

Untersuchungen zur Hitzeschädigung von Weizengluten: Ermittlung des intermediären Lysinabbaus bei Küken mittels Isotopentechnik (^{14}C -U-L-Lysin-Oxidation)¹⁾

A. Simon, H. Bergner und S. Anwari

Institut für Ernährungsphysiologie, Humboldt-Universität zu Berlin

Investigations on heat modification of wheat gluten: Estimation of metabolic lysine degradation in chickens by isotopic techniques (^{14}C -U-L-lysine-oxidation)

Zusammenfassung: Das Ziel der hier dargestellten Versuche war die Beantwortung der Frage, ob die verminderte biologische Verwertbarkeit von Lysin nach Hitzeschädigung von Weizengluten durch einen verminderten intermediären ^{14}C -Lysinabbau bei Küken nachweisbar ist.

In 2 Versuchen erhielten Masthähnchenküken Diäten auf der Basis von Weizen und Weizengluten (unbehandelt oder erhitzt), die sich weiterhin durch die Höhe der Lysinzulage unterschieden. In Versuch 1 wurde restriktiv gefüttert, in Versuch 2 ad libitum. Zur Bestimmung des intermediären Lysinabbaus wurde allen Tieren in der 3. Lebenswoche zusätzlich eine i.v. Injektion von ^{14}C -U-L-Lysin verabfolgt und anschließend die $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung bis zur 3. Stunde nach der Injektion gemessen.

Bei mittleren oder hohen Lysinzulagen bestanden hinsichtlich der Lebendmassezunahme und der N-Bilanz keine Differenzen zwischen den Gruppen. Bei einer Lysinversorgung um und oberhalb des Bedarfswerts waren der Lysinabbau zu $^{14}\text{CO}_2$ (in % der verabreichten Dosis) und die spezifische Radioaktivität des CO_2 bei den Tieren, die erhitztes Gluten erhielten, signifikant geringer als bei der entsprechenden Gruppe mit unbehandeltem Gluten. Es wird geschlußfolgert, daß die verminderte biologische Verwertbarkeit des Lysins durch die Hitzebehandlung des Glutens sich in der Lebendmassezunahme und N-Bilanz nur bei einer Lysinversorgung unter dem Bedarf niederschlägt. Im Gegensatz dazu war mittels $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung der Effekt der Hitzeschädigung speziell bei einer Lysinzufuhr um den Bedarfswert nachweisbar.

Summary: The aim of our experiments was to identify a restricted lysine bioavailability after heating of wheat gluten by estimating a reduced metabolic ^{14}C -lysine degradation.

In two trials, male broiler chickens were fed with six diets based on wheat and wheat gluten (gluten untreated or heated), but differing in lysine content according to lysine supplementation. In trial 1 animals were fed restrictively, in trial 2 they were fed ad libitum. For estimation of metabolic lysine degradation all animals received an additional i.v. injection of ^{14}C -U-L-lysine 3 weeks posthatching, followed by hourly collection of $^{14}\text{CO}_2$ up to 3 h after injection.

Abbreviation index:

LM = Lebendmasse

PPW = Produktiver Proteinnutzwert

LMZ = Lebendmassezunahme

TS = Futtertrockensubstanz

ME = Umsetzbare Energie

¹⁾ Die Untersuchungen wurden finanziell unterstützt von der H. Wilhelm Schaumann Stiftung zur Förderung der Agrarwissenschaften

There were no differences between groups receiving untreated or heated gluten concerning weight gain and N-balance if the lysine supplementation was medium or high. When applying a lysine supply close to the requirement level or above the requirement the lysine degradation to $^{14}\text{CO}_2$ (% of the dose) and the specific radioactivity of CO_2 in animals receiving heated gluten was significantly lower compared to the corresponding group with untreated gluten. It can be concluded that reduced bioavailability of lysine due to heat treatment of gluten might be indicated by means of weight gain or N-balance only at lysine supply levels below the requirement. In contrast, measurements of lysine degradation by means of $^{14}\text{CO}_2$ -excretion after i.v. lysine injection indicate the heat-damaging effect, especially at lysine levels close to the requirement.

Schlüsselwörter: Lysin – Hitzeschädigung – Weizengluten – ^{14}C -Lysinoxidation – Masthähnchenküken

Key words: Lysine – heat modification – wheat gluten – ^{14}C -lysine-oxidation – broiler chickens

Einleitung

Bei den verschiedenen chemischen Veränderungen, die während der Lagerung und Verarbeitung von Nahrungs- und Futtermitteln ablaufen können, steht aus ernährungsphysiologischer Sicht die Verminderung der Proteinqualität und insbesondere der Verlust an verfügbarem Lysin durch die Maillard-Reaktion im Mittelpunkt des Interesses. Zusätzlich können bei höheren Temperaturen mit, aber auch ohne Einwirkung von Alkalien durch Protein-Protein-Reaktionen Quervernetzungen der Proteinmoleküle entstehen, die ebenfalls die biologische Verwertbarkeit der Aminosäuren verringern (12, 20). Neben einer großen Anzahl von Versuchen, in denen die Verminderung der Proteinqualität durch Bestimmung des Aminosäurengehaltes und seiner verwertbaren Fraktionen (insbesondere reaktives Lysin) nachgewiesen wird (4, 8, 9, 11, 27), werden im Tierexperiment häufig die Maßstäbe Proteinwirksamkeit, biologische Wertigkeit bzw. Nettoproteinverwertung bestimmt (5, 7, 14, 16, 17, 18) bzw. die Konzentration resorbierter Aminosäuren im Pfortaderblut herangezogen (10, 25, 26). Die Messung der Proteinverdaulichkeit nach thermischer Behandlung ist jedoch kein guter Indikator für die Proteinqualität, weil die biologische Verwertbarkeit stärker gesenkt wird als die Stickstoffverdaulichkeit, da einige modifizierte Aminosäuren resorbiert werden, ohne für die Proteinsynthese nutzbar zu sein (13). Weil aus der chemisch als reaktiv bestimmten Lysinmenge nicht auf den tatsächlich verfügbaren Anteil geschlossen werden kann (1) und die Schädigung des Nährwerts im Vergleich zum Absinken reaktiven Lysins größer ist, wenn die Reaktion Quervernetzungen einschließt (6), ist es jedoch notwendig, chemische Maßstäbe auch im Tierversuch zu überprüfen (18, 20, 27).

Bei der stoffwechselorientierten Aminosäurenbedarfsbestimmung wird die Abbaurate der zu untersuchenden Aminosäure im Stoffwechsel als Kriterium der Bedarfsdeckung zugrunde gelegt. Durch die Verabreichung von Aminosäuren, die mit radioaktiven oder stabilen Isotopen markiert sind, ist deren Anteil an den Ausscheidungsprodukten in Form von $^{14}\text{CO}_2$ in der Atemluft oder von ^{15}N oder ^{35}S in den Exkrementen meßbar. Diese Methode kann zur Bestimmung des Aminosäurenbedarfs von Ratten und Masthähnchenküken bei kurzer Meßzeit im Erhaltungs- und Leistungsstoffwechsel erfolgreich eingesetzt werden (2, 3, 21, 23, 24, 29). Das Ziel der hier dargestellten Versuche bestand darin, zu prüfen, ob eine durch Überhitzung verursachte Verminderung der Lysinverwertung eines

Futterproteins (Weizengluten) mit Hilfe der Oxidationsrate von injiziertem ¹⁴C-U-L-Lysin nachgewiesen werden kann.

