

Untersuchungen zum energetischen Futterwert von Glycerol in der Fütterung monogastrischer Tiere (Geflügel und Schwein)

Dr. agr. J. Bartelt und Prof. Dr. habil. D. Schneider
Institut für Tierernährung, Fachbereich Veterinärmedizin,
Freie Universität Berlin
Brümmerstrasse 34
14195 Berlin

Zusammenfassung

Die umsetzbare Energie von reinem Glycerol (99,9%) wurde mit 30 Legehennen, 40 männlichen Broilern sowie 23 Börgen unter Verwendung der Differenzmethode bestimmt. Es wurden Diäten mit 0 %, 5 %, 10 % und 15 % Glycerol, welches gegen Maisstärke ausgetauscht wurde, geprüft. Zusätzlich wurden die Verdaulichkeit des Glycerols im Dünndarm, die Konzentration flüchtiger Fettsäuren in der Digesta sowie einige die Ileummucosa besiedelnde Bakterien untersucht. Die Glycerolausscheidung mit dem Exkrement und dem Harn stieg bei mehr als 5 % Glycerol in der Diät deutlich an. Außerdem enthielt das Exkrement mehr Wasser. Die umsetzbare Energie des Glycerol (MJ/kg) nahm mit steigendem Glycerolanteil in der Diät wie folgt ab: 17,59 (5 %); 16,81 (10 %); 14,54 (15 %) bei der Legehenne, 17,73 (5 %); 16,97 (10 %); 15,42 (15 %) beim Broiler und 17,49 (5 %); 14,39 (10 %); 10,57 (15 %) beim Schwein. Höhere Glycerolanteile (15 %) in der Diät resultierten in einer geringeren Glycerolverdaulichkeit bis zum Jejunum. Die praecaecale Glycerolverdaulichkeit war nur geringfügig durch die Glycerolaufnahme beeinflusst und betrug über 97 %. Hauptsächlich die Essigsäurekonzentration in der Digesta des Jejunums und Ileums waren durch steigende Glycerolgehalte in der Diät erhöht. Enterobacteriaceae und fakultativ anaerobe gram-positive Kokken, die von der Ileummucosa isoliert wurden, konnten Glycerol als alleinige Kohlenhydratquelle verwerten. Es wurde geschlussfolgert, dass nicht mehr als 5 % reinen Glycerols bei der Rationsgestaltung berücksichtigt werden sollten, um den energetischen Futterwert von Glycerol auszuschöpfen. Eine teilweise Substitution von Mais oder Weizen durch reines Glycerol im Geflügel- und Schweinemischfutter ist unter

Berücksichtigung der Relation von Preis zu Energie erst bei einem Preis unter 35 DM/dt möglich.

Summary

Investigations on the energy value of glycerol in the feeding of monogastric animals (poultry and pig)

The metabolizable energy of pure glycerol (99,9 %) was estimated by using the difference method with 30 hens, 40 male broilers and 23 male castrates. Diets were used with 0, 5, 10 and 15 percent glycerol, which replaced corn starch of the basal diet. There were involved investigations on the digestibility of glycerol in the small intestine and on the concentration of volatile fatty acids in the digesta as well as investigations on some bacteria colonizing the ileal mucosa. The excretion of glycerol with the excrement or urine was increased when more than 5 % Glycerol were contained in the diet. Additionally, the excrement contained more water. Due to increasing levels of glycerol a decrease of the metabolizable energy of glycerol (MJ/kg) was observed as follows: 17.59 (5 %); 16.81 (10 %); 14.54 (15 %) for hens, 17.73 (5 %); 16.97 (10 %); 15.42 (15 %) for broilers and 17.49 (5 %); 14.39 (10 %); 10.57 (15 %) for pigs. High inclusion of glycerol in the diet (15 %) reduced the digestibility of glycerol up to the jejunum. The praecaecal digestibility of glycerol was marginally affected by the intake of glycerol and amounted > 97 %. The concentration of acetate was increased in the digesta of jejunum and ileum by increasing dietary levels of glycerol. Enterobacteriaceae and facultative anaerobic gram-positive cocci colonizing the ileal mucosa were able to use glycerol as sole source of carbohydrates. In conclusion, no more than 5 percent of pure glycerol should be considered in diet formulation for full exploitation of the energy value of glycerol. Regarding the relation of price to energy, glycerol could partly substitute corn or wheat in the feeding of poultry and pigs at a price of less than 35 DM/dt.

1. Einleitung

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe ist ökologisch und ökonomisch eine Möglichkeit den Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft gerecht zu werden. Hierbei gewinnt die Erzeugung von Rapsöl und dessen weitere Verarbeitung zu Rapsmethylester (RME) bzw. Biodiesel, Schmierstoffen und Hydraulikölen zunehmende Bedeutung. Als wichtiges Sekundärprodukt bei der RME-Produktion

fällt Glycerol an. 1998 entfielen weltweit etwa 5% der gesamten Glycerolproduktion auf die Verarbeitung von Pflanzenölen zu Biodiesel (CLAUDE, 1999). In Deutschland wird sich nach Angaben der UFOP die jährliche Produktionskapazität für Biodiesel von gegenwärtig 250000 t auf mindestens 460000 t bis zur Ernte 2001 erhöhen. Bei voller Auslastung dieser Kapazitäten würden dadurch 45000 t Glycerol aus der Biodieselherstellung anfallen. Trotz zügiger Nachfrage aus der Pharma- und Kosmetikindustrie führt die zunehmende Produktion von Biodiesel, Seifen und Fettsäuren zu einer ansteigenden Überversorgung an Glycerol.

Unter dem Gesichtspunkt, dass Glycerol als Metabolit des Intermediärstoffwechsels in verschiedene Stoffwechselwege einmünden kann (Abb. 1), macht die zunehmende Verfügbarkeit technisch gewonnenen Glycerols auch dessen Verwendung als Energielieferant in Futtermischungen für landwirtschaftliche Nutztiere interessant.

