

Die Beeinflussung der Verdaulichkeit und Verwertung des Eiweißes in Futtermitteln durch Bestrahlung

Von G. ZIMMERMANN

(Mitteilung aus dem Institut für Haustierernährung an der ETH
Vorstand Prof. Dr. E. GRASEMANN)

I. Einleitung und Literaturbesprechung

Im Jahre 1932 veröffentlichten E. M. und F. C. KOCH¹ eine Arbeit über den Einfluß der Ultraviolett-(UV)-Bestrahlung auf die Verdaulichkeit und Verwertung von Casein und Eialbumin. Die genannten Autoren stellten hinsichtlich der *in vitro* bestimmten Verdaulichkeit eine leichte Verringerung derselben im bestrahlten gegenüber dem unbestrahlten Casein und Eialbumin fest. Hingegen ergab sich bei Ermittlung des Lebendgewichtverlaufes von jungen Ratten, daß nach vier Wochen vom Beginn der Entwöhnung an die Tiere der Versuchsgruppe, welche 9 % UV-bestrahltes Casein in ihrer Diät erhalten hatten, trotz geringeren Futter- und somit auch Eiweißverzehr einen größeren Zuwachs aufwiesen als die mit unbehandeltem Casein gefütterten Kontrolltiere. Gleichzeitig wurde jedoch festgestellt, daß diejenigen Tiere, die bestrahltes Casein im Futter erhielten, weniger Stickstoff retiniert hatten als die Tiere, deren Diät unbestrahltes Casein enthielt. Somit kamen die Verfasser zum Schluß, daß der höhere Gewichtszuwachs der Versuchsgruppe nicht auf eine bessere Ausnutzung des UV-bestrahlten Caseins zurückzuführen sei und daß die UV-Bestrahlung die Verwertung des Caseins im Stoffwechsel nicht beeinflusst habe².

In einer Arbeit von O. ALLEMANN⁴ werden unter Bezugnahme auf das von CH. TREBITSCH⁵ entwickelte «Vitalin»-Verfahren die Vorteile der UV-Bestrahlung diskutiert. Ohne direkte Zitierung der vorhandenen

Literatur, bezieht sich der genannte Autor offensichtlich auf die Arbeiten der Schule von A. BICKEL (s. folgende Literaturangaben), der die Nahrungsproteine auf Grund der von ihnen eingesteuerten Oxydationslage im Stoffwechsel bewertet.

Im Jahre 1865 hat C. VORR⁶ erstmals das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Harn von Hunden festgestellt und dabei die Beobachtung gemacht, daß im Harn mehr Kohlenstoff ausgeschieden wird, als dem C/N-Verhältnis des Harnstoffes (0,428) entspricht. Zwanzig Jahre später wurde von M. RUBNER⁷ das C/N-Verhältnis in Hundeharnen nach Verabreichung verschiedener Diäten bestimmt und dabei eine Proportionalität zwischen dem C/N- und dem kalorischen Quotienten (Verbrennungswärme des Harnes/N-Gehalt des Harnes) nach Hunger sowie nach Eiweiß- und Fleischfütterung gefunden. Im Jahre 1925 prägten A. BICKEL und O. KAUFFMANN-COSLA⁸ im Verlaufe von Untersuchungen des C/N-Quotienten bei Diabetes und Avitaminosen den Begriff der «dysoxydablen Carbonurie», wobei sie auf eine Bezeichnung anspielten, die K. SPIRO⁹ dem nicht in Form von Harnstoff ausgeschiedenen Kohlenstoff des Harnes gab. Die genannten Autoren kennzeichnen unter dem angegebenen Begriff eine Stoffwechselstörung, die sich darin manifestieren soll, daß infolge verminderter Oxydationen im intermediären Stoffwechsel der Gehalt des Harnes an Kohlenstoff erhöht wird.

Nach A. BICKEL¹⁰ ruft quantitative und auch qualitative Eiweißunterernährung, d. h. mangelhafte Lieferung oder das Fehlen bestimmter Aminosäuren¹¹, den Zustand der «dysoxydativen Carbonurie» hervor. Für A. BICKEL¹² vermittelt der C/N-Quotient

¹ E. M. KOCH und F. C. KOCH, Nutritional Value of Proteins as Influenced by Exposure to Ultraviolet Irradiation, Proc. Soc. Exper. Biol. Med. 29, 769, 1932.

² Auf die Möglichkeit, daß die Berechnung der sogenannten «Protein Efficiency» (Eiweißwirksamkeit) aus dem Quotienten: Gramm Gewichtszuwachs/Gramm Proteinverzehr kein eindeutiges Maß für die Wertigkeit der geprüften Eiweiße ergeben kann, weisen auch J. R. BEADLES, J. H. QUISENBERRY, F. J. NAKAMURA und H. H. MITCHELL³ hin, die zeigen konnten, daß die Zusammensetzung des Zuwachses bezüglich Fett- und Proteingehalt stark variiert und somit ein höherer Gewichtszuwachs nicht unbedingt ein Kennzeichen besserer Eiweißverwertung sein muß.

³ J. R. BEADLES, J. H. QUISENBERRY, F. J. NAKAMURA und H. H. MITCHELL, Effect of the Ripening Process of Cheese on the Nutritive Value of the Protein of Milk Curd, J. Agr. Res. 47, 947, 1933.

⁴ O. ALLEMANN, Über die Bedeutung von ultraviolett bestrahlten Mehlen und Mehlprodukten nach dem Vitalinverfahren, Service Scientifique No. B/2001, Lab. de la Fond. Mond. Vitalin, Genève.

⁵ CH. S. TREBITSCH, Le Procédé Vitalin, Cap-D'Ail, 1942.

⁶ C. VORR, Die Gesetze der Zersetzung der stickstoffhaltigen Stoffe im Tierkörper, Z. Biol. 1, 109, 1865.

⁷ M. RUBNER, Calorimetrische Untersuchungen, Z. Biol. 21, 250, 1885.