Material und Methodik

Im Tierexperiment wurde für das Versuchsfutter entweder sprühgetrocknetes Weizengluten in unbehandelter Form eingesetzt (Diäten A) oder das Gluten wurde zuvor zur Hitzeschädigung 6 Stunden bei einer Schichtdecke von 1 g lufttrockenem Gluten je cm² bei einer Temperatur von 155 °C trocken erhitzt (Diäten B). Die Bestimmung des verfügbaren Lysins im Gluten durch die Trinitrobenzensulfonsäure-Methode nach JAMES und RYLEY (15) ergab eine Verminderung des Lysins in der extrahierbaren Proteimenge auf 57 % des Ausgangsmaterials.²⁾ Mittels Gel-elektrophorese mit Natriumdodecylsulfat (SDS) wurde nach thermischer Behandlung des Glutens eine deutliche Erhöhung der Molekülmassen durch Quervernetzung nachgewiesen. Bei unbehandeltem Gluten hatten 91,6 % der Proteine im Gluten eine Molekülmasse zwischen 11 200 und 89 000, wobei 22,5 % der Moleküle eine Masse zwischen 21 900 und 35 900 aufwiesen, was der Molekülmasse von Gliadin entspricht. Bei dem erhitzten Gluten lagen die Molekülmassen vollständig oberhalb von 89 000. Durch die LOWRY-Bestimmung wurden weiterhin bei der erhitzten Glutencharge nur noch 53 % der Ausgangslöslichkeit ermittelt.

Versuchstiere und Fütterung

In 2 Versuchen wurden jeweils 48 männliche Masthähnchenküken der Linie Tetra 82 (4fach Hybrid ungarischer Herkunft) in Gruppenkäfigen mit Gitterboden eingestallt und in der ersten Lebenswoche mit einer vollwertigen Ration gefüttert. In beiden Versuchen wurden die Tiere am 8. Lebenstag in Einzelkäfige umgestallt und jeweils 3 Gruppen zu je 8 Tieren erhielten Diäten auf der Basis von Weizen und unbehandeltem (Diäten A) bzw. erhitztem Weizengluten (Diäten B) (Tab. 1). Wasser wurde immer ad libitum angeboten.

Tab. 1. Zusammensetzung der Basisdiäten (g/kg TS) (Energiegehalt 12,6 MJ ME/kg TS)

Komponente	Versuch 1 (Restriktive Fütterung)		Versuch 2 (Ad libitum Fütterung)	
	Diäten A	Diäten B	Diäten A	Diäten B
Weizen	771	771	756	756
Gluten unbehandelt	169	–	164	–
Gluten 6 h bei 155 ° C erhitzt	–	169	–	164
Sonnenblumenöl	15	15	15	15
Mineralstoffmischung ¹⁾	25	25	25	25
Vitaminmischung ²⁾	20	20	20	20
Aminosäuren- mischung ³⁾	–	–	20	20

¹⁾ (Mineralstoffmischung für Geflügel mit 299 g Calcium, 54 g Phosphor, 47 g Natrium, 1,56 g Mangan und 1,25 g Zink je kg)

²⁾ (10 000 IE Vitamin A, 1 000 IE Vitamin D₃, 30 mg Vitamin E, 2 mg Vitamin K₃, 25 mg Vitamin C, 2,5 mg Vitamin B₁, 15 mg Vitamin B₂, 0,03 mg Vitamin B₁₂, 20 mg Ca-Pantothensäure, 60 mg Nicotinsäureamid, 2 000 mg Cholinchlorid, 4 mg Folsäure, 0,3 mg Biotin; ad 20 g Quellstärke)

³⁾ 1 g DL-Methionin und 1,0 g L-Threonin ad 20 g Weizen fein vermahlen

²⁾ Für die chemische Charakterisierung des Weizenglutens gilt unser herzlicher Dank Dr. H. M. Rawel, Fachbereich Lebensmitteltechnologie, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Mikrobiologie der Humboldt-Universität zu Berlin

Die Aminosäurengehaltswerte der Diäten wurden nach Hydrolyse der Komponenten mit 6N HCl durch Analyse am Aminosäurenanalysator AAA 339M (Mikrotechna, ČFSR) ermittelt.

Tab. 2.. Rohproteingehalt (g/kg TS) und Aminosäurenzusammensetzung (g Aminosäure/kg TS) der Basisdiäten

Aminosäure	Versuch 1		Versuch 2	
	(Restriktive Fütterung)		(Ad libitum Fütterung)	
	Diät A	Diät B	Diät A	Diät B
	unbehandelt	erhitzt	Glutenbehandlung	
			unbehandelt	erhitzt
Rohprotein	269	270	272	268
Asparaginsäure	10,3	10,4	11,8	11,9
Threonin	6,4	6,5		
Threonin (+ 1 g Zulage/kg TS)			8,0	8,1
Serin	10,8	10,0	12,0	11,3
Glutaminsäure	88,2	89,9	92,9	94,4
Prolin	37,5	38,1	32,4	33,0
Glycin	9,0	9,0	10,4	10,4
Alanin	7,7	7,8	8,8	8,9
Valin	10,5	10,1	11,8	11,4
Isoleucin	9,0	9,1	9,3	9,3
Leucin	17,4	17,5	18,4	18,5
Tyrosin	8,5	8,2	8,8	8,5
Phenylalanin	12,7	12,6	13,7	13,6
Histidin	6,3	6,0	9,3	9,0
Lysin	5,1	4,2	5,2	4,4
Arginin	10,1	10,3	11,0	11,2
Methionin	2,8	2,8		
Methionin (+ 1 g Zulage/kg TS)			4,2	4,2
Cystein	4,6	4,3	4,9	4,3

Der Gehalt an Lysin betrug bei den Diäten A ohne Lysinzulage 5,1 bzw. 5,2 g/kg TS. Entsprechend der säulenchromatographischen Aminosäurenanalyse war der Gehalt an Lysin im erhitzten Gluten auf 68 % des Ausgangsgehaltes vermindert und der Lysingeinhalt der Diäten B mit erhitztem Gluten betrug dem entsprechend nur 4,2 bzw. 4,4 g/kg TS, d.h. 82 bis 85 % des Gehaltes an Lysin in der Diät A (s. Tab. 2). Darüber hinaus wurde mit dieser Methode eine leichte Reduzierung des Gehalts an Cystein, Histidin, Valin und Tyrosin festgestellt (s. Tab. 2).

Zu den beiden Diätvarianten A und B wurde entweder kein Lysin (Diäten A 1 und B 1), 7 g Lysin/kg TS (Diäten A 2 und B 2) oder 12 g Lysin/kg TS (Diäten A 3 und B 3) in Form von L-Lysin-HCl zugelegt (Tab. 3). Der Gesamtlysingeinhalt für die Diäten A entsprach somit ca. 40, 100 bzw. 140 % des an Tieren gleicher Herkunft und gleichen Alters ermittelten Lysinbedarfs (3, 21). Im Versuch 1 wurde eine restriktive Fütterung von etwa 75 % der mittleren Futteraufnahme dieses Altersabschnitts angestrebt, damit eine mögliche Beeinträchtigung der Futteraufnahme durch das hitzegeschädigte Gluten ausgeglichen werden konnte. Im Versuch 2 wurde das Futter ad libitum angeboten und zusätzlich erfolgte eine Ergänzung von Methionin und Threonin bis zur Bedarfsgrenze (siehe Tab. 1 und 2).

