

*Aus der Abteilung für Algenforschung und Algentechnologie
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH Dortmund*

Die Proteinqualität einiger Mikroalgenarten, ermittelt im Ratten-Bilanzversuch¹⁾

1. Scenedesmus, Coelastrum und Uronema

Von W. P a b s t

Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen

(Eingegangen am 16. Februar 1974)

Einleitung

Trotz erfolgreicher Anstrengungen zur Steigerung von Produktion und Qualität herkömmlicher Nahrungsmittel ist die Welternährungslage nach wie vor angespannt und durch die sog. Eiweißlücke gekennzeichnet. Die Erfolge der „grünen Revolution“ können mit dem raschen Anwachsen der Erdbevölkerung kaum Schritt halten und bewirken bestenfalls eine Atempause (1). Gemeinsam mit anderen großtechnisch erzeugten unkonventionellen Proteinträgern könnten in Massenkulturen produzierte *Mikroalgen* dazu beitragen, diese Situation entscheidend zu verbessern (2). Für einen breiten Einsatz solcher neuartigen Substanzen als Nahrung für Mensch und Nutztier sind jedoch einige Voraussetzungen unerlässlich:

- Das Produkt muß bakteriologisch einwandfrei und toxikologisch unbedenklich sein. Hierfür hat die „Protein Advisory Group of the United Nations System“ (PAG) eine Reihe von Richtlinien herausgegeben (3, 4, 5, 6), deren Bedingungen erfüllt sein müssen.
- Die Substanz soll ernährungsphysiologisch hochwertig sein, also einen möglichst hohen Proteingehalt mit einem möglichst günstigen Muster der essentiellen Aminosäuren haben und zudem möglichst auch reichlich Vitamine enthalten.
- Der Nährstoffträger muß preiswert sein, um bei Verwendung als Nahrungsmittel die wirtschaftlich schwachen Zielgruppen auch wirklich zu erreichen

¹⁾ Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. *Heinrich Kraut* zum 80. Geburtstag gewidmet.

oder um in der Tierernährung als billiges Eiweißbeifutter eingesetzt werden zu können.

Wesentlichster Faktor für eine billige Massenproduktion der autotrophen Mikroalgen sind günstige klimatische Bedingungen, insbesondere reichliche Sonneneinstrahlung. Daneben sind aber auch die Resistenz der Algenspezies gegen Parasiten, die erforderliche Mineralstoffkonzentration und die Methode, mit der die Biomasse aus dem Kulturmedium geerntet werden kann, entscheidend für die Gesteungskosten. Von den relativ wenigen bisher auf ihre Eignung zur Massenkultur getesteten Mikroalgen haben die meisten Arten der Grünalpengattungen *Chlorella* und *Scenedesmus* eine geringe Zell- bzw. Zönobiengröße, so daß sie nur durch Zentrifugieren aus der Kulturflüssigkeit gewonnen werden können, was den Herstellungsprozeß verteuert. Demgegenüber sind die größeren mehrzelligen Arten der Blaualpengattung *Spirulina* zwar durch billige Filtrationsverfahren zu ernten, ihre Produktion im Süßwasser verteuert sich jedoch wegen der hohen Mineralstoffkonzentration, die sie für optimales Wachstum benötigen, da ihr natürliches Vorkommen auf einige natriumcarbonatreiche Binnengewässer beschränkt ist (7).

