

## Über Futtereiweiß-Ersatzstoffe<sup>1)</sup>

Von Dr. W. GAUS, Ludwigshafen

Eingeg. 30. Juli 1937

### I. Die wirtschaftliche Aufgabe und die Möglichkeiten, sie zu lösen.

In der deutschen Nahrungsselbstversorgung besteht die empfindlichste Lücke beim Fett, dessen Bedarf in Höhe von rd. 1,7 Mill. t/Jahr bisher nur etwa zur Hälfte durch reine Inlandserzeugung gedeckt wurde. Aus klimatischen Gründen kann Fett in Deutschland über die Pflanze nur in sehr beschränktem Maße erzeugt werden. Man ist in der Hauptsache auf den mit großen physiologischen Verlusten verbundenen tierischen Veredelungsprozeß angewiesen, bei dem die im pflanzlichen Futter gegebenen Bodenleistungen über das Tier, besonders das Schwein und in überwiegendem Maße die Milchkuh (rd. 650000 t Milchfett), in Fett übergeführt werden. Die deutsche Milchfetterzeugung war aber weitgehend auf eingeführtes hochkonzentriertes Futtereiweiß (zeitweise bis zu etwa 1 Mill. t Ölkuchen-Eiweiß) angewiesen, das das eiweißarme bodeneigene Futter auf die für hohe Milchleistungen notwendige günstige Eiweißkonzentration brachte. Somit geht das Problem des Mangels an Nahrungsfett zum größten Teil zurück auf einen Mangel an Futtereiweiß für die Milchkuh. Die Hauptaufgabe bei der inländischen Futtereiweißerzeugung fällt der Landwirtschaft zu, die sie unter Führung der Regierung bereits energisch in Angriff genommen hat. In der verstärkten Düngung, im Anbau von eiweißreichen Früchten und Futterpflanzen, im Zwischenfruchtbau, in der Verbesserung des Grünlandes, der Verringerung der Eiweißverluste z. B. durch Silage usw. hat die Landwirtschaft noch erhebliche Möglichkeiten zur Eiweißmehrzeugung. Jedoch bedeuten die landwirtschaftlichen Wege eine Lösung meist erst auf längere Sicht. Sie bringen zudem vielfach nur eine teilweise Lösung wegen des besonders für die Hochleistungskühe notwendigen konzentrierten Eiweißfutters. Auch die saisonmäßige Zuspitzung des Eiweißmangels in den Wintermonaten ist durch Maßnahmen der Landwirtschaft nur teilweise zu beheben.

Somit erhebt sich die Frage, ob nicht die chemische Technik zur Schließung der Futtereiweißlücke beitragen kann. Grundsätzlich bestehen dazu drei Möglichkeiten:

1. Die direkte chemisch-technische Synthese von Eiweißstoffen (oder richtiger von Aminosäuren) kommt — obwohl theoretisch denkbar — auf absehbare Zeit noch nicht in Betracht, denn für deren vollwertige Ausnutzung wäre eine sehr große Vielfältigkeit der Eiweißbausteine erforderlich, zudem wäre ihre Darstellung meist zu schwierig.

2. Die technische Gewinnung von Hefe bzw. anderen Mikroorganismen, die ihre Körpereiweißsubstanzen aus Kohlenhydraten und synthetischen Stickstoffverbindungen aufbauen, wurde bereits im Kriege beim Delbrück'schen Lufthefeverfahren angewandt. Da heute die

1) Bemerkung der Redaktion: Der vorliegende Beitrag ist uns aus der Feder von Herrn Dr. Gaus und seinen Mitarbeitern, den Herren Dr. K. Schoenemann und Dr. A. Apel, bereits vor einem Jahr in sehr ausführlicher Fassung zugegangen. Da die Bearbeitung des Problems jetzt in immer weitere Kreise geht, hat Herr Dr. Gaus dankenswerterweise der Bitte der Redaktion entsprochen und unter Weglassung der Beschreibung und Diskussion der ausführlichen Versuchsunterlagen das zusammenfassende Ergebnis des seinerzeit eingereichten Manuskriptes zur Verfügung gestellt.

Beschaffung des Kohlenhydrates durch die Holzverzuckerung erleichtert und die Gärtechnik verbessert ist, stellt die fütterungsphysiologisch wertvolle Futterhefe zweifellos eine technische Lösung dar (in Notfällen sogar für die menschliche Ernährung). Die deutsche Holzbasis würde neben anderen Beanspruchungen zur Herstellung einiger 100000 t Eiweiß pro Jahr ausreichen, aber wegen der hohen Herstellungskosten (es sind rd. 4 Teile Glucose für einen Teil Eiweiß notwendig) und wahrscheinlich auch wegen der hohen Investierungskosten wird wohl nur ein relativ kleiner Teil des Fehlbedarfs über die Hefe gedeckt werden können.