Tab. 3. Lysin- und Rohproteingehalt der Versuchsdiäten

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
	unbehandelt			Glutenbehandlung (6 h bei 155 ° C)		
<i>Versuch 1 (restriktive Fütterung)</i>						
Lysin in der Basis- diät nach Aminosäu- renanalyse (g/kg TS)	5,1	5,1	5,1	4,2	4,2	4,2
Lysin-Zulage (g/kg TS)	0	7	12	0	7	12
Gesamtlysingehalt nach Aminosäuren- analyse (g Lysin/kg TS)	5,1	12,1	17,1	4,2	11,2	16,2
(g Lysin/16 g N)	1,90	4,43	6,04	1,56	4,01	5,70
Rohproteingehalt (g/kg TS)	269	273	283	270	279	284
<i>Versuch 2 (ad libitum Fütterung)</i>						
Lysin in der Basis- diät nach Aminosäu- renanalyse (g/kg TS)	5,2	5,2	5,2	4,4	4,4	4,4
Lysin-Zulage (g/kg TS)	0	7	12	0	7	12
Gesamtlysingehalt nach Aminosäuren- analyse (g Lysin/kg TS)	5,2	12,2	17,2	4,4	11,4	16,4
(g Lysin/16 g N)	1,91	4,33	6,25	1,64	4,10	5,84
Rohproteingehalt (g/kg TS)	272	282	275	268	278	281

Bestimmung der Lebendmassezunahme, des Futteraufwands und der N-Bilanz

Die Tiere wurden einzeln zweimal wöchentlich morgens nüchtern gewogen. Im Versuch 1 wurde der Futteraufwand nicht ermittelt. In Versuch 2 erfolgte die Futteraufwandsbestimmung über den gesamten Versuchszeitraum durch tägliche Sammlung des Restfutters. In der 3. Lebenswoche wurde in Versuch 1 über 4 Tage und im Versuch 2 über 5 Tage eine N-Bilanz durchgeführt. Aus den Daten wurde der tägliche N- und Proteinansatz (Faktor 6,25), der Proteinansatz in Prozent der LMZ und der produktive Proteinnutzwert (PPW) berechnet.

$$\text{PPW} = \frac{\text{N-Ansatz (g)}}{\text{N-Aufnahme (g)}} \times 100$$

Markierung mit ¹⁴C-U-L-Lysin

Zur Messung der intermediären Oxidationsrate des Lysins hatten die Tiere nach 14tägiger Versuchsfütterung morgens 30 min Zugang zum Futter und 1,5 h nach Futterentzug erhielten sie eine

Injektion von ^{14}C -U-L-Lysin (in physiologischer NaCl-Lösung) in die Flügelvene. Die Injektionsmenge betrug 2,6 ml/kg^{0,75} bei einer Dosis von 60,4 kBq/ml im Versuch 1 und 33,8 kBq/ml im Versuch 2. Die radiochemische Reinheit des verwendeten ^{14}C -U-L-Lysins betrug 92,6 % (Versuch 1) bzw. 90,0 % (Versuch 2).

CO_2 - sowie $^{14}\text{CO}_2$ -Messung

Zur CO_2 -Absorption wurden die Tiere sofort nach der Injektion in Respirationskammern (umgebauten Exsikkatoren) eingesetzt. Zwecks Durchleitung CO_2 -freier Luft mit einer Laborpumpe waren dem Exsikkator ein Röhrchen mit Natronkalk sowie eine Waschflasche mit 33 %iger Natronlauge vorgeschaltet. Auf der Ausgangsseite befand sich eine Waschflasche mit 40 ml CO_2 -Absorptionslösung (Ethanolamin: Ethanol, 1:4,2). Die Absorptionsgefäß wurde bis 3 h nach der Injektion stündlich gewechselt (in Versuch 1 zusätzlich 10 min nach der Injektion) und mit Ethanol auf 50 ml aufgefüllt. Die CO_2 -Bestimmung erfolgte nach Ausfällen von BaCO_3 durch Zusatz von BaCl_2 und Titration des unverbrauchten Ethanolamins mit 0,1 N HCl. Die Radioaktivität des $^{14}\text{CO}_2$ in der Absorptionslösung wurde mit dem Flüssigkeitsszintillationspektrometer Tricarb 2260 und 3380 (Fa. Packard, USA) bestimmt und wird in Zerfällen je Minute (DPM) angegeben.

Biostatische und mathematische Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch eine multifaktorielle Varianzanalyse. Bei signifikantem F-Wert ($P < 0,05$) wurden die Mittelwertunterschiede mit dem gepaarten t-Test (28) auf Signifikanz geprüft ($P < 0,05$) und sind in den Tabellen mit Buchstabenindizes gekennzeichnet. In den Ergebnistabellen wird zu den Mittelwerten der mittlere Fehler des Mittelwertes angegeben. Der Ausschluß einzelner, innerhalb der Meßreihen stark abweichender Einzelmeßwerte erfolgte mit Hilfe des Ausreißertests (22).

Zur Ermittlung des Anstiegs der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung bei steigender L-Lysinzulage wurde der Anstiegswinkel α über den $\tan \alpha$ wie folgt berechnet:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta \text{ } ^{14}\text{CO}_2\text{-Ausscheidung (in \% der Dosis)}}{\Delta \text{ Lysingehalt der Diät (g/kg TS)}}$$

Die Ermittlung des Anstiegswinkels α der spezifischen Radioaktivität (SR) erfolgte analog:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta \text{ SR des CO}_2 \text{ (DPM} \cdot 10^3 / \text{mMol CO}_2\text{)}}{\Delta \text{ Lysingehalt der Diät (g/kg TS)}}$$

Bei Verrechnung verschiedener Mittelwerte zu neuen Mittelwerten wurde das Fehlerfortpflanzungsgesetz nach Gauß (19) angewendet.

Ergebnisse und Diskussion

Versuch 1 (Restriktive Fütterung)

Lebendmasseentwicklung und N-Bilanz: Die niedrigen Lebendmassezunahmen von maximal 11,5 g/d im Versuch 1 wurden für die Gruppen mit Lysinzulage (A 2, A 3, B 2 und B 3) hauptsächlich durch die restriktive Fütterung verursacht (Tab. 4). Zusätzlich war die freiwillige Futteraufnahme der Tiere der Gruppen A 1 und B 1 durch den starken Lysinmangel nochmals um 53 bzw. 59 % drastisch verringert.

Tab. 4. Lebendmasseentwicklung (g), Lebendmassezunahme (g/d) sowie Lysinangebot pro Zunahmeeinheit während der Versuchsfütterung in Versuch 1 (restriktive Fütterung) (Mittelwerte ± SE, n = 8 pro Gruppe)

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
	Glutenbehandlung unbehandelt			erhitzt (6 h bei 155 ° C)		
	5,1	12,1	Lysingehalt (g/kg TS) 17,1	4,2	11,2	16,2
<i>Lebendmasseentwicklung</i>						
<i>Lebenstag</i>						
7	93,8 ±1,36	94,2 ±1,86	94,2 ±2,68	94,0 ±1,94	92,6 ±1,84	92,9 ±1,74
10	109,4 ±2,48	115,6 ±3,46	115,7 ±3,73	104,2 ±2,96	114,9 ±2,61	110,9 ±2,52
15	122,9 ^b ±2,95	171,1 ^{cd} ±4,16	180,0 ^d ±4,17	108,8 ^a ±3,41	160,6 ^c ±4,77	168,7 ^{cd} ±3,29
19	133,9 ^b ±3,08	222,0 ^{cd} ±4,68	231,7 ^d ±5,53	114,2 ^a ±3,15	209,9 ^c ±4,99	217,9 ^{cd} ±3,55
<i>Zunahme</i>						
(g/Tier.d)	3,3 ^b ±0,22	10,6 ^{cd} ±0,31	11,5 ^d ±0,32	1,7 ^a ±0,20	9,8 ^c ±0,33	10,4 ^{cd} ±0,21
<i>Lysinangebot pro Zunahmeeinheit</i>						
(g/kg LMZ)	0,65 ^a ±0,013	1,60 ^b ±0,044	2,23 ^c ±0,054	0,60 ^a ±0,016	1,58 ^b ±0,037	2,22 ^c ±0,049
(g/kg ^{0,75} LMZ)	0,38 ^b ±0,006	1,00 ^c ±0,021	1,41 ^d ±0,025	0,34 ^a ±0,007	0,98 ^c ±0,017	1,38 ^d ±0,023

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede (P < 0,05), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

Am Versuchsende betrug die Lebendmassezunahme der Tiere, die mit Diät B 1 gefüttert wurden nur 52 % der von Gruppe A 1 (s. Tab. 4). Bei gleicher Lysinzulage gab es weiterhin keine signifikanten Lebendmasseunterschiede zwischen den Gruppen.

