

Aus der Forschungsgemeinschaft „Eiweiß in der Tierernährung“ und dem Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung Rostock der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin

Untersuchungen über die Qualität von Kartoffeleiweiß Ein Beitrag zur Züchtung von eiweißreichen Futterkartoffeln*

Von K. NEHRING und J. WÜNSCHE

Mit 4 Abbildungen

Unter den Möglichkeiten, die Eiweißversorgung unserer Tiere zu verbessern, ist der Erhöhung des Eiweißgehaltes in den Futterpflanzen durch Züchtung eiweißreicher Sorten insofern eine besondere Bedeutung zuzumessen, als die sich daraus ergebende Mehrproduktion an Eiweiß in den landwirtschaftlichen Betrieben ohne zusätzlichen Aufwand realisiert werden kann. So sind in den Vorschlägen, die von der Forschungsgemeinschaft „Eiweiß in der Tierernährung“ für die Verbesserung der Eiweißversorgung ausgearbeitet wurden, bestimmte Forderungen in dieser Hinsicht an die Pflanzenzüchtung aufgenommen worden (NEHRING 1963a, BECKER 1963). Dabei ist u. a. zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Schweine und des Geflügels die Züchtung einer eiweißreichen Futterkartoffel gefordert worden.

Trotz des relativ niedrigen Proteingehaltes ist das über die Kartoffel zugeführte Eiweiß von nicht unwesentlicher Bedeutung, da einmal die verzehrten Mengen hoch liegen, andererseits sich ergeben hat, daß sich das Kartoffelprotein unter den pflanzlichen Proteinen durch eine hohe biologische Wertigkeit auszeichnet, so daß die Züchtung einer Kartoffel mit erhöhtem Eiweißgehalt als besonders lohnend erscheint.

Da es aber hier nicht allein — wie bereits gesagt — auf die Höhe des Eiweißgehaltes ankommt, sondern die Eiweißqualität von gleicher Bedeutung ist, ergibt sich sofort die Frage, ob mit dieser Veränderung des Eiweißgehaltes auch eine Beeinflussung der Qualität verbunden sein kann. Diese Frage ist insofern berechtigt, als Ergebnisse über negative Korrelationen zwischen Eiweißgehalt und Eiweißqualität bekannt geworden sind. In einigen Untersuchungen mit Weizen hatten sich z. B. folgende Beziehungen zwischen Rohproteingehalt (x) und biologischer Wertigkeit (BW) ergeben (NEHRING 1963b):

$$BW = 87.6 - 1.61x, \ r = -0.828.$$

Bei derartigen Arbeiten müssen daher stets die Änderungen in der Qualität berücksichtigt werden.

In der Literatur liegen zahlreiche Arbeiten über die biologische Wertigkeit und den Gehalt an Aminosäuren in dem Kartoffeleiweiß vor, die erkennen lassen, daß bei den verschiedenen Kartoffelsorten und Zuchtstämmen in Abhängigkeit von äußeren und inneren Faktoren eine erhebliche Variationsbreite hinsichtlich des Proteingehaltes und der Qualität des Proteins vorhanden ist. Es kann somit die Kartoffel als ein Material angesehen werden, aus dem sich auf züchterischem Wege durch Steigerung des Eiweißgehaltes — verbunden mit einer gleich-

zeitigen Qualitätsverbesserung des Proteins — erhebliche Möglichkeiten erschließen lassen müßten.

Im Rahmen der Arbeit der Forschungsgemeinschaft „Eiweiß in der Tierernährung“ wurde demgemäß diesem Problem eine wesentliche Beachtung geschenkt. Herr Prof. SCHICK erklärte sich bereit, die Züchtung einer eiweißreichen Futterkartoffel in den Arbeitsplan des Institutes für Pflanzenzüchtung in Groß Lüsewitz aufzunehmen. In den darüber durchgeföhrten Beratungen wurden folgende Ziele herausgestellt:

1. Erhöhung des Proteingehaltes in der Frischsubstanz wie in der Trockensubstanz, d. h. Erhöhung des relativen Eiweißgehaltes. Der Gehalt an Rohprotein in der Trockensubstanz sollte 10% betragen.

2. Hoher Gehalt an Trockensubstanz, da es sich in erster Linie um eine eiweißreiche Kartoffel für Futterzwecke handelt. Trockensubstanzgehalt: 24%.

3. Verbesserung der biologischen Wertigkeit des Proteins oder zum mindesten keine Minderung bei erhöhtem Proteingehalt.

Während sich die unter 1 und 2 genannten Ziele mit Hilfe einfacher Routineanalysen vom Institut für Pflanzenzüchtung in Groß Lüsewitz bearbeiten bzw. lösen lassen, ist die Voraussetzung zur Bearbeitung der unter Punkt 3 genannten Frage das Vorhandensein eines relativ schnell durchführbaren Verfahrens zur Qualitätsbeurteilung des Kartoffelproteins.

Die Qualität des Eiweißes ist in erster Linie durch den Gehalt an essentiellen Aminosäuren bzw. seine biologische Wertigkeit gekennzeichnet. Da die Bestimmung dieser Merkmale für Züchtungsarbeiten jedoch viel zu arbeitsaufwendig ist, müssen für die notwendige umfangreiche Selektion einfacher durchführbare Verfahren herausgestellt werden. Diese letzte Aufgabe hat im Rahmen der Forschungsgemeinschaft „Eiweiß in der Tierernährung“ das Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung in Rostock übernommen. Über die bisher durchgeföhrten Arbeiten und die erhaltenen Ergebnisse soll nachfolgend kurz berichtet werden.

Untersuchungsmaterial und -methoden

Für die ersten orientierenden Untersuchungen standen insgesamt 30 im Institut für Pflanzenzüchtung Groß Lüsewitz unter weitgehend konstanten ökologischen Bedingungen aufgewachsene Kartoffelzuchtstämmen und -sorten (Ernte 1963) zur Verfügung. Auf Grund der hierbei erhaltenen Untersuchungsergebnisse wurden 6 Klone für eine genauere Analyse des Eiweißwertes ausgewählt.

Für die Laboratoriumsuntersuchungen wurde das Frischmaterial aus Durchschnittsproben von je 1 kg

* Herrn Prof. Dr. SCHICK, Groß Lüsewitz, zum 60. Geburtstag gewidmet.

(ca. 20 Knollen) durch Sammeln von 15 bis 20 Korkbohrstichen je Knolle (\varnothing 4 mm) gewonnen.