3. Es verbleibt somit von den chemischen Möglichkeiten als entscheidend nur noch die unmittelbare Verfütterung von eiweißersetzen synthetischen Stickstoffverbindungen nichteiweißartiger Natur. Wenn die Frage der Fütterung mit chemisch-technisch hergestellten Eiweißersatzstoffen befriedigend gelöst werden könnte, würde dies eine besonders glückliche Verbindung insofern darstellen, als die hochentwickelte chemische Technik den Nachteil Deutschlands, der in der mangelnden Anbaufläche und dem Klima liegt, ausgleichen würde. Schon allein die Möglichkeit, im Notfalle einer Mißernte auf einen industriell herstellbaren Futtereiweißersatz zurückgreifen zu können, ist wertvoll.

Zur Gesamtlösung des deutschen Fett- und Eiweißproblems müssen indessen sämtliche Wege, die landwirtschaftlichen, die gärtechnischen und die chemisch-synthetischen, sich gegenseitig ergänzend und den regional und zeitlich verschiedenenartigen Bedürfnissen und Möglichkeiten angepaßt, herangezogen werden.

### II. Die physiologische Kernfrage.

Während die Pflanze in der Lage ist, Eiweiß unmittelbar aus den Grundsubstanzen, anorganisch gebundenem Stickstoff und Kohlensäure, zu synthetisieren, ist das Wirbeltier auf die im Futter gebotenen fertig vorgebildeten Eiweißbausteine, das sind sämtliche, nach Art und Menge zum Aufbau seines Körpereiweißes notwendigen Aminosäuren und höheren Peptide, angewiesen. Stickstoffverbindungen nichteiweißartiger Natur können ihm daher nicht unmittelbar als Eiweißbausteine dienen. Da das Eiweiß als Zell- und Milcheiweiß körperspezifisch ist und eine praktisch konstante Zusammensetzung hat, können auch einzelne Aminosäuren nicht bzw. nur in dem meist sehr geringen Maße, wie sie im Futter fehlende Bausteine „zum Minimum“ ergänzen, direkt verwertet werden. Mit Ausnahme weniger, für die praktische Fütterung un wesentlicher Aufbaureaktionen hat das Wirbeltier kein Synthesierungsvermögen für seine Eiweißbausteine. Lediglich den Wiederkäuer hilft man zu einer indirekten Ausnutzung nichteiweißartigen Stickstoffs befähigt: die in seinem Pansen, der dem Sekretmagen vorgelagerten geräumigen Gärkammer, in großen Mengen als Symbionten lebenden Mikroorganismen sollten (ähnlich wie die Pflanze) die nichteiweißartigen Stickstoffverbindungen assimilieren und daraus ihre Körpersubstanz aufbauen; diese Mikroorganismenkörpersubstanz sollte dann im weiteren Verdauungstraktus vom Makroorganismus verdaut, als vollwertiges Eiweiß resorbiert und ausgenutzt werden.

### III. Die Ergebnisse der früheren Fütterungsversuche.

Diese Hypothese wurde schon seit 40 Jahren — ursprünglich im Zusammenhang mit der Frage nach der Verwertbarkeit der „Amide“, jener nichteiweißartigen Vorprodukte der pflanzlichen Eiweißsynthese — studiert, indem man einen Teil des erfahrungsgemäß normalen Futtereiweißbedarfs durch synthetische Stickstoffverbindungen ersetzte und die Milch- bzw. Fleischzuwachsleistungen mit den bei Volleiweißfütterung erzielten verglich oder indem man die Stickstoffretention im Organismus feststellte. Man bediente sich dabei vornehmlich des technisch leicht zugänglichen und von grobschädlichen Bestandteilen, wie Säureresten und dgl., freien und zugleich charakteristischen Amides der Kohlensäure, des Harnstoffs; man arbeitete dann auch sehr bald auf das Ziel einer praktischen Verfütterung synthetischen Stickstoffs hin (aber in Anlehnung an die ursprüngliche Fragestellung nach der Verwertbarkeit der natürlichen „Amide“ durch den gegebenen Verdauungsapparat ohne besondere Rücksichtnahme auf die besonderen Anforderungen des zugrunde liegenden mikrobiologischen Umwandlungsprozesses).