Während der N-Bilanz-Periode lag der N-Ansatz bei der Gruppe B 1 mit 0,123 g N/Tier.d signifikant unter dem der Gruppe A 1 (0,205 g N/Tier.d) (Tab. 5).

Unabhängig von der Art des eingesetzten Glutens bestanden zwischen den Gruppen mit Lysinzulage nur geringe Unterschiede im N-Ansatz, der jedoch mit 0,489 bis 0,599 g/Tier.d signifikant über dem der Gruppen A 1 und B 1 lag. Letztere Gruppen wiesen jedoch mit einem Proteinansatz von 42,8 bzw. 62,6 % der LMZ einen überdurchschnittlich hohen Anteil von Protein an der Gesamtzunahme auf (s. Tab. 5). Die Berechnung des PPW ergab keine Unterschiede zwischen den Gruppen mit Lysinzulage (48,4 bis 54,6 %). Der signifikant niedrigste PPW wurde für Gruppe B 1 ermittelt (29,6 %).

Tab. 5. Ergebnisse der N-Bilanz vom 15.–19. Lebenstag, Versuch 1 (restriktive Fütterung) (Mittelwerte \pm SE)

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
	Glutenbehandlung unbehandelt			Lysingehalt (g/kg TS) erhitzt (6 h bei 155 ° C)		
	5,1	12,1	17,1	4,2	11,2	16,2
N-Aufnahme (g/Tier.d)	0,486 ^b $\pm 0,018$	1,029 ^c $\pm 0,016$	1,096 ^d $\pm 0,001$	0,409 ^a $\pm 0,025$	1,010 ^c $\pm 0,018$	1,080 ^d $\pm 0,014$
N-Ansatz (g/Tier.d)	0,205 ^b $\pm 0,016$	0,537 ^{cd} $\pm 0,024$	0,599 ^d $\pm 0,030$	0,123 ^a $\pm 0,015$	0,489 ^c $\pm 0,021$	0,528 ^{cd} $\pm 0,016$
Protein- ansatz (g/Tier.d)	1,28 ^b $\pm 0,100$	3,35 ^{cd} $\pm 0,154$	3,74 ^d $\pm 0,190$	0,78 ^a $\pm 0,098$	3,06 ^c $\pm 0,130$	3,30 ^{cd} $\pm 0,098$
Protein- ansatz (in % der LMZ)	42,8 ^b $\pm 2,02$	26,9 ^a $\pm 2,10$	29,7 ^a $\pm 2,64$	62,6 ^b $\pm 9,69$	24,9 ^a $\pm 0,78$	27,0 ^a $\pm 0,92$
N-Ansatz (in % der N-Aufnahme) (PPW)	42,2 ^b $\pm 3,65$	52,1 ^c $\pm 1,92$	54,6 ^c $\pm 2,76$	29,6 ^a $\pm 2,21$	48,4 ^{bc} $\pm 1,70$	48,9 ^{bc} $\pm 1,51$
LMZ (g/Tier.d)	2,8 ^b $\pm 0,24$	12,7 ^c $\pm 0,54$	12,9 ^c $\pm 0,70$	1,4 ^a $\pm 0,21$	12,3 ^c $\pm 0,54$	12,3 ^c $\pm 0,34$
15.–19. Lebenstag						

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede ($P < 0,05$), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

$^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung: Da die $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung in Versuch 1 (restriktive Fütterung) nach 10 min nur 0,2 bis 0,3 % der verabreichten Dosis betrug (Tab. 6), kann eine vermutete vorrangige Ausscheidung von radiochemischen Verunreinigungen kurz nach der Injektion ausgeschlossen werden. ^{14}C -markierte Verunreinigungen, die eine plötzliche $^{14}\text{CO}_2$ -Freisetzung ermöglicht hätten, z.B. aus Carbonaten, wären an einer erhöhten spezifischen Radioaktivität zu erkennen gewesen, was ebenfalls nicht auftrat (Tab. 6).

Bei Meßzeiten länger als 10 min kam es sowohl bei Diäten A als auch B zu einem z.T. signifikanten Anstieg der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung bei jeweils höherer Lysinzulage im Futter (Tab. 6). Dabei bestand jedoch bei einer Meßdauer von 1 h 10 min sowie 2 h 10 min nach Injektion eine signifikant geringere $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung bei der Gruppe B 2 von nur 70 bzw. 77 % der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung der Gruppe A 2 mit gleicher Lysinzulage und unbehandeltem Gluten. Die Berechnung des Anstiegswinkels α (s. Tab. 7) zeigt ebenfalls einen deutlich flacheren Anstieg der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung zwischen den Gruppen B 1 und B 2 ($13,7^\circ$) als zwischen allen anderen Gruppen ($23,2$ bis $35,8^\circ$).

Tab. 6. ¹⁴CO₂-Ausscheidung (in % der verabreichten Dosis) und spezifische Radioaktivität des CO₂ (in DPM * 10³/mMol CO₂) bis 3 h 10 min nach i.v. Verabreichung von ¹⁴C-U-L-Lysin im Versuch 1 (restriktive Fütterung) (Mittelwerte ± SE)

Meßzeit nach Injektion	Diäten		Lysingehalt (g/kg TS)	Diäten	
	A 1	A 2		B 1	B 2
	Glutenbehandlung			erhitzt (6 h bei 155 ° C)	
	unbehandelt	unbehandelt	17,1	4,2	11,2
	5,1	12,1			16,2
<i>¹⁴CO₂-Ausscheidung</i>					
bis 10 min	0,3 ±0,11	0,3 ±0,08	0,3 ±0,07	0,2 ±0,06	0,2 ±0,09
bis 1 h 10 min	2,1 ^{ab} ±0,40	4,7 ^d ±0,32	5,0 ^{cd} ±1,05	2,0 ^a ±0,24	3,3 ^{bc} ±0,51
bis 2 h 10 min	3,6 ^{ab} ±0,40	6,6 ^c ±0,31	8,9 ^c ±1,16	3,5 ^a ±0,29	5,1 ^b ±0,58
bis 3 h 10 min	4,7 ^{ab} ±0,47	7,7 ^c ±0,35	11,2 ^d ±1,09	4,6 ^a ±0,35	6,3 ^{bc} ±0,64
<i>Spezifische Radioaktivität</i>					
bis 10 min	1,87 ±1,10	3,30 ±2,34	2,38 ±0,82	1,68 ±0,54	3,55 ±2,12
bis 1 h 10 min	2,77 ^{ab} ±0,73	7,00 ^{cd} ±0,93	6,32 ^d ±1,44	2,77 ^a ±0,27	4,91 ^{bc} ±0,81
bis 2 h 10 min	2,54 ^{ab} ±0,44	4,85 ^{cd} ±0,56	5,72 ^d ±0,83	2,55 ^a ±0,30	3,56 ^{bc} ±0,31
bis 3 h 10 min	2,29 ^a ±0,34	3,68 ^{bc} ±0,40	4,79 ^c ±0,58	2,30 ^a ±0,19	2,89 ^{ab} ±0,21
					4,37 ^c ±0,42

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede (P < 0,05), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, daß bei der Gruppe A 2 die Versorgung des Organismus mit Lysin bereits bedarfsdeckend war, so daß es hier zu einer deutlich höheren Abbaurate des ¹⁴C-U-L-Lysins kam als bei vorheriger Lysinschädigung durch Erhitzung (Gruppe B 2).