⁸ A. BICKEL und O. KAUFFMANN-COSLA, Über dysoxydative Carbonurie, Dtsch. med. Wschr. 51, 978, 1925.

⁹ K. SPIRO, Über das Verhältnis von dysoxydablem Kohlenstoff zu dysoxydablem Stickstoff bei verschiedener Ernährung, Beitr. chem. Physiol. 11, 144, 1908.

¹⁰ A. BICKEL, Naturgemäße Ernährung und Eiweißstoffwechsel, Thieme, Leipzig 1935.

¹¹ A. BICKEL, Leberglykogengehalt und Oxydationslage im Zwischenstoffwechsel bei der Gabe von Aminosäuren und Aminosäuregemischen an Stelle des Nahrungseiweißes in der gemischten Nahrung, Biochem. Z. 306, 245, 1940.

¹² A. BICKEL, Die Brotnahrung des deutschen Volkes und seines Heeres in der Wirkung ihrer Eiweiße auf die Energetik des Zwischenstoffwechsels, Thieme, Leipzig 1937.

des Harnes einen Querschnitt durch den Stoffwechsel aller Nahrungskomponenten und nicht etwa nur durch den Eiweißstoffwechsel allein. Ein hoher Harnquotient soll zum Unterschied von niedrigen Quotienten auf eine geringere und unvollständigere Oxydation und damit auch auf eine minder vollständige energetische Ausnützung des im Zwischenstoffwechsel zur Oxydation gelangenden Gesamtmaterials hinweisen. Da die Versuche von A. BICKEL und seinen Schülern mit ausgewachsenen Tieren, teils Kaninchen¹³, teils Ratten, durchgeführt wurden, erachten es die Verfasser als wahrscheinlich, daß die Lage des Harnquotienten vor allem Vorgänge des Betriebsstoffwechsels und weniger solche des Baustoffwechsels zum Ausdruck bringe.

Bei Anordnung der Eiweiße nach steigenden Harnquotienten erhält man nach A. BICKEL¹⁴ die Reihe: Casein, Fleischeiweiß, Gelatine, Weizenkleber und Eiereiweiß, Lactalbumin, Maiskleber und Sojabohneneiweiß, Stockfischfleischeiweiß, Linsen-, Erbsen- und Bohneneiweiß, Weizenkeimlingseiweiß, Weizen- und Roggenkleieeiweiß, Hafer-, Kartoffel- und Steinpilzeiweiß. Bis und mit Sojabohneneiweiß rechnet der Verfasser¹⁵ die angeführten Proteine zu den A-Eiweißen, d. h. zu solchen, die eine niedrige Lage des Harnquotienten einsteuern, während sich die folgende Gruppe der B-Eiweiße weniger günstig auf die Durchoxydierung des Stoffwechselmaterials auswirken soll.

Seine Versuchsergebnisse interpretierend, schreibt A. BICKEL¹⁴:

«Vergleicht man diese Reihe mit der für die Wirkung der Eiweiße im Baustoffwechsel nach der Maßgabe ihres Einflusses auf das Körperwachstum aufgestellten, so stellt man unschwer fest, daß kein Parallelismus in dem Sinne nachweisbar ist, es gehe etwa die Größenordnung bei den Harnquotienten gleichsinnig mit derjenigen der Wachstums- oder N-Bilanzbeeinflussung. Gewiß sind Casein, Fleisch- und Eiereiweiß mit ihrer niedrigen Harnquotientenlage gleichzeitig mit die besten Eiweiße für die Förderung des Körperwachstums, aber Gelatine, die eine annähernd gleich tiefe Harnquotientenlage wie jene bestimmt, ist sehr wenig zur Wachstumsförderung geeignet. Deshalb muß im Eiweißmolekül die dem Wachstum dienende Anordnung eine andere sein als diejenige, welche die Harn-

quotientenlage bestimmt¹⁶. Daraus aber ergibt sich, daß die Beeinflussung der Harnquotientenlage durch das Eiweiß ein Vorgang ist, der wenigstens beim ausgewachsenen Individuum weitgehend unabhängig vom Baustoffwechsel und damit auch von der Gestaltung der N-Bilanz verläuft.»

Wie bereits erwähnt, nimmt O. ALLEMANN offenbar auf die Ansichten von A. BICKEL Bezug und schreibt in der eingangs zitierten Arbeit, allerdings ohne Angabe eines Zahlenbeispiels: «Die stärksten Wirkungen im Körper gingen bei unseren Versuchen von mit Vitalin-Lampen bestrahltem Casein aus.» In analogem Sinne wird in einer Veröffentlichung von A. JUNG¹⁹ unter Bezugnahme auf das «Vitalin»-Verfahren ausgeführt: «Damit sind aber noch nicht alle Vorteile dieses Verfahrens erschöpft, denn es geht aus Versuchen von Prof. BICKEL, Berlin, hervor, daß die ausgestrahlten Elektronen auch imstande sind, die Verdaulichkeit zu erhöhen und insbesondere das Eiweiß biologisch höherwertig zu machen.» Eine andere Publikation, die sich mit dem «Vitalin»-Verfahren beschäftigt²⁰, deren Autor aber nicht genannt ist, enthält die Behauptung: «Mehrere Forscher, u. a. Prof. BICKEL, Berlin, stellten bei den Vitalin-Produkten eine Umlagerung des Eiweißmoleküls fest, die durch eine Elektronenemission in der Wechselwirkung der Infrarot- und Ultraviolett-Bestrahlung zustande kommt.»

In einer weiteren Arbeit schreibt O. ALLEMANN²¹: «Eine unerwartete Erscheinung ist die Beobachtung, daß nach der Ultraviolett-Bestrahlung mittels Vitalin-Apparatur die Eiweißverdaulichkeit erhöht wird.» Zur Stützung dieser Behauptung wird ein Versuch der Universität Lyon erwähnt, dessen Ergebnisse, wie folgt, zusammengestellt werden:

¹⁶ An einem anderen Orte¹⁷ haben wir festgestellt, daß die Harnquotientenlage nach Verabreichung von Luzerneblättern an ausgewachsene Ratten unverändert blieb, unabhängig von Temperatur und Dauer der Trocknung der Luzerneblätter. Im Gegensatz dazu ergab der erwähnte Versuch, daß sich die «biologische Wertigkeit» der in den Luzerneblättern enthaltenen stickstoffhaltigen Substanz¹⁸ auch für ausgewachsene Tiere in Abhängigkeit von Temperatur und Dauer der Trocknung veränderte.

