

Zur biologischen Eiweiß-Synthese*)

Von HERMANN FINK

Ordentl. Professor an der Universität Berlin und wissenschaftl. Direktor des Instituts für Gärungsgewerbe und Stärkefabrikation, Berlin

Eingep. 10. Juni 1938

A. Theoretische Grundlagen.

Während bei den chlorophyllhaltigen Pflanzen letzten Endes alle Energie zum Aufbau von Körpersubstanz durch die Einstrahlung des Lichtes und seine photochemische Umwandlung bestritten wird, sind es bei den chlorophyllfreien Pflanzen vorwiegend chemische Abbauvorgänge an organischen Substanzen, wie Atmung und Gärung, welche die Energiebeschaffung für den Aufbau neuer Zellen übernehmen. Bei den Hefen und anderen Mikroorganismen sind, je nach den Umständen, die Gärung oder die Atmung als energieliefernde Vorgänge gekoppelt mit den energieverbrauchenden Vorgängen bei der Synthese neuer Zellschubstanz bei der Vermehrung.

Findet man nun in der zugewachsenen Zellschubstanz der Mikroorganismen besonderen Reichtum an hochwertigem Eiweiß, so pflegt man von biologischer Eiweiß-Synthese, zeichnet sich die Zellmasse der massenhaft gebildeten Mikrobenleiber durch hohen Fettgehalt aus, von biologischer Fett-Synthese zu sprechen.

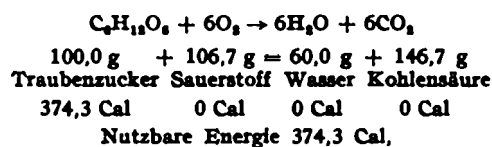
Bei der alkoholischen Gärung durch lebende Hefe, bei der sich normalerweise, selbst wenn Nährsalze vorhanden sind, nur sehr wenig neue Hefe bildet, ist die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure die Hauptreaktion. Das hierbei ganz unbedeutende Hefewachstum als Zellschubstanzsynthese ist eine untergeordnete Nebenreaktion, die ebenso wie die anderen Nebenreaktionen der vitalen Gärung verursachen, daß die Ausbeuten an Alkohol und Kohlensäure pro Zuckereinheit je nach den Umständen um 5—15% niedriger liegen, als es die *Gay-Lussacsche* Gärungsgleichung fordert (Tab. 1a).

Tabelle 1a. Gärung auf Alkohol.

Gleichung:	$C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$
Theor. Ausbeute:	100,0 g Traubenzucker \rightarrow 51,1 g Alkohol + 48,9 g Kohlensäure
Prakt. Ausbeute:	5—15% niedriger
Theor. Energieausbeute:	$\frac{364,9}{374,3} = 97,5\%$
Prakt. Energieausbeute:	93—86%.

Vom Standpunkt der Energiebilanz sagt diese wichtige Gleichung aus, daß wir in dem gebildeten Alkohol rund 97,5% des Energiegehaltes des Traubenzuckers wiederfinden und daß im besten Falle nur 2,5% der Energie verfügbar sind. Der Gewinn an nutzbarer Energie, die für eine Nebenreaktion, wie z. B. das Hefewachstum, dienen könnte, ist also bei der alkoholischen Gärung des Zuckers minimal.

Würden wir die gleiche Menge Zucker zu den Endprodukten Kohlensäure und Wasser in Sauerstoffgegenwart verbrennen oder in einem biologischen Vorgang veratmen nach der Gleichung



*) Vorgetragen auf dem X. Internationalen Chemie-Kongreß in Rom, am 16. Mai 1938. (Gekürzte Fassung.)

so würde bei dreifachem Kohlensäureanfall etwa die vierzigfache Zahl Calorien frei werden, die für eine Aufbaureaktion zur Verfügung stehen könnte, nämlich 374,3 Cal. Demgemäß werden die Verhältnisse in bezug auf Alkohol und Zellschubstanzbildung grundsätzlich anders, wenn Sauerstoff bei der Gärung reichlich Zutritt hat, wenn wir also bei gleichzeitiger Anwesenheit der nötigen Nährsalze mehr oder weniger intensiv lüften. Durch den Sauerstoff der Luft wird die Vermehrung der Hefe stark angeregt, allerdings für die einzelnen Rassen in verschieden starkem Maße. Vom energetischen Standpunkt aus betrachtet, erklärt sich das dadurch, daß nunmehr ein Teil des Zuckers mit etwa vierzigfachem Energiegewinn veratmet werden kann. Für die Zellvermehrung als gekoppelte biologische Reaktion steht dann viel mehr Energie zur Verfügung. Wir ernten also, wenn wir lüften, schon wesentlich mehr Hefe und dafür weniger Alkohol.