Spezifische Radioaktivität des CO₂: Die spezifische Radioaktivität des CO₂ der Gruppen A 1 und B 1 war zu jedem Meßzeitpunkt nahezu identisch und lag in fast allen Fällen signifikant unterhalb der Meßwerte der Gruppen mit Lysinzulage (Tab. 6). Gleichfalls bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit höchster Lysinzulage (A 3, B 3). Die spezifische Radioaktivität des CO₂ bei Gruppe B 2 betrug jedoch 2 h 10 min nach ¹⁴C-U-L-Lysinjektion nur 73 % bzw. nach 3 h 10 min nur 79 % der Werte, die nach Fütterung von unbehandeltem Gluten gleichen Lysingehaltes (A 2) gemessen wurden (Tab. 6). Dies

Tab. 7. Anstiegswinkel α (in °) des Anstiegs der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung nach i.v. Verabreichung von $^{14}\text{C-U-L-Lysin}$ (in % der verabreichten Dosis) bis Ende der Meßzeit und spezifische Radioaktivität des CO_2 (in $\text{DPM} \cdot 10^3/\text{mMol CO}_2$) bei Erhöhung des Lysingehaltes in der Diät im Versuch 1 (restriktive Fütterung) (Mittelwerte \pm SE)

		Diäten					
von A 1 zu A 2	von A 2 zu A 3	von B 1 zu B 2	von B 2 zu B 3				
Glutenbehandlung							
unbehandelt		erhitzt (6 h bei 155 ° C)					
		Änderung des Lysingehalts (g/kg TS)					
von 5,1 auf 12,1	von 12,1 auf 17,1	von 4,2 auf 11,2	von 11,2 auf 16,2				
<i>Anstiegswinkel der $^{14}\text{CO}_2$-Ausscheidung (% der Dosis)</i>							
23,2 ° $\pm 6,24$ °	35,0 ° $\pm 12,90$ °	13,7 ° $\pm 5,88$ °	35,8 ° $\pm 11,68$ °				
<i>Anstiegswinkel der spezifischen Radioaktivität des CO_2 ($\text{DPM} \cdot 10^3/\text{mMol CO}_2$)</i>							
11,3 ° $\pm 4,29$ °	12,5 ° $\pm 8,02$ °	4,8 ° $\pm 2,32$ °	16,5 ° $\pm 5,36$ °				

entspricht trotz fehlender Signifikanz den Verhältnissen bei der Messung der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung. Der Anstieg der spezifischen Radioaktivität des CO_2 (Tab. 7) war am Ende der Meßzeit von 3 h 10 min von der Gruppe B 1 zur Gruppe B 2 mit einem Winkel von 4,8° ebenfalls deutlich geringer als zwischen allen anderen Gruppen (11,3 bis 16,5°).

Versuch 2 (Ad libitum Fütterung)

Lebendmassezunahme, Futteraufwand und N-Bilanz: Trotz gleicher Herkunft und identischer Fütterung der Küken ist auffällig, daß die Lebendmasse bereits am 7. Lebenstag mit ca. 132 g deutlich höher lag als im Versuch 1 mit ca. 94 g (s. Tab. 8).

Die gegenüber Versuch 1 höheren Zunahmen der Gruppen A 2, A 3, B 2 und B 3 sind sowohl auf die ad libitum Fütterung als auch auf die Zulage der zweit- und drittlimitierenden Aminosäuren Methionin und Threonin zurückzuführen.

Der durch die Erhitzung des Glutens verstärkte Lysinmangel bewirkte, daß die Tiere der Gruppe B 1 bis Versuchsende weniger als 50 % der Zunahme der Gruppe A 1 erreichten; beide Gruppen hatten jedoch signifikant geringere Zunahmen als die Gruppen mit Lysinzulage. Die zu Versuchsende geringeren Lebendmassen der Gruppe A 3 und B 3 gegenüber den Gruppen mit mittlerer Lysinzulage A 2 und B 2 kann in einer beginnenden Imbalanz durch die hohe Zulage von 12 g Lysin/kg TS begründet sein.

Die Tiere der Gruppe B 1 verwerteten das Futter mit 4,9 kg TS/kg LMZ am schlechtesten, wobei auch die Differenz zur Gruppe A 1 (2,9 kg TS/kg LMZ) statistisch hoch gesichert war (s. Tab. 8). Ebenso war der Lysinaufwand für die Gruppe B 1 sowohl je kg LMZ als auch je $\text{kg}^{0,75}$ LMZ um 21 bzw. 24 % geringer als für Gruppe A 1. Dieser Effekt, der auch im Versuch 1 beobachtet wurde

Tab. 8. Lebendmasseentwicklung (in g), Lebendmassezunahme, Futteraufwand sowie Lysinaufwand pro Zunahmeeinheit während der Versuchsfütterung in Versuch 2 (ad libitum Fütterung) (Mittelwerte \pm SE, n = 8 pro Gruppe)

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
Glutenbehandlung						
		unbehandelt			erhitzt (6 h bei 155 ° C)	
Lebendmassezunahme						
Lebenstag				Lysingehalt (g/kg TS)		
7	132,0 $\pm 2,20$	131,9 $\pm 3,16$	132,0 $\pm 2,16$	132,6 $\pm 4,20$	132,0 $\pm 2,74$	132,6 $\pm 2,65$
10	156,5 ^a $\pm 2,52$	160,0 ^b $\pm 2,59$	161,4 ^b $\pm 1,59$	149,5 ^a $\pm 3,98$	162,8 ^b $\pm 3,63$	157,9 ^b $\pm 3,99$
14	185,6 ^b $\pm 4,83$	245,2 ^c $\pm 4,79$	241,2 ^c $\pm 3,16$	167,6 ^a $\pm 5,37$	245,6 ^c $\pm 6,01$	228,5 ^c $\pm 6,58$
19	224,8 ^b $\pm 8,21$	445,8 ^d $\pm 6,54$	425,2 ^c $\pm 6,82$	179,5 ^a $\pm 6,05$	435,8 ^{cd} $\pm 11,68$	393,6 ^c $\pm 18,46$
Zunahme						
(g/Tier.d)	7,7 ^b $\pm 0,62$	26,2 ^d $\pm 0,48$	24,5 ^d $\pm 0,61$	3,9 ^a $\pm 0,30$	25,3 ^d $\pm 0,82$	21,8 ^c $\pm 1,43$
Futter- aufwand	2,9 ^b $\pm 0,09$	1,8 ^a $\pm 0,21$	1,7 ^a $\pm 0,03$	4,9 ^c $\pm 0,21$	1,7 ^a $\pm 0,06$	1,9 ^a $\pm 0,06$
(kg/kg LMZ)						
Lysinaufwand je Zunahmeeinheit						
(g/kg LMZ)	0,62 ^b $\pm 0,021$	1,91 ^c $\pm 0,110$	2,77 ^d $\pm 0,150$	0,49 ^a $\pm 0,054$	1,92 ^c $\pm 0,113$	2,72 ^d $\pm 0,103$
(g/kg ^{0,75} LMZ)	0,41 ^b $\pm 0,013$	1,41 ^c $\pm 0,078$	2,03 ^d $\pm 0,107$	0,31 ^a $\pm 0,010$	1,41 ^c $\pm 0,076$	1,96 ^d $\pm 0,075$

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede ($P < 0,05$), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

(s. Tab. 4), kann darin begründet sein, daß bei geringerer Wachstumsrate der Anteil des Erhaltungsbedarfs am Gesamtumsatz steigt und somit der Lysinbedarf pro Zunahmeeinheit abnimmt. Weiterhin kann auch eine höhere Reutilisationsrate des Lysins bei sehr starker Unterversorgung an dieser Wirkung beteiligt sein.