Die Tierernährungslehre hat trotz der sehr zahlreichen Versuche die eigentliche Kernfrage, ob der Wiederkäuer überhaupt befähigt ist, nichteiweißartige synthetische Stickstoffverbindungen tatsächlich für seine Eiweißbildung auszunutzen, nicht genügend sicher beantworten können. Die Versuchsergebnisse waren teils positiv, teils negativ. Die Urteile lassen sich in zwei großen Gruppen zusammenfassen: die einen hielten die Eiweißersatzwirkung für wahrscheinlich und führten negative Ergebnisse lediglich auf schädliche Nebenwirkungen mannigfaltiger Art, wie z. B. unzureichendes und unzweckmäßiges Kohlenhydrat- und anderes Beifutter zurück, wohingegen die anderen eine Eiweißersatzwirkung glatt ablehnten und auch die beobachteten positiven Versuchsergebnisse, wie z. B. gleichbleibende Milchleistung bei Ersatz von einem Drittel des Futtereiweißes, nicht als eine Verwertung der Amide deuteten, sondern darauf zurückführten, daß die verminderte Volleiweißration schon allein für die Leistung ausreichend gewesen, daß Körpereiweiß eingeschmolzen wäre und dgl., alles Einwände, die nach der neuesten Kenntnis über die tiefgreifenden Stimulationswirkungen des Nahrungsseiweiß auf die verschiedensten Stoffwechselvorgänge auch experimentell schwer zu entkräften sind.

### IV. Die neuen Gesichtspunkte für die Auswahl und Herstellung der Futtereiweiß-Ersatzstoffe.

In den letzten zwei Jahren wurden solche Fütterungsversuche mit synthetischem Stickstoff aus der verstärkten Notwendigkeit heraus besonders durch den Forschungsdienst des Reichsnährstandes in größerem Umfange als je zuvor — und mit ermutigenden Ergebnissen — fortgesetzt. Im Gegensatz zu früheren Versuchen wurden bei der Herstellung der dafür benutzten Futterpräparate neue Gesichtspunkte berücksichtigt, die sich aus unserem mikrobiologischen und chemischen Studium der Eiweißersatzfrage, dessen Einzelheiten hier wegen des beschränkten Raumes nicht beschrieben werden können, ergaben.

Bei der Bedeutung, die den Mikroorganismen des Pansens im Rahmen des Gesamtproblems zukommt, ist es notwendig, hier kurz zu erörtern, welche Hauptfunktionen sie haben und welche Bedeutung für den Eiweißhaushalt des Wirtstieres man von ihnen wird erwarten dürfen, einmal auf Grund ihrer Körpermasse rein mengenmäßig, und dann auf Grund ihrer Ansprüche an die Qualität des zu assimilierenden Stickstoffs. Denn wenn man annimmt, daß der durchschnittliche Futtereiweißbedarf einer Milchkuh in Höhe von

rd. 1,2 kg pro Tag zu einem Viertel ersetzt werden soll, müßten in deren Pansen täglich rd. 300 g Mikroorganismenkörpereiweiß, d. i. größenordnungsmäßig etwa 4 kg an Mikroorganismensubstanz, aus synthetischem Stickstoff zuwachsen.

Es sind im wesentlichen zwei Mikroorganismenarten zu betrachten, die **Pansenbakterien** und die **Pansenprotozoen** (vgl. Abb.), die beide charakteristische Arten ihrer Klasse sind. Sie leben in enger Symbiose mit dem Wirtstier und sind so spezifisch an das Pansenmilieu angepaßt, daß sie nur dort vorkommen; ihre seit Jahrzehnten versuchte Züchtung *in vitro* ist erst vor wenigen Jahren (und nur bedingt) gelungen (*Pochon, Westphal*).

Den Pansenbakterien kommt wegen ihrer Hauptfunktion, die Cellulosemembranen des pflanzlichen Futters aufzuschließen und den eiweißreichen Zellinhalt für die Sekretverdauung freizulegen, eine lebenswichtige Bedeutung für die Verdauung des Wiederkäuers zu. Die schnelle Auflösung der großen Cellulosemengen läßt auf eine hohe Dichte der Bakterien schließen. Ihr Anteil am Gesamt-N des Panseninhalts ist übereinstimmend zu rd. 11 % bestimmt worden; wenn sie in dieser Konzentration mit der Futtermasse in den Darm übergehen, könnten sie durch ihre N-Assimilation nur mit diesem Anteil zu der Gesamteiweißversorgung beitragen. Ein höherer Beitrag wäre nur denkbar, wenn ihre Dichte durch die Beifütterung synthetischen Stickstoffs wesentlich erhöht würde, oder wenn sie, wie es wahrscheinlich ist, ihrerseits von den Protozoen gefressen

