

ZEITSCHRIFT FÜR TIERPHYSIOLOGIE TIERERNÄHRUNG UND FUTTERMITTELKUNDE

Unter Mitarbeit von

D. G. ARMSTRONG, Newcastle · C. C. BALCH, Shinfield · K. BRONSCH, Berlin · W. H. BROSTER, Shinfield · H. BRUNE, Gießen · S. BULGURLU, Izmir · V. CUPKA, Nitra · S. DILMEN, Ankara
A. H. J. VAN ES, Hoorn/Wageningen · A. M. FRENS, Wageningen · K. D. GÜNTHER, Göttingen
H. HILL, Hannover · T. HOMB, Ås · V. HORN, Gießen · P. E. JAKOBSEN, Kopenhagen · J. KIELANOWSKI, Jablonna/Warschau · M. KIRCHGESSNER, Weihenstephan · M. KLEIBER, Davis (USA)
A. KMENT, Wien · K. H. MENKE, Stuttgart-Hohenheim · R. MÜLLER, Bonn · K. NEHRING, Rostock · G. PEETERS, Gent · G. THORBEC, Kopenhagen · J. TIEWS †, München · M. K. ZACHERL, Wien

herausgegeben von

KNUT BREIREM
Ås

JOHANNES BRÜGGEMANN
München

WALTER LENKEIT
Göttingen

ALFRED SCHÜRCH
Zürich

WERNER WÖHLBIER
Stuttgart-Hohenheim

Schriftleitung

WALTER LENKEIT, Göttingen

BAND 30

MIT 42 ABBILDUNGEN



1972/1973

VERLAG PAUL PAREY · HAMBURG UND BERLIN
LANDWIRTSCHAFT · VETERINÄRMEDIZIN · GARTENBAU · FORSTWESEN · JAGD UND FISCHEREI
HAMBURG 1 · SPITALERSTRASSE 12



INHALT

ABHANDLUNGEN

ASTRUP, H. N.; NEDKVITNE, J. J.: Experimente mit caseinstabilisiertem Fett für Wiederkäuer	275
BINOT, H.; LOMBA, F.; CHAUVAUX, G.; BIENFET, V.: The Aetology of Conditioned Copper Deficiency	48
BLÄHSER, S.: Untersuchungen über den Einfluß der Grundkost und des alimentären Tocopherol-Ubichinonmangels bei der Ratte. I. Calcium, anorganischer Phosphor und Gesamtstickstoff im Knochen	337
BOEHNCKE, E.; TIEWS, J.: Versuche zur Bestimmung der Glomerulären Filtrationsrate bei männlichen Mastkälbern und Jungbullen	259
EGGUM, B. O.: Protein Utilization by Conventional and Specific Pathogen-Free Rats	172
FARRIES, F. E.; ZGAJNAR, J.: Untersuchungen über die Verwertung von Harnstoff beim Wiederkäuer, 7. Mitt.	20
FARRIES, F. E.; KRASNODEBSKA, I.: Untersuchungen über die Verwertung von Harnstoff beim Wiederkäuer, 8. Mitt.	33
FARRIES, F. E.; KRASNODEBSKA, I.; BERWEIN, I.: Untersuchungen über die Verwertung von Harnstoff beim Wiederkäuer, 9. Mitt.	108
HAGEMASTER, H.: Untersuchungen über den Einfluß der Energieversorgung der Milchkühe auf die Enzymaktivität von Glucose-6-Phosphat-Dehydrogenase (G-6-PD) und Iso-Citrat-Dehydrogenase (ICD) im Unterhautfettgewebe	158
HALAMA, A. K.; MÜNCHBERG, F.: Einfluß von Payzone® auf Pigmentierung und Konsumqualität von Broilern	164
HARMEYER, J.; BIRCK, R.; JEŽKOVÁ, D.: Stoffwechselstudien bei Harnstofffütterung, 5. Mitt.	92
HENKEL, H.: Kritische Betrachtungen zum „Rostocker Futterbewertungssystem“	233
HOMB, T.; MATRE, T.: Supplementing Niacin, Choline and Amino Acids to Norwegian Trade Mixtures for Growing-Finishing Pigs	207
HOPPE, P.; TIEWS, J.; LAST, W.; KLEE, W.; KOCH, G.: Pflanzliche Carotinoide als Indikatoren zur Bestimmung der Grünfuttermitteldauerkraft beim Wiederkäuer	65
KOCH, G.; LEDINEK, M.; GIESECKE, D.: Untersuchungen über die Beteiligung von Mikroorganismen am Verdauungsstoffwechsel des Schweines. 1. Untersuchungen an Schlachtschweinen	222
KURNIK, E.; GÁBOS, D.; POZSÁR, B. I.: Conception rates of cows showing regular and irregular oestrus cycles, as influenced by feeding of germinated soybean	61
MENKE, K. H.; REICHL, J. R.: Bemerkungen zum Beitrag H. HENKEL: Kritische Betrachtungen zum „Rostocker Futterbewertungssystem“	244
MOLNÁR, S.; WINDEL, K.; ROSENOW, H.; TER MEULEN, U.: Untersuchungen zum Verlauf der ¹⁴ C-Aktivität nach oral verabreichtem 1- ¹⁴ C-Acetat beim Küken	282
NIESS, E.; MÜLLER, R.: Die Frage der Reproduzierbarkeit von Versuchen zur biologischen Proteinbewertung	177