¹⁷ G. ZIMMERMANN, The Influence of Drying on the Biological Value of Nitrogenous Substances and on the Level of Oxydation which they Produce in the Metabolism of Albino Rats, XVII. Int. Physiol. Congr., Abstr. Commun., Oxford 1947.

¹⁸ G. ZIMMERMANN, Zur biologischen Prüfung des Einflusses der Trocknung auf den Nährwert der stickstoffhaltigen Substanz in Futter- bzw. Nahrungsmitteln, Mitt. Lebensm. Hyg. 39, 71, 1948.

¹⁹ A. JUNG, Zur Einheitsbroffrage, Hektogr. Publ.

²⁰ Ungenannt, Ausführungen über die Notwendigkeit der Anwendung des Vitalin-Verfahrens in der Schweiz, Hektogr. Publ.

²¹ O. ALLEMANN, Über die Bedeutung von ultraviolett bestrahlten Futtermitteln nach dem Vitalin-Verfahren in der Tierernährung, Hektogr. Publ., Bern - Genf.

¹³ A. BICKEL, Über die Beeinflussung des allgemeinen Körperstoffwechsels durch die enterale Eiweiß- und Cuzufuhr und über den Einfluß der Nahrungszusammensetzung auf den Oxydationsquotienten des Harnes, Bürgi-Festschrift, Schwabe, Basel 1932.

¹⁴ A. BICKEL, Neue Untersuchungen über das Nahrungseiweiß im Bau- und Betriebsstoffwechsel, Theorie & Praxis Med. 6, 61, 141, 193, 1936.

¹⁵ A. BICKEL, Die Beziehung der Dynamik der Nahrungseiweißderivate zum Glykogen und Fettgehalt der Leber, Z. ges. exper. Med. 112, 218, 1943.

	Verdauliches Eiweiß	Verdaunungs-koeffizient
Luzerne, nicht bestrahlt	14,7 %	60,1 %
Luzerne, bestrahlt mit «Vitalin»-Apparatur	21,7 %	73,8 %

Rechnet man auf Grund der angegebenen Zahlen auf den Eiweißgehalt des Ausgangsmaterials zurück, so ergibt sich, daß die Trockensubstanz der unbestrahlten Luzerne 24,5 % Eiweiß, diejenige der bestrahlten hingegen 29,4 % Eiweiß enthalten haben muß. Abgesehen von der abnormen Höhe dieser Werte, besagt dies, daß der genannte Vergleichsversuch offensichtlich nicht mit gleichem Ausgangsmaterial durchgeführt wurde und ihm demgemäß keinerlei Beweiskraft zukommt.

2. Problemstellung und Versuchsdurchführung

Im Auftrage der Vitalinprodukte AG. führten wir am 21. Januar 1948 eine Bestrahlung von Emdmehl nach dem «Vitalin»-System durch, wobei vom gleichen Ausgangsmaterial eine ausreichende Menge in unbestrahltem Zustand für den Kontrollversuch belassen wurde. Bei der «Vitalin»-Anlage handelt es sich um einen aus Infrarot- und Ultraviolettlampen kombinierten Strahlenkörper, der über einem Transportband montiert ist. Die Bestrahlung wurde durch Wahl des geeigneten Abstandes zwischen Strahlenaggregat und Transportband, durch Regulierung der Geschwindigkeit des letzteren und durch Einstellung der Schichtdicke der Auflage dem zu behandelnden Material angepaßt.

Die in der Tab. 1 angegebenen Zahlenwerte, welche Durchschnitte aus Doppelbestimmungen darstellen, zeigen die Zusammensetzung des unbestrahlten und des bestrahlten Emdmehles. Die Unterschiede in den Gehaltsangaben für die beiden Proben liegen innerhalb der Fehlergrenzen der Analysenmethode.

Tab. 1. Zusammensetzung der verwendeten Emdmehle

	Bestrahltes Emdmehl	Unbestrahltes Emdmehl
	%	%
Wassergehalt	3,15	3,17
In der Trockensubstanz:		
Rohprotein	12,28	12,40
Reinprotein	11,78	12,15
Rohfaser	37,22	36,29
N-freie Extraktstoffe	36,56	37,07
Rohfett	4,41	4,77
Rohasche	9,53	9,48

Mit dem im folgenden beschriebenen Versuch sollte abgeklärt werden, ob die Bestrahlung nach dem «Vitalin»-Verfahren:

- a) eine Erhöhung der Verdaulichkeit des Futters, insbesondere des darin enthaltenen Proteins, herbeiführt,

- b) die Verwertung des Eiweißes, insoweit diese an der Lage der Stickstoffbilanz feststellbar ist, verbessert und

- c) das Eiweiß im Futter so beeinflusst, daß von diesem eine günstigere Oxydationslage im Organismus, erkennbar an der geringeren Höhe des C/N-Quotienten im Harn, einreguliert wird.

Als Versuchstiere dienten zwei praktisch ausgewachsene, alters- und gewichtsmäßig ausgeglichene Champagne-Silber-Kaninchen. Zur Verabreichung gelangte angefeuchtetes Emdmehl als alleiniges Futter sowohl für das jeweilige Kontroll- als auch für das Versuchstier. Die tägliche Futtergabe wurde so gewählt, daß jedes Tier 80 g Trockensubstanz (in zwei Rationen verabreicht) erhielt, welche Menge während des ganzen Versuches von jedem der beiden Tiere quantitativ verzehrt wurde. Mit dieser eher eiweißknappen Fütterung, die gleichwohl, wie später gezeigt wird, noch eine positive Stickstoffbilanz ermöglichte, sollten Verhältnisse geschaffen werden, unter denen auch geringe Unterschiede in der Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz offensichtlich werden mußten. Der einzige Unterschied in der Fütterung bestand darin, daß dem Versuchstier Emdmehl verabreicht wurde, welches vorgängig nach dem «Vitalin»-Verfahren bestrahlt worden war, während das jeweilige Kontrolltier das gleiche, aber unbestrahlte Emdmehl erhielt.