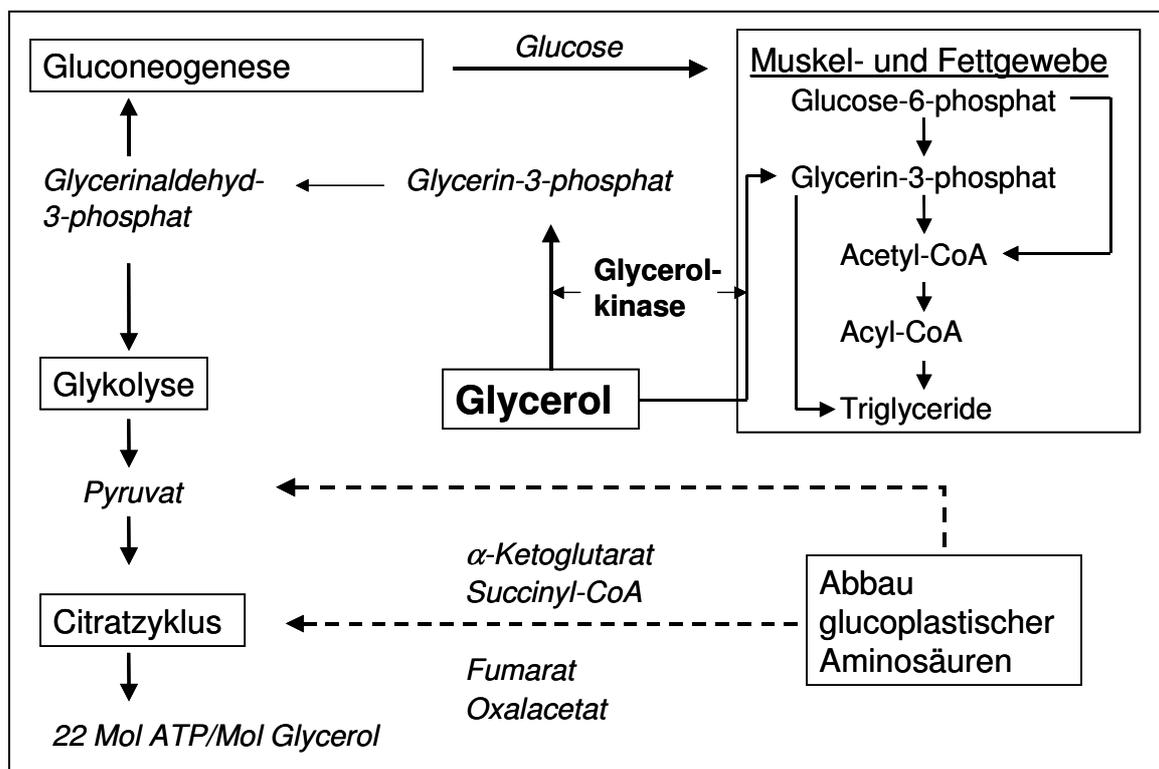


Abb. 1: Verstoffwechslung von mit dem Futter verabreichten Glycerol

Metabolism of glycerol given with the diet

Die intermediäre Verwertung des mit dem Futter aufgenommenen Glycerol beginnt mit der Phosphorylierung zu Glycerin-3-phosphat. Diese Reaktion wird durch das Enzym Glycerolkinase bei gleichzeitigem Verbrauch von 1 Mol ATP katalysiert. Dies scheint hauptsächlich in der Leber und der Niere zu erfolgen, da diese Gewebe

die höchsten Glycerolkinaseaktivitäten aufweisen (LIN, 1977). Das gebildete Glycerin-3-phosphat wird zu Dihydroxyacetonphosphat oxidiert und anschließend zu Glycerinaldehyd-3-phosphat isomerisiert. Letzteres stellt ein Zwischenprodukt bei der Gluconeogenese bzw. Glycolyse dar. Eine Freisetzung von 22 Mol ATP/Mol Glycerol erfolgt, wenn die Glycolyse mit anschließender Oxidation im Citratzyklus durchlaufen wird. Die bei der energieverbrauchenden Gluconeogenese synthetisierte Glucose kann in der Leber als Glycogen gespeichert oder über die Blutbahn zu den einzelnen Organen transportiert werden und anschließend ebenfalls für die Energiegewinnung (Glycolyse und Citratzyklus) oder für die Synthese von Triglyceriden genutzt werden. Alternativ ist aber auch eine direkte Verwertung von im Blut zirkulierendem Glycerol außerhalb von Leber und Niere möglich. Isotopenstudien an Menschen (COPPACK et al., 1999) und Ratten (GUO and JENSEN, 1999) zeigten, dass insbesondere die Skelettmuskulatur zur direkten Aufnahme bzw. zum Einbau von systemischem Glycerol in die Triglyceride in der Lage ist. Das setzt die Anwesenheit von funktionell bedeutenden Mengen an Glycerolkinase auch in der Skelettmuskulatur voraus. Die direkte Glycerolverwertung im Fettgewebe scheint dagegen gering zu sein (COPPACK et al., 1999). Bei der intermediären Verwertung des Glycerols besteht über das Pyruvat bzw. über Metabolite des Citratzyklus auch eine Verbindung zum Eiweißstoffwechsel. Dadurch besteht die Möglichkeit zur Verringerung des Abbaus glucoplastischer Aminosäuren zum Zwecke der Energiegewinnung (in Abb. 1 durch die gestrichelte Linie dargestellt). Umgekehrt ist auch die Synthese glucoplastischer Aminosäuren durch entsprechende Transaminierungsreaktionen möglich.

Untersuchungen zum Glyceroleinsatz in der Fütterung von Broilern und Mastschweinen liegen schon seit einiger Zeit vor (Tab. 1 und 2). Es ist ersichtlich, dass die Einmischung von reinen Glycerol in Anteilen von bis zu 10 % keine negativen Effekte auf die Futteraufnahme, Lebendmassezunahme und Futterwertung ausübte. Höhere Anteile führten jedoch teilweise zu signifikanten Leistungseinbußen. In diesen Untersuchungen wurde Glycerol gegen Gerste, Mais, Maisstärke oder Glucose ausgetauscht. Lediglich LIN et al. (1976) unterstellten bei ihrem isoenergetischen Austausch gegen Glucose eine umsetzbare Energie von 17,09 MJ/kg reinen Glycerols.

Tab. 1: Relative Beeinflussung von Leistungsparametern durch reines Glycerol (Broiler)

Relative effect of pure glycerol on performance parameters (broiler)

Glycerol (%)	Diät	Tiere	Versuchszeitraum (Lebenstag)	Futteraufnahme	Lebendmassezunahme (Kontrolle = 100%)	Futteraufwand	Quelle
20,0	semisynthetisch	White Plymouth Rock	1. - 28.	103 ^{1,5)}	99	103 ²⁾	1
20,3 42,1	semisynthetisch	männliche Kreuzung (schwerer Typ)	1. - 21.	102 ^{1.)} 57 ^{1)*}	98 48*	105 ^{2,5)} 121 ^{2,5)*}	2
5,0 ^a 10,0 ^a 15,0 ^a 20,0 ^a 25,0 ^a	Mais, Sojaextraktionsschrot, Fischmehl	Lohmann (Mastrichtung)	26. - 31.	100 ^{3,5)} 106 ^{3,5)} 110 ^{3,5)} 108 ^{3,5)} 105 ^{3,5)}	108 108 98 92 65*	93 ⁴⁾ 98 ⁴⁾ 112 ⁴⁾ 116 ⁴⁾ 161 ^{4)*}	3
10,0 ^a	Mais, Maisstärke, Sojaextraktionsschrot + ess. Aminosäuren (15% Rohprotein)	Lohmann (Mastrichtung)	13. - 18. 19. - 23.	112 ³⁾ 109 ³⁾	131 97	81 ⁴⁾ 105 ⁴⁾	4
10,0 ^a	Mais, Maisstärke, Sojaextraktionsschrot + ess. Aminosäuren (18% Rohprotein)	Lohmann (Mastrichtung)	13. - 18. 19. - 23.	100 ³⁾ 101 ³⁾	96 87	106 ⁴⁾ 118 ⁴⁾	

1) CAMPBELL and HILL (1962); 2) LIN et al. (1976); 3) SIMON et al. (1996); 4) SIMON et al. (1997)

¹⁾ g Futter; ²⁾ g Futter/g Zunahme; ³⁾ g Futter-TS; ⁴⁾ g Futter-TS/g Zunahme, ⁵⁾ aus Tabellenangaben kalkuliert

^{a)} % in der Futter-TS

* signifikante Unterschiede zur Kontrolle (P < 0,05)

Tab. 2: Relative Beeinflussung von Leistungsparametern durch reines Glycerol (Schwein)

Relative effect of pure glycerol on performance parameters (pig)

Glycerol (%)	Diät	Tiere	Mastbereich (kg)	Futtermenge ^a	Lebendmassezunahme (Kontrolle = 100 %)	Futtermenge ^b	Quelle
5,0	Weizen, Sojaextraktionsschrot + Talg	Large White (Börge)	35 - 102	105	95	111 ¹⁾	1
5,0	Weizen, Sojaextraktionsschrot + Rapsöl			105	98	107 ¹⁾	
4,3	Gerste,	Pietrain x F1 ^c (Börge)	27 - 55	115	105	110	2
4,3	Sojaextraktionsschrot			103	105	98	
8,7				27 - 55	116	116	101
8,6				55 - 92	109	109	101
17,6				27 - 55	114	103	111
17,5				55 - 92	95	91	105
26,9				27 - 55	111	87	128*
27,1				55 - 92	100	74*	135*
8,7	Gerste, Sojaextraktionsschrot	Pietrain x F1 ^a (Börge)	27 - 55 55 - 102	113 109	114 101	99 108	3

1) MOUROT et al. (1993); 2) KIJORA et al. (1995); 3) KIJORA et al. (1997)

^a g Futter; ^b g Futter/g Zunahme; ^c Kreuzung aus Edelschwein und Landrasse

¹⁾ aus Tabellenangaben kalkuliert

* signifikante Unterschiede zur Kontrolle (P < 0,05)

Deshalb sollte mit Hilfe von Bilanzversuchen die ME von reinem Glycerol ermittelt werden. Zusätzlich wurden Umfang und Ort der Glycerolresorption sowie einige mikrobielle Aspekte beim Einsatz von Glycerol als Futterkomponente untersucht.