Es gibt nun bekanntlich sog. wilde Hefen, auch Wuchshefen genannt, die bei denkbar intensiver Sauerstoffzufuhr fast ausschließlich sich vermehren, also biologische Stoffsynthesen vollführen und dafür gar keinen oder doch nur Spuren von Alkohol oder anderen Stoffwechselprodukten, außer Kohlensäure, produzieren. Bei diesen Hefen kann die biologische Stoffsynthese und damit auch besonders die Eiweißsynthese, ganz und gar zur Hauptreaktion werden und die Alkoholbildung zu einer ganz unscheinbaren Nebenreaktion. Es sind das jene Hefen, die eben das können, was wir, technisch betrachtet, für die Futterhefegewinnung brauchen, bei der ja der Alkohol aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht gewonnen werden kann.

Für diese unvergleichbar komplizierten Vorgänge beim Aufbau der mannigfaltig zusammengesetzten Hefezellschubstanz gab es bisher noch keine gesicherte Anschauung, viel weniger eine Gleichung, obwohl sich die Forschung verschiedentlich in dieser Richtung bemüht hat.

Fast bei allen diesbezüglichen Untersuchungen, so auch bei den beachtenswerten Vorarbeiten von *Ejffron*¹⁾ und *Olaassen*²⁾ sind Kulturhefen verwendet worden, die weniger taugliche Objekte darstellen, da sie sich auch unter optimalen Wachstumsbedingungen nicht in dem Grade von der Gärung zu Alkohol auf uneingeschränkte Zellschubstanzbildung einstellen können, wenigstens nicht in Nährlösungen aus reinen Substanzen.

Es wurden nun Modellversuche mit reinem Zucker und Nährsalzen angestellt, bei denen die Frage studiert werden sollte, wie hoch man mit der Ausbeute an Hefezellschubstanz von bestimmter Zusammensetzung kommen kann, wenn man alle Bedingungen für die Hefevermehrung optimal wählt. In Dutzenden von eingehend bilanzierten Modellzüchtungsversuchen mit Torulahefe sind wir gemeinsam mit *Krebs*³⁾, einen beliebigen Fall herausgegriffen, zu folgenden Ergebnissen gekommen:

100 g reiner Traubenzucker + Nährsalze geben
210 g Hefe (25% Trockensubstanz mit 59,4% Eiweiß) + 53,5 g CO_2 + 0,02 g Alkohol.

¹⁾ M. J. Ejffron, C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. 184, 1302 [1927]; Ann. Brasserie Distillerie 1928/27, 166, 294.

²⁾ H. Olaassen, Biochem. Z. 228, 154 [1930]; Z. Ver. dtach. Zuckerind., 84, 729 [1934].

³⁾ Vgl. H. Fink, Vorratspflege und Lebensmittelforschung 1, 56 [1938]; ferner J. Krebs, Diss. Universität Berlin 1938, unveröffentlicht.

Solche Ausbeute an Hefe ist im standardisierten Modellversuch mit verhältnismäßig geringen Schwankungen von wenigen Prozenten reproduzierbar, die Werte stellen die praktisch erreichbare Höchstaussbeute aus reinen Substanzen dar; sie konnten bisher weder durch Zusatz von Hormonen und Vitaminen, einzeln und in Kombination angewandt, noch durch besondere Bedingungen, wie z. B. Lüftung mit reinem Sauerstoff statt Luft, weiter gesteigert werden. Die Alkoholgärung ist somit zu einer unscheinbaren Nebenreaktion geworden, während die Hefevermehrung als biologische Stoffsynthese eindeutig als Hauptreaktion in den Vordergrund tritt. Da sich die geerntete Hefe durch besonders hohen Eiweißgehalt von bis zu 60% und mehr auszeichnet, mag die heute eingebürgerte Bezeichnung „biologische Eiweiß-Synthese“ voll berechtigt erscheinen.