Jeder Versuch dauerte sechzehn Tage, wobei acht Tage der Angewöhnung der Tiere an das Futter dienten und erst in der zweiten Versuchshälfte Kot und Harn täglich gesammelt wurden. Um eine statistische Verarbeitung der Versuchsergebnisse möglich zu machen, gliederten wir die acht Hauptversuchstage ihrerseits in vier «Zwei-Tage-Perioden». Der Kot wurde täglich getrocknet, wobei wir jede Tagesmenge nach erfolgter Trocknung halbierten. In den einen der für jedes Tier gesammelten acht «Tageshalbproben» wurde jeweils eine Gesamtnährstoffanalyse im Doppel durchgeführt. Von den übrigen acht «Tageshalbproben» leerten wir je zwei zeitlich aufeinanderfolgende zusammen, um in diesen «Zwei-Tage-Proben» den Stickstoffgehalt zu ermitteln. Der Harn wurde täglich gesammelt, auf ein bestimmtes Volumen aufgefüllt und davon ein aliquoter Teil für die Stickstoff- und Kohlenstoffbestimmung²² in jeder «Zwei-Tage-Probe» verwendet.

Der nach dem System des «Crossing Over»²³ eingerichtete Versuch, der eine abwechselungsweise Verabreichung des bestrahlten (B) und des unbestrahlten (UB) Futters an Tier 1 bzw. Tier 2 vorsah, weist den folgenden Plan auf:

²² F. BACHMANN, Die Nettoenergie reiner Nährstoffe (Stärke, Eiweiß, Fett) beim Haushuhn, Genossenschaftsdruckerei, Zürich 1946.

²³ T. WAKE SIMPSON, Experimental Methods and Human Nutrition, Suppl. J. Roy. Stat. Soc. 5, 46, 1938.

Periode I	Periode II
Tier 1: UB	Tier 1: B
Tier 2: B	Tier 2: UB

Jedes der beiden Futter wurde somit an jedes Tier verabreicht, wobei jedoch die Aufeinanderfolge eine verschiedene war. In der Periode I war Tier 1 Kontrolltier, in der Periode II war dies Tier 2. Diese Anordnung gestattet neben dem Vergleich zwischen den Tieren und den Futtermitteln auch die Ausscheidung des Einflusses der individuellen Reaktionsverschiedenheit der Tiere und der Aufeinanderfolge der Verabreichung verschiedener Futtermittel.

Die Verdaulichkeit des Futters bzw. jedes der darin enthaltenen Nährstoffe ergab sich aus der Gegenüberstellung der im Futter aufgenommenen Nährstoffmenge und der im Kot ausgeschiedenen unverdauten Nährstoffmenge, wobei der Verdauungskoeffizient für jeden Nährstoff nach der folgenden Formel ermittelt wurde:

$$\text{Verdaunungs-} \frac{\text{Gesamtmenge des in der Futter-} \quad \text{Menge des in der}}{\text{koeffizient} \quad \text{trockensubstanz} \quad \text{Kottrockensub-}} \cdot 100$$

$$\frac{\text{aufgenommenen} \quad \text{stanz ausgeschie-}}{\text{Nährstoffs} \quad \text{denen unverdaulichen} \quad \text{Nährstoffs}}$$

$$\frac{\text{Nährstoffs}}{\text{Gesamtmenge des in der Futter-}} \cdot 100$$

$$\frac{\text{trockensubstanz aufgenom-}}{\text{menen Nährstoffs}}$$

Da die während jeder «Zwei-Tage-Periode» verabreichte Stickstoffmenge bekannt war und die Stickstoffausscheidung im Kot und Harn während der gleichen Periodendauer festgestellt wurde, konnte für alle zwei Tage die Stickstoffbilanz ermittelt werden. Hierfür diente die folgende Berechnungsformel:

$$\text{Stickstoffbilanz} \quad \text{g N im auf-} \quad \text{g N im} \quad \text{g N im}$$

$$\text{pro «Zwei-Tage-} \quad \text{genommenen} \quad \text{«Zwei-} \quad \text{«Zwei-}$$

$$\text{Periode»} \quad \text{«Zwei-Tage-} \quad \text{Tage-} \quad \text{Tage-}$$

$$\quad \text{Futter»} \quad \text{Kot»} \quad \text{Harn»}$$

Der Kohlenstoff / Stickstoff-Quotient des Harnes wurde gleichfalls für jede «Zwei-Tage-Periode» bestimmt und auf Grund der nachfolgenden Formel berechnet:

$$\text{C/N-Quotient} = \frac{\text{g C im «Zwei-Tage-Harn»}}{\text{g N im «Zwei-Tage-Harn»}}$$

3. Die Versuchsergebnisse und ihre statistische Auswertung

a) Die Beeinflussung der Verdaulichkeit des Emdmehles durch die «Vitalin»-Bestrahlung

Die Beeinflussung der Verdaulichkeit des Emdmehles durch die Bestrahlung läßt sich anhand der Höhe des «verdaulichen Gesamtnährstoffes» feststellen. Dieser wird aus dem Gehalt von 100 g Futtertrockensubstanz an organischen Nährstoffgruppen unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit derselben ermittelt, wobei das verdau-

liche Rohfett, entsprechend seinem höheren Kaloriengehalt, mit dem Faktor 2,3 multipliziert wird. Formelmäßig ergibt sich somit:

$$\text{Verdau-} \quad \text{Verdau-} \quad \text{Verdau-} \quad \text{Verdau-} \quad \left(\text{Verdau-} \right)$$

$$\text{licher} \quad = \quad \text{liches} \quad + \quad \text{liche} \quad + \quad \text{liche N-} \quad + \quad \left(\text{Verdau-} \right)$$

$$\text{Gesamt-} \quad \text{= Roh-} \quad \text{Roh-} \quad \text{freie Ex-} \quad + \quad \left(\text{liches} \right)$$

$$\text{nährstoff} \quad \text{protein} \quad \text{faser} \quad \text{traktstoffe} \quad \left(\text{Rohfett} \right) \cdot 2,3$$

Die Ergebnisse für die verschieden behandelten Emdmehle sind in der Tab. 2 enthalten.