Gemeinsames Merkmal aller bislang kultivierten Mikroalgen ist ein hoher Eiweißgehalt (50–70 % Rohprotein i. T.). Unter der Voraussetzung, daß die frische Algenbiomasse einer sachgemäßen Weiterverarbeitung unterworfen wurde, die zu optimalem Zellaufschluß führte und dadurch eine gute Verdaulichkeit ermöglichte, waren auch die in Tierexperimenten erzielten Kennzahlen für die Qualität dieser Algenproteine relativ hoch (8, 9, 10, 11). Offen bleibt die Frage, ob es unter der Vielzahl natürlich vorkommender Mikroalgen andere, bislang unbeachtete Arten gibt, die bei mindestens gleich guter Produktivität einen höheren Proteingehalt und/oder eine noch bessere biologische Wertigkeit haben und die vor allem nicht die im vorigen Absatz erwähnten Nachteile für die Gesteungskosten aufweisen. In diesem Sinne befassen wir uns damit, filterbare Mikroalgenarten des Süßwassers auf ihre Eignung zur Massenkultur zu testen und für jede erfolversprechende Spezies die optimalen Produktionsbedingungen ausfindig zu machen. Gleichzeitig werden solche Arten im Ratten-Bilanzversuch auf die Verdaulichkeit und die biologische Wertigkeit ihres Proteins hin geprüft. Die ersten Tierversuchsreihen mit zwei neuen Algenarten werden im folgenden beschrieben.

Methodik

Es wurden nacheinander zwei Versuchsreihen (gekennzeichnet durch I bzw. II) mit je 3 Rattengruppen durchgeführt (Tab. 1). Jede Gruppe bestand aus 10 Ratten-♂, Stamm Sprague Dawley NIH/HAN (Zentralinstitut für Versuchstierzucht in Hannover). Alter der Tiere bei Versuchsbeginn 3–4 Wochen; Gewicht minimal 45 g, maximal 60 g. Die Tiere waren einzeln in Stoffwechselkäfigen untergebracht, bei denen die Trennung von Kot und Harn durch die Formgebung des Auslauffrichters direkt erfolgt. Da nur eine begrenzte Zahl solcher Käfige vorhanden ist, konnten pro Versuchsreihe nicht mehr als 30 Tiere eingesetzt werden. Die Versuchsdurchführung und die Zusammensetzung der „halbsynthetischen“ Nahrung entsprach internationalen Vorschriften (12, 13). Danach dient als Bezugsprotein eine Mischung von 95 Teilen Kasein + 5 Teilen DL-Methionin. In Gewichtsprozenten der Trockensubstanz hat die Nahrung gemäß den Vorschriften zu enthalten:

1. Proteinträger, jeweils so viel, daß die Mischung 10 % Rohprotein (1,6 % N) enthält	
2. Saccharose	10 %
3. Mineralstoffmischung	6 %
4. Vitaminvormischung (an Reisstärke)	2 %
5. Sojaöl	5 %
6. Cellulosepulver	4 %
7. Reisstärke	ad 100 %

Anstelle von Sojaöl wurde von uns Maiskeimöl verwendet und statt Reisstärke eine vorverkleisterte, kaltwasserquellende Maisstärke. Die Algensubstanzen waren nach der Ernte mittels Feinschicht-Walzentrocknung verarbeitet worden, wobei sie einer *kurzzeitigen Hoherhitzung* (120° C für 5–10 sec) ausgesetzt waren. Tagesrationen des trockenen Gesamtfuttermisches wurden un-

Tab. 1. Versuchsgruppen, Proteinträger, Versuchstiere

Gruppen- bezeich- nung	Proteinträger	Gehalt d. Proteinträgers % d. Trockenmasse		Versuchstiere	
		N	Roh- protein	Zahl n	mittleres Anfangs- gewicht in g \pm s
Vers.-Reihe I					
Ka I	Kasein + 5% DL-Methionin	14,37	89,81	10	54,4 \pm 2,9
Sc I	Scenedesmus obliquus	8,57	53,56	10	54,3 \pm 3,2
Coe I	Coelastrum proboscideum	10,33	64,56	10	54,4 \pm 3,5
Vers.-Reihe II					
Ka II	Kasein + 5% DL-Methionin	14,37	89,81	10	49,7 \pm 3,5
Coe II	Coelastrum proboscideum	7,21	45,07	10	49,7 \pm 3,8
Ur II	Uronema sp.	7,66	47,88	10	49,7 \pm 3,5

mittelbar vor der täglichen Fütterung durch Zusatz von kaltem Wasser (2 : 5) zu einem feuchten Brei angerührt, den die Tiere der trockenen Nahrung vorziehen. Vom pulvrigen Futtermisch jeder Gruppe wurden neben Trockengewichtsbestimmungen mindestens 10 N-Analysen durchgeführt, zwecks Überprüfung des vorausberechneten N-Gehaltes in der Trockenmasse (Tab. 2).