Wenn wir auch hier wieder die Calorienwerte für die Nährstoffe und die zugewachsene Hefe einsetzen bzw. experimentell bestimmen, so kommen wir zu dem wichtigen Ergebnis, daß die praktische Energieausbeute rund 65% beträgt; diese biologische Zellsynthese weist also einen ungünstigeren Energieausnutzungsgrad auf als der viel einfachere Vorgang der alkoholischen Zuckerspaltung, der 97,5% in der Theorie und immerhin 93—86% in praxi beträgt.

Aus dem eingeklammerten „unbekannt“ und den nebenstehenden Zahlen in Tabelle 1b mag entnommen werden, daß wir auch in bezug auf die Theorie inzwischen weitergekommen sind. Im Rahmen dieses Übersichtsreferats kann hierauf nicht näher eingegangen werden. Eine diesbezügliche Abhandlung erscheint demnächst.

Tabelle 1b. „Gärung“ auf Hefezellsabsubstanz.
(Biologische Eiweißsynthese)

Gleichung:	noch unbekannt
Theor. Ausbeute:	(noch unbekannt) etwa 236 g Hefe
Bisherige prakt. Höchstaussbeute nach Fink, Lechner u. Krebs:	100 g Traubenzucker + Nährsalze geben 210 g Hefe (25% Trockensubstanz mit 59,4% Eiweiß) + 53,5 g Kohlensäure + 0,02 g Alkohol.
Theor. Energieausbeute:	(noch unbekannt) etwa 73%
Prakt. Energieausbeute:	63—67%

Dieser Nachteil wird allerdings dadurch weitgehend ausgeglichen, daß die gebildete eiweißreiche Hefe, obwohl sie calorisch dem Kohlenhydrat etwa nur um 25% überlegen ist, fütterungstechnisch betrachtet, als höchstwertiges Eiweißkraftfuttermittel mit einem sehr engen Nährstoffverhältnis von etwa 1:1,6 und ihren besonderen diätetischen Wirkungen gerade in bezug auf unsere Eiweißnot imponiert. Auch im Hinblick auf die deutsche Ernährungsbilanz können wir auf Grund dieser Ergebnisse klarere Dispositionen treffen als bisher. Wir kennen nun den Ausnutzungsgrad, wenn z. B. im Überschuß vorhandene Kohlenhydrate auf dem Wege über die biologische Eiweißsynthese in eiweißreiche Kraftfuttermittel umgewandelt werden sollen.

Die obengenannten Ausbeuten an Hefezellsabsubstanz erhöhen sich aber, wenn in der Gärflüssigkeit außer vergärbaren Kohlenhydraten noch andere hefeassimilierbare Kohlenstoffquellen, wie z. B. Aminosäuren, gewisse organische Säuren, Alkohole, Aldehyde usw. vorhanden sind, was ja bei den meisten technischen Rohstoffen der Fall ist, oder wenn bei technischen Verfahren Auszüge oder Aufschlüsse aus Malzkeimen, Sojapreßkuchen, Hefautolysate usw. zugesetzt werden. So erklärt es sich, daß aus technischen Rohstoffen scheinbar erheblich höhere Ausbeuten erzielt werden, wenn man die Hefeernte nur auf den verbrauchten Zucker berechnet. So konnten wir bei

der Verarbeitung von *Bergius*-Holzzucker, allerdings ohne obige Zusätze, 240—279 kg abgepreßte (25% Trockensubstanz) Hefe auf 100 kg vergärbaren bzw. alkoholvergärbaren Zucker in technischen Versuchen ernten.

B. Die Anwendungen bei verschiedenen Rohstoffen.

Über unsere älteren Versuche mit Holzzucker, Sulfitablauge, Kartoffelmaische (Eiweiß-Schlempe-Verfahren) usw., die z. T. auch schon bis in den technischen Maßstab mit Erfolg entwickelt worden sind, ist schon seit 1935 laufend berichtet worden, so daß sie hier nur kurz behandelt werden.