Für die Versuche zur Bestimmung der biologischen Wertigkeit des Eiweißes wurden je 5 kg Knollen gedämpft, in dünne Scheiben geschnitten, im Umwälztrockenschrank bei 60° getrocknet und anschließend fein gemahlen.

Im einzelnen kamen folgende Untersuchungsverfahren zur Anwendung:

1. Trockensubstanz-, Rohprotein- und Reinprotein-Bestimmungen nach Fällung mit 2,5%-iger Trichloressigsäure (MALKOMESIUS und NEHRING 1951).

2. Fraktionierung des Rohproteins in Protein (P) und N-haltiges Nichtprotein (NP) durch Auswaschung, Hitzekoagulation und Auftrennung der beiden Fraktionen mittels Waschen auf der Zentrifuge (Methode von MULDER und BAKEMA 1956). N-Bestimmungen nach Kjeldahl erfolgten sowohl im Auswaschungsrückstand als auch im P-Koagulat und in der NP-haltigen Flüssigkeit.

3. Bestimmung der essentiellen und halbessentiellen Aminosäuren (AS) nach der mikrobiologischen Methode (WÜNSCHE 1958, 1964b)

3.1. in der nicht aufgetrennten Substanz nach saurer, alkalischer und enzymatischer Hydrolyse (Kurzzeitdruckhydrolyse 2 h bei 135 °C mit 6 n HCl oder 4 n NaOH bzw. aufeinanderfolgende in vitro-Verdauung mit Pepsin, Trypsin und Schweinemucosa)

3.2. in den nach Pos. 2 bereiteten Fraktionen P und NP, wobei letztere vor der HCl-Hydrolyse im Vakuum auf etwa 20 ml eingeengt wurde.

4. Bestimmung der biologischen Wertigkeit des Eiweißes (BW) nach der N-Bilanzmethode von THOMAS-MITCHELL an wachsenden Albino-Ratten (THOMAS 1909, MITCHELL 1923/24, NEHRING und BOCK 1961).

Ergebnisse und Diskussion

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der mit den insgesamt 30 Kartoffelzuchtmämmen und -sorten durchgeführten Untersuchungen wiedergegeben.

Es kann daraus ersehen werden, welche große Variabilität in dem Kartoffel-Zuchtmaterial vorhanden ist. Das gilt sowohl für die Trockensubstanz- und Rohproteinengehalte und den Anteil an Reinprotein als auch für die im Eiweiß enthaltenen

Tabelle 1. Trockensubstanz-, Protein- und Aminosäuregehalt in den Knollen von 30 verschiedenen Kartoffelzuchtmämmen und -sorten (untersucht im Frischmaterial).

Probe Nr.	Stamm bzw. Sorte	Reifezeit*	Trocken-Subst. %	Rohprotein		Reinprotein		in g AS/16 g N		
				frisch %	Tr.-S. %	frisch %	Tr.-S. %	Lysin	Methionin	Cystin
1	Zuchtmämm	F	22,40	2,59	11,56	1,33	5,94	5,21	1,43	0,96
2		F	21,00	2,59	12,33	1,17	5,57	4,76	1,46	0,85
3		F	25,61	2,20	8,59	1,53	5,97	4,96	1,28	0,63
4		F	23,65	2,61	11,04	1,27	5,37	4,87	1,69	0,83
5		F	23,29	2,70	11,59	1,32	5,67	4,99	1,29	0,87
6		MF	22,93	2,30	10,03	1,18	5,15	5,64	1,31	0,83
7		MF	24,32	2,32	9,54	1,16	4,77	5,31	1,25	0,87
8		MF	26,21	2,90	11,06	1,72	6,56	5,62	1,43	1,25
9		MF	24,91	2,58	10,36	1,42	5,70	5,77	1,50	0,94
10		MS	29,86	2,79	9,34	1,76	5,89	6,00	1,62	0,87
11		MS	22,48	2,32	10,32	1,35	6,01	5,97	1,50	1,30
12		MS	22,46	2,33	10,37	1,35	6,01	5,50	1,27	0,88
13		MS	26,12	2,30	8,81	1,21	4,63	5,15	1,33	0,91
14		MS	22,51	2,41	10,71	1,48	6,57	6,45	1,77	1,34
15		MS	17,71	2,43	13,72	0,98	5,53	5,36	1,67	1,04
16		MS	21,41	2,72	12,70	1,15	5,37	4,26	1,08	0,99
17		MS	22,55	2,63	11,66	1,34	5,94	4,46	1,42	1,16
18		MS	24,65	2,37	9,61	1,32	5,35	5,98	1,45	1,41
19		MS	25,30	2,48	9,80	1,44	5,69	5,51	1,49	1,47
20		MS	21,66	2,06	9,51	0,95	4,39	4,55	1,26	0,92
21		MF	23,44	2,56	10,92	1,23	5,25	4,79	1,27	0,84
22		MS	20,22	2,11	10,44	1,14	5,64	5,34	1,23	1,40
23		MS	20,69	2,26	10,92	1,16	5,61	5,12	1,23	1,36
24		MS	20,00	1,87	9,35	0,82	4,10	4,99	1,41	0,99
25		MS	18,61	2,20	11,82	0,94	5,05	4,61	1,38	1,05
26	Antares	F	22,68	2,08	9,17	1,01	4,45	5,55	1,41	1,03
27	Meise	MF	21,12	2,28	10,80	1,17	5,54	5,03	1,45	1,22
28	Pirat	MF	18,97	1,73	9,12	0,93	4,90	5,83	1,26	1,41
29	Ora	MS	21,17	1,58	7,46	0,93	4,39	5,53	1,42	0,83
30	Schwalbe	MS	21,35	1,93	9,04	1,02	4,78	4,93	1,81	1,16

* F = früh, MF = mittelfrüh, MS = mittelpät

qualitätsbestimmenden AS Lysin, Methionin und Cystin, so daß für die Züchtung die verschiedensten Kombinationen möglich sind.

Die aus diesem Material für weitere spezielle Untersuchungen im Hinblick auf unterschiedliche Reifezeit und verhältnismäßig extreme Trockensubstanz-, Roh- und Reinproteinengehalte ausgewählten Proben sind in Tab. 2 zusammengefaßt dargestellt¹.