OSTERBERG-GEBAUER, R.: Verdauungswerte einiger Futtermittel beim Hund	101
PALLAUF, J.; KIRCHGESSNER, M.: Zinkgehalte in Knochen und Ganzkörper wachsender Ratten bei unterschiedlicher Zinkversorgung, 5. Mitt.	193
PAQUAY, R.; DE BAERE, R.; LOUSSE, A.: Les Pertes « Insensibles » de Poids chez la Vache en Lactation	202
PFEFFER, E.; HARTMANN, D.; MOHME, H.: Einflüsse der Trocknungstemperatur und -dauer bei der Unterdachtrocknung von Halmfutter auf den Futterwert	212
SCHARRER, E.; RIEDEL, G.: Resorptionsstudien bei keimfreien Küken. II. Die Resorption von Ölsäure	264
SCHARRER, E.: Unterschiedliche pH-Abhängigkeit des Zuckertransports im Jejunum und Ileum des Kükens	268
SCHILLER, K.; ŠIMIČEK, K.; OSLAGE, H. J.: Mikrobiell produzierte Eiweißfuttermittel in der Tierernährung	246
SCHULZ, E.; OSLAGE, H. J.: Untersuchungen zur intestinalen Hydrolyse von Inositolphosphorsäureester und zur Absorption von Phytinphosphor beim Schwein, 1. Mitt.	55
SCHULZ, E.; OSLAGE, H. J.: Untersuchungen zur intestinalen Hydrolyse von Inositolphosphorsäureester und zur Absorption von Phytinphosphor beim Schwein, 2. Mitt.	76
VEEN, W. A. G.: Animal and Vegetable Fats in Milk Replacers for Veal Calves, 5. Fatty acid patterns in various adipose tissues	1
VEEN, W. A. G.: Animal and Vegetable Fats in Milk Replacers for Veal Calves, 6. Chemical analysis of muscle tissues	289
DE VUYST, A.; JARAMILLO, D.; VANBELLE, M.; ARNOULD, R.: Comparaison des Effets de Divers Glucides sur la Composition du Contenu du Rumen	323
WALZ, O. P.; FORD, J. E.: The measurement of "Available Lysine" in Protein Foods	304

NACHRICHTEN

26. Tagung in München vom 12. bis 14. April 1972	121
--	-----

BUCHBESPRECHUNGEN

Seiten	64, 176, 231, 287
------------------	-------------------

*Aus dem Institut für Tierphysiologie und dem Institut für Ernährungsphysiologie in der Tierärztlichen Fakultät der Universität München — Vorstände: Prof. DDr. DDr. h. c. Jobs. Brüggemann, Prof. Dr. Dr. J. Tiewws und der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht in Grub
Leiter: Regierungsdirektor Dr. H. Bogner*

Pflanzliche Carotinoide als Indikatoren zur Bestimmung der Grünfuttermverdaulichkeit beim Wiederkäuer¹

Von P. HOPPE, J. TIEWS, W. LAST, W. KLEE und G. KOCH

Eingang des Ms. 27. 9. 1971

Aufnahme und scheinbare Verdaulichkeit des Grünfutters lassen sich beim Wiederkäuer über zwei voneinander unabhängige Indikatoren bestimmen. Nach täglich konstanter Zufuhr von Cr_2O_3 als Indikator I stellt sich eine gleichbleibende Cr_2O_3 -Ausscheidung in den Faeces ein. Dann ist

Zufuhr I in g
g I/kg Faeces-Tr.S. = tägliche Faeces-Trockensubstanz-(Tr.S.-)Ausscheidung

Die (scheinbare) Verdaulichkeit der Grünfutter-Tr.S. kann über Indikator II berechnet werden, der ein Spurenindikator sein darf, aber Inhaltsstoff des Grünfutters sein muß. Er soll hierin in möglichst gleichbleibender und homogener Verteilung vorliegen. Es folgt:

Verdaulichkeit der Futter-Tr.S. = $100 \frac{\text{ppm I in Futter-Tr.S.} \cdot 100}{\text{ppm I in Faeces-Tr.S.}}$

Aus der Kombination der Indikatoren I und II ergibt sich

kg Tr.S.-Aufnahme/Tag = $\frac{\text{Zufuhr I in g} \cdot \text{ppm II in Faeces-Tr.S.}}{\text{g I/kg Faeces-Tr.S.} \cdot \text{ppm II in Futter-Tr.S.}}$

Als Indikator II wurde von REID (1950) und später von PIATKOWSKI (1962) das gesamte mit Aceton extrahierbare Pflanzenpigment als sogenanntes Chromogen mit unterschiedlichem Erfolg verwendet. Es traten jedoch Schwierigkeiten auf, weil das Absorptionsspektrum des Grünfutterchromogens nicht mit dem des Faeceschromogens übereinstimmte. Wir haben in insgesamt 12 Verdauungsversuchen an zwei Rindern und 37 Hammeln (Tabelle 1) versucht, eine Carotinoid-Gruppe bzw. ein einzelnes Carotinoid aufzufinden, das sich als Indikator II eignet. Zu diesem Zweck schienen uns das Gesamt-xanthophyll (= Summe der sauerstoffhaltigen Carotinoide) bzw. Lutetin (Dihydroxy- α -Carotin) am ehesten geeignet zu sein. Zusätzlich wurde in allen Versuchen die Verdaulichkeit des Gesamt-Carotins und/oder des β -Carotins miterfaßt.

¹ Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. Dr. h. c. J. BRÜGGEMANN zum 65. Geburtstag gewidmet.