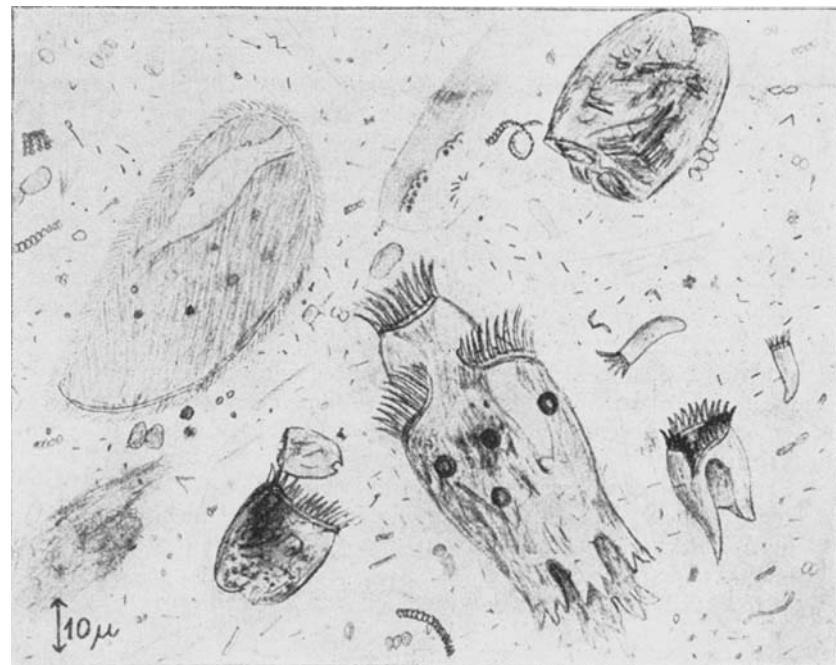


Abb. 1. Protozoen und Bakterien des Pansens (1:750).

werden und dann in Form von Protozoenkörpereiweiß in den Darm übergehen. Ob die Pansenbakterien, denen in ihrem natürlichen Medium ein Überschuß an vollwertigem pflanzlichem Eiweiß zur Verfügung steht, auf die einfacheren und schwieriger umzubauenden synthetischen Stickstoffverbindungen zurückgreifen würden, war bei ihrer sonstigen sehr spezifischen Anpassung beinahe unwahrscheinlich, zumindest noch zu beweisen.

Die Bedeutung der Pansenprotozoen für die Ernährung des Wiederkäuers ist bisher nicht eindeutig geklärt und stark umstritten. Gegen die Auffassung, daß sie bedeutungslose Konsensale oder gar Parasiten seien, spricht die große Dichte von normal 1000 Protozoen pro Kubikmillimeter, mit der sie im Pansen vorkommen, gegen ihren positiven Einfluß auf den Stickstoffwechsel die gleiche Nutzung des pflanzlichen Futters durch protozoenfrei gemachte Tiere. Die täglich in den Darm zur Verdauung gelangende Protozoeneiweißmenge macht einen bedeutenden Anteil des gesamten Eiweißgehaltes der Futtermasse aus. Denn das Protozoeneiweiß beträgt etwa 25 %<sup>2)</sup> des Gesamt-N-Gehalts (normal 0,3 %) des Panseninhalts (durchschnittlich rd. 60 kg), das sind etwa 250 g Protozoeneiweiß. Da täglich ungefähr zwischen 30 und 60 kg Futter, Tränk Wasser und Speichel unter Durchmischung mit der Pansenfüllung und mit der durchschnittlichen Protozoendichte beladen in den Darm abfließen, werden bei normaler Dichte täglich ungefähr 125—250 g Protozoeneiweiß in den Darm gelangen. Genauer, ohne die unsicheren Annahmen über die absolute Durchflußmenge, läßt

<sup>2)</sup> Von den in der Literatur gemachten Angaben halten wir auf Grund eigener Untersuchungen die Werte von *Mangold* und *Ferber* für zu niedrig und die höheren von *Schwarz* für zutreffend.