Die N-Bestimmungen erfolgten nach der *Makro-Kjeldahl*-Methode. Die wöchentlichen Harn- bzw. Fäzes-Ausscheidungen der 10 Tiere jeder Gruppe wurden für die Analytik vereinigt, so daß für diese Werte keine Standardabweichung angegeben werden kann. Aus einigen Stichproben ergibt sich jedoch ein Variationskoeffizient sowohl für die Harn- als auch für die Kot-Ausscheidung von rund 10 % des Mittelwertes. Zur Kontrolle der aus den N-Bilanzen *errechneten* NPU wurden mit Versuchsende auch die Tierkörper gruppenweise homogenisiert und analysiert und daraus die NPU *direkt bestimmt*.

Die endogene N-Ausscheidung (Uk bzw. Fk) des verwendeten Rattenstammes wurde für alle in den 3 Versuchswochen vorkommenden Körpergewichtsklassen in zusätzlichen Versuchen ermittelt. Diese Tiere wurden jeweils 7 Tage proteinfrei ernährt; die konstante minimale N-Ausscheidung des 5. bis 7. Tages wird als Uk bzw. Fk für die entsprechende Alters- und Gewichtsklasse eingesetzt. Unsere Werte für Fk stimmen mit den von zwei verschiedenen Arbeitsgruppen (14, 15) in der Literatur fast identisch beschriebenen Regressionsge-

raden überein. Die Angaben für Uk weichen stärker voneinander ab: Die Daten von Lehmann et al. (15) sind höher als die von Causeret et al. (14). Unsere eigenen Uk-Werte verlaufen zwar parallel mit den letzteren, sie liegen jedoch noch etwas niedriger.

Abkürzungen: Es werden die international üblichen, zumeist aus der englischen Sprache hergeleiteten Abkürzungen verwendet.

- Fk = Darmverlust-Stickstoff (Endogenous Faecal Nitrogen)
 Uk = Endogener Harn-Stickstoff (Endogenous Urinary Nitrogen)
 BV = Biologische Wertigkeit (Biological Value)
 NPU = Eiweißnutzwert (Net Protein Utilization)
 PER = Eiweißwirkungsgrad (Protein Efficiency Ratio)
 TD = Wahre Verdaulichkeit (True Digestibility)
 s = Standardabweichung (Standard Deviation)

Tab. 2. N-Gehalt der fertigen Nahrungsgemische

Gruppe	erforderliche Menge d. Proteinträgers % d. Gesamtnahrung	N in Trockenmasse % \pm s
Ka I	11,13	1,59 \pm 0,02
Ka II	11,13	1,60 \pm 0,01
Sc I	18,67	1,68 \pm 0,03
Coe I	15,49	1,65 \pm 0,02
Coe II	22,19	1,60 \pm 0,03
Ur II	20,89	1,62 \pm 0,02

Ergebnisse und Diskussion

Die Kasein-Kontrollgruppen beider Versuchsreihen weichen hinsichtlich Gewichtszunahme (Abb. 1) und PER – summiert über 3 Versuchswochen – etwas voneinander ab. Mitursache hierfür mag das unterschiedliche Durchschnittsgewicht bei Versuchsbeginn sein (Tab. 1); die Tiere der Versuchsreihe II waren einige Tage jünger als die der Reihe I und hatten dadurch in der 3. Woche noch eine größere Wachstumskapazität. Hauptanlaß für die Abweichung ist, daß die Gruppe Ka I zu Beginn der 3. Versuchswoche 3 Tage lang eine zu knapp bemessene tägliche Futterration erhielt, also nicht wie vorgeschrieben *ad libitum* versorgt war. Während die für die ersten zwei Testwochen ermittelte PER beider Kontrollgruppen mit 4,40 (Ka I) und 4,34 (Ka II) nahezu identisch ist, erreichte Ka I in der 3. Woche nur eine PER von 3,31 gegenüber 4,32 von Ka II. Hierdurch wird der über die gesamte Versuchszeit summierte PER-Wert für Ka I deutlich erniedrigt (Tab. 3). Für die Korrektur nach Campbell (16) kann deshalb nur das Ergebnis von Ka II zugrunde gelegt werden. Hinsichtlich der übrigen Proteinkennzahlen ergibt sich jedoch eine so gute Übereinstimmung der zwei Kontrollgruppen (Tab. 3), daß es berechtigt ist, die Versuchsgruppen mit Algennahrung beider Testreihen miteinander zu vergleichen.

