

*Aus dem Institut für Physiologische Chemie der Universität Rostock
(Direktor: Prof. Dr. med. habil. D. Mücke)*

Zur chemischen Bewertung der Proteinqualität von Nahrungsstoffen nach proteolytischem Abbau*)

Von I. SCHRÖDER

Mit 4 Tabellen

(Eingegangen am 1. Juli 1968)

Die Eiweißqualität der Nahrungsproteine wird nicht nur durch die Aminosäure-(AS)-Gehaltswerte bestimmt, sondern kann durch verschiedene Faktoren beeinflußt werden. Diese bestehen

1. in der nicht ausreichenden enzymatischen Angreifbarkeit der Proteine infolge eines ungünstigen Stoffgefüges,
2. in Enzym-resistanten Bindungen,
3. in der Wirkung von Inhibitoren und anderen Nahrungsbestandteilen und
4. in einer AS-Imbalanz.

Für die Bewertung der Eiweißqualität wird daher immer der Tierversuch das entscheidende Kriterium bleiben, da die physiologische Wirkung eines Nahrungsproteins im Organismus objektiv nur so beurteilt werden kann. Dennoch können durch ihn nicht ohne weiteres Fragen nach dem Wirkungsverlauf des Proteins, nach der Ursache für hohe und niedere biologische Wertigkeit (BW) oder für die Ergänzungswirkung bestimmter Nahrungsstoffe beantwortet werden.

Diese differenzierten Fragen können erst durch in vitro-Methoden geklärt werden, deren Vorteile gegenüber den Tierversuchen in folgenden Punkten bestehen:

1. geringere Aufwendigkeit;
2. schnellere Durchführung;
3. keine Abhängigkeit von der jeweiligen Tierart;
4. die AS-Gehaltswerte lassen die Ursachen für hohe oder niedere Wertigkeit der Nahrungsproteine erkennen;
5. Möglichkeit zur Herstellung optimaler Eiweißmischungen.

Die Schwierigkeiten, die bei einem Vergleich zwischen in vivo- und in vitro-Versuchen bestehen, sind hinlänglich bekannt. Die komplizierten physiologischen Vorgänge, wie sie beim proteolytischen Abbau und bei der Proteinsynthese ablaufen, sind in vitro nicht zu realisieren. Es kann sich daher bei diesen Versuchen nur darum handeln, die biologischen Vorgänge zu vereinfachen.

*) Die experimentellen Arbeiten wurden im ehemaligen Institut für Agrikulturchemie und Bodenkunde der Universität Rostock (Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. K. NEHRING) und im Institut für Physiologische Chemie der Universität Rostock durchgeführt.

Das Problem der Protein-Bewertung erstreckte sich daher zunächst auf das routinemäßige Erfassen der AS. Bei einer Anzahl von Nahrungsstoffen konnten einfache Beziehungen zwischen AS-Gehalt und BW gefunden werden. Je größer aber die Anzahl an untersuchten Stoffen wurde, um so mehr Ausnahmen und Abweichungen von der BW wurden registriert. Die Gründe dafür sind mannigfaltig. Sie sind auch leicht verständlich, wenn die oben genannten Punkte in Betracht gezogen werden.

Darüber hinaus ist für die Einschätzung der Eiweißqualität das Referenzprotein von erheblicher Bedeutung. Im gesamten Komplex des Problems der Eiweißbewertung war keine Frage so umstritten wie die des Bezugsproteins. Die größte Bedeutung hat in dieser Hinsicht das Volleiprotein gefunden. Es wurde bereits bei der Entwicklung der „klassischen Verfahren“ von MITCHELL und BLOCK (4) sowie von OSER (6) gewählt.

Der Bedarf des Menschen und des Tieres an AS kann jedoch nicht durch ein natives Protein in der Weise gedeckt werden, daß sich einmal keine AS im Überschuß befinden, andererseits alle AS in optimaler Menge vorliegen. Diese Forderung muß jedoch an ein ideales Referenzprotein gestellt werden.

Abgesehen von der Imbalanz wird sich der Überschuß einer AS hinsichtlich der Verwertung nicht wesentlich auswirken. Weicht jedoch die AS-Zusammensetzung des Bezugsproteins von dem AS-Bedarf des Tieres ab, so muß eine fehlerhafte Bewertung anderer Nahrungsproteine die Folge sein.

Der ideale Bezugswert für die Proteinbewertung kann daher nur die Bedarfszahl sein.

Dieses „hypothetische Bezugsprotein“ wurde hinsichtlich der AS-Zusammensetzung für Ratten von BENDER (1, 1a) auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse berechnet.

Die als „Target“-Werte bezeichneten AS-Gehaltszahlen dienten HENDERRICKX (3) als Referenzprotein zur Errechnung des „chemical score“. Die an Hand von 36 Nahrungsproteinen gewonnenen Bewertungsergebnisse weisen eine hohe Korrelation auf ($r = 0,975$).

Durch diese Untersuchungen wurde die maßgebliche Bedeutung der Bedarfszahl als Referenzprotein aufgezeigt.

Unberücksichtigt blieb jedoch die AS-Verfügbarkeit.

Zutreffende Bewertungen sind daher unter diesen Bedingungen nur zu erwarten, wenn keine hemmend wirkenden Einflüsse dem proteolytischen Abbau und der Proteinsynthese entgegenwirken. Durch die unphysiologische und unspezifische Säure-Hydrolysen-Methode werden alle im Proteinverband vorliegenden Peptidbindungen gelöst und somit stets der AS-Grenzwert oder Maximalwert erhalten.