sich diese Menge aus der von *Westphal* bestimmten Teilungsdauer dieser Einzeller von durchschnittlich 12 h errechnen, lediglich unter der wohl zutreffenden Annahme, daß der Zuwachs der Protozoen und ihr Abgang in den Darm sich zu einer über längere Zeit konstant bleibenden Gesamtzahl ausgleichen, daß fester und flüssiger Panseninhalt nach längerer Verweilzeit in einigermaßen gleichbleibendem Strome abfließen und daß der jeweilige Gehalt des Pansens an Protozoeneiweiß, wie oben gesagt, 250 g beträgt. Die täglich in den Darm abgehende Menge Protozoeneiweiß beträgt dann

$$\log \text{nat } 2 \cdot 250 \text{ g} \cdot \frac{24 \text{ h}}{12 \text{ h}} = 367 \text{ g}$$

und bei der in Zeiten der Trächtigkeit erhöhten Dichte wesentlich mehr. Mengenmäßig machen also die Protozoen einen bedeutsamen Anteil des gesamten zur Verdauung gelangenden Eiweißes aus.

Über die Frage, ob die Pansenprotozoen in der Lage sind, diese große Menge physiologisch vollwertiges Körpereiweiß auch aus einfachen synthetischen N-Verbindungen aufzubauen, sind viele, meist sehr theoretische Meinungen ausgesprochen worden; sie ist wohl nur durch bakterienfreie Reinkulturen *in vitro* zu klären, die aber bisher noch nicht gelungen sind. Nach der heutigen Kenntnis über das qualitative Stickstoffbedürfnis anderer Protozoenarten und in Analogie zu der allgemeinen Beobachtung, daß diese mit der phylogenetischen Höherentwicklung der Art eine immer „eiweißähnlichere“ Stickstoffnahrung brauchen, kann man bei den Pansenprotozoen, die mit ihren differenzierten Nahrungsaufnahme-, Verdauungs-, Ausscheidungs- und Bewegungsorganellen als sehr hoch organisiert zu betrachten sind, kein bedeutsames Synthesievermögen aus einfachen Stickstoffverbindungen erwarten. Unsere Versuche *in vitro* haben auch keine Anhaltspunkte dafür gegeben. Es ist eine von der Biologie noch nicht geklärte Frage, inwieweit die Protozoen dadurch, daß sie die Bakteriendichte stets unter dem biologischen Grenzwert der Populationsdichte halten, den Bakterienzuwachs begünstigen.

Wir gingen aus von der — auf Grund des positiven Teils der früheren Fütterungsversuche berechtigten, aber durch die neuen Fütterungsversuche erst noch als richtig zu erweisenden — Grundidee, daß die Mikroorganismen des Pansens sowohl ihrer Masse als auch auch ihrem Synthesevermögen nach auf irgend eine Weise soviel synthetischen Stickstoff in vollwertiges Eiweiß umwandeln können, daß ein für die Praxis bedeutsamer Teil des Gesamteiweißbedarfs ersetzt werden kann. Darüber hinaus hielten wir für die auszuwählenden bzw. herzustellenden Eiweißersatzstoffe folgende Vorbedingungen für unerlässlich:

1. sie müssen absolut unschädlich sein (im weitesten Sinne),
2. der synthetische Stickstoff muß den Mikroorganismen im Pansen ohne jede Unterbrechung und in möglichst gleichmäßiger Konzentration zur Verfügung stehen,
3. der Stickstoff muß (auch bei Erfüllung von 1 und 2) leicht assimilierbar sein,
4. die normalen Funktionen des Pansens dürfen nicht beeinträchtigt werden.

Die Nichterfüllung der ersten Vorbedingung, der Unschädlichkeit, war, wie wir in einer großen Anzahl von Kulturversuchen *in vitro* mit Pansenprotozoen aufklären konnten, die häufige Ursache früherer Mißerfolge bei Fütterungs- und Leistungsversuchen. Durch das im Pansen in reichlichen Mengen vorhandene Enzym Urease wird Harnstoff unter den vorherrschenden Bedingungen sehr rasch aufgespalten. Das entstehende Ammoniak führt, sofern es nicht durch eine besonders starke, aber von der Art des Kohlenhydratfutters abhängige und daher mehr oder minder zufällige Säuregärung neutralisiert wird, zu einer Alkalisierung des Panseninhalts, gegen die sich das Tier nicht selbstregulierend — wie sonst, z. B. gegen Säuerung durch den alkalischen Speichelfluß — schützen kann. Diese Alkalisierung bewirkt, selbst wenn man unmittelbare Verätzungen noch nicht in Betracht zieht, tiefgreifende Verdauungsstörungen, die sehr pH-empfindlichen Protozoen sterben ab und der bakteriell-enzymatische Eiweißabbau und die Entaminierung von Aminosäuren, d. h. also die Eiweißverluste, nehmen zu.