Walzengetrocknetes Pulver der Grünalge *Scenedesmus obliquus* (Stamm 276-3a), wie es Gruppe Sc I als einzige Proteinquelle erhielt, ist in früheren Versuchen bereits mehrfach geprüft worden. Bock und Wünsche (10) fanden im Rattentest für diese Substanz eine NPU von 70,5.

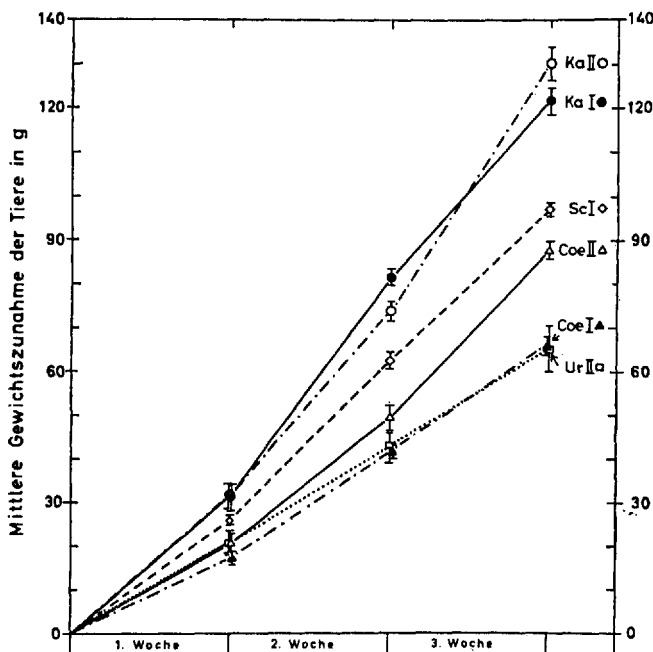


Abb. 1. Erläuterung s. Text auf Seite 76.

Bei einer scheinbaren Verdaulichkeit von 78,6 % (in unserem Versuch 78,3 %) geben sie jedoch die außerordentlich hohe TD von 96,4 an (möglicherweise wurde hier der Fk zu hoch angesetzt!), woraus dann die vergleichsweise niedrige BV von 73,1 resultiert.

Beim Vergleich der eigenen 1966 publizierten Ergebnisse von Ratten-Bilanzversuchen mit walzengetrocknetem *Scenedesmus* (9) sind mehrere methodische Unterschiede zwischen den früheren und den hier vorgelegten Experimenten zu berücksichtigen:

1. Die endogenen Anteile der N-Ausscheidung (Fk und Uk) waren damals nicht bestimmt worden. Eine Berechnung von TD, NPU und absoluter BV nach den heute gültigen Formeln (17) erfolgte deshalb nicht.
2. Die früheren Versuche wurden über längere Zeitabschnitte (4 Wochen + 6 Wochen) durchgeführt. Die meisten Proteinkennzahlen sind jedoch der Zeit umgekehrt proportional, sie werden kleiner bei längerer Versuchsdauer, d. h. mit zunehmendem Alter der Versuchstiere (18).
3. Damals erhielt die Kontrollgruppe ein Kasein, das nicht mit 5 % Methionin angereichert war. Dadurch war der Abstand zwischen der Kasein-Kontrollgruppe und der *Scenedesmus*-Versuchsgruppe bei unseren früheren Versuchen geringer als heute.