Vom Standpunkt der Tierernährung aus gesehen kann die Probe 10 (Reifezeit mittelpät) mit einem extrem hohen Trockensubstanzgehalt und einem mittleren Rohproteinengehalt mit hohem Reinproteinanteil augenscheinlich als besonders günstig angesehen werden. Auch die Probe 8 ist ähnlich zu beurteilen. Bei Probe 15 (mittelpät) liegen dagegen der Trockensubstanzgehalt und der Reinproteinanteil zu niedrig. Die frühreifen Stämme (Proben 3 und 4) befriedigen wegen ihres niedrigen Rohproteinangehaltes bzw. wegen ihres geringen Reinproteinanteiles nicht. Die mittelpäte Sorte Ora (Probe 29) kommt auf Grund ihres niedrigen Eiweißgehaltes als Futterkartoffel nicht in Frage; sie wurde jedoch als Vergleichssorte mit in die Untersuchungen einbezogen, insbesondere auch als Testsubstanz, ob eine Abhängigkeit zwischen Proteingehalt und Gehalt an essentiellen Aminosäuren bzw. BW besteht.

Bei der in der Frischsubstanz durchgeföhrten Fraktionierung des Kartoffeleiweißes durch Auswaschung und nachfolgende Hitzekoagulation wur-

¹ Die AS-Gehalte wurden bei der Auswahl nicht berücksichtigt, da die Bestimmungen erst später durchgeführt werden konnten.

Tabelle 2. Trockensubstanz-, Rohprotein- und Reinproteingehalte in 6 Kartoffelzuchstämmen bzw. -sorten verschiedener Reifezeiten (untersucht im Frischmaterial).

Probe Nr.	Reifezeit	Trocken-substanz %	in der Frischsubstanz		in der Trockensubstanz		Rein-protein-anteil ¹ %
			Rohprotein %	Reinprotein %	Rohprotein %	Reinprotein %	
3	früh	25,61	2,20	1,53	8,59	5,97	(69,5) ²
4	früh	23,65	2,61	1,27	11,04	5,37	48,6
8	mittelfrüh	26,21	2,90	1,72	11,06	6,56	59,3
10	mittel spät	29,86	2,79	1,76	9,34	5,89	63,1
15	mittel spät	17,71	2,43	0,98	13,72	5,53	40,3
29	mittel spät	21,17	1,58	0,93	7,46	4,39	58,8

¹ Reinproteinanteil = Reinproteinanteil in % vom Rohproteinanteil.² Dieser Wert erscheint unwahrscheinlich hoch; er wurde deshalb eingeklammert und für weitere Betrachtungen nicht mit herangezogen.

den die prozentualen Anteile von P und NP ermittelt. Hierbei ergab sich das Gesamtprotein aus der Summe von P + NP + Protein im Auswaschungsrückstand. Letzteres wurde, da es sich als unlöslich erwies, als Eiweiß gerechnet, d. h., zu P addiert.

Tab. 3 gestattet einen Vergleich des nach dieser Methode ermittelten P-Anteiles mit den Reinproteinanteilen, die sich aus der Fällung mit Trichloressigsäure (vgl. Tab. 2) ergaben.

Tabelle 3. Vergleich zwischen der Proteinfällung nach Hitzeaggregation (P) und der Reinproteinbestimmung mittels Trichloressigsäure (untersucht im Frischmaterial).

Probe Nr.	Proteinanteile (reines Protein in % vom Gesamtprotein)	
	Proteinfällung durch Hitzeaggregation	Reinproteinbestimmung mit Trichloressigsäure
3	56,0	(69,5)
4	52,2	48,6
8	64,7	59,3
10	66,7	63,1
15	—	40,3
29	47,3	58,8

Im Prinzip lieferte die Eiweißfällung durch Hitzeaggregation ähnliche Anteile wie die normale Reinproteinbestimmung. Eine fast 100%ige Übereinstimmung zwischen beiden Fällungsmethoden, wie sie REISSIG (1958) erzielte, konnte bei unseren Bestimmungen nicht erreicht werden.

In Übereinstimmung beider Verfahren haben sich die Proben 8 und 10 als am günstigsten erwiesen.

Eine wesentlich bessere Bewertungsmöglichkeit des Proteins ist jedoch erst durch die Kenntnis der AS-Gehaltszahlen und der daraus errechneten Indices gegeben. Die Tab. 4 zeigt die in der frischen Substanz mikrobiologisch ermittelten Gehalte an den essentiellen AS. Die Berechnung der EAA- und Eck-AS-Indices erfolgte auf der Grundlage von OSER (1951)

nach einem von uns modifizierten Verfahren (WÜNSCHE 1964a).

Zwischen den Proben traten erwartungsgemäß nicht unerhebliche Unterschiede in den AS-Gehalten auf, die sich in den AS-Indices als Maß für die Eiweißwertigkeit widerspiegeln. Wiederum tritt hier die Überlegenheit der Probe 10 in Erscheinung. Die proteinarme Probe 29 (Sorte Ora) weist jedoch ebenfalls eine verhältnismäßig günstige AS-Zusammensetzung auf.

Welche Schwankungsbreiten im AS-Gehalt von Kartoffeln generell auftreten können, zeigt Tab. 5, in der einige Literaturergebnisse zusammengestellt sind. Ein Vergleich der Werte untereinander ist selbstverständlich schwierig, da in diesen nicht nur die Schwankungen der verschiedenen Sorten und Varietäten, sondern auch die durch die verschiedenen Bestimmungsmethoden verursachten Unterschiede zum Ausdruck kommen.

In früheren Untersuchungen (WÜNSCHE 1964a) hatten wir bei einer Reihe von Fischmehl-, Soja- und Hefeproben festgestellt, daß sich der normale EAA-Index (EAA-Index_[abs.]), der sich aus dem absoluten Gehalt an essentiellen AS nach einer Totalhydrolyse errechnet, zum Vergleich der Eiweißwertigkeit von Futtermitteln ein und derselben Art untereinander offenbar schlechter eignet als der auf dem Gehalt an verfügbaren Aminosäuren nach enzymatischer Hydrolyse beruhende EAA-Index_[vfgb.].

Wir bestimmten daher in den Kartoffelproben auch den Gehalt an mikrobiologisch verfügbaren AS und errechneten daraus den EAA-Index_[vfgb.] und den Eck-AS-Index_[vfgb.]. In Tab. 6 sind auszugsweise die Gehalte an verfügbarem Lysin, Methionin, Cystin und Tryptophan und die AS-Indices_[vfgb.] wiedergegeben.