2. Versuchstiere und Methoden

2.1. Geflügelversuche

Mit 30 Legehennen (LOHMANN SELECTED LEGHORN) ab der 18 Lebenswoche sowie 40 männlichen Broilern (LOHMANN MEAT) wurden Energiebilanzen zur Bestimmung der ME des Glycerols durchgeführt.

Bei dem zur Anwendung gekommenen Differenzverfahren sollte die Grunddiät möglichst wenig durch die Glycerolsubstitution verändert werden. Deshalb wurde nur die in die Grunddiät eingemischte Maisstärke im Verhältnis von 1 : 1 gegen reines Glycerol (99,9%) ausgetauscht. Es wurden Versuchsdiäten mit 5 %, 10 % und 15 % Glycerol geprüft (Tab. 3). Zur Minimierung von individuellen Einflüssen erhielten die Legehennen alle vier Versuchsdiäten nacheinander (vier Versuchsperioden mit jeweils einer 16tägigen Vorperiode und anschließender 5tägigen Sammelperiode), beginnend mit der Grunddiät ohne Glycerol. Die tägliche Futtermenge betrug 110g je Henne (semi ad libitum). Die Broiler wurden ab dem 1. Lebenstag in vier Versuchsgruppen aufgeteilt und ad libitum mit den Versuchsdiäten gefüttert. Die 5tägige Sammelperiode erfolgte zwischen dem 36. und 41. Lebenstag. Allen Tieren stand Wasser über Nippeltränken ad libitum zur Verfügung.

Im Anschluss an die Energiebilanzen mit 5 %, 10 % und 15 % Glycerol wurden 7 bis 10 Legehennen bzw. am 42. Lebenstag 5 Broiler/Gruppe getötet. Unmittelbar danach wurden den Tieren unter anaeroben Bedingungen Chymus bzw. Gewebe des Ileums entnommen. Im Ileumchymus der Legehennen und Broiler wurden flüchtige Fettsäuren bestimmt. Bei den Legehennen erfolgte zusätzlich die Bestimmung von Glycerol und TiO_2 in gepoolten Ileumchymusproben (2-3 Tiere). Die Ileummucosa wurde für mikrobiologische Untersuchungen verwendet.

Tab. 3: Zusammensetzung, Energie und Nährstoffgehalte der Versuchsdieten – Legehennen und Broiler (g je kg)
Composition and contents of energy and nutrients of experimental diets – hens and broilers (g per kg)

	Legehennen Glycerolanteil (%)				Broiler Glycerolanteil (%)			
	0	5	10	15	0	5	10	15
Weizen	182	182	182	182	205	205	205	205
Gerste	138	138	138	138	-	-	-	-
Mais	120	120	120	120	200	200	200	200
Fischmehl	30	30	30	30	50	50	50	50
Sojaextraktionsschrot	240	240	240	240	280	280	280	280
Maisstärke	150	100	50	-	180	130	80	30
Glycerol (99,9 %)	-	50	100	150	-	50	100	150
Calciumcarbonat	90	90	90	90	11,5	11,5	11,5	11,5
Monocalciumphosphat	13	13	13	13	15	15	15	15
Sojaöl	20	20	20	20	40	40	40	40
Mineral-Vitamin-Mischung	10	10	10	10	14	14	14	14
HCl-Lysin	-	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4
DL-Methionin	2	2	2	2	2,8	2,8	2,8	2,8
Threonin	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3
TiO ₂	5	5	5	5	-	-	-	-
Trockensubstanz	898	901	904	905	900	902	906	909
Rohprotein	183	180	176	175	186	188	185	188
Glycerol	-	51	97	152	-	56	107	155
ME (MJ) exp. ermittelt	11,5	11,7	11,7	11,3	13,0	13,1	13,1	13,0
ME _N (MJ) exp. ermittelt	11,2	11,2	11,3	10,9	12,3	12,5	12,5	12,4

2.2. Schweineversuche

23 Börge (Mutterlinie: Landrasse x Duroc, Vaterlinie: Landrasse B x Hampshire) aus der institutseigenen Zucht wurden zufällig auf vier Versuchsgruppen verteilt und einzeln mit einer Lebendmasse von etwa 25 kg in Stoffwechselkäfige aufgestellt. Jede Gruppe erhielt eine von vier pelletierten Versuchsdieten (Tab. 4). Während der Bilanzperiode wurde der Kot mittels Kunststoffbeuteln gesammelt, welche zeitweilig am Tier befestigt wurden (VAN KLEEF u.a., 1994). Dadurch wurde das freie Bewegen der Tier in den Stoffwechselkäfigen ermöglicht. Die Beutel wurde zwei- bis dreimal täglich gewechselt. Für die Entnahme von Darminhalt aus dem Duodenum und Jejunum (vorderes, mittleres und hinteres) wurden im Anschluss an die Bilanzperiode jeweils 3 Tiere/Gruppe genau 5 h nach der Morgenfütterung getötet. In der Digesta wurden flüchtige Fettsäuren, Glycerol und TiO₂ bestimmt.

Tab. 4: Zusammensetzung, Energie und Nährstoffgehalte der Versuchsdäten - Schweine (g je kg)

Composition and contents of energy and nutrients of experimental diets - pigs (g per kg)

	Glycerolanteil (%)			
	0	5	10	15
Weizen	230	230	230	230
Gerste	370	370	370	370
Sojaextraktionsschrot	190	190	190	190
Maisstärke	170	120	70	20
Glycerol (99,9 %)	-	50	100	150
Monocalciumphosphat	10	10	10	10
Calciumcarbonat	12	12	12	12
Mineral-Vitamin-Mischung	10	10	10	10
HCl-Lysin	2,5	2,5	2,5	2,5
DL-Methionin	0,5	0,5	0,5	0,5
TiO ₂	5	5	5	5
Trockensubstanz	884	886	885	885
Rohprotein	158	157	158	158
Glycerol	-	50	100	148
ME (MJ) experimentell ermittelt	13,05	13,18	13,00	12,40

2.3. Chemische Analysen

Die Analyse der Rohnährstoffe erfolgte nach der Methode des VDLUFA (NAUMANN UND BASSLER, 1976). Die Brennwertbestimmung von Futtermitteln und Exkrementen wurde mit einem isoperibolisch arbeitenden Bombenkalorimeter (C 7000, Fa. IKA, Heitersheim) durchgeführt. Photometrisch erfolgte die Glycerolbestimmung unter Verwendung eines Enzym-Kits (Fa. Boehringer Mannheim). Nach einem Schwefelsäureaufschluss wurde das TiO₂ photometrisch analysiert. Die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren im Chymus erfolgte gaschromatographisch (SCHÄFER, 1995). Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden unter Verwendung verschiedener Selektivmedien (Tab. 5) durchgeführt.