Bei unseren Untersuchungen über den proteolytischen Abbau konnte gezeigt werden (7, 7a), daß sich die Nahrungsproteine nicht nur durch den Freisetzungsgrad ihrer AS unterscheiden. Ganz beträchtliche Unterschiede bestehen in der Freisetzungsgeschwindigkeit der AS und in der Gleichmäßigkeit ihrer Freisetzung, die als „Verfügbarkeitsbereich“ bezeichnet wurde. Hierbei konnte besonders das unterschiedliche Verhalten der pflanzlichen und tierischen Nahrungsstoffe herausgestellt werden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden in 4 Versuchsansätzen 22 Nahrungs- und Futterstoffe einem proteolytischen Abbau unterworfen. Die mit Pepsin und Trypsin erhaltenen enzymatischen Hydrolysate dienten als

Grundlage zur Errechnung des chemical score. Diese erfolgte nach der Methode von MITCHELL und BLOCK (4). Für die Bezeichnung „Eiprotein-Verhältnis“ wurde „Bedarfs-AS-Verhältnis“ gewählt.

Methodik

Die zur Untersuchung gelangenden Nahrungsstoffe wurden in 5 Gruppen unterteilt. Um ein möglichst großes Spektrum zu erfassen, wurden 1. repräsentative Vertreter der tierischen Stoffe ausgewählt, 2. Getreidearten, 3. Hülsenfrüchte, 4. Extraktionsschrote und 5. Grünfutterstoffe. Es wurden somit Nahrungs- und Futterstoffe berücksichtigt. Die Einbeziehung Kohlenhydrat- und Rohfaser-reicher Stoffe war um so notwendiger, als hier die durch die *in vitro*-Methoden erhaltenen Bewertungsergebnisse von der BW die größten Abweichungen zeigen. Die *in vitro* und mit Ratten erhaltenen Ergebnisse (10) wurden stets am gleichen Material gewonnen. Um eine vergleichende Betrachtung zwischen den einzelnen Nahrungsstoffen ermöglichen zu können, wurde der Rohproteingehalt als Grundlage für die Einwaage gewählt. Sie entsprach stets 200 mg N.

Die enzymatischen Hydrolysen erfolgten in 300 ml-Kölbchen (250 ml) bei 38–39 °C. Durch Zusatz von jeweils 1 ml Toluol und einigen Tropfen Chloroform wurden Fäulnisprozesse ausgeschaltet. Nach erfolgter Hydrolyse wurden die Enzyme thermisch inaktiviert. Die Inkubationsmischung wurde auf 0 °C abgekühlt und der nicht gelöste Anteil (Fraktion III) durch Zentrifugieren abgetrennt. Das Zentrifugat mit den Fraktionen I und II wurde neutralisiert und im Vakuum bei 40 °C bis zur Trocknung eingeengt. Durch Extraktion mit 80%igem Äthylalkohol erfolgte bei 0 °C eine Auf trennung in einen ungelösten Anteil (Fraktion II) und in eine lösliche Fraktion (Fraktion I). Die enzymatischen Hydrolysen wurden jeweils in 2 Parallelansätzen durchgeführt und nach Auf trennung in die genannten Fraktionen einer Totalhydrolyse mit 6 n HCl unterworfen. Der NH₂-Gehalt diente als Kontrolle. Bei Übereinstimmung der NH₂-Werte wurden gleiche Mengen der Parallel-Hydrolysate zu einem vereinigt und quantitativ papierchromatographisch untersucht (8).

In 4 Versuchsansätzen wurden die essentiellen und halbessentiellen AS der enzymatischen Hydrolysate nach entsprechender Totalhydrolyse bestimmt.

Im 1. Ansatz erfolgte eine einmalige 24stündige Behandlung mit 10 mg hochaktivem Pepsin (8000 Ege-Einheiten, Fa. VEB Chemische Fabrik Grünau), bez. als P–H. Unter diesen Bedingungen wurden 6 Nahrungs- und Futterstoffe untersucht.

Im 2. Ansatz erfolgte eine 2malige enzymatische Behandlung durch Zugabe von jeweils 5 mg Pepsin (P–P–H).

Im 3. Ansatz erfolgte eine 2malige enzymatische Behandlung mit 10 mg Pepsin und nach Abtrennung des enzymatischen Rückstandes mit 10 mg Trypsin (100000 Fuld-Gross-Einheiten, Fa. VEB Chemische Fabrik Grünau), bez. als P–T–H. Die enzymatischen Hydrolysate wurden anschließend vereinigt.

Im 4. Ansatz wurden die Nahrungsstoffe einer Totalhydrolyse 24 Std. mit 6 n HCl (8) ohne Zugabe von Enzympräparaten unterworfen (N–H). Unter den Bedingungen des 2., 3. und 4. Ansatzes erfolgte die Untersuchung von 22 Nahrungs- und Futterstoffen.

Ergebnisse und Diskussion

In Tab. 1 wurden die „Bedarfs-AS-Verhältnis“-Werte (BAV) und die sich daraus ergebenden chemical score-Werte zusammengestellt. Eine Zusammenfassung wurde in Tab. 2 vorgenommen.