Da der Harnstoff wegen seiner Billigkeit und seiner Eigenschaft als neutrale und chemisch indifferentie N-Ver-

bindung nach Möglichkeit als Ersatzstoff beibehalten werden sollte, war unser nächstes Ziel, ihm die besonders in der Praxis gefährliche Spaltbarkeit durch Urease mittels chemischer Maßnahmen zu nehmen. Wir versuchten dies durch Überführung in verschiedene charakteristische Substitutions- und Kondensationsprodukte: Carboxyldiharnstoff, der noch die reine Kohlensäureamidstruktur hat und durch Urease zwar auch weitgehend, aber langsam gespalten wird, ferner Glykocyanin als Imid der Harnstoffessigsäure sowie die aus Harnstoff und Glucose unter Austritt von 1 bis 2 Mol Wasser gebildeten Kondensationsprodukte, die beide auch unter verschärften Bedingungen vollkommen ureasefest sind, und schließlich Adsorptionsverbindungen des Harnstoffs an Kohlenhydrate. Diese letzteren Produkte sind durch den Umstand, daß die chemischen Reaktionen des Harnstoffs noch vorhanden, aber die Röntgeninterferenzen des Harnstoffs schon verschwunden waren, als Adsorptionsverbindungen gekennzeichnet. Es zeigte sich, daß diese bloße adsorptive Bindung genügte, um die Ureaseempfindlichkeit stark herabzusetzen.

Einen wertvollen und empfindlichen Test zur Erkennung und Behebung von schädlichen Nebenwirkungen der Eiweißersatzstoffe stellte die nach der Methode von *Westphal* durchgeführte Kultur von Pansenprotozoen *in vitro* dar. Die einzelnen Arten sind gegen verschiedenartige Einflüsse sehr verschieden empfindlich. Wenn also die leicht feststellbare prozentuale Zusammensetzung der Protozoenfauna sich durch die Ersatzfütterung nicht änderte und die Vitalität der Protozoen nicht abnahm, waren die Präparate als unschädlich anzusehen. Diese Vorprüfung wurde an lebenden Tieren bestätigt. Bei den auf dem Limburgerhof vom Januar bis Ende April 1936 durchgeführten Milchleistungsversuchen bei 40—50 % Eiweißersatz durch „Amidschnitzel“ (Harnstoff + Zuckerrübenschneide) wurde die Protozoenfauna laufend beobachtet und festgestellt, daß sowohl bezüglich ihrer Zusammensetzung als auch Vitalität keinerlei Änderung eintrat und kein Unterschied gegenüber mit Volleiweiß ernährten Tieren festzustellen war.

Doch mußte bei diesen Bestrebungen zum Ureaseschutz zugleich, als zweite Vorbedingung der mikrobiologischen Eiweißsynthese, die konstante Konzentration des synthetischen Stickstoffs im Pansen im Auge behalten werden. Wenn auch die Futteraufnahme diskontinuierlich erfolgt, so ist doch die Verdauung ein kontinuierlicher Vorgang; die allmählichen, sich über die ganze Verdauungszeit erstreckenden Zellaufschlüsse und Diffusionsvorgänge gewährleisten eine über längere Zeit praktisch gleichbleibende Nährstoffzusammensetzung und -konzentration der Pansenflüssigkeit. Darin stellt sich nun, nach Zusammensetzung und Dichte, diejenige Bakterienflora ein, der diese Bedingungen besonders zusagen. Diesem Umstand muß bei der Eiweißersatzfütterung wegen der bekannten Abhängigkeit der Bakterien von allen Milieuinflüssen erhöhte Beachtung geschenkt werden. Werden, wie es bisher der Fall war, leichtlösliche synthetische Stickstoffverbindungen als Eiweißersatz verabreicht, so herrscht unmittelbar nach der Futteraufnahme eine hohe Konzentration des synthetischen Stickstoffs. Diese nimmt dann, zum Teil assimiliert, zum großen Teil aber durch den gegenüber den festen Bestandteilen schneller fließenden Flüssigkeitsstrom ungenutzt abgeschwemmt, rasch ab, so daß das Medium bis zur nächsten Fütterung praktisch frei von synthetischem Stickstoff ist. Das Ziel, die Pansenflora als Ganzes an die neuartigen Stickstoffquellen zu gewöhnen — wobei es im Prinzip gleichgültig ist, ob dies durch Anpassung der vorhandenen Arten oder durch Hervorzüchtung neuer, den synthetischen Stickstoff besonders leicht assimilierender Bakterienarten geschieht —, ist mit leicht löslichen N-Verbindungen nur sehr unvollkommen zu erreichen. Auf diese Weise ist eher mit einem die Wirkung herabsetzenden dauernden Wechsel von Degeneration und Regeneration der stickstoffassimilierenden Bakterienarten zu rechnen. Durch die adsorptive Bindung des Harnstoffs an Kohlenhydrate ist man schon einen Schritt in der gleichmäßigen