Tab. 5: Selektivmedien und Inkubationsbedingungen*Selective media and conditions of incubation*

Bakteriengruppe	Selektivmedium	Inkubation	
Gesamt anaerobe Keimzahl	Brewer Agar	anaerob	40 °C
Enterobacteriaceae	DEV-Endo Agar	aerob	40 °C
Fakultativ anaerobe Gram-positive Kokken	Äsculin/Galle Agar	aerob	40 °C
Glycerol verwertende Bakterien	Minimalmedium (1% Glycerol)*	anaerob	40 °C

* enthielt nur Glycerol als einzige Kohlenhydratquelle

2.4. Mathematische und statistische Methoden

Die Kalkulation der ME des Glycerols erfolgte nach folgender Gleichung:

$$ME_{Gl} = \frac{(ME_V - (ME_{MS} \times MSA_V)) - (ME_K - (ME_{MS} \times MSA_K))}{\text{Glycerolanteil}}$$

ME_{Gl}	= umsetzbare Energie des Glycerols (MJ/kg)
ME_V	= umsetzbare Energie der Diäten mit Glycerol (MJ/kg)
ME_K	= umsetzbare Energie der Diät ohne Glycerol (MJ/kg)
ME_{MS}	= umsetzbare Energie der Maisstärke (MJ/kg)
MSA_V	= Maisstärkeanteil in den Diäten mit Glycerol (kg/kg)
MSA_K	= Maisstärkeanteil in der Diät ohne Glycerol (kg/kg)
Glycerolanteil	= Anteil in den Diäten (kg/kg)

Für das Geflügel erfolgte dabei in parallelen Energiebilanzen die Bestimmung der ME der Maisstärke. In einem regressiven Versuchsansatz bei den Legehennen wurde 7 %, 14 % und 21 % einer Grunddiät durch Maisstärke ersetzt. Die dabei ermittelte ME der Maisstärke betrug $17,28 \pm 0,42$ MJ/kg TS (n = 10). Beim Broiler wurde in einem einfachen Differenzversuch (Austausch von 20 % Grunddiät gegen Maisstärke) eine ME der Maisstärke von $17,47 \pm 0,42$ MJ/kg TS (n = 6) ermittelt. Dagegen wurde auf eine gesonderte ME-Bestimmung für die ausgetauschte Maisstärke beim Schwein verzichtet und für die Berechnung der ME des Glycerols $16,78$ MJ ME/kg TS (NRC, 1998) veranschlagt.

Die praecaecale Glycerolverdaulichkeit wurde unter Verwendung der Indikatormethode (TiO_2) errechnet. Für die Signifikanzprüfungen kam die Ein-Weg-

Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test zur Anwendung. Bei nicht normal verteilten Werten bzw. ungleichen Varianzen wurde der Kruskal-Wallis-Test (Vergleich der Mediane) verwendet. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) sind nachfolgend durch unterschiedliche Buchstaben spaltenweise gekennzeichnet. Die Angaben in den Tabellen stellen die jeweiligen Mittelwerte \pm dem Standardfehler dar. Alle statistischen Berechnungen erfolgten mit Statgraphics® plus 3.1.

3. Ergebnisse

3.1. TS-Aufnahme, Exkrementbeschaffenheit und N-Bilanz

Alle Futtermischungen mit Glycerol ließen sich problemlos herstellen. Auffällig war die unterschiedliche Konsistenz des Futters. Während das Futter ohne Glycerol die normale Struktur eines Mischfutters hatte, ergaben die Mischungen mit 5 % und 10 % Glycerol eine lockere, krümelige Struktur. Die Mischungen mit 15 % Glycerol wiesen dagegen eine feste, verklumpende Struktur auf. Das Pelletieren der Versuchsdäten für die Schweineversuche verringerte deutlich die Neigung zum Verklumpen.

Einen gerichteten Einfluss auf die Futteraufnahme des Geflügels hatte die unterschiedliche Futterstruktur der unpelletierten Diäten jedoch nicht (Tab. 6). Die Schweine nahmen das angebotene Versuchsfutter, unabhängig vom Glycerolgehalt, zügig und vollständig auf. Ein deutlicher Abfall im TS-Gehalt des Exkrements bzw. eine stark erhöhte Wasserausscheidung wurde beim Geflügel für die Diäten mit 15 % Glycerol beobachtet (Tab. 6).

Die Einmischung von reinem Glycerol in die Versuchsdäten übte keinen gerichteten Einfluss auf die N-Ausscheidung bzw. N-Retention der Legehennen und Broiler aus (Tab. 7). Die geringere N-Retention bei den Legehennen nach Aufnahme der Grunddiät ohne zusätzliches Glycerol ist möglicher Weise dadurch bedingt, dass diese Diät zuerst mit Beginn der Legeperiode an die Legehennen verfüttert wurde. Die N-Ausscheidung über den Kot bzw. über den Harn der Schweine war ebenfalls nicht durch die Einmischung von reinem Glycerol in die Versuchsdäten beeinflusst. Dadurch ergaben sich auch keine signifikanten Unterschiede in der N-Retention zwischen den Versuchsdäten (Tab. 7).

Tab. 6: Trockensubstanzaufnahme und die Beschaffenheit des Exkremments

Dry matter intake and consistence of excrement

Nutzungs- richtung	Glycerol- gehalt (%)	TS-Aufnahme (g/d)	Exkrement	
			TS-Gehalt (%)	Wasserausscheidung (g/d)
Legehennen (23. LW) (26. LW) (29. LW) (31. LW)	0 (n = 30)	95,0 ± 0,6 ^{ab}	21,5 ± 0,6 ^b	111,1 ± 5,1 ^a
	5 (n = 30)	92,4 ± 1,3 ^a	19,6 ± 0,7 ^b	123,4 ± 7,6 ^{ab}
	10 (n = 20)*	94,9 ± 1,0 ^{ab}	19,3 ± 0,9 ^b	140,4 ± 8,8 ^b
	15 (n = 13)*	97,7 ± 0,6 ^b	13,7 ± 1,0 ^a	230,8 ± 27,3 ^c
Broiler (36. – 41. Lebenstag)	0 (n = 10)	125,8 ± 2,1	18,9 ± 0,5 ^b	153,0 ± 7,4 ^a
	5 (n = 10)	123,7 ± 2,8	19,8 ± 0,8 ^b	143,2 ± 8,0 ^a
	10 (n = 8)**	129,2 ± 2,7	19,5 ± 1,1 ^b	158,4 ± 14,6 ^a
	15 (n = 7)**	128,3 ± 9,2	14,6 ± 0,9 ^a	232,6 ± 32,7 ^b

* 10 bzw. 7 Tiere wegen Probennahme getötet ** 2 bzw. 3 Tiere wegen Perosis ausgeschlossen

Tab. 7: Stickstoff-Bilanz

Nitrogen-balance

Versuchstiere	Glycerol- gehalt (%)	N-Aufnahme (g/d)	N-Ausscheidung (g/d)		N-Bilanz(g/d)
			Kot	Harn	
Legehennen (23. LW) (26. LW) (29. LW) (31. LW)	0 (n = 30) 5 (n = 30) 10 (n = 20)* 15 (n = 13)*	3,11 ± 0,02 ^b 2,95 ± 0,04 ^a 2,92 ± 0,03 ^a 3,03 ± 0,02 ^a	Exkrement		1,01 ± 0,04 ^a 1,26 ± 0,03 ^b 1,21 ± 0,04 ^b 1,32 ± 0,04 ^b
			2,10 ± 0,04 ^b	1,69 ± 0,03 ^a	
			1,71 ± 0,04 ^a	1,71 ± 0,04 ^a	
			1,71 ± 0,04 ^a	1,71 ± 0,04 ^a	
Broiler (36. – 41. LT)	0 (n = 10) 5 (n = 10) 10 (n = 8)** 15 (n = 7)**	4,16 ± 0,07 4,11 ± 0,09 4,22 ± 0,09 4,24 ± 0,31	1,62 ± 0,04	1,66 ± 0,06	2,54 ± 0,04
			1,66 ± 0,06	1,82 ± 0,07	2,45 ± 0,05
			1,82 ± 0,07	1,79 ± 0,15	2,40 ± 0,06
			1,79 ± 0,15	1,79 ± 0,15	2,45 ± 0,19
Schweine (34 kg)	0 (n = 6) 5 (n = 6) 10 (n = 6) 15 (n = 5)	32,9 32,7 32,9 32,9	5,9 ± 0,24	9,0 ± 0,37	18,0 ± 0,21
			5,5 ± 0,33	9,0 ± 0,59	18,2 ± 0,50
			5,8 ± 0,14	9,5 ± 0,14	17,6 ± 0,22
			5,9 ± 0,17	9,2 ± 0,70	17,9 ± 0,76