Material und Methodik

Folgende Futtermittel (Tabelle 1) standen für die Verdauungsversuche zur Verfügung:

Tabelle 1

	Versuchs-Datum	Tierart	Versuchs-Nr.
<i>I. Grünfutter</i>			
Wiesengras, frisch	Sept. 69	Rd.	1
Wiesengras, frisch	Aug. 70	Ha.	2
Weidegras, frisch, TKL	Jan. 70	Ha.	3
Weidegras, angewelkt, TKL	Jan. 70	Ha.	4
Weidegras, stark angewelkt, TKL	Jan. 70	Ha.	5
Luzerne, frisch, TKL	Nov. 70	Ha.	11
Luzerne, angewelkt, TKL	Nov. 70	Ha.	12
<i>II. Silage</i>			
Weidegras-Silage, frisch, TKL	Okt. 70	Ha.	8
Weidegras-Silage, angewelkt, TKL	Okt. 70	Ha.	9
Weidegras-Silage, stark angewelkt, TKL	Okt. 70	Ha.	10
<i>III. Raubfutter</i>			
Wiesenheu	Febr. 70	Ha.	6
Wiesenheu	Sept. 70	Ha.	7
TKL = Tiefkühlagerung bei -20° C.			

Versuchsanstellung

Es handelte sich bei allen Versuchen um Verdauungsversuche mit quantitativer Faeces-sammlung. Dazu wurden zwei Höhenfleckvieh-Jungrinder (weiblich 185 kg LG und männlich 180 kg LG) in Versuch 1 bzw. ausgewachsene Hammel (50 bis 70 kg LG) in allen weiteren Versuchen in Stoffwechsellkäfigen aufgestellt und in einer Vorperiode von 12 Tagen (Rinder) bzw. 10 Tagen (Hammel) an das Versuchsfutter gewöhnt. Spätestens ab dem 5. Tag der Vorfütterungsperiode erhielten die Tiere bis zu Versuchsende eine täglich konstante Futtermenge, die etwa 10% unter dem Ad-libitum-Verzehr lag und täglich um 9.00 und 16 Uhr gegeben wurde. Die anschließende Hauptperiode betrug in allen Versuchen 10 Tage. Nicht aufgenommene Futterreste wurden zurückgewogen und bei der Berechnung der Gesamtfuttermittelaufnahme berücksichtigt.

Wiesengras (Versuche 1 und 2) wurde täglich morgens frisch gemäht und sofort analysiert. Die Grünfutter und Silagen aus der Tiefkühlagerung (-20° C; Versuche 3 bis 5, 8 bis 10) wurden in einheitlicher Weise in 72 Stunden aufgetaut und täglich analysiert. Das Heu (Versuche 6 und 7) wurde zu Versuchsbeginn grob gehäckselt und in 20 Tagesportionen abgepackt gelagert; Trockensubstanz- und Carotinoidgehalt wurden am Tage 0, 10 und 20 untersucht. Der Trockensubstanzgehalt des frisch gemähten Weidegrases (Versuch 1 und 2) war von Tag zu Tag uneinheitlich; dementsprechend wurden Abweichungen von der Soll-Aufnahme der vorigen Fütterung bei jeder folgenden Fütterung ausgeglichen. Beginnend mit dem letzten Tag der Vorperiode bis zum letzten Tag der Hauptperiode wurden die Faeces jedes Versuchstieres täglich am Morgen quantitativ gesammelt und die tägliche Trockensubstanzausscheidung bestimmt. Zugleich wurden die Faeces entweder am gleichen Tag auf Carotinoide untersucht

(Versuche 1 und 2) bzw. bei -20°C tiefgefroren und als pool aus proportionalen Anteilen der einzelnen Tages-Faecesmengen zu Versuchsende analysiert (Versuche 3–12).

Analytik

Alle Analysen wurden in mindestens dreifachem Ansatz durchgeführt.

I. Bestimmung von Gesamt-Carotin und Gesamt-Xanthophyll durch Ätherextraktion und Al_2O_3 -Säulenchromatographie (Versuche 1, 3, 4, 5, 6).

2 g Analysenmaterial werden in 20 ml 10%iger KOH mit einem Zusatz von 1 ml 10%iger Natriumascorbatlösung und 2 ml Petroläther (Siedebereich $40\text{--}60^{\circ}\text{C}$) auf dem Wasserbad bei 60°C am Rückflußkühler für 30 Minuten hydrolysiert. Die Pigmente werden mit frisch destilliertem, peroxydfreiem Diäthyläther durch Verreiben mit Seesand quantitativ extrahiert und im Scheidetrichter gegen Phenolphthalein neutralgewaschen. Wasserspuren im Ätherextrakt werden mit Petroläther verdrängt, der wasserfreie Extrakt bei 40°C und leichtem Unterdruck im Rotationsverdampfer zur Trockene eingengt und in 100 ml Petroläther aufgenommen. Ein aliquoter Teil dieses Extraktes wird an der Al_2O_3 -Säule (Al_2O_3 standardisiert nach BROCKMANN, 12 Stunden bei 750°C gegläht, danach mit 9% Wasser partiell deaktiviert) chromatographiert. Die Fraktion der Carotine (im folgenden Gesamt-Carotin genannt) läßt sich mit Petroläther, die Fraktion der O-haltigen Carotinoide (im folgenden Gesamt-Xanthophyll genannt) mit Äthanol eluieren. Die Extinktionen der Eluate werden bei 450 nm spektralphotometrisch gemessen und die Pigmentkonzentrationen unter Zugrundelegung eines $E_{1\text{ cm}}^{1\%} = 2600$ für Gesamt-Carotin (in Petroläther) bzw. $E_{1\text{ cm}}^{1\%} = 2500$ für Gesamt-Xanthophyll (in Äthanol) errechnet.

II. Die dünnstichtchromatographische Bestimmung von β -Carotin, Gesamt-Carotin und Lutein in den Versuchen 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12 erfolgte nach der Methode von HAGER und MEYER-BERTENRATH (1966). Die Adsorptionsschicht ist aus 73% CaCO_3 , 15% MgO und 12% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zusammengesetzt. Gesamt-Carotin wird mit dem Laufmittelgemisch Nr. 1, bestehend aus 50 ml hochsiedendem Petroläther, 50 ml Aceton und 40 ml Chloroform pro Kammer chromatographiert; zur selektiven Abtrennung von β -Carotin wird das Laufmittelgemisch Nr. 2 b (80 ml Petroläther, 20 ml Benzol und 2 ml Aceton) eingesetzt. Der Berechnung von β -Carotin und Gesamt-Carotin wird der $E_{1\text{ cm}}^{1\%} = 2200$ (bei 464 nm, in CHCl_3) zugrunde gelegt.