Zwischen den Glutenarten bestanden bei mittlerer und hoher Lysinzulage keine Unterschiede im Futter- und Lysinaufwand je Zunahmeeinheit (Tab. 8).

Die aus den Daten der N-Bilanz hervorgehende Abstufung der einzelnen Fütterungsgruppen entsprach denen der Lebendmasseentwicklung, so daß die signifikant geringste Menge an retiniertem Stickstoff mit 0,265 g N/Tier.d bei Gruppe B 1 festgestellt wurde (s. Tab. 9). Trotz geringster Lebendmassezunahme und niedrigstem absoluten Proteinansatz war der Proteinansatz in % der LMZ bei Gruppe B 1 am höchsten. Die Differenzen zwischen allen Gruppen mit Lysinzulage waren auch bezüglich der N-Bilanz gering.

Tab. 9. Ergebnisse der N-Bilanz vom 14. bis 19. Lebenstag, Versuch 2 (ad libitum Fütterung) (Mittelwerte \pm SE)

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
	Glutenbehandlung unbehandelt		Lysingehalt (g/kg TS) erhitzt (6 h bei 155 ° C)			
	5,2	12,2	17,2	4,4	11,4	16,4
N-Aufnahme (g/Tier.d)	0,941 ^b $\pm 0,057$	2,589 ^d $\pm 0,134$	2,249 ^c $\pm 0,072$	0,669 ^a $\pm 0,046$	2,420 ^{cd} $\pm 0,085$	2,229 ^{cd} $\pm 0,179$
N-Ansatz (g/Tier.d)	0,367 ^b $\pm 0,026$	1,358 ^d $\pm 0,038$	1,184 ^c $\pm 0,053$	0,265 ^a $\pm 0,029$	1,314 ^{cd} $\pm 0,051$	1,129 ^c $\pm 0,088$
Protein- ansatz (g/Tier.d)	2,29 ^b $\pm 0,163$	8,49 ^d $\pm 0,240$	7,40 ^c $\pm 0,329$	1,55 ^a $\pm 0,179$	8,21 ^{cd} $\pm 0,321$	7,05 ^c $\pm 0,548$
Protein ansatz (in % der LMZ)	30,6 ^b $\pm 2,43$	21,2 ^a $\pm 0,63$	20,2 ^a $\pm 0,87$	65,4 ^c $\pm 8,08$	21,6 ^a $\pm 0,41$	21,5 ^a $\pm 0,80$
N-Ansatz in % der N-Aufnahme (PPW)	39,1 ^a $\pm 2,24$	52,9 ^b $\pm 1,38$	52,6 ^b $\pm 1,54$	36,6 ^a $\pm 2,47$	54,3 ^b $\pm 1,27$	51,0 ^b $\pm 1,78$
LMZ (g/Tier.d) (14.-19. Lebenstag)	7,8 ^b $\pm 0,80$	40,1 ^d $\pm 0,91$	36,8 ^{cd} $\pm 1,32$	2,4 ^a $\pm 0,36$	38,0 ^{cd} $\pm 1,48$	33,0 ^c $\pm 2,58$

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede ($P < 0,05$), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

$^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung: Die $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung der Gruppen ohne Lysinzulage (A 1 und B 1) war bereits eine Stunde nach der ^{14}C -U-L-Lysin-Injektion signifikant niedriger als die aller anderen Gruppen und wurde durch die thermische Behandlung des Glutens bei Gruppe B 1 nicht weiter vermindert (s. Tab. 10).

Bei mittlerer Lysinzulage wurde 2 Stunden nach ^{14}C -U-L-Lysin-Injektion bei der Gruppe mit erhitztem Gluten in der Diät (B 2) eine signifikant geringere $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung von nur 72 % des Wertes von Gruppe A 2 gemessen, die bei gleicher Lysinzulage unbehandeltes Gluten gefüttert bekam (Tab. 10). Zwischen den Gruppen A 3 und B 3 bestand etwa das gleiche prozentuale Verhältnis, das jedoch nur nach 3ständiger Meßdauer statistisch gesichert war. Trotz des großen mittleren Fehlers wird dies auch durch den geringeren Anstieg der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung zwischen Gruppe B 1 und B 2 (41,9 °) gegenüber dem Anstieg zwischen A 1 und A 2 (58,5 °) deutlich (s. Tab. 11).

Da das injizierte ^{14}C -U-L-Lysin unter den Bedingungen der eingesetzten Methode den Stoffwechsel des freien Lysins im Gesamtkörper repräsentiert, lässt sich aus der geringeren $^{14}\text{CO}_2$ -Bildung bei den Tieren, die erhitztes Gluten gefüttert bekamen, als Anpassungsreaktion des Organismus auf einen höheren Anteil

nichtverwertbaren Lysins im Futter, ein verminderter Lysinabbau ableiten, der sich aber nur bei der Versorgung mit Lysin um und oberhalb des Bedarfsbereichs feststellen ließ. Bei starker Lysinunterversorgung traten nur obligatorische Lysinverluste auf, die auch bei weiter abnehmendem Versorgungsstatus nicht vom Organismus reduziert werden konnten.

Tab. 10. $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung (in % der verabreichten Dosis) und spezifische Radioaktivität des CO_2 (in DPM * $10^3/\text{mMol CO}_2$) bis 3 h nach i.v. Verabreichung von ^{14}C -U-L-Lysin im Versuch 2 (ad libitum Fütterung) (Mittelwerte $\pm \text{SE}$)

	A 1	Diäten A 2	A 3	B 1	Diäten B 2	B 3
Meßzeit nach Injektion	Glutenbehandlung unbehandelt			erhitzt (6 h bei 155 ° C)		
	5,2	12,2	Lysingehalt (g/kg TS)	17,2	4,4	11,4
<i>$^{14}\text{CO}_2$-Ausscheidung</i>						
bis 1 h	3,9 ^a $\pm 0,44$	9,5 ^b $\pm 1,06$	11,6 ^b $\pm 1,95$	4,1 ^a $\pm 0,77$	7,1 ^b $\pm 1,11$	8,6 ^b $\pm 0,75$
bis 2 h	6,2 ^a $\pm 0,50$	16,0 ^c $\pm 1,06$	18,6 ^c $\pm 1,93$	6,5 ^a $\pm 0,82$	11,6 ^b $\pm 1,61$	13,3 ^{bc} $\pm 1,63$
bis 3 h	7,6 ^a $\pm 0,51$	19,0 ^{bc} $\pm 1,14$	22,4 ^c $\pm 1,85$	8,2 ^a $\pm 0,76$	14,5 ^b $\pm 1,99$	16,4 ^b $\pm 1,62$
<i>Spezifische Radioaktivität</i>						
bis 1 h	3,12 ^a $\pm 0,31$	8,71 ^b $\pm 0,96$	9,62 ^b $\pm 1,59$	3,48 ^a $\pm 0,56$	5,95 ^b $\pm 0,90$	6,73 ^b $\pm 0,62$
bis 2 h	2,57 ^a $\pm 0,19$	6,83 ^{cd} $\pm 0,50$	7,64 ^d $\pm 0,82$	3,03 ^a $\pm 0,36$	4,69 ^b $\pm 0,60$	5,16 ^{bc} $\pm 0,62$
bis 3 h	2,30 ^a $\pm 0,16$	5,37 ^{cd} $\pm 0,35$	5,93 ^d $\pm 0,45$	2,61 ^a $\pm 0,28$	3,98 ^b $\pm 0,51$	4,31 ^{bc} $\pm 0,37$