* 10 bzw. 7 Tiere wegen Probennahme getötet ** 2 bzw. 3 Tiere wegen Perosis ausgeschlossen

3.2. Ausscheidung, umsetzbare Energie und Verdaulichkeit des Glycerols

Mit den Exkrementen der Legehennen und Broiler wurden täglich 0,04 g bzw. 0,06 g Glycerol ausgeschieden, wenn die Grunddiät ohne zusätzliches Glycerol verfüttert

wurde. Bei den Schweinen betrug die entsprechende Glycerolausscheidung 0,03 g (Harn) und 0,11 g (Kot). Die Aufnahme der Versuchsdieten mit Glycerol führte zu einem deutlich Anstieg der Glycerolausscheidung. Diese Zunahme war beim Schwein vor allem durch eine vermehrte Ausscheidung mit dem Harn bedingt. Die relative Wiederfindung des Glycerols im Kot der Schweine unterschied sich dagegen nicht signifikant zwischen den Versuchsdieten mit Glycerol. Selbst bei einem Anteil von 15 % Glycerol in der Ration lag die Glycerolverdaulichkeit beim Schwein über 99 % (Tab. 8). Der bei zunehmender Glycerolaufnahme auftretende Anstieg in der Glycerolausscheidung führte zu einem signifikanten ($p < 0,05$) Abfall der ME des Glycerols (Tab. 8).

Tab. 8: Aufnahme, Ausscheidung sowie die umsetzbare Energie von reinem Glycerols

Intake, excretion as well as the metabolizable energy of pure glycerol

Versuchstiere	Glycerol- gehalt (%)	Glycerol- aufnahme (g/d)	Glycerolausscheidung (% der Aufnahme)		ME-Glycerol (MJ/kg)
Legehennen (26. LW) (29. LW) (31. LW)	5 (n = 30)	5,4 ± 0,08 ^a	Exkrement 0,9 ± 0,0 ^a		17,59 ± 0,38 ^a
	10 (n = 20)*	10,2 ± 0,11 ^b	6,1 ± 0,7 ^b		16,81 ± 0,61 ^a
	15 (n = 13)*	16,4 ± 0,09 ^c	18,3 ± 0,8 ^c		14,54 ± 0,36 ^b
Broiler (36. – 41. LT)	5 (n = 10)	7,7 ± 0,17 ^a	Exkrement 1,5 ± 0,1 ^a		17,73 ± 1,16 ^a
	10 (n = 8)**	15,2 ± 0,31 ^b	6,8 ± 1,5 ^{ab}		16,97 ± 0,64 ^a
	15 (n = 7)**	21,9 ± 1,58 ^c	12,8 ± 1,7 ^b		15,42 ± 0,79 ^b
Schweine (34 kg)	5 (n = 6)	65,1	Kot 0,31 ± 0,04	Harn 2,6 ± 0,79 ^a	17,49 ± 1,67 ^a
	10 (n = 6)	129,5	0,41 ± 0,06	20,9 ± 1,94 ^b	14,39 ± 0,77 ^{ab}
	15 (n = 5)	192,6	0,60 ± 0,14	38,7 ± 3,50 ^c	10,57 ± 0,51 ^b

* 10 bzw. 7 Tiere wegen Probennahme getötet

** 2 bzw. 3 Tiere wegen Perosis ausgeschlossen

Die Verdaulichkeit des Glycerols im Dünndarm ist in Tabelle 9 dargestellt. Bis zum Ileum waren über 97 % des Glycerols resorbiert. Die etwas detaillierter durchgeführten Untersuchungen am Schwein zeigten außerdem, dass bereits zwischen 68 - 91 % der aufgenommenen Glycerolmenge bis zum Jejunum resorbiert waren. Der niedrigste Wert wurde bei einem Glycerolanteil von 15 % in der Ration ermittelt. Diese Unterschiede glichen sich bis zum Ileum wieder aus.

Tab. 9: Glycerolverdaulichkeit (%) im Dünndarm

Digestibility (%) of glycerol in the small intestine

Versuchstiere	Glycerol- gehalt (%)	Jejunum			Ileum (Ende)
		vorderes	mittleres	hinteres	

Legehennen (26. LW)	5 (n = 4)	n.b.	n.b.	n.b.	99,4 ± 0,2 ^a
	10 (n = 4)	n.b.	n.b.	n.b.	98,8 ± 0,2 ^a
	15 (n = 4)	n.b.	n.b.	n.b.	97,1 ± 0,6 ^b
Schweine (34 kg)	5 (n = 3)	90,9 ± 0,5 ^b	97,9 ± 0,8 ^b	98,2 ± 0,7 ^b	99,3 ± 0,1
	10 (n = 3)	83,4 ± 4,2 ^b	96,6 ± 0,9 ^{ab}	97,1 ± 1,3 ^{ab}	98,4 ± 0,2
	15 (n = 3)	68,4 ± 1,7 ^a	94,0 ± 0,8 ^a	94,3 ± 0,4 ^a	97,6 ± 0,7

n.b. = nicht bestimmt

3.3. Flüchtige Fettsäuren und einige Bakteriengruppen der Ileummucosa

Das Muster der flüchtigen Fettsäuren in der Dünndarmdigesta wies einige deutliche Veränderungen auf (Tab. 10). Die Einmischung von Glycerol in die Versuchsdiäten führte bei den Legehennen und Broilern zu einem signifikanten Anstieg der Acetatkonzentration sowie bei den Legehennen zu einem signifikanten Anstieg der Propionsäurekonzentration im Ileumchymus. In einigen Proben der Ileumdigesta vom Broiler (15 % Glycerol) fielen relativ hohe Konzentrationen an Iso-Buttersäure auf, welche deutlich über denen von Propion- bzw. Buttersäure lagen. Beim Schwein wurden signifikante Veränderungen nur in der Digesta des mittleren Jejunums beobachtet. Diese betrafen eine Zunahme der Acetatkonzentration sowie eine Abnahme der Konzentration an Iso-Valeriansäure .