Diese AS-Indices_[vfgb.] weisen wesentlich stärkere Eiweißqualitätsunterschiede auf als die AS-Indices_[abs.] (vgl. Tab. 4). Die Probe 10 ist bei der Beurteilung der Eiweißqualität auf Grund des Gehaltes an verfügbaren AS den anderen Proben (vor allem den Proben 15 und 3) wesentlich stärker überlegen als auf Grund der Gesamtgehalte an AS. Die Probe 10 weist bei allen AS die höchsten verfügbaren Gehalte auf.

Betrachtet man allgemein die Verfügbarkeit der limitierenden AS in % ihres Gesamtgehaltes (Tab. 4), so fällt die niedrige Lysinverfügbarkeit ($\varnothing 46\%$)

Tabelle 4. Aminosäurengehalte von 6 Kartoffelzuchstämmen bzw. -sorten (untersucht im Frischmaterial nach der mikrobiologischen Methode).

Probe Nr.	in g AS/16 g N												EAA-Index* [abs.]	Eck-AS-Index* [abs.]
	Arginin	Histidin	Isoleucin	Leucin	Lysin	Methionin	Cystin	Phenylalanin	Tyrosin	Threonin	Tryptophan	Valin		
3	3,8	1,5	4,3	5,0	5,0	1,3	0,6	4,8	1,9	3,7	1,1	4,7	63	59
4	4,2	1,5	4,5	5,2	4,9	1,7	0,8	3,6	2,4	3,6	1,0	5,2	65	63
8	4,1	1,4	4,6	6,3	5,6	1,4	1,3	4,3	2,2	3,8	—	5,1	67	63
10	4,9	1,5	5,2	7,8	6,0	1,6	0,9	4,7	2,2	4,1	1,0	5,3	74	67
15	6,2	1,7	4,4	4,5	5,4	1,7	1,0	3,3	2,4	3,2	—	5,0	66	62
29	4,4	1,8	4,3	4,9	5,5	1,4	0,8	4,3	2,2	3,5	1,4	5,3	68	68

* Berechnung der Indices nach einem modifizierten Verfahren (WÜNSCHE 1964a) (bei Proben 8 und 15 ohne Tryptophan)

Tabelle 5. Literaturzusammenstellung über Aminosäurengehalte von Kartoffeln (untersucht im Frischmaterial).

Arginin	Histidin	Isoleucin	Leucin	Lysin	Methionin	Cystin	Phenylalanin	Tyrosin	Threonin	Tryptophan	Vain	Untersucher
	in g AS/16 g N											
3,8—6,2	1,2—1,8	4,2—5,2	4,5—7,8	4,3*—6,5	1,1*—1,8	0,6*—1,5	2,8—4,8	1,9—2,4	3,2—4,1	0,8—1,4	4,7—5,3	eigene Untersuchungen
4,4	1,7	11,3	4,6	5,0	1,6	1,7	5,4	—	3,7	0,8	4,8	SLACK (1948)
5,3	1,4	3,7	4,6	5,1	1,5	—	3,1	—	2,5	1,8	4,8	LYMAN und KUIKEN (1949)
7,1	1,2	5,9	4,6	3,7	2,5	0,6	3,6	2,5	2,5	1,0	4,3	ÄGERE (1949)
3,0—9,5	1,4—3,0	4,9—10,0	1,0—13,8	2,9—9,6	0,5—3,6	0,5	—	2,5—5,9	2,5—3,5	0,6—3,5	2,9—7,1	SCHUFRANYI (1959)
4,5	2,0	4,3	6,5	5,5	—	0,9	4,4	3,0	3,5	—	5,8	KORFRÄNYI und MÜLLER-WECKER (1961)

* Schwankungsbreite der insgesamt 30 Kartoffelproben.

Tabelle 7. Aminosäurengehalte in den durch Auswaschen und Hitzekoagulation getrennten Protein(P)- und N-haltigen Nichtprotein(NP)-Fraktionen von 6 Kartoffelzuchttümern und -sorten (Ausgangsmaterial frisch; AS-Bestimmungen mikrobiologisch).

Probe Nr.	Proteinanteil*	in g AS/16 g Hydrolysat-N											
		Arginin		Histidin		Isoleucin		Leucin		Lysin		Methionin	
%		P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP
3	56,0	4,7	2,3	1,8	1,2	7,0	1,4	9,0	1,1	7,2	1,5	2,3	0,5
4	52,2	5,2	1,9	1,7	0,9	7,6	1,6	9,9	1,1	7,1	1,5	3,4	0,8
8	64,7	5,2	2,8	1,8	1,1	7,8	2,0	9,2	1,3	8,3	1,7	3,1	0,8
10	66,7	5,6	2,3	1,7	1,1	6,2	2,5	8,3	2,4	7,4	1,9	3,2	0,7
15	49,3	6,4	4,7	2,0	1,2	6,8	2,0	8,4	1,1	7,9	2,7	2,3	0,7
29	47,3	4,7	3,6	1,9	1,2	8,1	1,6	8,5	1,0	7,4	2,3	2,0	1,1

* Proteinanteil = durch Hitzekoagulation gefalltes + nicht auswaschbares Protein in % des Gesamtproteins — Probe 15:

Tabelle 6. Gehalt an den mikrobiologisch verfügbaren Aminosäuren Lysin, Methionin, Cystin und Tryptophan in 6 enzymatisch hydrolysierten Kartoffelzuchttümern bzw. -sorten.

Probe Nr.	in g AS/16 g N				EAA-Index* [v/gb.]	Eck-AS-Index* [v/gb.]
	Lysin	Methionin	Cystin	Tryptophan		
3	2,2	1,2	0,2	0,4	56	43
4	2,3	1,2	0,1	0,5	55	46
8	2,6	1,1	0,1	0,4	58	44
10	3,9	1,4	0,4	0,6	73	57
15	1,8	1,1	0,1	0,4	50	39
29	2,2	1,3	0,1	0,6	58	50

* Berechnungsverfahren (modifiziert), siehe WÜNSCHE (1964a)

gegenüber der wesentlich besseren Verfügbarkeit des Methionins (\varnothing 81%) auf. Infolge einer ebenfalls schlechten Cystin-Verfügbarkeit ist Methionin + Cystin (als Summe) nur zu etwa 60% verfügbar.

Da nach den heutigen Ansichten das eigentliche Protein als genetisch weitgehend fixiert gilt, die Zusammensetzung der N-haltigen Nichtproteinverbindungen dagegen durch die Umweltverhältnisse stark modifiziert werden kann, ist eine möglichst genaue Kenntnis der Zusammensetzung des eigentlichen Kartoffelproteins und des N-haltigen Nichtproteinanteiles von besonderem Interesse.