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede ($P < 0,05$), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

Spezifische Radioaktivität des CO_2 : Die niedrige $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung der Gruppen ohne Lysinzulage (A 1 und B 1) bestätigt sich auch in der signifikant geringsten spezifischen Radioaktivität des CO_2 (s. Tab. 10). Für die Gruppen B mit Lysinergänzung war ab der 2. Stunde nach ^{14}C -U-L-Lysin-Injektion die spezifische Radioaktivität signifikant um 26 bis 33 % geringer als bei den Fütterungsgruppen, die bei gleicher Lysinzulage unbehandeltes Gluten erhielten. Am Ende des Meßzeitraumes waren diese Unterschiede unabhängig von der Höhe der Lysinzulage statistisch gesichert. Der signifikant höhere Anstiegswinkel der spezifischen Radioaktivität des CO_2 zwischen Gruppe A 1 und A 2 von $23,7^\circ$ (s. Tab. 11) gegenüber den restlichen Winkelgeraden mit Anstiegen von $3,8$ bis $11,1^\circ$ zeigte ebenfalls, daß Gruppe A 2 im Gegensatz zu Gruppe B 2 bedarfsdeckend mit Lysin

Tab. 11. Anstiegswinkel α (in °) des Anstiegs der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung nach i.v. Verabreichung von $^{14}\text{C-U-L-Lysin}$ (in % der verabreichten Dosis) bis Ende der Meßzeit und spezifische Radioaktivität des CO_2 (in $\text{DPM} \cdot 10^3/\text{mMol CO}_2$) bei Erhöhung des Lysingehaltes in der Diät im Versuch 2 (ad libitum Fütterung) (Mittelwerte \pm SE)

		Diäten			
von A 1 zu A 2	von A 2 zu A 3	von B 1 zu B 2	von B 2 zu B 3		
Glutenbehandlung					
unbehandelt				erhitzt (6 h bei 155 ° C)	
von 5,1 auf 12,1	von 12,1 auf 17,1	von 4,2 auf 11,2	von 11,2 auf 16,2	Änderung des Lysingehalts (g/kg TS)	
58,5 ° $\pm 10,12$ °	29,2 ° $\pm 23,65$ °	41,9 ° $\pm 16,93$ °	19,8 ° $\pm 27,69$ °		
<i>Anstiegswinkel der $^{14}\text{CO}_2$-Ausscheidung (% der Dosis)</i>					
23,7 ° $\pm 3,15$ °	6,4 ° $\pm 6,51$ °	11,1 ° $\pm 4,75$ °	3,8 ° $\pm 7,20$ °		
<i>Anstiegswinkel der spezifischen Radioaktivität des CO_2 ($\text{DPM} \cdot 10^3/\text{mMol CO}_2$)</i>					

Ungleiche Buchstaben bedeuten statistisch gesicherte Unterschiede ($P < 0,05$), gleiche Buchstaben nicht signifikante Unterschiede.

versorgt war. Die Reaktion des Organismus auf die Zufuhr thermisch behandelten Glutens bei mittlerer Lysinsupplementation war somit auch anhand der Meßwerte der spezifischen Radioaktivität des CO_2 nachweisbar.

Zusammenfassende Diskussion

In den Versuchen 1 und 2 waren bei der Bestimmung der klassischen Parameter Lebendmassezunahme, Futteraufwand und N-Bilanz bei gleicher Lysinzulage nur dann statistisch gesicherte Differenzen zwischen dem Einsatz von unbehandeltem und behandeltem Gluten festzustellen, wenn deutlich unter der Lysinbedarfsnorm gefüttert wurde.

Bei Messung der $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidung und der spezifischen Radioaktivität des CO_2 führte sowohl in Versuch 1 als auch in Versuch 2 extremer Lysinmangel (Diäten A 1 und B 1) immer zu sehr geringen $^{14}\text{CO}_2$ -Ausscheidungen, die untereinander wenig variierten und die obligatorischen Lysinverluste des Stoffwechsels unabhängig vom Versorgungsstatus reflektierten. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsarten des Glutens bei gleicher Lysinzulagehöhe waren nur dann festzustellen, wenn die Lysinzufuhr um oder oberhalb des Bedarfswerts lag. Dabei gab es für die Bestimmung dieser Differenzen einen optimalen Zeitraum, der bei der hier angewandten Versuchsmethodik bei 2 h nach $^{14}\text{C-U-L-Lysin}$ injektion lag. Nach 2stündiger Meßdauer war der Abbau von $^{14}\text{C-U-L-Lysin}$ zu $^{14}\text{CO}_2$ für die Gruppe A 2 um 28 bzw. 30 % niedriger als bei Gruppe B 2 (Versuch 1 bzw. 2). Die spezifische Radioaktivität des CO_2 war um jeweils 27 bzw. 26 % geringer. Da man bei der Beurteilung des Effektes der thermischen Behandlung des Gluten berücksichtigen muß, daß die Lysinmenge aus Gluten nur einen

Teil der Gesamtlysinsmenge in der Diät darstellt (in den Diäten A 2 liefert Gluten ca. 20 % des Gesamtlysingehalts nach Aminosäurenanalyse und in Diäten B 2 ca. 15 %), muß dessen Auswirkung auf den intermediären Lysinkatabolismus als sehr drastisch eingeschätzt werden. Nach Einbeziehung der mit der Trinitrobenzensulfonsäure-Methode bestimmten Lysinverfügbarkeit von 57 % des Ausgangsgehaltes im unbehandelten Gluten hätte die Lysinverwertung der Diät B 2 gegenüber Diät A 2 statt um 28 bis 30 % nur um 8,6 % vermindert sein dürfen. Das läßt den Schluß zu, daß entweder das Ausmaß der verminderten Lysinoxydation nicht direkt die verringerte Lysinverwertung darstellt oder die eingesetzte chemische Methode die Lysinschädigung unterschätzte. Beide Vermutungen sind sicherlich zutreffend. Letztere ist in Anbetracht der Temperatur und Dauer der thermischen Behandlung des Glutens wahrscheinlich, da nach CARPENTER (6) jede Methode zur Bestimmung reaktiven Lysins den Nachteil haben wird, daß die Schädigung im Nährwert im Vergleich zum Absinken reaktiven Lysins größer ist, wenn die Reaktion Quervernetzungen einschließt. Somit ist die ^{14}C -U-L-Lysinoxydation durch Küken ein empfindlicher Parameter zum qualitativen Nachweis hitzebeschädigten Lysins, besonders, wenn die Lysinversorgung um den Bedarfsbereich liegt und klassische Parameter nicht mehr ansprechen; eine direkte quantitative Bestimmung einer Brutto-Lysinverwertung ist jedoch bei gegenwärtigem Erkenntnisstand mittels der beschriebenen Methode nicht möglich.