Tab. 10: Konzentration flüchtiger Fettsäuren (µmol/g) in der Digesta des Dünndarms

Concentration of volatile fatty acids (µmol/g) in the digesta of small intestine

Glycerol-anteil (%)	Essig-säure	Propion-säure	Butter-säure	Valerian-säure	Iso-Butter-säure	Iso-Valerian-säure
	Legehennen- Ileum (n = 4)					
0*	10,7 ± 0,7 ^a	0,3 ± 0,04 ^a	0,04 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,03	0,06 ± 0,02
5	48,0 ± 5,3 ^b	1,7 ± 0,23 ^c	0,11 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,09 ± 0,02	0,28 ± 0,14

10	41,4±11,2 ^b	2,0±0,39 ^c	0,05±0,00	0,02±0,02	0,20±0,11	0,21±0,06
15	43,9±12,0 ^b	1,2±0,09 ^b	0,08±0,03	0,01±0,00	0,46±0,37	0,27±0,13
Broiler – Ileum (n = 5)						
0	8,6± 0,9 ^a	0,2±0,06	0,16±0,09	0,06±0,03	0,02±0,01	0,04±0,02
5	10,1± 1,1 ^a	0,3±0,05	0,13±0,05	0,03±0,01	0,18±0,16	0,03±0,00
10	19,3± 2,1 ^b	0,1±0,02	0,19±0,06	0,04±0,02	0,27±0,14	0
15	24,3± 3,1 ^b	0,4±0,12	1,01±0,54	0,08±0,02	6,38±3,29	0,02±0,01
Schweine - mittleres Jejunum (n = 3)						
0	5,6± 0,4 ^a	0,04±0,01	0,01±0,01	0,07±0,05	0,03±0,02	0,99±0,14 ^b
5	15,4± 7,0 ^{abc}	0,08±0,02	0,35±0,33	0,02±0,01	0,03±0,01	0,35±0,08 ^{ab}
10	8,7± 0,5 ^b	0,10±0,04	0,41±0,34	0,04±0,02	0,04±0,02	0,26±0,25 ^{ab}
15	24,4± 4,4 ^c	0,16±0,04	0,66±0,63	0,03±0,03	0,07±0,04	0,12±0,12 ^a
Schweine - Ileum (n = 3)						
0	17,6± 1,4	0,07±0,01	0,28±0,09	0,28±0,22	0,03±0,00	0,07±0,04
5	20,7±10,6	0,11±0,05	1,40±1,32	0,03±0,03	0,10±0,08	0,27±0,13
10	25,6± 4,7	0,14±0,09	0,97±0,54	n.n.	0,04±0,03	0,15±0,15
15	20,9± 5,7	0,20±0,12	1,08±0,50	0,13±0,07	0,03±0,02	0,1 ±0,08

n.n. = nicht nachweisbar * bei nicht in den Bilanzen verwendeten Tieren untersucht

Alle untersuchten Bakteriengruppen, welche von der Ileummucosa isoliert wurden, nahmen bei den Diäten mit Glycerol tendenziell zu. Diese Unterschiede ließen sich bei den Legehennen für das Glycerol-Minimalmedium signifikant ($p < 0,05$) absichern (Tab.11). Dabei handelte es sich hauptsächlich um Enterobacteriaceae und fakultativ anaerobe Gram-positive Kokken (nach Überprüfung auf entsprechenden Selektivmedien). Mit Hilfe eines API 10E Testsystems (Fa. Bio Merieux) konnten verschiedene *E. coli*-Stämme und *Citrobacter* spp. identifiziert werden, welche Glycerol als alleinige Kohlenhydratquelle verwerten konnten.

Tab. 11: Mucosa besiedelnde Bakterien des Ileums (log KBE/g)
Mucosa colonizing bacteria of the ileum (log CFU/g)

Nutzungs- richtung	Glycerol- Gehalt (%)	Gesamt anaerobe Keime	Entero- bacteriaceae	Gram-positive Kokken	Glycerol verwertende Bakterien*
Legehennen (n = 4)	0**	5,70	4,97	4,70	5,29 ^a
	5	5,80	5,94	5,49	5,12 ^a
	10	6,05	5,47	5,68	5,72 ^{ab}
	15	6,12	5,64	5,76	6,08 ^b

Broiler	0	6,14	4,43	4,17	3,83
(n = 3)	5	6,30	5,01	4,90	5,00
	10	6,22	5,53	5,75	5,38
	15	6,97	5,46	5,90	5,31

* auf einem Minimalmedium mit Glycerol als einzige Kohlenhydratquelle gewachsen

** bei nicht in den Bilanzen verwendeten Tieren untersucht

4. Diskussion

Die Einmischung von Glycerol in das Futter kann zu Verklumpungen und dadurch zu Problemen bei der Siloentnahme führen. Ein Pelletieren des Futters kann dem entgegen wirken. Unabhängig davon wird das Futter von den Tieren gut aufgenommen. Bei Mischungsanteilen von mehr als 10 % ist mit einer verstärkten Wasserausscheidung beim Geflügel zu rechnen, die durch einen erhöhten Wasserkonsum kompensiert wird. Eine genaue Messung der Wasseraufnahme war unter den vorliegenden Versuchsbedingungen jedoch nicht möglich. Durch die Gegenüberstellung der täglichen Wasserausscheidung zur täglichen Glycerolaufnahme im Bereich von 0 - 10 % Glycerol im Futter ließ sich je g aufgenommenes Glycerol ein Anstieg in der Wasserausscheidung von 3 g (Legehennen) bzw. von 0,5 g (Broiler) ermitteln. Bei vollständiger Kompensation dieser zusätzlichen Wasserausscheidung über das Trinkwasser würde sich für eine tägliche Futteraufnahme von 100 g ein zusätzlicher Mehrverbrauch an Wasser von etwa 3 - 15 g (5 % Glycerol) bzw. 5 - 30 g (10 % Glycerol) je Tier und Tag ergeben. Bei mehr als 10 % Glycerol im Futter ist mit einem höheren Mehrverbrauch zu rechnen. Jedoch ist der deutlich niedrigere TS-Gehalt der Exkreme von Legehennen und Broilern bei 15 % Glycerol im Futter unter den Bedingungen der Bodenhaltung als problematisch anzusehen. Aus Untersuchungen von KIJORA und KUPSCH (1997) geht hervor, dass die Tränkwasseraufnahme von Schweinen durch die Fütterung einer Ration mit 10 % Glycerol um 17 % anstieg und durch eine verstärkte Wasserausscheidung über die Niere kompensiert wurde.

Die intermediäre Verwertung des mit dem Futter aufgenommenen Glycerols scheint jedoch begrenzt zu sein. In diesem Zusammenhang muss die hohe und schnelle Resorption des Glycerols aus dem Dünndarm berücksichtigt werden. Selbst bei einem Anteil von 15 % waren über 97 % der aufgenommenen Glycerolmengen bis zum Ende des Dünndarms resorbiert. Die beim Schwein durchgeführten Untersuchungen

zeigten darüber hinaus, dass der überwiegende Teil des Glycerols bereits bis zum vorderen Jejunum resorbiert wird. In vivo wurde die Resorption von Glycerol aus dem Magen nachgewiesen (LIN, 1977).

Diese hohe Glycerolresorption bis zum vorderen Jejunum führt zu einem unmittelbaren Anstieg der Konzentration von Glycerol im Blutplasma. Beim Menschen wurde bereits 15 Minuten nach einer oralen Aufnahme von 5 g Glycerol eine maximale Glycerolkonzentration im Blutplasma gemessen (PELKONEN et al., 1967). Bis zu 50 % der Verwertung des im Blut zirkulierenden Glycerols erfolgt in der Leber (COPPACK et al., 1999). Wie neuere in vitro Untersuchungen an Leberzellen der Ratte (WESTERGAARD et al., 1998) zeigten, stellt bereits der Einstrom von Glycerol in die Zelle, welcher überwiegend als ein sättigungsabhängiger Prozess erfolgt, den limitierenden Schritt im Glycerolstoffwechsel dar. Die schnelle Resorption des Glycerols in Verbindung mit einer sättigungsabhängigen intermediären Glycerolverwertung können zu einem Anstieg der Glycerolkonzentration im Blutplasma von > 1 mmol/l führen, ab der Glycerol nicht mehr vollständig durch die Niere filtriert werden kann (Lin, 1977). Bei Legehennen wurden 2 h nach der Futtervorlage bei Anteilen von 10 % und 15 % Glycerol in der Ration Plasmakonzentrationen von 10,0 mmol/l bzw. 16,7 mmol/l gemessen. Diese lagen um das 120- bzw. 200fache höher als bei einem Futter ohne zusätzlich eingemischtes Glycerol (BARTELT und SCHWABE, 1996). Untersuchungen an Broilern (SIMON et al., 1996) und Schweinen (KIJORA et al., 1995) zeigten, dass eine Glycerolkonzentration von 1 mmol/l Blutplasma bei Glycerolanteilen von 5 % bzw. 10 % in der Ration überschritten wurden. Dadurch lassen sich auch die deutlichen Mengen an Glycerol, welche in den vorliegenden Untersuchungen ab 10 % Glycerol in der Ration über das Exkrement bzw. über den Harn ausgeschieden wurden, erklären. BARTELT und SCHWABE (1996) bei Legehennen, SIMON et al. (1997) bei Broilern sowie KIJORA und KUPSCH (1997) bei Schweinen ermittelten eine Glycerolausscheidung von 17 % , 24 - 27 % bzw. 10 % der aufgenommenen Menge bei Rationen mit einem Anteil von 10 % Glycerol.