Aus den hervorgehobenen limitierenden AS ist zu erkennen, daß immer 3 AS den Wert der Proteine begrenzen. Es sind dies Methionin, Cystin und Lysin. An erster Stelle stehen dabei die S-haltigen AS. Während Lysin die limitierende AS der Getreidearten ist, begrenzen Methionin und Cystin den

Proteinwert der tierischen Stoffe, Hülsenfrüchte, Extraktionsschrote und Grünfutterstoffe. Diese Beziehungen kommen bei allen Versuchsansätzen (P-H, P-P-H, P-T-H und N-H) zum Ausdruck.

Um den Vergleich der Bewertungsergebnisse zu erleichtern, wurde die prozentuale Abweichung von der BW berechnet und in Tab. 3 angeführt.

Aus Tab. 3 ist ersichtlich, daß die Abweichungen beider P-H- und P-P-H-Methoden im allgemeinen am größten sind. Mit nur wenigen Ausnahmen werden alle Nahrungsproteine erheblich unterbewertet. Die besten Ergebnisse wurden mit Hilfe der P-T-H-Methode erhalten. Von den zu bewertenden Nahrungsstoffen konnten die tierischen Stoffe, die Extraktionsschrote und die Grünfutterstoffe sowie einige Getreidearten zutreffend bewertet werden. Dagegen wurden die Hülsenfrüchte und die 3 Getreidearten Roggen, Gerste und Weizenkleie unterbewertet. Ohne Berücksichtigung der Verfügbarkeit der AS (N-H) wurden bei den Hülsenfrüchten, Getreidearten und den tierischen Stoffen gute Korrelationen erhalten, während die Extraktionsschrote und Grünfutterstoffe beträchtlich überbewertet wurden.

Tab. 1. „Bedarf-AS-Verhältnis“ (BAV) und chemical score¹⁾
(Die limitierenden AS wurden kursiv gesetzt)

AS	Dorschmehl (BW = 80)				Fischmehl (BW = 81)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	138,5	150,0	151,9	165,4	—	142,3	165,4	171,2
Met + Cys	68,1	74,5	78,7	87,2	—	61,7	74,5	78,7
Try	85,7	100,0	128,6	142,9	—	114,3	128,6	142,9
Thr	95,1	100,0	100,0	117,1	—	102,4	102,4	107,3
His	111,1	116,7	127,8	133,3	—	155,6	161,1	166,7
Leu	80,0	84,0	85,3	106,7	—	92,0	94,7	98,7
Ile	111,6	120,9	120,9	146,5	—	114,0	120,9	127,9
Val	94,0	96,0	100,0	110,0	—	100,0	106,0	110,0
Phe	78,9	92,1	102,6	107,9	—	107,9	113,2	136,8
chemical score:	68	75	79	87	—	62	75	79
AS	Tierkörpermehl (BW = 51)				Magermilchpulver (BW = 84)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	—	100,0	105,8	132,7	—	117,3	153,8	169,2
Met + Cys	—	38,3	48,9	57,4	—	63,8	74,5	78,7
Try	—	85,7	100,0	128,6	—	128,6	142,9	171,4
Thr	—	70,7	70,7	75,1	—	117,1	117,1	117,1
His	—	116,7	127,8	155,8	—	83,3	100,0	138,9
Leu	—	68,0	74,7	85,3	—	113,3	128,0	134,7
Ile	—	65,1	76,7	109,3	—	151,2	162,8	162,8
Val	—	70,0	74,0	112,0	—	110,0	136,0	146,0
Phe	—	39,5	52,6	86,8	—	97,4	131,6	131,6
chemical score:	—	38	49	57	—	64	75	79

¹⁾ Der Bezug erfolgte auf die AS-Bedarfszahlen nach BENDER (1).

(Fortsetzung 1 Tab. 1.)

AS	Gerste (BW = 75)			N-H	P-H	Hafer (BW = 70)			N-H
	P-H	P-P-H	P-T-H			P-P-H	P-T-H		
Lys	46,2	57,7	61,5	67,4	—	59,6	67,3	71,2	
Met + Cys	44,7	55,3	66,0	72,3	—	53,2	70,2	95,7	
Try	100,0	114,3	142,9	171,4	—	114,3	128,6	157,1	
Thr	82,9	85,4	85,4	97,6	—	78,0	80,5	92,7	
His	94,4	100,0	111,1	122,2	—	83,3	105,7	122,2	
Leu	74,7	84,0	97,3	100,0	—	68,0	68,0	90,7	
Ile	67,4	83,7	86,0	102,3	—	81,4	81,4	109,3	
Val	78,0	96,0	100,0	112,0	—	76,0	80,0	112,0	
Phe	105,3	121,1	126,3	131,6	—	118,4	123,7	142,1	
chemical score:	45	55	62	67	—	53	67	71	

AS	Roggen (BW = 84)			N-H	P-H	Mais (BW = 68)			N-H
	P-H	P-P-H	P-T-H			P-P-H	P-T-H		
Lys	—	57,7	65,4	82,7	—	51,9	65,4	67,3	
Met + Cys	—	66,0	78,7	95,7	—	40,4	63,8	80,9	
Try	—	85,7	128,6	157,1	—	57,1	71,4	114,3	
Thr	—	58,5	70,7	85,4	—	56,1	65,9	78,0	
His	—	83,3	94,4	127,8	—	77,8	105,6	155,6	
Leu	—	58,7	66,7	84,0	—	70,7	84,0	134,7	
Ile	—	74,4	83,7	104,7	—	69,8	74,4	90,7	
Val	—	74,0	82,0	108,0	—	64,0	74,0	112,0	
Phe	—	68,4	76,3	107,9	—	68,4	78,9	118,4	
chemical score:	—	58	65	83	—	40	64	67	