Versuchsergebnisse

Versuche 1 und 2

Das Wiesengras beider Versuche stammte von derselben ungedüngten Wiese. In Versuch 1 (September 1969) wurde ausschließlich Wiesengras, in Versuch 2 (August 1970) zusätzlich 300 g Heu/Tag gefüttert.

Die scheinbare Verdaulichkeit des Gesamt-Xanthophylls in Versuch 1 war erstaunlich hoch. Dagegen wurde das in Versuch 2 analysierte Lutein (Dihydroxy- α -Carotin), das von allen Carotinoiden im Weidegras am stärksten vertreten ist, im wesentlich höheren Prozentsatz von durchschnittlich 88,5% wieder aufgefunden. In beiden Ver-

Tabelle 2
Verdaulichkeitsversuche 1 und 2 mit Wiesengras

	Täglich aufgenommene Menge				
	g Tr.S.	mg Gesamt-Carotin	mg β -Carotin	mg Gesamt-Xanthophyll	mg Lutein
<i>Versuch 1</i>					
Kalbin	5500	1000	nicht bestimmt	2810	nicht bestimmt
Bulle	5500	1000	bestimmt	2810	bestimmt
<i>Versuch 2</i>					
Hammel I	770 ¹	152	150	nicht bestimmt	243
Hammel II	770 ¹	152	150	bestimmt	243

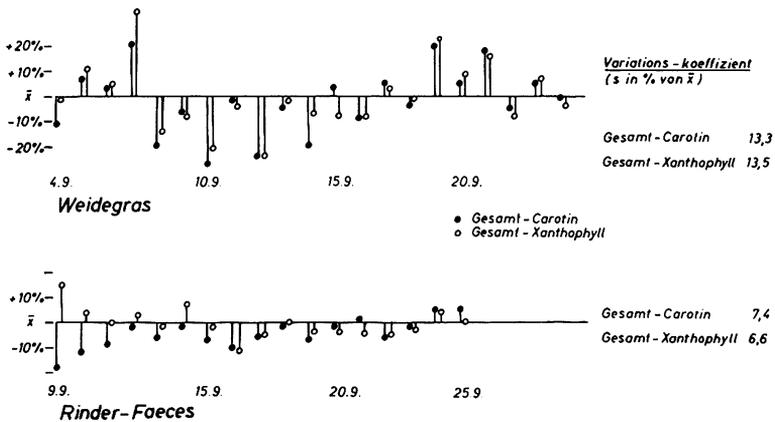
¹ aus 2800 g frischem Weidegras + 300 g Heu.

Tabelle 3
Carotinoidverdaulichkeit von Wiesengras bei Hammeln und Rindern

	% Scheinbare Verdaulichkeit				
	Tr.S.	Gesamt-Carotin	β -Carotin	Gesamt-Xanthophyll	Lutein
<i>Versuch 1</i>					
Kalbin	64,3	10,0	nicht bestimmt	24,0	nicht bestimmt
Bulle	63,5	10,7	bestimmt	26,4	bestimmt
<i>Versuch 2</i>					
Hammel I	71,0	7,6	5,9	nicht bestimmt	15,0
Hammel II	71,5	4,1	6,9	bestimmt	8,0

suchen erraschte die äußerst geringe Verdaulichkeit des Gesamt-Carotins und des β -Carotins.

Die täglichen Schwankungen des Gesamt-Carotin- und Gesamt-Xanthophyllgehaltes im Wiesengras und in den Rinderfaeces während des Versuches 1 werden in



Tägliche Schwankungen des Carotin- und Xanthophyllgehaltes

der Abbildung dargestellt. Aus den Diagrammen und den angegebenen Variationskoeffizienten ist deutlich zu erkennen, daß die täglichen Pigmentkonzentrationen der Faeces weniger voneinander abweichen als die des Wiesengrases.

Versuche 3, 4, 5

Mähweidegras, das sofort nach dem Schnitt (Versuch 3) bzw. nach leichtem Anwelken (Versuch 4) bzw. starkem Anwelken (Versuch 5) sieben Monate lang bei -20°C tiefgefroren gelagert worden war, wurde an insgesamt acht Hammel verfüttert. Versuchsansatz und Ergebnisse werden in den Tabellen 4 und 5 wiedergegeben.

Tabelle 4

Verdaulichkeitsversuche 3, 4, 5 mit Mähweidegras

Vers.-Nr.	Zahl der Hammel	% Tr.S. des Mähweidegrases	Täglich aufgenommene Menge		
			g Tr.S.	mg Gesamt-Carotin	mg Gesamt-Xanthophyll
3	2	17	765	103	502
4	3	31	960	164	788
5	3	55	1100	143	768

Tabelle 5

Carotinoidverdaulichkeit von Mähweidegras bei Hammeln

Vers.-Nr.	Hammel-Nr.	% Scheinbare Verdaulichkeit von					
		Tr.S.	\bar{x}	Gesamt-Carotin	\bar{x}	Gesamt-Xanthophyll	\bar{x}
3	88	67,2	65,6	11,9	8,8	21,0	18,1
	77	64,1		5,6		15,1	
4	87	65,3	66,6	6,5	10,5	17,5	20,0
	83	67,1		14,1		23,5	
	78	67,5		10,8		19,0	
5	95	68,9	68,2	31,0	31,9	41,9	40,4
	80	68,3		31,6		39,3	
	73	67,5		31,6		40,1	

Die scheinbare Verdaulichkeit der Trockensubstanz, des Gesamt-Carotins und des Gesamt-Xanthophylls in dem Mähweidegras der Versuche 3 und 4 liegt etwa in der gleichen Größenordnung wie in den Versuchen 1 und 2. Auch hier kommt es während der Verdauungspassage zu einem größeren Verlust an Gesamt-Xanthophyll als an Gesamt-Carotin. Die deutlich höhere scheinbare Verdaulichkeit der beiden analysierten Carotinoidgruppen in Versuch 5 führen wir auf Veränderungen in der Carotinoidzusammensetzung der Gesamt-Carotin- und Gesamt-Xanthophyllfraktion durch den lang andauernden Anwelkprozeß zurück.