Wir bestimmten daher in den mittels Auswaschung und Hitzekoagulation erhaltenen P- und NP-Fraktionen nach saurer Hydrolyse ebenfalls die AS-Gehalte¹.

Wie die Tab. 7 zeigt, sind die essentiellen AS vorwiegend in der eigentlichen Eiweiß(P)-Fraktion vertreten. In freier Form liegen diese nur in verhältnismäßig geringem Umfang vor.

Aus den Untersuchungen geht weiterhin eindeutig hervor, daß die zwischen den Proben bestehenden Unterschiede im AS-Gehalt in der P-Fraktion relativ geringer, in der NP-Fraktion dagegen relativ größer sind als bei den Untersuchungen des nicht aufgetrennten Gesamtproteins (vgl. Tab. 4 bzw. 5). Die genetisch stärker fixierte P-Fraktion ist also konstanter zusammengesetzt als die durch exogene Faktoren leicht beeinflußbare NP-Fraktion. Letztere vermag daher die P-Fraktion in ihrem Nährwert verschieden stark zu ergänzen. Aus den P- bzw. NP-Anteilen am Gesamtprotein und den AS-Gehalten in diesen Fraktionen (s. Tab. 7) läßt sich die Aufteilung

Tabelle 8. Aufteilung der im Protein von 6 Kartoffelzuchttümern und -sorten enthaltenen Gesamtmengen an Lysin, Methionin und Cystin auf die Protein(P)- und N-haltigen Nichtprotein(NP)-Fraktionen.

Probe Nr.	in g AS/16 g Hydrolysat-N											
	Lysin		Methionin		Cystin		NP				P	
	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP
3	4,0	0,7	1,3	0,2	1,3	0,4	1,1	0,3	1,3	1,1	0,4	0,4
4	3,7	0,7	1,8	0,4	1,1	0,3	1,1	0,3	1,1	0,3	1,1	0,3
8	5,4	0,6	2,0	0,3	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5	0,5	1,5	0,5
10	4,9	0,3	2,1	0,2	1,1	0,2	1,1	0,2	1,1	0,2	1,1	0,2
15	3,2	1,6	0,9	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—
29	3,5	1,2	0,9	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4

¹ Die AS-Bestimmung in den durch Trichloressigsäure-Fällung hergestellten Fraktionen war auf mikrobiologischem Wege nicht möglich, da die Trichloressigsäure bzw. das bei der Sterilisation der Nährsubstrate als Zersetzungprodukt entstehende Chloroform das Wachstum der Mikroorganismen beeinträchtigt.

der Gesamtmenge an AS auf die Fraktionen berechnen. In Tab. 8 sind die so erhaltenen Werte für die ernährungsphysiologisch besonders wichtigen AS Lysin, Methionin und Cystin angegeben.

Die Proben 8 und 10 zeichnen sich gegenüber den anderen Proben dadurch aus, daß bei ihnen die AS Lysin, Methionin und Cystin zu einem besonders hohen Anteil in der P-Fraktion enthalten sind.

Das entscheidende Kriterium für die Beurteilung der Qualität der Futtermittelproteine ist jedoch die im biologischen Versuch ermittelte biologische Wertigkeit des Eiweißes (BW). Wie bereits eingangs erwähnt, bestimmten wir von den 6 ausgewählten Kartoffelproben die BW in N-Bilanzversuchen mit wachsenden Albinoratten. Die Ergebnisse sind in Tab. 9 wiedergegeben.

Tabelle 9. In N-Bilanzversuchen an wachsenden Albino-Ratten ermittelte biologische Wertigkeit des Eiweißes (BW) von 6 Kartoffelzuchtstämmen bzw. -sorten.

Probe Nr.	Zahl der Ratten	Ø tägliche Gewichtszunahme g	Biologische Wertigkeit
3	5	-0,63	54,8 ± 2,1*
4	6	0,18	59,8 ± 1,0
8	6	0,73	63,4 ± 1,8
10	6	0,66	73,0 ± 1,4
15	5	0,30	55,7 ± 2,0
29	5	-0,60	66,6 ± 1,5

$$* s_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{S(x - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Graphische Darstellung der Korrelation verschiedener Wertmaßstäbe zur biologischen Wertigkeit des Eiweißes (BW) bei 6 Kartoffelproben

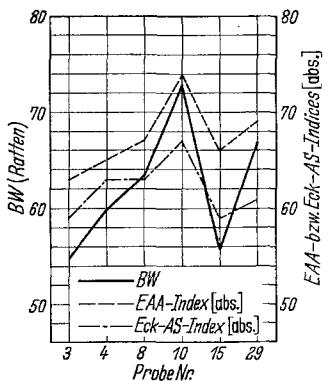


Abb. 1. Korrelation der auf dem Gesamtgehalt an Aminosäuren beruhenden EAA- und Eck-AS-Indices zur BW.

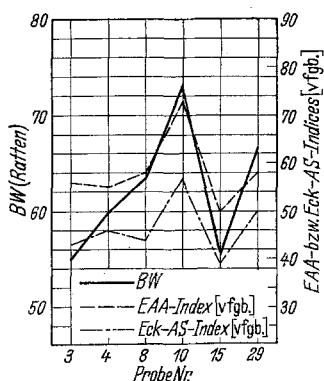


Abb. 2. Korrelation der auf dem mikrobiologisch verfügbaren Gehalt an Aminosäuren beruhenden EAA- und Eck-AS-Indices zur BW.

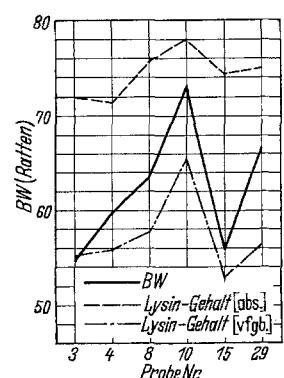


Abb. 3. Korrelation des Gesamtgehaltes und des verfügbaren Gehaltes an Lysin zur BW.

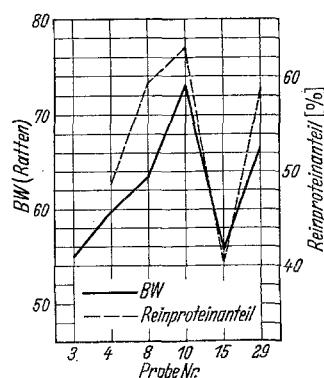


Abb. 4. Korrelation des Reinproteinanteiles zur BW.