AS	Weizenkleie (BW = 70)			N-H	P-H	Erbse (BW = 50)			N-H
	P-H	P-P-H	P-T-H			P-P-H	P-T-H		
Lys	57,7	65,4	67,3	78,8	—	117,3	121,2	132,7	
Met + Cys	36,2	44,7	57,4	70,2	—	31,9	29,8	53,2	
Try	100,0	114,3	128,6	171,4	—	71,4	100,0	128,6	
Thr	61,0	63,4	73,2	87,8	—	65,9	90,2	112,2	
His	105,6	122,2	127,8	133,3	—	122,2	150,0	166,7	
Leu	44,0	56,0	65,3	80,0	—	74,7	90,7	118,7	
Ile	55,8	67,4	76,6	90,7	—	111,6	127,9	148,8	
Val	64,0	80,0	82,0	106,0	—	82,0	84,0	100,0	
Phe	65,8	71,7	81,6	94,7	—	110,5	126,3	142,1	
chemical score:	36	45	57	70	—	32	30	53	

(Fortsetzung 2 Tab. 1.)

AS	Ackerbohne (BW = 44)				Lupine (BW = 50)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	—	107,7	107,7	125,0	—	103,8	107,7	109,6
Met + Cys	—	25,5	29,8	44,7	—	34,0	40,4	53,2
Try	—	71,4	71,4	128,6	—	28,6	42,9	100,0
Thr	—	70,7	75,6	97,6	—	80,5	85,4	87,8
His	—	77,8	116,7	138,9	—	111,1	127,8	133,3
Leu	—	81,3	100,0	109,3	—	77,3	89,3	96,0
Ile	—	95,3	100,0	151,2	—	104,7	109,3	132,6
Val	—	68,0	70,0	98,0	—	78,0	80,0	94,0
Phe	—	68,4	89,5	113,2	—	68,4	73,7	89,5
chemical score:	—	26	30	45	—	29	40	53

AS	Kartoffelflocken (Die BW wurde nicht bestimmt)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	—	73,1	82,7	94,2
Met + Cys	—	29,8	53,2	74,5
Try	—	114,3	185,7	214,3
Thr	—	73,2	73,2	92,7
His	—	94,4	94,4	122,2
Leu	—	70,7	73,3	86,7
Ile	—	62,8	72,1	100,0
Val	—	78,0	84,0	108,0
Phe	—	84,2	102,6	118,4
chemical score:	—	30	53	75

AS	Kokosnussextraktionsschrot (BW = 61)				Erdnußextraktionsschrot (BW = 48)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	51,9	63,5	65,4	69,2	—	55,8	63,5	73,1
Met + Cys	46,8	59,6	74,5	85,1	—	27,7	44,7	53,2
Try	85,7	100,0	128,6	157,1	—	85,7	128,6	171,4
Thr	58,5	63,4	65,9	80,5	—	36,6	58,5	70,7
His	72,2	83,3	94,4	111,1	—	83,3	111,1	133,3
Leu	56,0	58,7	62,7	78,7	—	72,0	70,7	81,3
Ile	67,4	72,1	69,8	95,3	—	79,1	93,0	93,0
Val	78,0	80,0	90,0	108,0	—	64,0	70,0	84,0
Phe	52,6	55,3	63,2	89,5	—	110,5	128,9	131,6
chemical score:	47	55	63	69	—	28	45	53

(Fortsetzung 3 Tab. 1.)

AS	Palmkerrextraktionsschrot (BW = 51)				Sojaextraktionsschrot (BW = 57)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
	—	55,8	61,5	88,5	—	107,7	121,2	130,8
Met + Cys	—	42,6	48,9	87,2	—	44,7	55,3	74,5
Try	—	114,3	157,1	185,7	—	128,6	142,9	171,4
Thr	—	61,0	63,4	80,5	—	70,7	73,2	97,6
His	—	55,6	61,1	94,4	—	116,7	155,6	155,6
Leu	—	53,3	65,3	90,7	—	69,3	93,3	104,0
Ile	—	67,4	81,4	109,3	—	111,6	130,2	139,5
Val	—	74,0	84,0	114,0	—	88,0	88,0	108,0
Phe	—	50,0	68,4	100,0	—	68,4	113,2	131,6
chemical score:	—	43	49	81	—	45	55	75

AS	Luzerne (BW = 56)				Stoppelklee (BW = 43)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	96,2	100,0	113,5	115,4	84,6	96,2	101,9	109,6
Met + Cys	40,4	48,9	55,3	72,3	27,7	29,8	42,6	53,2
Try	157,1	200,0	200,0	257,1	100,0	128,6	157,1	185,7
Thr	104,9	109,8	117,1	119,5	82,9	92,7	107,3	122,0
His	83,3	111,1	111,1	116,7	72,2	111,1	127,8	138,9
Leu	110,7	117,3	122,7	124,0	53,3	66,7	81,3	98,7
Ile	107,0	114,0	116,3	130,2	76,7	83,7	100,0	134,9
Val	102,0	104,0	112,0	134,0	82,0	100,0	112,0	126,0
Phe	118,4	131,6	134,2	134,2	68,4	81,6	126,3	152,6
chemical score:	40	49	55	72	28	30	43	53