1. Verschiedene Holzzuckerarten.

Holzzucker nach dem *Bergius*-Verfahren und nach dem *Scholler*-Verfahren war noch bis vor wenigen Jahren ein für die technische Hefezüchtung neues und unbekanntes Ausgangsmaterial. Gegenüber der Melasse der Zuckerfabriken, die bei der Futterhefegewinnung nach dem sog. *Delbrück*-Verfahren im Weltkrieg als Rohstoff diente, hat Holzzucker eine stark abweichende Zusammensetzung, da er ein buntes Gemisch von vergärbaren und nicht vergärbaren Kohlenhydraten neben deren Zersetzungsprodukten, ferner von anderen noch wenig bekannten hefeassimilierbaren und nichtheassimilierbaren Substanzen darstellt. Im Gegensatz zur Melasse, die bekanntlich erhebliche Mengen organischen und anorganischen, zum Teil hefeassimilierbaren Stickstoff enthält, ist er praktisch frei von Stickstoff überhaupt. Obendrein sind in Holzzucker, besonders im *Scholler*-Zucker, Substanzen, die das Mikroorganismenleben i. allg. ungünstig beeinflussen. Durch die dauernde Verbesserung des Verfahrens in den letzten Jahren haben diese allerdings zusehends an Bedeutung bei der Hefezüchtung verloren.

Bei Beginn unserer Arbeiten im Jahre 1935 mußten zunächst gemeinsam mit *Lechner* die analytischen Richtlinien für eine Bewertung des Holzzuckers und die Grundlagen für eine eingehende Bilanzierung der Hefezüchtung in Holzzuckerlösungen geschaffen werden⁴⁾. Dabei wurden die Ausbeuten an Hefetrockensubstanz und an Rohprotein auf reduzierenden Zucker, vergärbaren, „alkoholvergärbaren“ Zucker und Reduktionsdifferenz vor und nach der Hefezüchtung bezogen. So konnten gleichzeitig auf Grund der für die verschiedenen Bezugssysteme auseinandergehenden Ausbeutezahlen wieder rückwirkend wertvolle Einblicke in die Zusammensetzung der Holzzuckerarten gewonnen werden.

Gleichzeitig ist von uns zum erstenmal gezeigt worden, daß die fortlaufende Massenzüchtung von *Torula utilis* in Holzzuckerlösungen mit unerwartet hoher und konstanter Ausbeute unter technischen Bedingungen⁵⁾ gelingt, selbst wenn ausschließlich anorganischer Stickstoff und sonstige anorganische Nährsalze als Hefeaufbaustoffe zugesetzt werden⁶⁾.

Dieses Ergebnis konnte durch eine Dauerzüchtungsreihe von 45 Einzelführungen ohne Verwendung neuer Stellhefe belegt werden, wobei also immer wieder ein Teil der Erntehefe zum Anstellen des nächsten Versuchs verwendet wurde.

Bis zu 98% des zugesetzten Ammoniaks wurden dabei von der Hefe verwertet, was im Hinblick auf die sparsame Rohstoffbemessung und später auch für die Abwasserverhältnisse von Großanlagen wichtig ist. Es wurde gezeigt, daß die höchstmöglichen Eiweißausbeuten auch ohne Zugabe von überschüssigem Stickstoff erzielt werden.

Ein biologisch interessantes Phänomen war, daß, ganz im Gegensatz zu Erfahrungen bei anderen Gärungsverfahren,

⁴⁾ H. Fink u. R. Lechner, *Biochem. Z.* 278, 23 [1935].

⁵⁾ Die ersten Versuche wurden im 8-l-Maßstabe ohne besondere Sterilitätskauteilen durchgeführt.

⁶⁾ a) H. Fink u. R. Lechner, *Biochem. Z.* 288, 71 [1935];

b) H. Lüers u. Mörike, *Z. Spitzind.* 59, 383 [1936].

sich der Hefestamm trotz der nur technischen Versuchsbedingungen über $\frac{1}{2}$ Jahr und länger in absoluter Reinheit erhielt, was seine Erklärung darin fand, daß den Organismen der Infektion das Leben in dem Holzzuckermilieu unerträglich war, während die angepaßte *Torula* darin gute Wachstumsbedingungen fand.

Bald darauf konnten wir dann zeigen, daß im Gegensatz zu den in der Hefeindustrie eingebürgerten Auffassungen, daß nur bei 2—3%iger Zuckerkonzentration die beste Ausnutzung der Kohlenhydrate erreicht werden kann, sich auch in 5—6%iger Zuckerlösung günstige Ergebnisse erzielen lassen. Dies war vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus wichtig, da sich damit die Möglichkeit bot, in gegebenen Gäräumen entsprechend mehr Hefe zu erzeugen.