Versuche 6 und 7

Wiesenheu vom ersten Schnitt 1969 wurde in Versuch 6 im Februar 1970 an fünf Hammel und in Versuch 7 (September 1970) an sechs Hammel gefüttert. Der Versuchsansatz ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6
Verdaulichkeitsversuche 6 und 7 mit Wiesenheu

	Täglich aufgenommene Menge				
	g Tr.S.	mg Gesamt-Carotin	mg β -Carotin	mg Gesamt-Xanthophyll	mg Lutein
Versuch 6	837	21,7	nicht bestimmt	186	nicht bestimmt
Versuch 7	902	nicht bestimmt	9,7	nicht bestimmt	74,0

Die scheinbare Verdaulichkeit von Lutein und Gesamt-Xanthophyll, die nicht signifikant unterschiedlich ist, ist auch bei Heufütterung höher als die von β -Carotin und Gesamt-Carotin (Tabelle 7). An Hand der angegebenen Untersuchungskriterien sowie der hier nicht aufgeführten Verdauungskoeffizienten der Rohnährstoffe läßt sich keine Beeinflussung der scheinbaren Verdaulichkeiten durch die sieben Monate lange Tiefkühlagerung zwischen den Versuchen feststellen.

Tabelle 7
Carotinoidverdaulichkeit von Wiesenheu bei Hammeln

Hammelnr.	Tr.S.	% scheinbare Verdaulichkeit							
		\bar{x}	Gesamt-Carotin \bar{x}	β -Carotin \bar{x}	Gesamt-Xanthophyll \bar{x}	Lutein \bar{x}			
<i>Versuch 6</i>									
87	64,4		15,9		17,4				
83	66,6		9,4		18,0				
78	66,2	65,0	10,4	8,9	nicht bestimmt	18,0		nicht bestimmt	
88	65,2		3,5		20,6				
82	62,4		5,1		13,2				
<i>Versuch 7</i>									
95	68,9				14,2			19,7	
85	67,0				3,7			11,1	
83	66,7		nicht bestimmt		11,2	11,5	nicht bestimmt	11,8	
78	65,4	66,2			13,0			16,2	14,5
73	65,0				19,0			16,5	
90	64,5				7,6			11,6	

In allen folgenden Versuchen wurde wegen der nicht ausreichenden Wiederauffindungsrate die Xanthophyllfraktion nicht mehr erfaßt. Statt dessen untersuchten wir nach den günstigen Ergebnissen der Versuche 2 und 7 mit Hilfe der Platten-Dünnschichtchromatographie die scheinbare Verdaulichkeit des Luteins. Wir erhofften uns

von dieser definierten Verbindung eine vollständige Wiederauffindungsrate als von der Fraktion des Gesamt-Xanthophylls, die aus einer Vielzahl sauerstoffhaltiger Carotinoide zusammengesetzt ist, die vermutlich während der Verdauungspassage unterschiedlich stark beeinflusst werden.

Verdauungsversuche 8, 9 und 10 mit Mähweidegras-Silage

Es handelt sich um die Silagen desselben Mähweidegrases, das in den Versuchen 3, 4 und 5 gefüttert wurde. Nach einer Silierzeit von fünf Monaten wurde die Silage zwölf Monate lang tiefgefroren gelagert.

Die Silagen waren von unterschiedlicher Qualität:

Versuch-Nr.	Prozentualer Gehalt der Frischsubstanz an		
	Essigsäure	Buttersäure	Milchsäure
8	0,5	1,1	0,5
9	0,18	0,7	1,5
10	0,2	0,0	0,8

Einzelheiten des Versuchsansatzes sind in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8

Verdaulichkeitsversuche 8, 9, 10 mit Mähweidegras-Silage

Vers.-Nr.	Zahl der Hammel	% Tr.S. der Silage	Tr.S. (g)	Täglich aufgenommene Menge		
				mg Gesamt-Carotin	mg β -Carotin	mg Lutein
8	3	20	870	128	104	311
9	2	41	832	96	74	312
10	3	64	965	99	81	328

Lutein aus siliertem Weidegras wurde zu einem deutlich besseren Prozentsatz (Tabelle 9) wiedergefunden als die Gesamt-Xanthophyllfraktion der Versuche 3, 4 und 5. Dies wird bei einem Vergleich der Versuche 10 und 5 besonders offensichtlich.

Während die lange Anwelkzeit des Weidegrases von Versuch 5 eine deutliche Erhöhung der scheinbaren Verdaulichkeit des Gesamt-Carotins und Gesamt-Xanthophylls zur Folge hatte, war dieser Effekt nach der Silierung des Grases (Versuch 10) nicht mehr vorhanden. Die schlechte Qualität des feucht silierten Weidegrases von Versuch 8 bewirkte eine Depression der Trockensubstanzverdaulichkeit; dagegen kann ein Einfluß auf die Carotinoidverdaulichkeit nicht gesichert werden.