AS	Zuckerrübenblatt (BW = 33)				Grünhafer (BW = 52)			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	—	50,0	50,0	88,5	—	61,5	71,2	92,3
Met + Cys	—	36,2	44,7	68,1	—	31,9	46,8	63,8
Try	—	100,0	128,6	171,4	—	100,0	114,3	142,9
Thr	—	63,4	58,5	87,8	—	80,5	107,3	109,8
His	—	61,1	77,8	105,6	—	88,9	100,0	116,7
Leu	—	42,7	50,7	78,7	—	58,7	70,7	90,7
Ile	—	62,8	62,8	102,3	—	102,3	114,0	130,2
Val	—	58,0	62,0	108,0	—	86,0	102,0	122,0
Phe	—	39,5	52,6	84,2	—	92,1	102,6	118,4
chemical score:	—	36	45	68	—	32	47	64

(Fortsetzung 4 Tab. 1.)

AS	Wrukenblatt (BW = 45) ¹⁾			
	P-H	P-P-H	P-T-H	N-H
Lys	—	92,3	94,2	109,6
Met + Cys	—	46,8	51,1	72,3
Try	—	100,0	142,9	242,9
Thr	—	87,8	92,7	109,8
His	—	122,2	155,6	194,4
Leu	—	49,3	58,7	72,0
Ile	—	72,1	95,3	114,0
Val	—	94,0	96,0	104,0
Phe	—	84,2	86,8	100,0
chemical score:	—	47	51	72

¹⁾ Die Bestimmung der BW von Wrukenblatt erfolgte nicht mit dem gleichen Material.Tab. 2. Vergleich zwischen chemical score¹⁾ und BW

Nahrungs- und Futterstoffe	P-P-H	limit. AS	P-T-H	limit. AS	N-H	limit. AS	BW
<i>Tierische Stoffe</i>							
Magermilchpulver	64	M + C	75	M + C	79	M + C	84
Fischmehl	62	M + C	75	M + C	79	M + C	81
Dorschmehl	75	M + C	79	M + C	87	M + C	80
Tierkörpermehl	38	M + C/Phe	49	M + C	57	M + C	51
<i>Getreidearten</i>							
Roggen	58	Lys	65	Lys	83	Lys	84
Gerste	55	M + C/Lys	62	Lys	67	Lys	75
Hafer	53	M + C	67	Lys	71	Lys	70
Weizenkleie	45	M + C	57	M + C	70	M + C/Lys	70
Mais	40	M + C	64	M + C/Lys	67	Lys	68
Kartoffelflocken	30	M + C	53	M + C	75	M + C	—
<i>Hülsenfrüchte</i>							
Erbse	32	M + C	30	M + C	53	M + C	50
Lupine	29	Try/M + C	40	M + C/Try	53	M + C	50
Ackerbohne	26	M + C	30	M + C	45	M + C	44
<i>Extraktionschrote</i>							
Kokosnussextrak.	55	Phe/M + C	63	Phe/Leu/Lys	69	Lys	61
Sojaextrak.	45	M + C	55	M + C	75	M + C	57
Palmkerneextrak.	43	M + C	49	M + C	81	Thr/M + C/Lys	51
Erdnussextrak.	28	M + C	45	M + C	53	M + C	48
<i>Grünfutterstoffe</i>							
Luzerne	49	M + C	55	M + C	72	M + C	56
Grünhafer	32	M + C	47	M + C	64	M + C	52
Wrukenblatt	47	M + C	51	M + C	72	M + C	(45)
Stoppelklee	30	M + C	43	M + C	53	M + C	43
Zuckerrübenblatt	36	M + C	45	M + C	68	M + C	33

¹⁾ Der Bezug erfolgte auf die AS-Bedarfszahlen nach BENDER (1).

Tab. 3. Abweichung der Bewertungsergebnisse nach chemical score von der BW
(Angaben in %)

Nahrungs- und Futterstoffe	P-P-H	P-T-H	N-H
I Tierische Stoffe			
Magermilchpulver	-24	-11	- 6
Fischmehl	-23	- 7	- 2
Dorschmehl	- 6	- 1	+ 9
Tierkörpermehl	-25	- 4	+12
II Getreidearten			
Roggen	-31	-23	- 1
Gerste	-27	-17	-11
Hafer	-24	- 4	+ 1
Weizenkleie	-36	-19	0
Mais	-41	- 6	- 1
III Hülsenfrüchte			
Erbse	-36	-40	+ 6
Lupine	-42	-20	+ 6
Bohne	-41	-32	+ 2
IV Extraktionsschrote			
Kokosnussextr.	-10	+ 3	+13
Sojaextr.	-21	- 4	+32
Palmkernextr.	-16	- 4	+59
Erdnussextr.	-42	- 6	+10
V Grünfutterstoffe			
Luzerne	-12	- 2	+29
Grünhafer	-38	-10	+23
Wrukenblatt	+ 4	+13	+60
Stoppelklee	-30	0	+23
Zuckerrübenblatt	+ 9	+36	+106

Diese Ergebnisse sind insofern überraschend als die enzymatische Methode hinsichtlich der nicht zutreffend bewerteten Nahrungsstoffe zur Unterbewertung und die N-H-Methode zur Überbewertung neigt.