Danksagung

Für die technische Assistenz bei der Durchführung der Versuche und den chemischen Analysen möchten wir uns bei Frau Rosemarie Förster und Frau Ursula Kittler herzlich bedanken.

Literatur

1. Anderson TR, Quicke GV (1984) An isotopic method for determining chemically reactive lysine based on succinylation. *J Sci Food Agric* 35:472–480
2. Bergner H, Simon O (1976) Methodische Untersuchungen zur stoffwechselorientierten Aminosäurenbedarfsbestimmung bei Ratten im Erhaltungszustand anhand der Oxydationsrate von ^{14}C -markiertem Lysin zu $^{14}\text{CO}_2$. *Arch Tierernähr* 26:815–826
3. Bergner H, Nhan NT, Wilke A (1987) Methodische Untersuchungen zur stoffwechselorientierten Lysinbedarfsbestimmung an Broilerküken. 1. Mitt. Einfluß des Lysingehaltes der Diät auf die Lysin-Oxydationsrate bei kurzzeitigem Futterentzug vor der ^{14}C -Lysinjektion. *Arch Anim Nutr* 37:29–46
4. Bjarnason J, Carpenter KJ (1970) Mechanisms of heat damage in proteins 2. Chemical changes in pure proteins. *Brit J Nutr* 24:313–329
5. Brüggemann J, Erbersdobler H (1968) Untersuchungen zur analytischen und physiologischen Charakterisierung der Aminosäurenbeschädigung bei Hitzebehandlung von Nahrungs- und Futtermitteln. 1. Mitt. Einleitung und Untersuchungen an Modellgemischen. *Z Tierphysiol Tierernähr u Futtermittelkde* 27:55–67
6. Carpenter KJ, Booth VH (1973) Damage to lysine in food processing: its measurement and its significance. *Nutr Abstr Rev* 43:423–451
7. Eggum BO, Nielsen HE, Rasmussen FL (1970) Der Einfluß der Lagerung auf die Proteinqualität von Magermilchpulver. *Z Tierphysiol Tierernähr u Futtermittelkde* 27:18–23
8. Erbersdobler H, Zucker H (1966) Untersuchungen zum Gehalt an Lysin und verfügbarem Lysin in Trockenmagermilch. *Milchwiss* 21:564–568

9. Erbersdobler H, Dümmer H (1971) Untersuchungen zur analytischen und physiologischen Charakterisierung der Aminosäurenschädigung durch Hitzebehandlung. 3. Mitteilung Untersuchungen an einem überhitzten Magermilchpulver. *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* 28:224–231
10. Erbersdobler H, Weber G, Gunsser I (1972) Untersuchungen zur analytischen und physiologischen Charakterisierung der Aminosäurenschädigung. 4. Mitteilung Erhitzung von Protein allein. *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* 29:325–334
11. Erbersdobler H, Burgstaller G, Holstein AB, v Wangenheim B, Mader K (1984) Untersuchungen zu Maillardprodukten aus heißluftgetrocknetem Grünfutter bei Milchkühen. I. Analytische Untersuchungen in den verwendeten Futtermitteln und Übergang in die Milch. *Bayer Landw Jahrbuch* 61:670–678
12. Finot PA (1983) Lysinoalanine in food proteins. *Nutr Abstr Rev* 53:67–80
13. Hurrell RF, Finot PA (1985) Effect of food processing on protein digestibility and amino acid availability. In: Finley JW, Hopkins DT (eds) Digestibility and amino acid availability in cereals and oilseeds. American Association of Cereal Chemists, Inc, pp 233–246
14. Huss W, Deubelius I, Mühlbauer W, Dessouky A (1982) Analytische und tierexperimentelle Untersuchungen zur Bewertung von Körnermais nach unterschiedlicher Trocknung. 2. Mitteilung Veränderung der Proteinqualität nach Einwirken erhöhter Temperaturen. *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* 47:66–78
15. James NA, Ryley J (1986) The rapid determination of chemically reactive lysine in the presence of carbohydrates by a modified trinitrobenzenesulphonic acid procedure. *J Sci Food Agric* 37:151–156
16. Knipfel JE, Botting HG, McLaughlan JM (1975) Nutritional quality of several proteins as affected by heating in the presence of carbohydrates. In: Friedman H (ed) Protein nutritional quality of foods and feeds. Marcell Dekker Inc, New York, pp 375–391
17. Knipfel JE (1981) Nitrogen and energy availabilities in foods and feeds subjected to heating. *Prog Fd Nutr Sci* 5:177–192
18. Liebert F, Gebhardt G (1982) Zur Charakterisierung der Hitzeschädigung von Weizenkleber und Vicia-faba-Schrot mit Hilfe von N-Umsatzmessungen und Aminosäurenbilanz des Verdauungstraktes bei Schweinen. *Arch Tierernähr* 32:157–164
19. Ludwig R (1969) Methoden der Fehler- und Ausgleichsrechnung. Dt Verlag der Wissenschaften, Berlin
20. Mauron J (1990) Influence of processing on protein quality. *J Nutr Sci Vitaminol* 36:S37–S69
21. Nhan NT, Wilke A, Bergner H (1987) Methodische Untersuchungen zur stoffwechselorientierten Lysinbedarfsbestimmung an Broilerküken. 2. Mitt. Einfluß des Lysingehaltes der Diät auf die Lysin-Oxydationsrate bei 15ständigem Futterentzug vor der ¹⁴C-Lysinjektion. *Arch Anim Nutr* 37:107–120
22. Rasch D, Herrendörfer G, Bock J, Busch K (1978) Verfahrensbibliothek Versuchsplanung und -auswertung. Dt Landw Verlag, Berlin
23. Simon O, Bergner H, Adam K (1977) Stoffwechselorientierte Aminosäurenbedarfsbestimmung anhand der Katabolisierungsrate von ¹⁴C- und ¹⁵N-markiertem Lysin im Erhaltungszustand. *Arch Tierernähr* 27:691–700
24. Simon O, Adam K, Bergner H (1978) Stoffwechselorientierte Lysinbedarfsbestimmung bei ausgewachsenen Ratten anhand der Katabolisierungsrate von ¹⁴C- und ¹⁵N-markiertem Lysin. *Arch Tierernähr* 28:609–617
25. Smith RE, Scott HM (1965) Use of free amino acid concentrations in blood plasma in evaluating the amino acid adequacy of intact proteins for chick growth I. Free amino acids patterns of blood plasma of chick fed unheated and heated fish meal proteins. *J Nutr* 86:37–44
26. Smith RE, Scott HM (1965) Use of free amino acid concentrations in blood plasma in evaluating the amino acid adequacy of intact proteins for chick growth II. Free amino acid patterns of blood plasma of chicks fed sesame and raw, heated and overheated soybean meals. *J Nutr* 86:45–50
27. Walz OP, Ford JE (1972) The measurement of "available lysine" in protein foods. A comparison of chemical, biological and microbiological methods. *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* 30:304–322
28. Weber E (1973) Grundriß der biologischen Statistik, 7. Auflage, Fischer-Verlag, Jena

29. Wilke A, Bergner H, Nhan NT (1987) Methodische Untersuchungen zur stoffwechselorientierten Methioninbedarfsbestimmung an Broilerküken. 1. Mitt. Ausscheidung von ³⁵S in den Exkrementen nach ³⁵S-Methionin-Injektion bei gestaffelter Methioningabe. Arch Anim Nutr 37:283-297

Eingegangen 18. Mai 1992
akzeptiert 23. September 1992

Für die Verfasser:

Prof. Dr. habil. H. Bergner, Institut für Ernährungsphysiologie, Invalidenstr. 42, D-1040 Berlin