Dosierung des Stickstoffs im Pansen vorwärtsgekommen. Ein weiterer Weg besteht darin, den Harnstoff durch Substitutions-, Kondensations- bzw. Polymerisationsreaktionen in schwerer lösliche Verbindungen überzuführen und diese in möglichst schwer auflösbarer Form (Körner, Flocken usw.) dem Futter beizumischen, so daß sich ihre Konzentration nach Maßgabe ihrer Löslichkeit bzw. Lösungsgeschwindigkeit selbsttätig konstant einstellt. Bei all diesen Umwandlungsprozessen ist jedoch darauf zu achten, daß auch die dritte Voraussetzung, die leichte Assimilierbarkeit des Stickstoffs gewährleistet bleibt.

Unsere Kultur- und Stoffwechselversuche in vitro, die wir zur unmittelbaren Aufklärung der bakteriellen Eiweißsynthese mit den typischen lebenswichtigen Bakterien des Pansens, den Cellulosezersetzern, und in enger Anlehnung an die natürlichen Bedingungen durchführten, ergaben, daß die verschiedenen Stickstoffverbindungen verschieden leicht assimilierbar sind: der Harnstoff und die organischen Ammoniumsalze wurden am besten assimiliert. Glykokoll, das als völlig indifferent vorteilhaft und dessen großtechnische Herstellung zu tragbaren Preisen heute ebenfalls möglich wäre, ist dem Harnstoff unterlegen. Das Glykocystamin, von dem wir als komplizierter Aminosäure, wegen der verschiedenartigen Bindungsform seiner drei N-Atome und wegen seiner günstigen mittleren Löslichkeit, eine besonders günstige Eiweißersatzwirkung erhofften, erwies sich als schwer assimilierbar. Der ähnlich schwer lösliche und daher stets nur in geringer Konzentration vorhandene Carbonyldiharnstoff wurde gut assimiliert, was für eine spezifische Assimilierbarkeit des Ammon-N spricht. Durch die unter Wasseraustritt erfolgende Kondensation des Harnstoffs mit Glucose, die den Harnstoffcharakter chemisch völlig verändert, wurde die Assimilierbarkeit nicht aufgehoben. Soweit die Eiweißsynthese durch die Bakterien vollbracht wird, ist es danach nicht notwendig, den Stickstoff in einer möglichst „eiweißähnlichen“ Bindungsform darzubieten (im Gegensatz zu den Protozoen, die, wenn sie überhaupt zur Eiweißsynthese befähigt sind, wahrscheinlich eine solche Bindungsform erfordern würden).

Da bei der Auswahl von N-Verbindungen für die praktische Eiweißersatzfütterung außer diesen physiologischen Gesichtspunkten noch die technischen und wirtschaftlichen Herstellungsmöglichkeiten berücksichtigt werden mußten, begannen wir mit einfachen Präparaten aus Harnstoff und pflanzlichen Kohlenhydraten wie Kartoffel und Rübenschneide, bei denen der Stickstoff zum großen Teil gegen die Ureasespaltung geschützt und auch die Forderung der langsam, dosierenden Auflösung bis zu einem gewissen Grade erfüllt war. Unter Leitung des Reichsnährstandes sind damit in den letzten zwei Jahren umfangreiche Fütterungsversuche mit Milchkuhen durchgeführt worden, die fast durchweg zu positiven Ergebnissen führten: wenn einer Versuchsgruppe die üblichen Normalrationen Volleiweiß dargeboten und zum Vergleich bei der Parallelgruppe ein Drittel des Eiweißes durch die N-äquivalente Menge synthetischen Stickstoffs ersetzt wurde, war die Milchleistung bzw. die N-Retention praktisch die gleiche. Allerdings bleibt immer noch eine Reihe von Einwänden bestehen, und die Versuchsansteller sind in der Beurteilung der letzten Frage, ob diese Harnstoffpräparate wirklich schon ein brauchbares Eiweißersatzmittel darstellen, sehr vorsichtig. Ein alle Einwände ausschaltender experimenteller Beweis, wie man ihn wünscht, fehlt aber nach wie vor und wird bei dem heutigen Stand der Tierphysiologie und den ungeheuren Schwierigkeiten gerade des Eiweißstoffwechsels wohl auch gar nicht so leicht zu erbringen sein.