Die mit der Erhöhung des Glycerolanteils verbundene Zunahme der Glycerolausscheidungen über das Exkrement bzw. über den Harn sind für die Abnahme der umsetzbaren Energie des Glycerol verantwortlich. Dadurch kann die Angabe eines Wertes für die ME des Glycerols nur in Abhängigkeit vom Mischungsanteil in der Ration erfolgen. Bei der experimentellen Bestimmung der ME des Glycerols wurden jedoch geringere Anteile geprüft, als durch Schiemann

(1981) für Differenzversuche empfohlen wurde. Unter diesem Aspekt könnten die bei einem Anteil von 5 % Glycerol in der Ration ermittelten ME-Werte unkorrekt sein. Eine Alternative besteht darin, dass man von der Bruttoenergie des reinen Glycerols (18,049 MJ/kg) den entsprechenden Energieverlust, welcher durch die Glycerolausscheidung verursacht wird, abzieht. Bei dieser Methode würden sich für das Glycerol (5 % in der Ration) folgende ME-Werte ergeben: 17,88 MJ/kg (Legehennen), 17,78 MJ/kg (Broiler) und 17,53 MJ/kg (Schweine). Diese Werte weisen eine recht gute Übereinstimmung mit den im Differenzversuch ermittelten Werten auf.

Der fehlende Effekt des Glycerols auf die N-Bilanz steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen beim Broiler (SIMON et al., 1996, 1997) und beim Schwein (KIJORA und KUPSCH, 1997). Eine Einsparung von Aminosäuren infolge einer Entlastung des Verbrauchs glucoplastischer Aminosäuren durch eine Glucosesynthese aus dem mit dem Futter aufgenommenen freien Glycerol ist somit nicht nachweisbar. Die hohe Aufnahme anderer glucoplastischer Verbindungen (z.B. Stärke) als auch der verhältnismäßig geringe Anteil des Aminosäureverbrauchs für die Gluconeogenese im Vergleich zum Verbrauch beim Proteinturnover können als Ursache dafür angeführt werden. Selbst bei 48 Stunden genücherten Küken stammen lediglich 26 % der gesamten Glucose aus Aminosäuren, wenn alle freien endogenen Aminosäuren komplett zu Glucose transformiert würden (Emmanuel u.a., 1983).

Glycerol ist ein von vielen Bakteriengruppen leicht zu verwertendes Substrat. Von den untersuchten Bakteriengruppen waren insbesondere Enterobacteriaceae als auch fakultativ anaerobe Gram-positive Kokken in der Lage, Glycerol als alleinige Kohlenhydratquelle zu verwerten. Eine mögliche Gesundheitsgefährdung der Tiere durch eine Förderung dieser Bakteriengruppen infolge der Einmischung von reinem Glycerol in die Diäten kann jedoch aus dem vorliegenden Datenmaterial nicht abgeleitet werden.

Der beobachtete Anstieg der Acetatkonzentration in der Dünndarmdigesta infolge der Einmischung von reinem Glycerol in die Diäten deutet auch auf eine Beeinflussung der mikrobiellen Fermentation hin. Aus in vivo und in vitro Untersuchungen am Pansen des Wiederkäuers geht hervor, dass bei der Fermentation von Glycerol überwiegend Propionsäure und Buttersäure gebildet wird (RÉMOND et al., 1993; BERGNER et al., 1995; KIJORA et al., 1998). In den in vitro Untersuchungen von BERGNER et al. (1995) wurde bei Verwendung von [¹⁴C]-Glycerol keine

Radioaktivität in der Essigsäure und Milchsäure sowie im Methan gefunden. Die im Vergleich zum Pansen abweichenden Ergebnisse, welche in den vorliegenden Untersuchungen erhalten wurden, könnten möglicherweise im Zusammenhang mit einer verstärkten Essigsäurebildung aus Wasserstoff und CO₂ (reduktive Acetatbildung) stehen. Bei der Fermentation von Glycerol wird neben CO₂ auch Wasserstoff bei der Oxidation der Alkoholgruppe zur Säuregruppe freigesetzt. Die Anwesenheit von Sufat, Mucin und freien Aminosäuren kann die reduktive Acetatbildung stimulieren (DERMEYER and DE GRAEVE, 1991). Auf der anderen Seite kann die Acetatbildung nicht einfach mit der Fermentation eines bestimmten Substrates oder einer Bakteriengruppe in Verbindung gebracht werden. Sowohl bei der Fermentation von Kohlenhydraten als auch von Protein/Aminosäuren kann Acetat entstehen und viele Darmbakterien produzieren Acetat. Heterofermentative Gram-positive Kokken als auch Enterobacteriaceae können beträchtliche Mengen an Acetat aus der Fermentation von Hexosen und Pentosen bilden (Vahjen u.a., 1998). Eine direkte oder indirekte Förderung dieser Bakteriengruppen durch zusätzlich in die Futtermischung integriertes Glycerol, wie es tendenziell für die die Mucosa besiedelnde Bakterienflora des Ileums gezeigt wurde, wäre eine weitere Erklärung für die erhöhten Acetatkonzentrationen in der Dünndarmdigesta. Andere strikt anaerobe Bakteriengruppen, welche nicht untersucht wurden, können ebenfalls an der gesteigerten Acetabildung beteiligt sein. JARVIS et al. (1999) isolierten aus Schlachtabfällen zwei Isolate des Genus *Clostridium*, welche in der Lage waren Glycerol zu fermentieren. Dabei wurden hauptsächlich Acetat, Buttersäure und Ameisensäure gebildet. Wahrscheinlich sind die teilweise beim Broiler (15 % Glycerol) beobachteten hohen Konzentrationen an Iso-Buttersäure in der Ileumdigesta ebenso durch proteolytische, strikt anaerobe Bakterien verursacht.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass Glycerol nur begrenzt als Energieträger im Mischfutter für Legehennen, Broiler und Mastschweine einsetzbar ist. Begrenzend wirkt sich vor allem die intermediäre Verwertung des Glycerols aus. Das kann bereits bei Anteilen von über 5 % reinen Glycerols in der Ration zu deutlich ansteigenden Glycerolausscheidungen über das Exkrement bzw. über den Harn führen. Darüber hinaus bewirken höhere Glycerolanteile einen steigenden Wasserkonsum, der die Ausscheidung eines wasserreichen Exkremments beim Geflügel verursacht. Bei einem Anteil von 5 % reinen Glycerols beträgt die umsetzbare Energie zwischen