Tab. 2. Der «verdauliche Gesamtnährstoff» von unbestrahltem und bestrahltem Emdmehl (Gramm je 100 g Trockensubstanz)

UB	Tier 1 Periode I 41,59	Tier 2 Periode II 40,56	Mittel: 41,08
B	Tier 1 Periode II 40,02	Tier 2 Periode I 42,02	Mittel: 41,02

Die Zahlen der Tab. 2 zeigen, daß durch die Bestrahlung die Verdaulichkeit des Emdmehles, gesamthaft ausgedrückt durch den Gehalt an «verdaulichem Gesamtnährstoff» pro 100 g Futtertrockensubstanz, nicht beeinflußt wurde.

Für die besonders interessierende Verdaulichkeit des Rohproteins zeigt die Tab. 3 die diesbezüglichen Verdauungskoeffizienten.

Tab. 3. Die Verdauungskoeffizienten des Rohproteins (in %)

UB	«Zwei-Tage-Periode»	Tier 1 Periode I	Tier 2 Periode II	Gemeinsames Mittel 55,05
	a	53,13	59,15	
	b	53,00	60,86	
	c	52,37	50,24	
	d	58,62	52,98	
Mittel	54,28	55,81		
B	«Zwei-Tage-Periode»	Tier 1 Periode II	Tier 2 Periode I	Gemeinsames Mittel 54,01
	a	51,32	53,25	
	b	51,94	57,44	
	c	56,82	53,17	
	d	53,24	54,86	
Mittel	53,33	54,68		

Die statistische Prüfung wurde nach dem Verfahren des *t*-Testes²⁴ vorgenommen. Hierbei wird der Quotient *t* aus der Differenz zwischen den Mittelwerten und den vereinten mittleren Fehlern derselben berechnet. Ist diese Differenz, bezogen auf die vereinigten Fehler, die zur Streuung der Einzelwerte in Beziehung stehen, zu gering, dann nimmt der Quotient *t* einen kleinen Wert an. Um zu einer

²⁴ G. ZIMMERMANN, Der «*t*-Test», ein Hilfsmittel für die statistische Bearbeitung von Ergebnissen biologischer Versuche, Landw. Jb. Schweiz 59, 893, 1945.

Beurteilung des aus den Versuchsdaten ermittelten *t*-Wertes zu gelangen, muß man ihn mit dem entsprechenden, in statistischen Lehrbüchern²⁵ angeführten, an der Sicherheitsgrenze liegenden theoretischen *t*-Wert vergleichen. Ist der im Versuch gefundene *t*-Wert geringer als der Grenz-*t*-Wert, dann ist die Differenz der Mittelwerte der betreffenden Versuchsreihen statistisch nicht gesichert, d. h. unwesentlich. Das Resultat der statistischen Prüfung der Unterschiede zwischen den mittleren Verdauungskoeffizienten des Rohproteins ist in Tab. 4 angegeben.

Tab. 4. Statistische Prüfung der Unterschiede zwischen den gemeinsamen mittleren Verdauungskoeffizienten für das Rohprotein

<i>t</i> -Wert aus den Versuchsdaten	Theoretischer Grenz- <i>t</i> -Wert
0,010	2,145

Die Unterschiede zwischen den Verdauungskoeffizienten für das Rohprotein sprechen keineswegs dafür, daß sich die Bestrahlung des Emdmehles auf die Verdaulichkeit des darin enthaltenen Rohproteins günstig ausgewirkt hat.

b) Die Beeinflussung der Stickstoffbilanz der Versuchstiere nach Verabreichung des nach dem «Vitalin»-Verfahren bestrahlten Emdmehles

Unter vergleichbaren Bedingungen erlaubt die Lage der Stickstoffbilanz, die bei praktisch ausgewachsenen und ausreichend ernährten Tieren nicht stark von Null abweicht, einen brauchbaren Einblick in den Stoffwechsel des Futterstickstoffes.

Bei mengenmäßig gleicher Stickstoffzufuhr und insbesondere bei praktisch gleicher Verfügbarkeit von wirklich verdaulichem Stickstoff²⁰ wird die Höhe der Stickstoffbilanz weitgehend von der Qualität des Eiweißes bedingt. Beim ausgewachsenen Tier, das normalerweise keinen nennenswerten Eiweißansatz

²⁵ A. LINDER, Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure, Birkhäuser, Basel 1945.

²⁰ Die Menge des verdaulichen Stickstoffes wurde mittels der im Unterabschnitt 3 a angegebenen Verdauungskoeffizienten für das Rohprotein festgestellt. Wie aus der Formel für die Berechnung der Verdauungskoeffizienten ersichtlich ist (s. S. 60), erscheint in ihrem Zähler der Stickstoff des Kotes. Nicht aller Kotstickstoff stammt aber aus dem unverdaulichen Futter²⁷. Ein Teil ist sogenannter Stoffwechselstickstoff, der sich hauptsächlich aus dem Stickstoff der Abschilferungen des Darmepithels, der Verdauungssäfte und der Darmmikroorganismenflora zusammensetzt. Die Menge des Stoffwechselstickstoffes ist vor allem abhängig vom Trockensubstanz- und Rohfaserverzehr der Versuchstiere²⁸. Da letztgenannte Größen für beide Tiere während aller Perioden konstant waren, würden die um den Stoffwechselstickstoff «korrigierten Verdauungskoeffizienten», welche nur auf Grund eines N-freien Ver-