Mit einer BW von 73,0 liegt die Kartoffelprobe 10 (Reifezeit mittelspät) bei weitem am höchsten. Die Proben 3 und 4 (früh) und 15 (mittelspät) befriedigen in ihrer Eiweißqualität nicht. Die Probe 8 (mittelfrüh) liegt deutlich höher, erreicht jedoch nicht die BW der Probe 10. Bei Probe 29 muß darauf hingewiesen werden, daß die Proteinaufnahme der Tiere auf Grund des niedrigen Proteingehaltes deutlich unter denen der anderen Proben gelegen hat, wodurch die BW von 66,6 wahrscheinlich zu hoch ausgefallen ist. Die günstige Proteinverwertung bei den Proben 8 und 10 geht auch aus den hohen Gewichtszunahmen der Tiere hervor.

Nachfolgend soll an Hand des vorliegenden Materials geprüft werden, nach welchen tunlichst einfachen, biochemischen Methoden der Kartoffelzüchter seine für die Züchtung in Frage kommenden Kartoffelklone möglichst zuverlässig auf ihre Eiweißqualität prüfen kann.

In den Abb. 1–4 sind die Beziehungen zwischen verschiedenen biochemischen Wertmaßstäben und der BW graphisch dargestellt.

Die Abbildungen lassen erkennen, daß hohe positive Korrelationen der BW zu den EAA- und Eck-AS-Indices, zu den Gehalten an Gesamt-Lysin und verfügbarem Lysin und zum Reinproteinanteil zu erwarten sind.

Zur genaueren Beurteilung dieser Beziehungen berechneten wir die Korrelationskoeffizienten r :

EAA-Index _[abs.] :	BW	$r = +0.93^{**}$
Eck-AS-Index _[abs.] :	BW	$r = +0.88^*$
EAA-Index _[vfgb.] :	BW	$r = +0.89^*$
Eck-AS-Index _[vfgb.] :	BW	$r = +0.93^{**}$
Gesamt-Lysin:	BW	$r = +0.80$
verfügbares Lysin:	BW	$r = +0.84^*$
Reinproteinanteil:	BW	$r = +0.70$

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Aus der Höhe und der Sicherheit der Korrelationskoeffizienten geht hervor, daß die BW der Kartoffeln mit Hilfe der AS-Analytik recht gut vorausgesagt werden kann, wenn man die EAA- oder Eck-AS-Indices dazu in Betracht zieht.

Wenn auch beim Gehalt an Gesamt-Lysin infolge der geringen Probenanzahl eine statistische Sicherung nicht möglich war, zeigt sich doch aus der Höhe des Korrelationskoeffizienten ($r = +0.80$), daß zwischen dem Lysin-Gehalt und der BW ebenfalls ein enger Grad der Verbundenheit besteht.

Überraschenderweise zeigen die Methionin + Cystin-Gehalte, die bei allen Proben die Chemical Scores darstellen und daher die Proteinqualität der Kartoffeln begrenzen müßten, keine Beziehungen zur BW. Dieser Befund läßt sich möglicherweise aus der unterschiedlichen Verfügbarkeit dieser AS im Tierkörper erklären; denn die enzymatischen Hydrolysen in vitro ergaben für Lysin eine wesentlich schlechtere mikrobiologische Verfügbarkeit (s. S. 371) als für Methionin und auch für Methionin + Cystin. Es wäre somit denkbar, daß das Lysin eher ins Minimum gerät als das Methionin.

Der Reinproteinanteil, eine in jedem Laboratorium verhältnismäßig einfach zu ermittelnde Größe, zeigt gleichfalls eine recht hohe Korrelation zur BW; sie konnte allerdings infolge der geringen Anzahl von

Proben statistisch nicht gesichert werden. Die von verschiedenen Forschern (REISSIG 1958, SCHUPHAN und WEINMANN 1960) schon früher festgestellten positiven Beziehungen zwischen dem Reinproteinanteil und dem EAA-Index gelten somit auch zwischen dem Reinproteinanteil und der am Tier ermittelten BW, die ja letzten Endes das entscheidende Kriterium für die Eiweißqualität ist.

Mit Hilfe des Reinproteinanteiles kann der Kartoffelzüchter die in bezug auf die Eiweißqualität positiven Varianten verhältnismäßig einfach und mit genügender Zuverlässigkeit herausfinden. Sicherer als mit dem Reinproteinanteil lässt sich jedoch verständlicherweise die Eiweißqualität der Kartoffeln aus dem Gehalt an essentiellen AS bestimmen.

Bei der Kartoffelzüchtung auf Eiweißqualität sollte daher der Reinproteinanteil das „erste Sieb“ darstellen. Die in Frage kommenden Stämme müssen jedoch noch ein „zweites Sieb“ passieren, d. h. einer AS-Analyse — zumindest einer Bestimmung der Eck-AS — unterworfen werden. Für derartige „Screening-Tests“ bietet sich die mikrobiologische Methode insofern an, als ihre Eigenart es gestattet, eine größere Anzahl von Proben unter exakt vergleichbaren Bedingungen auf die jeweils interessierenden AS zu testen.

Aus einem Sortiment von 30 Zuchttämmen und -sorten haben sich mit den Proben Nr. 8 und 10 zwei Zuchttämmen herausfinden lassen, die den aufgestellten Zuch Zielen nahekommen und von der Eiweißqualität aus für die weitere Züchtung geeignet erscheinen.

Zusammenfassung

Aus einem Sortiment von 30 Kartoffelzuchttämmen und -sorten wurden 6 Proben ausgewählt und einer eingehenden Untersuchung auf die Eiweißqualität (Roh- und Reinproteingehalt, Reinproteinanteil, Aminosäuren(AS)-Gehalte in Total- und enzymatischen Hydrolysaten, biologische Wertigkeit (BW) an Ratten) unterzogen. Daraus ergaben sich folgende Ergebnisse und Schlußfolgerungen:

1. Die auf dem Gesamtgehalt und dem mikrobiologisch verfügbaren Gehalt an essentiellen AS beruhenden EAA- und Eck-AS-Indices stehen in guter, statistisch gesicherter Korrelation zur BW.