Bei Abwägung aller untersuchten Kriterien kamen Kraut et al. (9) zu dem Schluß, daß die relative biologische Wertigkeit des *Scenedesmus*-Proteins etwa 90 % von derjenigen nicht fortifizierten Kaseins beträgt. Gleichzeitig fanden Kofranyi und Jekat (19) in Versuchen an menschlichen Versuchspersonen für die gleiche Algensubstanz einen relativen Wert von 81 % des Bezugsproteins Vollei.

Tab. 3. Zusammenfassung der in 3 Versuchswochen ermittelten Proteinkennzahlen

Gruppe	PER \pm s	PER kor- rigiert ¹⁾	TD %	NPU be- rechnet ²⁾	NPU be- stimmt ³⁾	BV
Ka I	3,97 \pm 0,14	[2,30]	95,1	88,7	88,9	93,3
Ka II	4,32 \pm 0,10	2,50	94,1	87,2	85,3	92,7
Sc I	3,21 \pm 0,06	1,86	82,8	67,3	68,2	81,3
Coe I	2,48 \pm 0,11	1,44	77,8	53,1	55,7	68,2
Coe II	3,18 \pm 0,14	1,84	77,8	58,6	59,6	75,3
Ur II	2,47 \pm 0,14	1,43	81,8	44,9	46,1	54,9

¹⁾ PER korrigiert auf Ka II = 2,50 gemäß *Campbells correction* (16)

²⁾ NPU berechnet aus den N-Bilanz-Werten

³⁾ NPU bestimmt durch Analysen der Tierkörper

Die im vorliegenden Versuch mit der Gruppe Sc I erzielten Ergebnisse (Tab. 3) bestätigen erneut die gute Proteinqualität der Grünalge *Scenedesmus obliquus*. Je nachdem welche Parameter man vergleicht, erreicht dieses Algeneiweiß immerhin 74 % (PER), 77 % (NPU) und 88 % (BV) des Wertes von mit 5 % Methionin angereichertem Kasein.

Die Süßwasser-Grünalge *Coelastrum proboscideum* (Stamm Freising 1969) ist unseres Wissens noch nie im Tierversuch getestet worden. Diese Spezies erscheint uns besonders interessant, weil sie dank der Größe und Form der Zönobien gut filtrierbar ist und weil sie unter bestimmten Kulturbedingungen einen außerordentlich hohen N-Gehalt erreichen kann (bis zu 12 % N = 75 % Rohprotein). Die Rattengruppe Coe I erhielt ein *Coelastrum*-Pulver mit relativ hoher N-Konzentration, während an Coe II eine andere Charge mit besonders niedrigem Rohproteingehalt verabreicht wurde (Tab. 1). Zur Einstellung des Sollwertes von 1,6 % N in der Trockenmasse waren pro 100 g Gesamtnahrung für Gruppe Coe I nur ca. 15 g des Algenpulvers erforderlich, für Coe II dagegen über 22 g (Tab. 2). Der Ergebnisvergleich der beiden *Coelastrum*-Gruppen bestätigt, was auf Grund von Aminosäure-Analysen (20) zu erwarten war: Der höhere N-Gehalt von Coe I ist auf Anreicherung von nichtessentiellen N zurückzuführen. Bei gleich guter Verdaulichkeit sind die Proteinkennzahlen von Coe I deutlich niedriger als die von Coe II (Tab. 3). Auch das Wachstum der Coe-I-Gruppe ist erheblich schlechter (Abb. 1), da die Tiere bei 10 % Rohprotein im Futter nur noch mäßig mit Reinprotein versorgt waren. – Für die bessere Charge Coe II errechnen sich relative Werte von 74 % (PER), 67 % (NPU) bzw. 81 % (BV) des Bezugsproteins Ka II. Damit ist auch diese Substanz noch als verhältnismäßig gute pflanzliche Eiweißquelle anzusehen.