mehr aufweist, müssen sich, wenn die Menge des aufgenommenen Stickstoffes und seine Verdaulichkeit, wie in unserem Versuche, als gleich angenommen werden darf, allfällige Unterschiede in der Verwertbarkeit des absorbierten (resorbierten) Stickstoffes in einer verschiedenen Höhe der Stickstoffausscheidung im Harn manifestieren. Letztere beeinflusst das Ausmaß und den Charakter der N-Bilanz; denn nach Verabreichung einer bestimmten Menge verdaulichen, aber stoffwechselfähig minderwertigen Eiweißes wird, bei gleichem Energiegehalt der Vergleichsdiäten, ferner bei praktisch vergleichbarer Stoffwechselgröße der Versuchstiere²⁰ und bei nicht übermäßiger Eiweißzufuhr, die Stickstoffausscheidung im Harn größer sein als nach einer gleich großen Gabe an verdaulichem Eiweiß, das aber zufolge seiner Zusammensetzung für die Deckung der Bedürfnisse der Erhaltung geeigneter ist.

Im Falle unseres Versuches war die zugeführte Trockensubstanz- und Stickstoffmenge im bestrahlten und im unbestrahlten Emdmehl identisch und die im Kot ausgeschiedene Stickstoffmenge wies, wie aus den praktisch gleichen Verdauungskoeffizienten für das Rohprotein beider Emdmehle (s. Tab. 3 und 4) ersichtlich ist, keinen wesentlichen Unterschied auf. Es müßte sich somit eine allfällige Erhöhung der Verwertbarkeit des Stickstoffes im bestrahlten Emdmehl durch eine geringere Stickstoffausscheidung im Harn und damit durch eine ausgesprochene Verbesserung der entsprechenden Stickstoffbilanzen manifestieren.

Wenn zwischen der durchschnittlichen N-Bilanz, welche sich nach Verabreichung des unbestrahlten Futters ergibt, und derjenigen, die der Gabe des bestrahlten Futters folgt, kein statistisch gesicherter Unterschied besteht, dann darf gesagt werden, daß die Bestrahlung des Futters auf die Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz desselben ebensowenig fördernd eingewirkt hat wie auf deren Verdaulichkeit.

Auf Grund der in Tab. 6 angeführten Ergebnisse der statistischen Prüfung der Stickstoffbilanzen aller

suches bei gleicher Trockensubstanz- und Rohfaseraufnahme bestimmt werden können, für alle Perioden und für beide Emdmehle die gleiche Veränderung, d. h. Erhöhung, erfahren. Deshalb darf die oben gemachte Aussage bezüglich der praktisch gleichen Verfügbarkeit von wirklich verdaulichem, d. h. absorbiertem Stickstoff als berechtigt erachtet werden.

²⁷ H. RIEDER, Bestimmung der Menge des im Kot befindlichen nicht von der Nahrung herrührenden Stickstoffes, Z. Biol. 20, 378, 1884.

²⁸ B. H. SCHNEIDER, The Subdivision of the Metabolic Nitrogen in the Feces of the Rat, Swine and Man, J. Biol. Chem. 109, 249, 1935.

²⁰ Der maximale Unterschied in der Oberfläche der Tiere³⁰ während des gesamten Versuchsvorlaufes betrug 4,3 %, bezogen auf die Oberfläche des leichteren Tieres.

³⁰ A. SCHÜRCH, Die Wirkung reiner Nährstoffe auf den Fettausatz beim ausgewachsenen Kaninchen, Diss. ETH, Zürich 1945.

«Zwei-Tage-Perioden», wie sie in Tab. 5 angegeben sind, kommen wir zum Schluß, daß die kombinierte UV-Infra-rotbestrahlung nach dem «Vitalin»-Verfahren keine Verbesserung der Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz im Emdmehl herbeigeführt hat.

Tab. 5. Die Stickstoffbilanzen nach Verabreichung von bestrahltem und unbestrahltem Emdmehl (in g)

NR	«Zwei-Tage-Perioden»	Tier 1 Periode I	Tier 2 Periode I	Gemeinsames Mittel
	a	+ 0,529	+ 1,007	
b	+ 0,564	+ 1,233		
c	+ 0,528	+ 0,751		
d	+ 0,833	+ 0,706		
Mittel	+ 0,614	+ 0,922		+ 0,768

H	«Zwei-Tage-Perioden»	Tier 1 Periode II	Tier 2 Periode I	Gemeinsames Mittel
	a	+ 0,846	+ 0,893	
b	+ 0,759	+ 1,087		
c	+ 0,602	+ 0,812		
d	+ 0,779	+ 1,244		
Mittel	+ 0,747	+ 1,009		+ 0,878

Tab. 6. Statistische Prüfung der Unterschiede zwischen den N-Bilanzen

t-Wert aus den Versuchsdaten	Theoretischer Grenz-t-Wert
0,978	2,145

c) Die Beeinflussung des C/N-Quotienten im Harn durch Verabreichung von «Vitalin»-bestrahltem Emdmehl an die Versuchstiere

Auf Grund der Aussagen von O. ALLEMANN²¹ und im Sinne derjenigen von A. LUNG¹⁸ wäre zu erwarten, daß die C/N-Quotienten im Harn derjenigen Tiere, welche bestrahltes Emdmehl in der Diät erhielten, niedriger ausfallen würden als diejenigen, welche im Harn der Kontrolltiere ermittelt wurden. Damit wäre, gemäß den in der Einleitung angeführten Überlegungen von A. BICKEL²¹, ein Hinweis darauf erbracht, daß durch das nach dem «Vitalin»-Verfahren bestrahlte Emdmehl eine vollständigere «energetische Ausnützung des zum Umsatz im Zwischenstoffwechsel gelangenden Gesamtmaterials» herbeigeführt wurde.