In den Versuchen 7, 8 und 9 hatte sich gezeigt, daß pflanzliches Lutein eine geringere scheinbare Verdaulichkeit als das Gesamt-Xanthophyll aufwies. Gleichwohl fehlten zu einer vollständigen Wiederauffindungsrate noch 8,7 bis 14,5 %. Wir vermuteten deshalb, daß die scheinbaren Lutein-Verluste auf Verunreinigungen des Luteins mit einem Spurencarotinoid von annähernd gleichem Adsorptionsverhalten

Tabelle 9

Carotinoidverdaulichkeit von Mähweidegras-Silage bei Hammeln

Vers.-Nr.	Hammel Nr.	Tr.S.	% scheinbare Verdaulichkeit von						
			\bar{x}	Gesamt-Carotin	\bar{x}	β -Carotin	\bar{x}	Lutein	\bar{x}
8	95	56,5		8,2		4,1		9,7	
	85	59,5	57,8	13,7	10,0	7,6	3,9	15,9	8,7
	83	57,4		8,2		0,0		5,0	
9	87	65,3	66,1	15,4	18,4	1,2	3,0	12,0	13,7
	80	66,9		21,5		4,8		15,4	
10	78	66,7		12,9		4,4		16,3	
	73	67,8	66,9	15,1	12,4	3,3	3,2	11,8	11,8
	90	66,2		9,3		2,0		7,4	

auf der Dünnschichtchromatographieplatte zurückzuführen waren. Als solches kamen Epoxy-Carotinoide in Frage, die sich säurekatalytisch in ihre furanoide Form umwandeln lassen. Wir haben folglich in den beiden letzten Versuchen 11 und 12 neben dem Lutein auch das von Epoxycarotinoid-Spuren befreite Lutein miterfaßt. Dies geschah durch den Zusatz eines Tropfens n-HCl zur Lutein-Meßlösung, der bei Anwesenheit von Epoxycarotinoiden einen Extinktionsabfall zur Folge hatte.

Verdauungsversuche 11 und 12 mit Luzerne

Frisch geschnittene Luzerne (20 % Tr.S.; 19 % Rohprotein; 32 % Rohfaser) bzw. Anwelk-Luzerne (40 % Tr.S.; 18,4 % Rohprotein; 32 % Rohfaser) wurden nach dem Schnitt 17 Monate lang bei -20° C gelagert und in den Versuchen 11 und 12 an je 4 Hammel gefüttert. Die Versuchsanlagen und Ergebnisse sind in den Tabellen 10 und 11 aufgeführt.

Tabelle 10

Verdaulichkeitsversuche 11 und 12 mit Luzerne

Versuch-Nr.	Zahl der Hammel	Täglich aufgenommene Menge				
		g Tr.S.	mg Gesamt-Carotin	mg β -Carotin	mg Lutein	mg Lutein EOC-frei ¹
11	4	765	24	21	116	81
12	4	1253	61	54	193	145

¹ EOC = Epoxycarotinoide.

EOC-freies Lutein wurde in Versuch 11 zu einem signifikant ($p < 0,05$) höheren Prozentsatz als Lutein wiedergefunden. In Versuch 12 war die Wiederauffindungsrate des EOC-freien Luteins annähernd vollständig, wenn man von Hammel Nr. 83 absieht. Die scheinbare Verdaulichkeit von β -Carotin und Gesamt-Carotin ist gegenüber den vorhergehenden Versuchen erhöht.

Tabelle 11
Verdaulichkeit von Luzerne-Carotinoiden bei Hammeln

Hammel Nr.	Tr.S.	\bar{x}	% scheinbare Verdaulichkeit							
			Gesamt- Carotin	\bar{x}	β -Carotin	\bar{x}	Lutein	\bar{x}	Lutein EOC-frei	\bar{x}
<i>Versuch 11</i>										
77	58,3		30,1		24,1		16,1		11,3	
78	59,7	59,5	29,0	30,1	24,9	26,7	15,5	17,1	10,1	10,9
80	60,1		24,6		24,6		20,3		14,5	
95	59,7		32,5		32,1		16,5		7,7	
<i>Versuch 12</i>										
73	62,8		26,2		20,4		23,1		0,0	
81	61,7	62,6	26,4	28,7	20,3	27,1	12,9	15,1	4,2	5,1
83	64,3		36,8		28,0		24,1		15,8	
90	61,8		25,4		19,4		11,2		0,3	

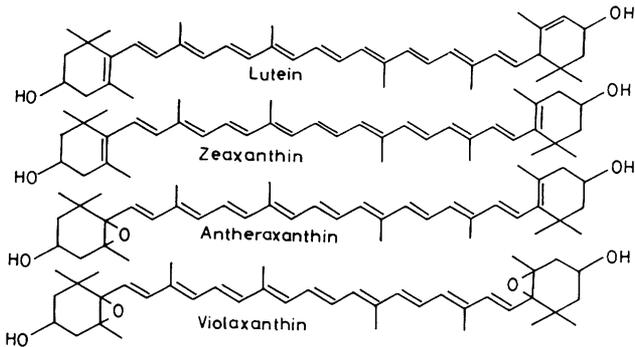
Diskussion

Die säulenchromatographisch gewonnene Fraktion des Gesamt-Xanthophylls wurde zu einem beträchtlichen Prozentsatz scheinbar verdaut. Diese in der Routine-Analytik leicht zu bestimmende Fraktion erleidet folglich während der Darmpassage größere Verluste, die für einen Verdaulichkeitsindikator nicht annehmbar sind. Als Ursache der Verluste muß die Zusammensetzung dieser Fraktion aus mindestens 4 Mengen-Carotinoiden und einer nicht zu übersehenden Anzahl von Spuren-Carotinoiden gelten. Das Carotinoidmuster der Gesamt-Xanthophyllfraktion variiert je nach der Pflanzenzusammensetzung im Grünfutter, der Jahreszeit sowie Tageszeit; auch die Art der Werbung und Konservierung ist von Einfluß. Als Beispiel für die unterschiedliche Zusammensetzung der Gesamt-Xanthophyllfraktion von Grünfutter ist in der Tabelle 12 das Carotinoidmuster der Mengen-Carotinoide von je einer Probe Wiesen gras, Deutschem Weidelgras, Weißklee sowie Wiesenheu angeführt.