Das Beispiel der beiden in unterschiedlich zusammengesetzten Medien produzierten *Coelastrum*-Chargen zeigt, daß es möglich ist, mittels der Kulturtechnik den N-Gehalt einer Mikroalgenart zu beeinflussen. Im untersuchten Fall erfolgt die Erhöhung jedoch zu Lasten der Qualität des Rohproteins, gemessen im Rattentest. Die Ratte ist allerdings nur in begrenztem Maße fähig, unspezifisches N in der Nahrung mit zu verwerten

(21), während der Mensch unter Umständen beachtliche Anteile davon in seinen Eiweißstoffwechsel einbeziehen kann (22). Letzteres gilt auch für viele landwirtschaftliche Nutztiere. Für manche Verwendungszwecke kann es deshalb durchaus wünschenswert sein, Algensubstanzen mit hohem Rohproteingehalt zu erzeugen, selbst wenn die Qualität dieses „Proteins“ im Rattentest unbefriedigend erscheint.

Die fädige, mehrzellige Grünalge *Uronema* sp. (Stamm Bai 70/1) ist dank ihrer Größe besonders leicht aus der Kulturflüssigkeit zu gewinnen, hierfür ist nur ein feinmaschiges Sieb erforderlich. Leider sind die für diese Substanz ermittelten Proteinkennzahlen die niedrigsten von allen untersuchten Gruppen (Tab. 3). Bezogen auf die Kontrollgruppe Ka II, betragen die Werte für Ur II nur 57% (PER), 53% (NPU) bzw. 59% (BV) des fortifizierten Kaseins. Trotz eines für Mikroalgen nicht besonders hohen Gehaltes an Rohprotein (Tab. 1) und trotz dessen guter Verdaulichkeit ist die getestete *Uronema*-Substanz kein hochwertiger Eiweißträger. Allerdings muß gesagt werden, daß die optimalen Kulturbedingungen für diese Algenspezies noch nicht endgültig feststehen. Nach den oben beschriebenen Erfahrungen mit verschiedenen *Coelastrum*-Chargen könnte es immerhin möglich sein, unter abgeänderten Kulturbedingungen auch eine *Uronema*-Substanz von besserer Proteinqualität zu produzieren.

Abschließend bleibt festzuhalten: Die Rohprotein-Fraktion verschiedener Mikroalgenarten kann von unterschiedlicher Wertigkeit sein. Unter veränderten Kulturbedingungen kann sogar ein und dieselbe Spezies eine abweichende Konzentration und Zusammensetzung von N-Verbindungen aufweisen, was dann – zumindest im Rattenversuch – recht unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Qualität des Rohproteins zur Folge hat.

Die Untersuchungen wurden durch Finanzmittel des Landes Nordrhein-Westfalen ermöglicht, für deren Bereitstellung wir dem Ministerium für Wissenschaft und Forschung danken. Zugleich danke ich Frau C. Bienias, Frau I. Schwinge und Fräulein G. Wehmeier für die gewissenhafte Mitarbeit bei der Versuchsdurchführung.

Zusammenfassung

Die Proteinqualität einiger Algenarten des Süßwassers wurde in Ratten-Bilanzversuchen bestimmt (Tab. 1). Die verfütterten Mikroalgen-Substanzen waren mittels Feinschicht-Walzentrocknung kurzzeitig hocheerhitzt worden, was einen optimalen Zellaufschluß und eine gute Eiweißverdaulichkeit bewirkt.

Die Grünalge *Scenedesmus obliquus* erwies sich als eine pflanzliche Proteinquelle bester Qualität, gekennzeichnet durch eine PER von 3,21, eine NPU von 68 und eine BV von 81 (Tab. 3). – Von guter Qualität ist das Eiweiß der Grünalge *Coelastrum proboscideum*, mit Werten von 3,18 (PER), 59 (NPU) bzw. 75 (BV). In Abhängigkeit vom Kulturmedium kann es bei dieser Alge zu abnorm hoher Konzentration von nichtessentiellen N kommen, was den Wert der Rohprotein-Fraktion im Rattentest negativ beeinflusst. – Das Rohprotein der Grünalge *Uronema* sp., der größten Algenspezies der vorliegenden Testreihen, ist mit Proteinkennzahlen von 2,47 (PER), 45 (NPU) und 55 (BV) von vergleichsweise mäßiger Qualität.