Die gruppenmäßig übereinstimmenden Bewertungsergebnisse berechtigen zu der Annahme, daß spezifische Strukturen des betreffenden Nahrungsstoffes und andere Nahrungsbestandteile das Ergebnis beeinflussen.

Da in dieser Hinsicht den verdaulichen und unverdaulichen Kohlenhydraten die größte Bedeutung beigemessen wurde, erfolgte in Tab. 4 eine Zusammenstellung der Bewertungsergebnisse sowie der Gehalte an Rohfaser und N-freien Extraktstoffen.

Eine vergleichende Betrachtung ergibt folgende Beziehungen:

Gruppe I: Die Übereinstimmung innerhalb der 5 Gruppen (I-V) ist zwischen den 3 Bewertungsmethoden um so besser, je geringer der Gehalt an Rohfaser und N-freien Extraktstoffen ist. Das geht besonders aus der Gruppe der tierischen Stoffe hervor. In dieser Gruppe sind bevorzugt durch Lagerungs-

und Herstellungseinflüsse Enzym-resistente Bindungen zu erwarten, die die Verfügbarkeit der AS herabsetzen. Mit Hilfe der N-H-Methode sind daher Überbewertungen möglich.

Gruppe II und III: In diesen Gruppen befinden sich im wesentlichen Nahrungsstoffe mit mittleren Gehaltswerten an Rohfaser und höheren an N-freien Extraktstoffen. Im allgemeinen wird hier die engste Korrelation mit der BW erhalten, wenn der Gesamt-AS-Gehalt nach Totalhydrolyse (N-H) berücksichtigt wird. Die enzymatische Methode neigt zur Unterbewertung.

Tab. 4. Vergleich zwischen BW, chemical score sowie den Gehaltszahlen an Rohfaser und N-freien Extraktstoffen der untersuchten Nahrungs- und Futterstoffe

Nahrungs- und Futterstoffe	BW	chemical score nach enzymat. Meth. P-P-H	chemical score nach N-H	Rohfaser ¹⁾ in % bez. auf Tr.-Subst.	N-fr. ¹⁾ Extr. in %
<i>I Tierische Stoffe</i>					
Magermilchpulver	84	75	79	—	56
Fischmehl	81	75	79	—	—
Dorschmehl	80	79	87	—	—
Tierkörpermehl	51	49	57	—	3
<i>II Getreidearten</i>					
Roggen	84	65	83	3	82
Gerste	75	62	67	6	77
Hafer	70	67	71	15	67
Weizenkleie	70	57	70	12	59
Mais	68	64	67	4	81
Kartoffelflocken	—	53	75	3 ²⁾	84 ²⁾
<i>III Hülsenfrüchte</i>					
Erbse	50	30	53	8	65
Lupine	50	40	53	13	36
Ackerbohne	44	30	45	11	57
<i>IV Extraktionsschrote</i>					
Kokosnussextr.	61	63	69	15	52
Sojaextr.	57	55	75	7	34
Palmkernerextr.	51	49	81	18	56
Erdnussextr.	48	45	53	6	30
<i>V Grünfutterstoffe</i>					
Luzerne	56	55	72	33	34
Grünhafer	52	47	64	24	42
Wrukenblatt	(45)	47	51	12 ²⁾	50 ²⁾
Stoppelklee	43	43	53	26 ²⁾	40 ²⁾
Zuckerrübenbl.	33	36	45	13 ²⁾	55 ²⁾

¹⁾ Die Bestimmungen wurden im Oskar-Kellner-Institut der DAL-Rostock durchgeführt.

²⁾ Die Werte wurden in auf- oder abgerundeter Form folgender Lit. entnommen: NEHRING, K., Lehrbuch der Tierernährung u. Futtermittelkunde, 7. Aufl. (Radebeul-Berlin, 1959).

Gruppe IV und V: Die Stoffe dieser Gruppen sind durch einen höheren Rohfasergehalt charakterisiert. Während Palmkernextraktionsschrot mit dem höchsten Rohfasergehalt der Gruppe IV durch die N—H-Methode am stärksten überbewertet wird, werden die Unterschiede zwischen den Bewertungsmethoden bei Kokosnuß- und Erdnußextraktionsschrot laufend geringer. Bei dem Extraktionsschrot mit dem geringsten Rohfasergehalt wird eine ausreichende Korrelation erhalten. Die Überbewertung des ungetoasteten Sojaextraktionsschrotes mit Hilfe der N—H-Methode ist durch Inhibitoren bedingt. Die Grünfutterstoffe der Gruppe V zeichnen sich durch die höchsten Gehaltswerte an Rohfaser aus. Die N-freien Extraktstoffe dieser Gruppe bestehen im Gegensatz zu den der Gruppen II und III zu einem beträchtlichen Teil nicht aus Kohlenhydraten, sondern aus anderen organischen Stoffen. Die Grünfutterstoffe werden ohne Ausnahme durch Berücksichtigung der AS-Fürbarkeit nach der enzymatischen Methode am besten bewertet. Die N—H-Methode neigt in allen Fällen zur Überbewertung.