Von diesen Carotinoiden besitzen Lutein und Zeaxanthin (Dihydroxy- β -Carotin) neben ihrem Kohlenwasserstoffgerüst nur Hydroxylgruppen im Molekül, während Antheraxanthin, Violaxanthin und Neoxanthin zusätzlich Epoxy-Gruppen aufweisen.

Tabelle 12
Zusammensetzung der Carotinoide der an der Al_2O_3 -Säule mit Äthanol eluierten Gesamt-Xanthophyllfraktion

	Milligramm Carotinoid / kg Trockensubstanz von				
	Wiesengras (August)	Deutsches Weidelgras (Mai)	Weißkleeblatt		Wiesenheu
			(Juni)	(Juli)	
Lutein	412	656	739	348	114
Zeaxanthin	20	14	82	31	17
Neoxanthin	126	85	202	67	38
Violaxanthin	183	298	328	110	n. b.
Antheraxanthin	n. b.	n. b.	42	n. b.	n. b.



Epoxy-Carotinoide unterliegen sowohl in den intakten Chloroplasten lebender Pflanzen (HAGER, 1969) als auch im Magen-Darm-Trakt des Tieres auffallenden Veränderungen. Die Pflanze synthetisiert während der Dunkelheit Antheraxanthin und Violaxanthin. Unter dem Einfluß langwelliges Sonnenlichtes und/oder einer pH-Erniedrigung nehmen die Konzentrationen von Antheraxanthin und Violaxanthin wieder ab, weil sich die 5,6-Epoxy-Gruppen zu 5,8-furanoiden Ringen umlagern. Diese Umstrukturierung des Moleküls bewirkt eine Verschiebung des Absorptionsspektrums des Antheraxanthins um 20 nm und des Violaxanthins um 43 ± 4 nm in Richtung des kurzwelliges Lichtes, die mit einem Extinktionsverlust einhergeht. Zugleich entsteht aus Violaxanthin über die Zwischenstufe des Antheraxanthins neues Zeaxanthin. Wir konnten in In-vitro-Inkubationsversuchen mit Pansenflüssigkeit nachweisen, daß diese Reaktionen bereits im leicht sauren Milieu des Pansens ablaufen. Sämtliche Epoxy-Carotinoide scheiden somit als Verdaulichkeitsindikatoren aus.

Dementsprechend ist auch Zeaxanthin zu diesem Zweck nicht geeignet, da im Verdauungstrakt aus Violaxanthin und Antheraxanthin Zeaxanthin gebildet wird. In Versuch 2 wurde in den Faeces die vierfache Menge des mit dem Wiesengras aufgenommenen Zeaxanthins aufgefunden. Von allen in größerer Konzentration im Grünfütter vorhandenen Carotinoiden kommt demnach allein spektralreines, von Epoxycarotinoiden befreites Lutein als Indikator II in Frage.

Die scheinbare Verdaulichkeit der Gesamt-Carotinfraction (zwischen 5,5 und 32 %) und des β -Carotins (zwischen 3,0 und 26,7 %) ist erstaunlich gering. Als Ursache der in den Versuchen 5, 11 und 12 gefundenen etwas höheren scheinbaren Verdaulichkeit nehmen wir eine Isomerisierung des All-trans- β -Carotins an, die von ZAREND und STEGER (1971) unter dem Einfluß des Anwelkens gefunden wurde und vermutlich auch in sehr lang gelagertem Grünfütter auftritt. Daneben kann eine Bildung von Epoxy- β -Carotin nicht ausgeschlossen werden. Unsere Ergebnisse stehen in krassem Widerspruch zu WING (1969), der in 445 Einzelverdaulichkeitsversuchen an Rindern eine mittlere Carotinverdaulichkeit von 78 % fand. Die Ergebnisse wurden jedoch mit Hilfe der beiden Indikatoren Cr_2O_3 und Chromogen (REID, 1950) errechnet und sind folglich gegenüber der von uns angewendeten quantitativen Kotsammlung ungenau. NEHRING und HOFFMANN (1967) geben ebenfalls die relativ hohe Carotinverdaulichkeit von 31,2 % bei Gärfütter und 25,3 % bei Rohfütter an. Lediglich BRUNE und ZADDACH (1965) fanden eine mit unseren Ergebnissen übereinstimmende Carotinverdaulichkeit an Schafen zwischen 4 und 24 %.

Die scheinbar geringe Verdaulichkeit des β -Carotins in unseren Versuchen überraschte in Anbetracht der β -Carotinverluste, die in den Untersuchungen von KING

(1962) nach neunstündiger Inkubation mit Pansensaft durchschnittlich 35 % betrogen und im Rumen-Reticulum von Schafen und Rindern nach 12 Stunden 40 % ausmachten. Weitere In-vitro-Versuche mit Pansenflüssigkeit von DAVISON und SEO (1963) sowie KEATING et al. (1964) bestätigen teilweise die Befunde von KING. Allerdings erwies sich β -Carotin, das mit Pansensaft von kraftfutterreich gefütterten Rindern inkubiert wurde, als stabil.