Da ein Vergleich von C/N-Quotienten nach A. BICKEL²¹ nur innerhalb derjenigen stattfindet, die an ein und demselben Tier ermittelt wurden, gibt die Tab. 7 über die Höhe der C/N-Quotienten für jede «Zwei-Tage-Periode», getrennt nach Tier und Art des Futters, Aufschluß. Die in Tab. 8 folgende Zu-

¹⁸ A. BICKEL, Über die Beziehungen der Qualität des Nahrungseiweißes zum Ablauf des Betriebsstoffwechsels, Schriftenreihe zur Schweiz. med. Wschr., Heft 3, Schwabe, Basel 1936.

sammenstellung zeigt, daß die Bestrahlung des Futters keinen Einfluß auf die Höhe der C/N-Quotienten und damit auf die Oxydationslage im Stoffwechsel gehabt hat und daß deshalb von einer bestrahlungsbedingten Veränderung oder Verbesserung der Eiweißqualität im Futter nicht gesprochen werden kann.

Tab. 7. Die C/N-Quotienten im Harn der Versuchs- und Kontrolltiere

Tier 1	«Zwei-Tage-Perioden»	Periode I GB	Periode II H
	a	4,533	5,412
b	5,509	5,244	
c	5,840	5,458	
d	6,082	5,622	
Mittel	5,491	5,434	

Tier 2	«Zwei-Tage-Perioden»	Periode I H	Periode II GB
	a	5,667	5,555
b	8,894	5,047	
c	6,089	5,086	
d	7,157	5,741	
Mittel	7,176	5,605	

Tab. 8. Statistische Prüfung der Unterschiede zwischen den C/N-Quotienten

Tier	t-Wert aus den Versuchsdaten	Theoretischer Grenz-t-Wert
1	0,164	2,447
2	2,051	2,447

4. Besprechung der Versuchsergebnisse

Das «Vitalin»-Verfahren ist gekennzeichnet durch die Anwendung von Ultraviolettstrahlern, wobei das zu behandelnde Material vergänglich kurzfristig der Einwirkung von Infrarotlampen ausgesetzt wird.

Von der Schule A. BICKEL'S, auf die in den «Vitalin»-Publikationen^{1, 10, 20, 21} Bezug genommen wird, führten W. BASSENGE²², F. W. VON HEYS²³, W. OLBRICH²⁴ sowie A. BICKEL selbst^{21, 25, 26} Versuche durch, mit

²² W. BASSENGE, Untersuchungen über die Änderung der ernährungsphysiologischen Wirkung der Eiweißstoffe des Weizenkornes durch Bestrahlung mit den Gammastrahlen des Mesothoriums, Arch. Verdauungskrankh. 61, 66, 1937.

²³ F. W. VON HEYS, Über die Wirkung des Gammastrahlens d-Arginins auf die Oxydationslage, Biochem. Z. 305, 422, 1940.

²⁴ W. OLBRICH, Untersuchungen über die Abhängigkeit des Grades der strahlenbedingten Umwertung des Caseins von der Strahlendintensität, Biochem. Z. 284, 308, 1936.

²⁵ A. BICKEL, Durch Bestrahlung des Caseins erzielte Änderungen seiner biologischen Wirkung nach der Zufuhr zum Körper, Dtsch. med. Wschr. 61, 1231, 1935.

²⁶ A. BICKEL, Durch Gamma-Strahlen des Mesothoriums bedingte Änderung der biologischen Wirkung einer einzelnen Aminosäure, Dtsch. med. Wschr. 63, 465, 1937.

denen sie den Einfluß bestimmter Strahlenkategorien auf die Verwertung und die Wirkung des Eiweißes und seiner Bausteine im Betriebsstoffwechsel prüften. Die genannten Autoren verwendeten alle *Mesothorium*, bei dessen radioaktivem Zerfall *Gamma-Strahlen* mit Energiequanten bis zu einigen Millionen Elektronenvolt³⁷ emittiert werden.

Nach der allgemein anerkannten Spektraleinteilung³⁸ reicht der Ultraviolettbereich von 40,3 bis 4000 Å und der Bereich des Infrarots von 8000 bis 4 300 000 Å. Die Wellenlänge der *Gamma-Strahlen* wird nach oben mit 1,4 Å begrenzt, wobei sie bedeutend tiefer im kurzwelligen Bereich beginnen als die Röntgenstrahlen. Da zwischen der ausgestrahlten oder absorbierten Lichtenergie und der Schwingungszahl des Lichtes eine durch das *PLANCKSche* Wirkungsquantum bestimmte Proportionalität herrscht, sind die Infrarot- und Ultraviolettstrahlen als Energiequellen mit den *Gamma-Strahlen* nicht vergleichbar. Abgesehen davon, daß die *Gamma-Strahlen* viel durchdringender sind als die relativ nahe der Oberfläche absorbierten Ultraviolett- und Infrarotstrahlen, haben die extrem kurzwelligen *Gamma-Strahlen* eine sehr hohe Schwingungsfrequenz und dementsprechend einen weit größeren Energiegehalt als das langwelligere Ultraviolett und das sehr langwellige Infrarot. Aus der folgenden Tabelle³⁹ geht dies eindeutig hervor:

Tab. 9. *Energieinhalt der Strahlen*

Strahlenart	Relative Größe des Energiequants bezogen auf Rotlicht von 7 200 Å	Mittlere Wellenlänge der angeführten Strahlen in Å
Infrarot . . .	0,12 — 0,88	8 200 — 60 000
Rot	1	7 200
Ultraviolett . .	2,40	3 000
Gamma	720 000	0,01

*W. OLBRICH*³⁴ hat gezeigt, daß die «Intensität der Änderung des biologischen Verhaltens des bestrahlten Caseins im Betriebsstoffwechsel mit der Intensität der Bestrahlung ungefähr parallel geht» und daß der Umfang allfälliger Umlagerungen am Eiweißmolekül bzw. an seinen Bausteinen abhängig ist von der eingestrahlten Energiemenge. Angesichts der relativ geringen Energieemission durch Ultraviolett und Infrarot kann mit der Anwendung dieser Strahlengattungen im Rahmen des «*Vitalin*»-Verfahrens

³⁷ *F. KOHLRAUSCH*, *Praktische Physik*, Rosenberg, New York 1947.

³⁸ *M. DERIBERE*, *Les Applications Pratiques des Rayons Infrarouges*, Dumod, Paris 1943.