Beim Vergleich zwischen *in vitro*- und *in vivo*-Bewertungsergebnissen können auftretende Unterschiede allgemein auf 2 Ursachen zurückgeführt werden: 1. auf Unzulänglichkeiten der *in vitro*-Bewertungsmethode auf Grund methodischer Fehler, 2. darauf, daß der an Ratten erzielte Wachstumseffekt nicht nur durch die AS-Zusammensetzung des Nahrungsproteins und die Verfügbarkeit der AS bestimmt wird. Abgesehen von dem Einfluß ausgesprochener Inhibitoren gibt es Nahrungsbestandteile, die die Verwertung des Proteins sowohl verbessern als auch herabsetzen können. In der vorliegenden Betrachtung wurden diese Einflüsse zunächst hinsichtlich der Kohlenhydrate untersucht.

In diesem Zusammenhang wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Kohlenhydrat-reichen Getreidearten von wachsenden Ratten offensichtlich besser verwertet werden als der Proteinqualität des Getreideproteins entspricht (2, 5). Die erhöhten BW-Werte bedingen dadurch bei *in vitro*-Methoden eine Unterbewertung des Nahrungsproteins, wenn der Gehalt an verfügbaren AS als Grundlage der Berechnung dient. Die mit der enzymatischen Methode bei Roggen, Gerste und Weizenkleie sowie Erbse, Lupine und Bohne erzielte Unterbewertung läßt sich dadurch zwanglos erklären. Andererseits kann die Proteinverwertung auch durch Kohlenhydrate herabgesetzt werden. In diesem Zusammenhang sind die wenig oder unverdaulichen Bestandteile Lignin und Cellulose zu nennen, die in den vorliegenden Untersuchungen als Rohfaser erfaßt wurden.

Der Einfluß dieser Stoffe betrifft in erster Linie die Proteinverdaulichkeit, die durch Abnahme der Fermentwirksamkeit herabgesetzt wird. Letzteres ist hauptsächlich durch den Einschluß von Eiweiß und wahrscheinlich durch enzymatisch nicht spaltbare Bindungen der Proteine an Rohfaserbestandteile bedingt. Durch Berücksichtigung des Gesamt-AS-Gehaltes wird daher bei diesen Stoffen eine höhere Proteinqualität errechnet als der BW entspricht. Diese Erklärung basiert auf der Überbewertung der Extraktionsschrote und Grünfutterstoffe durch die N—H-Methode. Die Annahme wird weiter durch die zutreffende Bewertung nach Abzug der nicht verfügbaren AS mit Hilfe der enzymatischen Methode gestützt und durch die Übereinstimmung der Bewertungsergebnisse bei den tierischen Nahrungsstoffen bestätigt.

Für die besonders starke Überbewertung der Grünfutterstoffe durch die N—H-Methode wird somit die geringere Proteinverdaulichkeit verantwortlich gemacht. Es darf jedoch dabei nicht übersehen werden, daß diese Stoffklasse für Eiweißbewertungsversuche an wachsenden Ratten sehr wenig geeignet ist. Die Schwierigkeiten bei der Aufnahme der zur Bestimmung erforderlichen Mindestmenge an Futter sowie die dadurch bedingten Unverträglichkeiten sind hinlänglich bekannt. Es kann daher nicht gesagt werden, ob die aus den Bewertungsergebnissen ersichtlichen Unterschiede signifikant sind. Das betrifft insbesondere das Zuckerrübenblatt, das mit einer auffallend niedrigen BW von nur 33 durch alle *in vitro*-Methoden überbewertet wurde. Wenn also auch diese BW-Werte mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind, so kann doch andererseits die Tendenz der Bewertungsergebnisse nicht übersehen werden.

Um zu prüfen, in welchem Maße Nahrungsbestandteile den proteolytischen Abbau der Proteine und somit ihre Verwertung beeinflussen können, wurden die mengenmäßig wichtigsten Komponenten, die Kohlenhydrate und Mineralstoffe getestet (9). Während sich alle geprüften Kohlenhydrate, wie Stärke, Fructose, Mannit, Laktose, Glucose, Maltose und Saccharose als wirkungslos erwiesen, konnte bei den Mineralstoffen eine zum Teil beträchtliche Inhibitor-Wirkung festgestellt werden. Diese hemmende Wirkung ist auf die Proteolyse am größten bei den Grünfutterstoffen. Sie beträgt bis zu 50%. Sie ist jedoch auch bei den tierischen Stoffen noch beachtlich.

Von den in Nahrungs- und Futterstoffen vorkommenden Kohlenhydraten sind somit für das Proteinbewertungsergebnis nur die unverdaulichen Bestandteile Lignin und Cellulose von Bedeutung, von den Mineralstoffen die Elemente Ca, Mg, Al und Cu (9).

Die Überbewertung der Grünfutterstoffe durch die N—H-Methode ist also darauf zurückzuführen, daß die Verfügbarkeit der AS nicht berücksichtigt wurde. Die Proteinverwertung dieser Stoffklasse wird sowohl durch die Rohfaser als auch durch die Mineralstoffe beeinträchtigt. Beide Faktoren wirken in derselben Richtung und können von den *in vitro*-Methoden teilweise mit Hilfe der enzymatischen Hydrolyse berücksichtigt werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß im allgemeinen die Ergebnisse physiologisch gedeutet werden können, die durch Berechnung des chemical score aus den verfügbaren, limitierenden AS mit den Bedarfsschalen als Referenz-AS erhalten wurden.

Ein Bezug auf das physiologisch nicht begründete Volleiprotein kann eine fehlerhafte Bewertung nicht ausschließen, da insbesondere die Gehaltswerte an S-haltigen AS über dem Bedarf des tierischen Organismus liegen.