Die Diskrepanz zwischen der guten Wiederauffindungsrate des pflanzlichen β -Carotins in unseren Versuchen und den Verlustquoten in den In-vitro-Inkubationsversuchen anderer Autoren führen wir darauf zurück, daß das in den Inkubationsversuchen verwendete wasserdispergierte β -Carotin-Reinpräparat leichter oxydativ zerstört wird als in pflanzlichen Chloroplasten eingeschlossenes β -Carotin. Wir konnten in noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen feststellen, daß das Pansenmilieu pflanzliches β -Carotin nahezu vollständig vor Verlusten schützt.

Wenn auch β -Carotin und Gesamt-Carotin auf Grund des „Handicaps“ ihrer Pro-Vitamin-A-Funktion schwerlich als Verdaulichkeitsindikatoren in Frage kommen, sollte ihre geringe Ausnutzung Anlaß sein, die Carotin- bzw. Vitamin-A-Versorgung des Wiederkäuers kritisch zu überdenken.

Zusammenfassung

Die scheinbare Carotinoidverdaulichkeit von Grünfutter, Silage und Heu wurde in 37 bzw. 2 Einzelverdaulichkeitsversuchen an Hammeln bzw. Rindern ermittelt. Die Gesamt-Xanthophyllfraktion (= Summe der O-haltigen Carotinoide) erlitt während der Darmpassage scheinbare Verluste von $23,7 \pm 9,3$ %, die auf molekulare Veränderungen der säurelabilen Epoxy-Carotinoide zurückzuführen sind. Spektralreines Lutein (Dihydroxy- α -Carotin) hatte eine scheinbare Verdaulichkeit von durchschnittlich $8,0 \pm 6,1$ % und scheint als Spurenindikator für Verdaulichkeitsversuche geeignet zu sein. Für Gesamt-Carotin betrug die durchschnittliche Wiederauffindungsrate (in % der Zufuhr) in 33 Einzelverdaulichkeitsversuchen $83,1 \pm 10,1$ %, für β -Carotin in 24 Einzelverdaulichkeitsversuchen $88,3 \pm 9,6$ %.

Summary

The apparent digestibility of carotenoids of pasture grass, silage and hay was estimated on sheep and heifers in metabolism cages. Xanthophylls (all O-substituted carotenoids) suffered losses in the intestinal tract of 23.7 ± 9.3 % due to molecular alterations of epoxy-carotenoids. Lutein (dihydroxy- α -carotene) had mean apparent digestibility of 8.0 ± 6.1 % rendering it a possible plant borne indicator for the determination of digestibility coefficients. 83.1 ± 10.1 % and 88.3 ± 9.6 % of the carotene respectively β -carotene intake were recovered in the feces.

Literatur

1. ALMENDINGER, R., und HINDS, F. C., 1969: J. Nutr. **97**, 13. — 2. BRUNE, H., und ZAD-DACH, M., 1965: Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **20**, 224. — 3. DAVISON, K. L., und SEO, J. J., 1963: Dairy Sci. **46**, 862. — 4. HAGER, A., und MEYER-BERTHENRATH, 1966:

Planta (Berl.) **69**, 198. — 5. HAGER, A., 1967: Planta (Berl.) **74**, 148. — 6. DERS., 1969: Planta (Berl.) **89**, 224. — 7. KEATING, E. K., HALE, W. H., und FARRIS HABBERT, 1964: J. An. Sci. **23**, 111. — 8. KING, T. B., LOHMAN, T. G., und SMITH, G. S., 1962: J. An. Sci. **21**, 1002. — 9. MCGILLIVRAY, W. A., 1951: Brit. J. Nutr. **5**, 223. — 10. MENZIES, C. S., MITCHELL, G. E., und LITTLE, C. O., 1967: Internat. Z. Vit. Forschung **37**, 443. — 11. MITCHELL, G. E., 1967: J. Am. Vet. Med. Assoc. **151**, 430. — 12. NEHRING, K., und HOFFMANN, M., 1967: Archiv Tierernährung **17**, 263. — 13. PUGH, D. L., GARNER, G. B., BLOOMFIELD, R. A., und MUHRER, M. E., 1962: J. An. Sci. **21**, 1009. — 14. SCHAEFER, H. C., 1968: Feedstuffs **40**, 32. — 15. WING, J. M., 1969: J. Dairy Sci. **52**, 479. — 16. ZAREND, W., und STEGER, H., 1971: Archiv Tierernährung **21**, 257.

Anschrift der Autoren: Dr. PETER HOPPE, Markere University, P.O. Box 7062, Kampala/Uganda

*Aus dem Institut für Tierernährung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft,
Braunschweig-Völkenrode — Direktor: Prof. Dr. H. J. Oslage*

Untersuchungen zur intestinalen Hydrolyse von Inositphosphorsäureester und zur Absorption von Phytinphosphor beim Schwein

2. Mitteilung

Untersuchungen zur Hydrolyse der Inositphosphorsäureester im Verdauungstrakt des Schweines

Von E. SCHULZ und H. J. OSLAGE

Eingang des Ms. 30. 9. 1971

In der ersten Mitteilung dieser Arbeit (16) wurde schon hervorgehoben, daß eine Hydrolyse der Inositphosphorsäureester die Voraussetzung ist für die Möglichkeit einer Absorption des Phosphors und auch anderer Mineralstoffe, die evtl. am Phosphorradikal des Esters gebunden sind. In den hier zu berichtenden Untersuchungen wurde daher versucht, das Ausmaß der Hydrolyse von Phytin im Intestinum von Schweinen zu ermitteln sowie fernerhin diesen Abbau nach Möglichkeit zu lokalisieren.

1. Umfang der intestinalen Phytinhydrolyse

Der erste Teil der Arbeiten galt der Ermittlung des Umfanges der Phytinhydrolyse im gesamten Bereich des Intestinums von Schweinen. Aus Untersuchungen ähnlicher Fragestellung von BECKER (2), BRÜTZEL (4) und BRÜGGEMANN und Mitarbeiter (3)