17,49 - 17,73 MJ/kg. Höhere Mischungsanteile reduzieren den energetischen Futterwert des Glycerols durch dessen vermehrte Ausscheidung deutlich. Zudem ist nicht auszuschließen, dass höhere Anteile von Glycerol in der Ration zu einer Beeinflussung der Mikroflora und der mikrobiellen Fermentation im Dünndarm führen können. Deshalb sollten nicht mehr als 5 % reinen Glycerols eingemischt werden. Aus ökonomischer Sicht ist letztlich der Preis je Einheit Energie entscheidend. Für typische Energieträger im Mischfutter für Schweine, wie zum Beispiel Mais (30 - 31 DM/dt, 14,1 MJ ME/kg) bzw. Weizen (24 - 25 DM/dt, 13,8 MJ ME/kg), würden sich entsprechende Kosten von etwa 0,02 DM/ MJ ME ergeben. Unter Berücksichtigung von 17,5 MJ ME/kg reinem Glycerol würde sich ein Preisäquivalent von etwa 35 DM/dt reines Glycerol ergeben, ab dem Glycerol teilweise das Getreide ersetzen könnte. Der Weltmarktpreis für reines Glycerol liegt jedoch bei 150 DM/dt (März 1998). Entscheidend wird deshalb sein, zu welchem Preis das bei der Herstellung von Biodiesel anfallende Glycerol aus den Ölmühlen direkt angeboten wird. Der energetischen Futterwerts des aus der Rapsmethylesterproduktion anfallenden Rohglycerols hängt von seinem Gehalt an Glycerol ab, welcher zwischen 47 - 85 % schwanken kann (KIJORA, 1996). Zusätzliche Beachtung erfordert der Salzgehalt (Kalilauge dient als Katalysator) des Rohglycerols. Prinzipiell muss für den Fütterungseinsatz vorgesehene Glycerol aus der RME-Produktion frei von Schwermetallspuren und Methanol sein.

Die Autoren bedanken sich bei der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen

6. Literaturverzeichnis

- BARTELT, J., M. SCHWABE, 1996: Untersuchungen zum energetischen Futterwert von Glycerol für Legehennen. 4. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle (Saale), 231-234
- BERGNER, H., C. KIJORA, Z. CERESNAKOVA und J. SZAKACZ, 1995: In vitro Untersuchungen zum Glycerinumsatz durch Pansenmikroorganismen. Arch. Anim. Nutr. 48, 245-256
- CAMPBELL, A.J., F.W. HILL, 1962: The effect of protein source on the promoting action of soyabean oil, and the effect of glycerine in low fat diet. Poultry. Sci. 41, 881 - 882
- CLAUDE, S., 1999: Research of new outlets for glycerol-recent developments in France. Lipid 101, 101 - 104

- COPPACK, S.W., M. PERSSON, R.L. JUDD and J.H. MILES, 1999: Glycerol and nonesterified fatty acid metabolism in human muscle and adipose tissue in vivo. *J. Physiol.* 276 (Endocrinol. Metab. 39), E223-E240
- DEMEYER, D.I., K. DE GRAEVE, 1991: Differences in stoichiometry between rumen and hindgut fermentation. In: M. Kirchgeßner (Hrsg.) *Verdaunungsphysiologie des Dickdarms. Fortschr. Tierphysiol., Tierernähr., Heft 22*, 51-61
- EMMANUEL, B., R. BERZINS and A.R. ROBBLEE, 1983: Rates of entry of alanine and glycerol and their contribution to glucose synthesis in fasted chickens. *Br. Poult. Sci.* 24, 565 – 571
- GUO, ZK., M.D. JENSEN, 1999: Blood glycerol is an important precursor for intramuscular triacylglycerol synthesis. *J. Biol. Chem.* 274, 23702-23706
- JARVIS, G.N., C. STROMPL, E.R.B. MOORE and J.H. THIEL, 1999: Isolation and characterization of two glycerol-fermenting clostridial strains from a pilot scale anaerobic digester treating high lipid-content slaughterhouse waste. *J. Appl. Microbiol.* 86, 412 – 420
- KIJORA, C., 1996: Glycerineinsatz in der Tierernährung. In: J. Bartelt und C. Kijora (Hrsg.) *Symposium in Würdigung der wissenschaftlichen Arbeit von Prof. Dr. habil. Hans Bergner auf dem Gebiet der Tierernährung*. Shaker Verlag, Aachen, 125-131
- KIJORA, C., H. BERGNER, R.-D. KUPSCH und L. HAGEMANN, 1995: Glycerin als Futterkomponente in der Schweinemast. *Arch. Anim. Nutr.* 47, 345-360
- KIJORA, C., R.-D. KUPSCH, 1997: Untersuchungen zur N-Bilanz, zum Glycerin- und Wasserumsatz nach Glycerinverfütterung an Schweine. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 6, 43
- KIJORA, C., R.-D. KUPSCH, H. BERGNER, C. WENK, A.L. PRABUCKI, 1997: Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz von Glycerin, freien Fettsäuren und Glycerin sowie pflanzlichem Öl in der Schweinemast. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 77, 127-138
- KIJORA, C., H. BERGNER, K.-P. GÖTZ, J. BARTELT, J. SCAKACZ and A. SOMMER, 1998: Research Note: Investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. *Arch. Anim. Nutr.* 51, 341-348
- LIN, M.H., D.R. ROMSOS and G.A. LEVEILLE, 1976: Effect of Glycerol on lipogenic enzyme activities and on fatty acid synthesis in the rat and chicken. *J. Nutr.* 106, 1668-1677
- LIN, E.C.C. (1977): Glycerol utilization and its regulation in mammals. *Ann. Rev. Biochem.* 46, 765-795
- MOUROT, J., A. AUMAITRE, A. MOUNIER, P. PEINIAU, A. FRANCOIS, C. PEYRONNET and J.P. JAMET (1993): Effects du glycérol alimentaire sur les performances de croissance et la qualité de la viande chez le porc large white. *J. Rech. Porcine en France* 25, 29-36

- NAUMANN , C., R. BASSLER, 1976: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch. Bd. 3 mit Ergänzungslieferungen 1983, 1988 und 1993, Verlag VDLUFA, Darmstadt
- NRC, 1998: Nutrient requirements of swine, tenth revised edition
- PELKONEN, R., E.A. NIKKILÄ and M. KEKKI, 1967: Metabolism of glycerol in diabetes mellitus. *Diabetologia* 3, 1-8
- RÉMOND, B., E. SOUNDAY and J.P. JOUANY, 1993: In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 41, 121-132
- SCHÄFER, K., 1995: Analysis of short chain fatty acids from different intestinal samples by capillary gas chromatography. *Chromatographia* 40, 550-556
- SCHIEMANN, R., 1981: Methodische Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen für die Futterwertschätzung. *Arch. Anim. Nutr.* 31, 1-19
- SIMON, A., H. BERGNER und M. SCHWABE, 1996: Glycerin als Futterkomponente für Broilerküken. *Arch. Anim. Nutr.* 49, 103 -112
- SIMON, A., M. SCHWABE und H. BERGNER, 1997: Glycerineinsatz in Broilerrationen mit niedrigem Rohproteingehalt. *Arch. Anim. Nutr.* 50, 271-282
- VAHJEN, W., K. GLÄSER, K. SCHÄFER and O. SIMON, 1998: Influence of xylanase-supplemented feed on the development of selected bacterial groups in the intestinal tract of broiler chicks. *J. Agric. Sci., Camb.* 130, 489 - 500
- VAN KLEEF, D.J., K. DEURING and P. VAN LEEUWEN, 1994: A new method of faeces collection in the pig. *Laboratory Anim.* 28, 78-79
- WESTERGAARD, N., P. MADSEN and K. LUNDGREN, 1998: Characterization of glycerol uptake and glycerol kinas activity in rat hepatocytes cultured under different hormonal conditions. *Bichim. Biophys. Acta* 1402, 261 - 268