Durch die unphysiologische und unspezifische N—H-Methode werden alle im Proteinverband vorliegenden Peptidbindungen gelöst und der AS-Grenzwert des jeweiligen Nahrungsproteins wird erreicht. Dieser Grenz- oder Maximalwert wird unter physiologischen Bedingungen im Organismus nur zu erwarten sein, wenn keine hemmend wirkenden Einflüsse dem proteolytischen Abbau und der Proteinsynthese entgegenwirken.

Diese hemmenden Einflüsse bestehen hauptsächlich in der nicht ausreichenden enzymatischen Angreifbarkeit infolge eines ungünstigen Stoffgefüges, in Enzym-resistenten Bindungen, in der Wirkung von Inhibitoren und anderen Nahrungsbestandteilen. Sie können durch einen vorausgehenden proteolyti-

schen Abbau weitgehend berücksichtigt werden. Nicht erfaßbar sind z. Zt. die temporären Unterschiede in der Freisetzungsgeschwindigkeit der AS.

Durch quantitative Erfassung der limitierenden AS nach Totalhydrolyse kann bei Bezug auf die Bedarfzahlen eine Reihe von Nahrungsstoffen zutreffend bewertet werden. In diesen Stoffen darf jedoch die Verfügbarkeit der AS nicht in nennenswertem Umfang beeinträchtigt sein. Zu diesen Nahrungsstoffen gehören nicht:

1. Gerüstsubstanz-reiche und an Gerüstsubstanzen angereicherte Nahrungs- und Futterstoffe,
2. durch Herstellung und Lagerungseinflüsse veränderte Stoffe,
3. Nahrungsstoffe mit Inhibitoren.

Die Baustein-Analyse kann sich somit auf die Bestimmung der limitierenden AS Methionin, Cystin und Lysin beschränken, wobei den S-haltigen AS die größte Bedeutung zukommt.

Zusammenfassung

Die Aminosäuren der peptischen und peptisch-tryptischen Hydrolysate von 22 ausgewählten Nahrungs- und Futterstoffen dienten als Grundlage zur Bewertung der Eiweißqualität. Hierzu wurde auf das Grundprinzip des Verfahrens von MITCHELL und BLOCK zurückgegriffen. Der Vergleich der errechneten chemical score-Werte erfolgte mit den an wachsenden Ratten ermittelten BW. Als Referenz-AS dienten die von BENDER angegebenen, an wachsenden Ratten ermittelten AS-Bedarfszahlen. Die engsten Korrelationen mit den BW wurden erhalten, wenn 1. die nach peptisch-tryptischer Hydrolyse „verfügbar“ AS berücksichtigt wurden, 2. die limitierenden „verfügbar“ AS als Grundlage für die Errechnung des „vereinfachten chemical score“ dienten und 3. wenn der Bezug auf die AS-Bedarfszahlen erfolgte. Dieser „vereinfachte chemical score“ geht aus dem errechneten „Bedarf-AS-Verhältnis“ (BAV) hervor. Durch Berücksichtigung der limitierenden AS nach Totalhydrolyse wird bei Bezug auf die AS-Bedarfszahlen etwa die Hälfte der untersuchten Nahrungsstoffe zutreffend bewertet. Die Verfügbarkeit der AS darf jedoch in diesen Stoffen nicht beeinträchtigt sein. Der „vereinfachte chemical score“ errechnet sich aus den limitierenden AS Methionin, Cystin und Lysin. Den S-haltigen AS kommt die größte Bedeutung zu.

Literatur

1. BENDER, A. E., Proc. Nutrit. Soc. **17**, 39 (1958). Zitiert in: Z. Ernährungswiss. **3**, 158 (1963). — 1a. BENDER, A. E., Proc. Nutrit. Soc. **24**, 190 (1965). — 2. GEBHARDT, G., Die Bewertung des Futtereiweißes nach dem N-Bilanzverfahren an wachsenden Tieren, Habil-Schrift, Univ. Halle-Wittenberg 1963. — 3. HENDERICKX, H., Z. Ernährungswiss. **3**, 158 (1963). — 4. MITCHELL, H. H. und R. J. BLOCK, J. biol. Chemistry **163**, 599 (1946). — 5. NEHRING, K. und H. D. BOCK, Arch. Tierernähr. **11**, 370 (1961). — 6. OSER, B. L., J. Amer. dietet. Assoc. **27**, 396 (1951). — 7. SCHRÖDER, I., Vergleichende in vitro-Untersuchungen über die enzymatische Freisetzung essentieller Aminosäuren aus Nahrungsproteinen hinsichtlich der Bedeutung für ihren biologischen Wert. Vortrag, gehalten auf der IV. Jahrestagung der Biochemischen Gesellschaft der DDR, Rostock 1967. — SCHRÖDER, I., Rev. roum. Biochim. **5**, 307 (1968). — 8. SCHRÖDER, I., Pharmazie **22**, 246 (1967). — 9. SCHRÖDER, I., Nahrung **10**, 541 (1966). — 10. WÜNSCHE, J. und H. D. BOCK, Arch. Tierernähr. **15**, 103 (1965).

Anschrift des Verfassers:

Dr. I. SCHRÖDER, Institut für Physiologische Chemie der Universität Rostock,
x 25 Rostock 1, Leninallee 70