³⁹ *P. LAZARUS*, *Handbuch der gesamten Strahlenheilkunde*, Bergmann, München 1928.

keineswegs der gleiche Effekt erzielt werden wie durch die *Gamma-Strahlen*.

Dazu kommt, daß die Versuche von *A. BICKEL*^{31, 35} mit bestrahltem Casein, bzw. mit bestrahltem Cystin zu Casein³⁶, diejenigen von *W. BASSENGE*³² mit Weizenweiß und die uns noch bekannten Versuche von *F. W. VON HEYS*³³ mit bestrahltem Arginin zu einer Kartoffelgrunddiät durchgeführt wurden. Nach der Verfütterung des bestrahlten Caseins trat eine Senkung des C/N-Quotienten im Harn ein. Im Falle der Verabreichung von bestrahltem Weizenweiß war die Erniedrigung der Harnquotienten und die von den Verfassern damit in Verbindung gebrachte Verbesserung der Oxydationslage im Zwischenstoffwechsel weit weniger ausgesprochen. Diese Unterschiede besagen, daß die Wirkung ein und derselben Bestrahlung auch von den Eigenschaften des Ausgangsmaterials⁴⁰ abhängig ist und daß somit — selbst wenn die Strahlenquelle die gleiche ist — eine Übertragung von Ergebnissen, die an reinem Weizenweiß oder Casein gewonnen wurden, auf Emdmehl bzw. auf andere Futter- oder gar Backmehle nicht statthaft ist.

Hinzugefügt sei noch, daß die Versuche mit Zugaben bestrahlter Aminosäuren zu bestimmten Proteinen genau die umgekehrte Wirkung zeigten wie diejenigen mit den vorhin genannten Eiweißen. Zur Interpretation dieser, angesichts der weitgehenden Identität von Eiweiß- und Aminosäurenstoffwechsel nicht einfach erklärbare Tatsache führt *A. BICKEL*³⁶ aus, «daß durch die Bestrahlung eines bestimmten Eiweißmoleküls die Wirkungsrichtung seiner einzelnen Bausteine im Stoffwechsel, sofern letztere durch Strahlen veränderbar, in unterschiedlicher Weise beeinflusst werden kann . . . Darum kann auch die durch die Bestrahlung des ganzen Eiweißmoleküls erzeugte Art der Richtung und Intensität seiner Wirkung im Stoffwechsel die Resultate gleichsinniger und gegensätzlicher strahlenbedingter Änderungen in der biologischen Wirkung unterschiedlicher Bausteine des Moleküls sein.» Auch diese Feststellung zeigt die Unstatthaftigkeit der Übertragung von Ergebnissen, die bei der Bestrahlung von in bestimmter Weise zusammengesetzten und aufgebauten Eiweißen erzielt wurden, auf andere keineswegs gleichartige Eiweiße bzw. stickstoffhaltige Materialien.

Die in den Abschnitten 3 a bis 3 c dieser Arbeit angeführten Ergebnisse unseres Versuches bestätigen, daß, wie auf Grund theoretischer Überlegungen anzunehmen war, dem «*Vitalin*»-Verfahren nicht die Wirkung zukommen kann, welche den *Gamma-Strahlen* eigen ist. Durch das bei der «*Vitalin*»-Bestrahlung emittierte Ultraviolett ist zwar eine De-

⁴⁰ *G. ZIMMERMANN*, Die Eignung von Infrarot für die Trocknung von Futter- und Nahrungsmitteln, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 37, 35, 1946.

naturierung von Eiweiß^{41, 42} möglich; eine Verbesserung der Verdaulichkeit und Verwertung des im Emdmehl enthaltenen Proteins ist aber in unseren Versuchen nicht eingetreten. Die genannten positiven Einflüsse dürften sich, gemäß den physikalischen Eigenschaften, die dem Ultraviolett innewohnen, auch bei der Bestrahlung anderer Futter- oder Nahrungsmittel nicht bemerkbar machen.

5. Zusammenfassung

Einleitend werden anhand der Literaturangaben die Möglichkeiten der Beeinflussung des Stickstoffwechsels durch Ultraviolettbestrahlung des Nahrungseiweißes besprochen, wobei insbesondere die von A. BICKEL eingeführte Methode der Charakterisierung der Oxydationslage im Betriebsstoffwechsel mittels des C/N-Quotienten im Harn gewürdigt wird. Nach einigen Bemerkungen über die Bedeutung der

«Vitalin»-Bestrahlung, welche sich des Ultravioletts und Infrarots bedient, wird ein Vergleichsversuch mit Kaninchen beschrieben, denen unbestrahltes und «Vitalin»-bestrahltes Emdmehl als Futter verabreicht wurde. Im Zusammenhang damit folgen Ausführungen über die Verdaulichkeit des Gesamtfutters und der Rohproteinfraktion sowie Erläuterungen über die mit den Versuchstieren bestimmten Stickstoffbilanzen und C/N-Quotienten im Harn. Auf Grund der statistischen Auswertung der Ergebnisse wird festgestellt, daß die «Vitalin»-, d. h. die kombinierte Ultraviolett-Infrarot-Bestrahlung eine Verbesserung der Verdaulichkeit des Gesamtfutters und des darin enthaltenen Rohproteins nicht herbeiführte und daß weder die Stickstoffbilanz günstiger gestaltet noch die Oxydationslage im Betriebsstoffwechsel, gemessen am C/N-Quotienten im Harn, erhöht wurde. Abschließend werden Vergleiche angestellt zwischen der Eiweißbestrahlung mittels Gamma-Strahlen, die bei dem radioaktiven Zerfall des Mesothoriums entstehen, und der Ultraviolett- bzw. Infrarotbestrahlung.

⁴¹ M. DERIBERE, Les Applications Pratiques des Rayons Ultra-Violets, Dunod, Paris 1947.

⁴² C. ELLIS, A. A. WELLS und F. F. HEYROTH, The Chemical Action of Ultraviolet Rays, Reinhold Publ. Corp., New York 1941.