney JM, Tucker HN: *Energy Metabolism: Tissue determinants and Cellular Corollaries*. Raven Press, New York
9. Kasper H, Thiel H, Ehl M (1973) Response of body weight to a low carbohydrate, high fat diet in normal and obese subjects. *Am J Clin Nutr* 26:197–204
10. Kather HJ, Simon B (1982) Energiebilanz und Fettsucht. *Akt Endokr Stoffw* 1:18–22
11. Kinabo JL, Durnin JVGA (1990) Thermic effect of food in man: effect of meal composition, and energy content. *Brit J Nutr* 64:37–44
12. Kirchgeßner M, Müller HL (1984) Thermogenese bei Verabreichung einer ketogenen Diät im Modellversuch an Sauen. *Internat J Vit Res* 54:99–106
13. Kirchgeßner M, Müller HL (1990) Investigation of energy exchange in a model experiment in sows, and verification for humans. *Adv Animal Physiol Anim Nutr* No. 20. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
14. Kirchgeßner M, Müller HL (1993) Effekt von Palmitin-, Öl- und Linolsäure auf die Thermogenese im Modellversuch an Sauen. *Z Ernährungswiss* 32:93–102
15. Kleiber M, Black AL (1966) Functions of the energy in the animal. *World Congress on Animal Feeding, Madrid*. Vol. I, 91–113
16. Lowry SR (1992) Use and misuse of multiple comparisons in animal experiments. *J Anim Sci* 70:1971–1977
17. Milligan LP (1971) Energetic efficiency and metabolic transformations. *Federation Proc* 30:1454–1458
18. Müller HL, Kirchgeßner M (1992) Energiebilanz bei wiederholter Unter- und Überernährung im Modellversuch an Sauen. *Z Ernährungswiss* 31:178–188
19. Müller HL, Kirchgeßner M (1995) Thermogenese und Energieverwertung bei Verabreichung von Olivenöl und Fischöl im Modellversuch an Sauen. *Z Ernährungswiss* 34:143–150
20. Nehring K, Schiemann R (1966) Die energetische Bewertung der Nahrungs- und Futterstoffe. In: Hock, A: *Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere*. Gustav Fischer Verlag, Jena
21. Segal KR, Gutin B (1983) Thermic effects of food and exercise in lean and obese women. *Metabolism* 32:531–589
22. Segal KR, Presta E, Gutin B (1984) Thermic effect of food during graded exercise in normal weight and obese man. *Am J Clin Nutr* 40:995–1000
23. Swindells YE (1972) The influence of activity and size of meals on caloric response in woman. *Br J Nutr* 27:65–73
24. Wolfram G, Kirchgeßner M, Müller HL, Hollomey S (1985) Energiebilanzversuche mit fettreicher Diät beim Menschen. *Ann Nutr Metab* 29:23–32
25. Zahorska-Markiewicz B (1980) Thermic effect of food and exercise in obesity. *Eur J Appl Physiol* 44:231–235