2. Die Reinproteinanteile und die Lysingehalte zeigen ebenfalls eine enge Beziehung zur BW, nicht aber die Methionin (+ Cystin)-Gehalte, die als Chemical Scores den Eiweißwert begrenzen müssten. Auf die Möglichkeit einer schlechten Lysin-Verfügbarkeit beim enzymatischen Abbau des Kartoffelproteins im Tierkörper deutet die schlechte in vitro-Verfügbarkeit des Lysins hin.

3. Da bei der Kartoffel schon aus der Höhe des Reinproteinanteiles und aus dem Gehalt an den Eck-AS Schlußfolgerungen auf die Eiweißqualität gezogen werden können, müsste eine volkswirtschaftlich wichtige Qualitätsverbesserung der Futterkartoffeln in bezug auf das Protein auf züchterischem Wege mit verhältnismäßig geringem Analysenaufwand möglich sein.

Summary

From an assortment of thirty breeding strains and varieties of potato tubers six samples were chosen and subjected to a thorough determination of the quality of their protein (crude and purified protein content, proportion of purified protein, amino acid content of total and enzymatic hydrolysates, biological value determined in growing rats). The results and conclusions were as follows:

1. EEA and "Eck" amino acid indices based on both the total and microbiologically available amino acid content show good, statistically significant correlation with the biological value of the protein.

2. The purified protein fractions and lysine content also show good agreement with the biological value. Such agreement does not hold for the methionine (+ cystine) content, although they are the "chemical scores" and therefore should limit the protein value. Reason for this finding may be a lower availability of lysine than of methionine (+ cystine) during the enzymatic breakdown of potato protein in vivo. Microbiological studies with enzymic hydrolysates in vitro support this assumption.

3. Since, in the potato, conclusions about the quality of its protein can already be drawn from the proportion of purified protein and the Eck amino acid content, it should be possible to make economically important improvements in the protein quality of feed potatoes at relatively little analytical effort.

Literatur

1. ÅGREN, G.: Microbiological determinations of amino acids in foodstuffs. I. Acta chem. Scand. **3**, 931—938 (1949). — 2. BECKER, G.: Möglichkeiten der Züchtung auf Eiweißqualität. Berichte und Vorträge Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin **VI**, 261—286 (1963). — 3. KOFRÁNYI, E., und H. MÜLLER-WECKER: Zur Bestimmung der biologischen Wertigkeit von Nahrungsproteinen. V. Der Einfluß des nichtessentiellen Stickstoffs auf die biologische Wertigkeit von Proteinen und die Wertigkeit von Kartoffelproteinen. Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem. **325**, 60—64 (1961). — 4. LYMAN, C. M., and K. A. KUIKEN: Bull. Tex. agric. Exp. Sta. Nr. 708 (1949); zit.: HUGHES, B. P.: The amino-acid composition of potato protein and of cooked potato. Brit. J. Nutrit. **12**, 188—195 (1958). — 5. MALKOMESIUS, P. E., und K. NEHRING: Chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Methodenbuch Band III; Die Untersuchung von Futtermitteln. 2. Aufl. S. 1—63. Radebeul und Berlin: Neumann-Verlag 1951. — 6. MITCHELL, H. H.: A method of determining the biological value of protein. J. Biol. Chem. **58**, 873—903 (1923/24). — 7. MULDER, E. G., and K. BAKEMA: Effect of the nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium nutrition of potato plants on the content of free amino-acids and on the amino-acid composition of the protein of the tubers. Plant and Soil **7**, 135—166 (1956). — 8. NEHRING, K.: Probleme der Eiweißernährung und der Eiweißversorgung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin **12**, Nr. 3, 5—37 (1963a). — 9. NEHRING, K.: Probleme der Eiweißernährung und Eiweißversorgung. Berichte und Vorträge Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin **VI**, 103—145 (1963b). — 10. NEHRING, K., und H.-D. BOCK: Untersuchungen über die biologische Wertigkeit von Eiweißfutterstoffen an Ratten. II. Mitt. Arch. Tierernähr. **11**, 370—392 (1961). — 11. OSER, B. L.: Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein. J. Amer. Dietet. Assoc. **27**, 396—402 (1951). — 12. REISSIG, H.: Über die Möglichkeiten einer züchterischen Verbesserung der biologischen Wertigkeit von Kartoffeleiweiß. Der Züchter **28**, 51—60 (1958). — 13. SCHUPHAN, W.: Studien über essentielle Aminosäuren,

in Kartoffeln. 2. Mitt. Die biologische Eiweißwertigkeit der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.) im Ernährungsversuch und im Spiegel der essentiellen Aminosäuren. Qualit. Plant. et Mat. Veg. 6, 16–38 (1959). — 14. SCHUPHAN, W., und I. WEINMANN: La pomme de terre source de protéine de haute qualité d'après les résultats d'essais de nutrition et d'après l'analyse des aminoacides constituants. Ann. Nutrit. l'Alimentat. 14, Nr. 2, Rev. 177–199 (1960); ref.: LZ. III, 7, 172–173 (1962). — 15. SLACK, E. B.: Nitrogenous constituents of the potato. Nature 161, 211–212 (1948). — 16. THOMAS, K.: Über die biologische Wertigkeit der Stickstoffsubstanzen in verschiedenen Nahrungsmitteln. Beiträge zur Frage nach

dem physiologischen Stickstoffminimum. Arch. Anat. u. Physiol., Physiol. Abt. 219–302 (1909). — 17. WÜNSCHE, J.: Beitrag zur mikrobiologischen Untersuchung und Bewertung des Eiweißes von Futterstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Fischmehle. Diss., Landwirtsch.-gärtnerische Fak., Karl-Marx-Univ. Leipzig 1958. — 18. WÜNSCHE, J.: Neuere Ergebnisse der Bausteinanalyse von Futterproteinen. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin Nr. 63, 111–120 (1964a). — 19. WÜNSCHE, J.: Über die Anwendung der mikrobiologischen Methode zur Bestimmung des Gehaltes an Aminosäuren. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Nr. 64, 23–31 (1964b).

BUCHBESPRECHUNGEN

BARNARD, C. (Editor): **Grasses & Grasslands.** London/Melbourne: Macmillan & Co. Ltd. 1964. 269 S., 74 Abb., 17 Tab. Geb. 50 s.