Bei diesem Stand der Dinge kann man der zweifelnden Frage, ob das Problem nicht viel zu kompliziert sei für eine

Weiterbearbeitung durch Fütterungsversuche und — noch kritischer — ob überhaupt die physiologischen Grundlagen für die mikrobiologische Eiweißsynthese gegeben sind, eine gewisse Berechtigung nicht absprechen, insbesondere, wenn man sich darüber klar ist, welche mengenmäßige und qualitative Leistung von den Bakterien verlangt wird. Wenn die Eiweißersatzfütterung eine praktische Bedeutung haben soll, müßten pro Milchkuh und Tag mindestens 300 g Mikroorganismeneiweiß synthetisiert werden. Da die täglich in den Darm abfließende Bakterienmasse nur etwa 250 g oder höchstens (unter der Annahme, daß noch die Hälfte des abfließenden Protozoeneiweißes aus bakteriell synthetisiertem Eiweiß besteht) 400—500 g Eiweiß beträgt, müßten die Bakterien ihre Körpersubstanz überwiegend aus dem pansenfremden synthetischen Stickstoff aufbauen, was um so schwerer vorstellbar ist, als sie weitgehend an das pansenpezifische vollwertige Eiweiß angepaßt sind. (Nach dieser mengenmäßigen Betrachtung könnte man bei Versuchen mit leicht löslichen Stickstoffverbindungen, die jeweils nur zeitweise für die Assimilation im Pansen zur Verfügung standen, eine positive Wirkung gar nicht erwarten.) Unsere Assimilationsversuche in vitro haben jedoch überraschenderweise ergeben, daß die typischen Pansenbakterien tatsächlich in der Lage sind, einfache synthetische Stickstoffverbindungen zu assimilieren. Sie assimilierten den synthetischen Stickstoff sogar bevorzugt vor dem Eiweißstickstoff und auch bei niederer Konzentration, praktisch bis zur Erschöpfung. Während sonstige Änderungen des pansenpezifischen Milieus (wie pH usw.) den lebenswichtigen Celluloseabbau, der die starke Ausnutzbarkeit des pflanzlichen Futtereiweißes bestimmt, stark herabsetzen, paßten sich die Bakterien an die veränderte Stickstoffzusammensetzung schnell an: der Celluloseabbau wurde durch die Beigabe nicht nur nicht beeinträchtigt, sondern sogar absolut gefördert, die durch Stärkezusatz verursachte sogenannte „Celluloseverdauungsdepression“ wurde aufgehoben.

## V. Gesamtbeurteilung der Aussichten der Eiweißersatzfütterung.

Daß der exakte, umfassende und gegen jeden Einwand gesicherte Nachweis der Eiweißersatzwirkung noch nicht erbracht ist, darf — so sehr dieser Mangel dem Wissenschaftler gegen das Gefühl geht — bei der Beurteilung der Aussichten nicht den Ausschlag geben. Zusammen mit den Kulturversuchen in vitro betrachtet, können die positiven Fütterungsergebnisse kaum mehr als rein zufällig gedeutet werden. Die Frage der Futtereiweißselbstversorgung ist so dringend, daß wir uns nicht davon abhalten lassen dürfen, sie weiterzubearbeiten, lediglich weil wir noch nicht alles messen und wägen können. Die Entwicklung der Landwirtschaft zeigt so viele Beispiele, daß hervorragende Leistungen auf Grund reiner Empirie vollbracht wurden, deren Richtigkeit und Zweckmäßigkeit die Wissenschaft erst lange hinterher beweisen konnte, daß uns bezüglich der Eiweißersatzstoffe die heutige Fundierung unserer Arbeitshypothese<sup>3)</sup> genügen sollte, um — mit aller Vorsicht selbstverständlich — einmal die nächste Etappe der Tierernährungslehre und der Fütterungspraxis überlassen zu können.

[A. 89.]

<sup>3)</sup> Dabei darf man sich nicht auf die hier als besonders günstig erkannten Harnstoffkohlenhydratkombinationen beschränken und alle anderen Ersatzprodukte aus der weiteren Bearbeitung ausschalten. Spricht doch z. B. die Isolierung eines Pansenkeimes, der mit großer Geschwindigkeit einzelne Aminosäuren wie z. B. auch Glykokoll entaminierte, für die Möglichkeit, auch noch geeignete Aminosäuren zu finden, die über eine intermediäre Entaminierung assimiliert werden und zum Aufbau von Mikroorganismeneiweiß geeignet sind.