Summary

The protein quality of some species of freshwater algae was determined by balance-tests with rats (table 1). The microalgal substances used for feeding had been subjected to short-term high-temperature treatment on a roller dryer,

which causes an optimal cell disruption and consequently, a good protein digestibility.

The green alga *Scenedesmus obliquus* proved to be a plant protein source of best quality, as revealed by a PER of 3.21, a NPU of 68 and a BV of 81 (table 3). – Protein from *Coelastrum proboscideum* is of good quality with values of 3.18 (PER), 59 (NPU) and 75 (BV). Depending on the culture medium abnormally high concentrations of non-essential N can be obtained in this alga, which influences negatively the value of the crude protein fraction in the rat-test. – The crude protein of the green alga *Uronema* sp., the largest species of the above test series, is of comparably low quality, with protein values of 2.47 (PER), 45 (NPU) and 55 (BV).

Literatur

1. Brown, L. R., PAG Bulletin **II/2**, 25–33 (1972). – 2. Soeder, C. J. und W. Pabst, Ber. Dtsch. Bot. Ges. **83**, 519–526 (1970). – 3. PAG Guideline 6 for the preclinical testing of novel sources of protein (New York 1970). – 4. PAG Guideline 7 for human testing of supplementary food mixtures (New York 1970). – 5. PAG Guideline 11 for the sanitary production and use of dry protein foods (New York 1972). – 6. PAG Guideline 12 on the production of single cell protein for human consumption (New York 1972). – 7. Johnston, H. W., Tuatara **18**, 19–35 (1970). – 8. Mitsuda, H., Utilization of *Chlorella* as food. Proc. 1st Intern. Congr. Food Sci. and Technol., Vol. 2, p. 529–539 (1965). – 9. Kraut, H., F. Jekat und W. Pabst, Nutr. Dieta **8**, 130–144 (1966). – 10. Bock, H.-D. und J. Wünsche, Möglichkeiten zur Verbesserung der Proteinqualität von Grünalgenmehl. Sitzungsber. Dtsch. Akad. Landwirtschaftswissenschaften **XVI/9**, 113–119 (1967). – 11. Clement, G., C. Giddey and R. Menzi, J. Sci. Food Agric. **18**, 497–501 (1967). – 12. Committee on Protein Malnutrition / Food and Nutrition Board: Evaluation of protein quality. National Acad. Sci. – National Research Council, Publ. **1100**, Washington, D.C. 1963. – 13. Arbeitskreis für Proteinbewertung / Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere: Vorschrift zur Proteinbewertung in Versuchen an wachsenden Ratten. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. **19**, 305–308 (1964). – 14. Causeret, J., D. Hugot et J. Arnoux, Ann. Biol. animale, Biochim. Biophys. **5**, 61–78 (1965). – 15. Lehmann, H., A. Hock und H. Bergner, Arch. Tierernähr. **18**, 280–291 (1968). – 16. Campbell, J. A., J. Agric. Food Chem. **8**, 323–327 (1960). – 17. FAO, Food Policy and Food Science Service, Nutrition Division: Amino acid content of foods and biological data on proteins. FAO Nutritional Studies No. **24**, Rome 1970. – 18. Braham, J. E., L. G. Elias, S. de Zaghi and R. Bressani, Nutr. Dieta **9**, 99–111 (1967). – 19. Kofranyi, E. und F. Jekat, Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem. **348**, 84–88 (1967). – 20. Müller-Wecker, H., Persönl. Mitt., unveröffentl. – 21. Jekat, F. und W. Pabst, Z. ges. exp. Med. **150**, 70–75 (1969). – 22. Kofranyi, E. und F. Jekat, Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem. **338**, 151–158 (1964).

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. Wolfgang Pabst, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Abteilung für Algenforschung und Algentechnologie, Dortmund