Mit diesem Buch wird die Literatur über die Gräser und das Grasland wesentlich bereichert. Die Autoren, Australier, haben sich bemüht, ihr Thema in weltweiter Sicht darzustellen, wenngleich sie aus naheliegenden Gründen ihren Kontinent besonders berücksichtigen. Das Werk verdient, in allen Graslandforschung betreibenden Ländern beachtet zu werden, auch wenn man einschränkend bemerken muß, daß die nicht englischsprachige Literatur bis auf einige wenige Ausnahmen nicht verarbeitet worden ist. Das Besondere des Werkes ist in der umfassenden botanischen Betrachtung der Gräser und des Graslandes zu sehen. Nach einem einleitenden historischen Kapitel über die Wechselwirkungen zwischen den Gräsern, dem Weidevieh und den wirtschaftenden Menschen werden die Systematik der Gräser, ihre Verteilung auf der Erde, Morphologie und Anatomie, Keimung, Wachstum einschließlich der Umwelteinflüsse sowie die Reproduktion abgehandelt. Ein besonderes Kapitel ist den Züchtungsmethoden gewidmet. In weiteren Kapiteln werden die Verteilung des Graslandes auf der Erde und seine Rolle zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit besprochen. Der Abschnitt über die Ernährung des Graslandes enthält in erster Linie Aussagen über die Leguminosen als Stickstofflieferanten. Der Einfluß der Beweidung auf das Grasland schließlich wird nach der im englischen Sprachgebiet vorherrschenden Meinung dargestellt, derzufolge das Umrübsverfahren kaum Vorteile bietet.

W. Kreil, Paulinenaue

CAVALLI-SFORZA, LUIGI: **Grundbegriffe der Biometrie, insbesondere der statistischen Methoden bei der Wertbemessung biologisch wirksamer Substanzen.** Bearbeitet von ROLF J. LORENZ. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1964. VIII, 209 S., 48 Abb., 54 Tab. Brosch. DM 24,—.

Quantitative Untersuchungen im Bereich der Biologie und ihre biometrische Auswertung werden heute auch in Deutschland nicht mehr nur von Außenseitern durchgeführt, sondern beginnen sich überall einzunisten. Demzufolge sind Lehrbücher über biometrische Verfahren und ihre Anwendung in den verschiedenen Fachgebieten notwendiger als früher. Dabei entsteht das Problem, in welcher Form man den Stoff den immer zahlreicher werdenden Interessenten nahebringen soll.

CAVALLI-SFORZA vertritt offensichtlich die Meinung, daß man von der Masse der Biologen nicht verlangen kann, daß sie sich intensiv mit den mathematisch-statistischen Grundlagen der Biometrie beschäftigen soll. Er entschied sich daher für eine elementar gehaltene Darstellung, die auch für solche Leser verständlich ist, die ihre Schulanerfahrungen in der Mathematik weitgehend wieder vergessen haben. Das Buch enthält kaum algebraische Ableitungen, dafür aber viele voll durchgerechnete und instruktive Beispiele.

Leider bringen nur die ersten 92 Seiten eine Einführung in die allgemeine Biometrie. Der größte Teil ist den Verfahren zur Wertbemessung biologisch wirksamer Substan-

zen gewidmet, also einem Spezialgebiet, das bisher noch nicht in einem deutschsprachigen Lehrbuch ausführlich behandelt wurde. Somit kann das Buch vor allem solchen Wissenschaftlern wie z. B. Pharmakologen, Bakteriologen und Virologen empfohlen werden, die solche Verfahren oft benötigen. Der erste Teil ist nach Ansicht des Rezensenten zu kurz geraten. Vor allem fehlt die Idee des mehrfaktoriellen Experiments und der Interaktion. Gerade hier liegt aber ein wichtiger Ansatzpunkt zur Förderung und Rationalisierung wissenschaftlicher Arbeiten durch die biometrische Analyse ihrer Ergebnisse.

Hans Rundfeldt, Hannover

GUTTENBERG, H. VON: **Lehrbuch der allgemeinen Botanik.** 6. Auflage. Berlin: Akademie-Verlag 1963. 735 S., 637 Abb. im Text, 10 Taf., 14 Tab. Geb. MDN 32,—.

„Der Guttenberg“ hat sich unter den Lehrbüchern für unsere Studenten nicht zuletzt wegen seiner einfachen und klaren Sprache einen festen Platz erobert, wie sich auch aus der in relativ kurzen Abständen folgenden Zahl von Neuauflagen ergibt, so daß er eigentlich keiner besonderen Empfehlung bedarf. Es ist heute freilich für einen einzelnen Autor schwer, ein für alle Teildisziplinen gleich ausgewogenes Bild einer Wissenschaft zu schaffen, aber es ergibt sich gegenüber einem Gemeinschaftswerk der unbestreitbare Vorteil, daß ein solches Buch den Stempel der Persönlichkeit des Verfassers trägt und den Niederschlag langjähriger pädagogischer Erfahrung und Einsicht vermittelt. Die schwierigste Aufgabe einer solchen allgemeinen Einführung ist ja doch nicht die Entscheidung darüber, was an Einzelheiten gebracht werden müßte, sondern darüber, was bei der Fülle des Stoffes heute noch weggelassen werden darf. Daraüber werden allerdings die Meinungen der Spezialisten auf Teilgebieten nicht immer übereinstimmen, und ich möchte deshalb nur auf einige Dinge hinweisen, die mir vom pädagogischen Standpunkt aus an diesem sonst ausgezeichneten Werk erwähnenswert erscheinen. Daß die Morphologie das Fundament auch für das Verständnis der physiologischen Vorgänge bildet, gilt heute mehr denn je und rechtfertigt die ausführliche Darstellung – die zusammenfassende Wiedergabe der eigenen Arbeiten des Verfassers über die Histogenese werden nicht nur die Anfänger begrüßen, für die das Buch ja in der Hauptsache bestimmt ist. Entsprechend ihrer fundamentalen Bedeutung sind nun auch die Ergebnisse elektronenmikroskopischer Forschung besprochen und an einigen Aufnahmen demonstriert worden. Die Deutung solcher Bilder (vor allem des Zytoplasmas) ist freilich für den unbefangenen Betrachter nicht immer leicht: so zeigen die ausgewählten Bilder zwar sehr schön die Kernmembran mit ihren Durchbrechungen und ihre Beziehungen zum endoplasmatischen Retikulum, sie sind aber ohne besonderen Hinweis auf den Effekt verschiedener Orientierung zur Schnittrichtung weniger glücklich für den Vergleich mit der Schilderung der Struktur der Mitochondrien im Text. Dafür gäbe es bessere Bilder. Eindrucksvoller und anschaulicher für die Leistung der Elektronenmikroskopie wäre bestimmt auch ein Querschnittsbild der Lamellarstruktur der Chloroplasten (auch wenn man