Schon 1935/36, also noch vor Beginn des Vierjahresplanes, konnten diese nur in aller Kürze erwähnten Ergebnisse im Auftrage des Reichsernährungsministeriums mit *Scholler-Zucker*, der in Form der betriebsmäßig, noch schlammhaltig anfallenden Durchschnittswürze Anwendung fand, in einer von uns zusammengestellten Versuchsanlage in Tornesch mit 7000 l¹⁾ Fassung unter weiterer Steigerung der Hefe- und Eiweißausbeute in den technischen Maßstab übersetzt werden²⁾. Unsere nächste Aufgabe, Vertretern der damals unseren Ergebnissen noch skeptisch gegenüberstehenden Hefeindustrie eine lückenlose Dauerzüchtungsreihe mit *Bergius-Zuckermelasse* vorzuführen, ist Dr. *Lechner* im Frühjahr 1936 in der Hefefabrik Oberkottau mit sehr hoher Durchschnittsausbeute geglückt³⁾. Die oben erwähnte Versuchsanlage ist zu diesem Zweck damals in Oberkottau aufgestellt worden.

Die folgenden Tabellen geben die von uns erzielten Hefe- bzw. Eiweißausbeuten, bezogen auf die verschiedenen Zuckereinheiten, wieder.

Auf 100 kg Holztrockensubstanz berechnet, wurden erhalten:

	Hefetrockensubstanz in kg	Eiweißrockensubstanz in kg
<i>Scholler-Verfahren</i> (41 % verg. Zucker)	21,1	12,2
<i>Bergius-Verfahren</i> (52 % verg. Zucker)	31,2	16,1

Mit all diesen Ergebnissen, die z. T. schon vor zwei Jahren der Öffentlichkeit übergeben worden sind, waren die wichtigsten technischen Fundamente für die Betriebssicherheit, Vereinfachung und weitest mögliche Wirtschaftlichkeit der Holzhefegewinnung auch im großen geschaffen. Die von *Monroy*^{10a)} gegebene Darstellung dürfte somit auf einer Unkenntnis der Entwicklung in den Jahren 1935/36 beruhen.

Als ausschlaggebend für die unerwartet hohen Ausbeuten ist von uns schon früher^{8a)} u. a. die Gewöhnung der Hefe an das neue Substrat sowie eine sehr feine Verteilung der die hefehaltige Nährflüssigkeit durchströmenden Luft bezeichnet worden, wie sie durch sog. Feinstbelüftung verschiedenen Systems^{10b)} erreicht werden kann. Es können aber auch in der Nährflüssigkeit vorhandene Stoffe, wie sie z. B. in manchen Sulfitablaugen, aber auch in manchen Holzzuckerwürzen vorkommen, den Dispersitätsgrad der Luft erhöhen.

Eine ganz ähnliche Erklärung wie oben geben *H. Lüers*^{8b)} und *E. Mörike* etwas später bei der Veröffentlichung ihrer unabhängigen von uns durchgeführten Versuche. Diese Autoren haben etwa 8 verschiedene Hefen auf ihre Eignung zur Futterhefegewinnung in Holzzuckerlösungen untersucht. Wenn auch ihre Ausbeuten an Hefetrockensubstanz unsere nicht annähernd erreichen, so ist wichtig an ihrer Arbeit, daß auch sie die *Torula utilis* des Instituts für Gärungsgewerbe als die bisher geeignetste Heferasse bestätigen.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nr.	Angewandter Zucker in kg				Zuwachs an Hefetrockensubstanz kg	Ausbeute an Hefetrockensubstanz in kg bezogen auf 100 kg				Zuwachs an Eiweiß kg	Ausbeuten an Eiweiß in kg, bezogen auf 100 kg			
	reduzierender	alkohol- vergärbare	vergärbare	Reduktions- differenz		reduzierenden Zucker	alkohol- vergärbaren Zucker	vergärbaren Zucker	Reduktions- differenz		reduzierenden Zucker	alkohol- vergärbaren Zucker	vergärbaren Zucker	Reduktions- differenz
Scholler-Zucker (Tornesch 1935/36)														
1	136,8	94,5	107,3	113,8	58,36	41,1	59,5	52,5	49,5	—	—	—	—	—
2	135,1	93,5	106,1	116,1	53,86	39,8	57,5	50,6	46,4	31,93	23,6	34,1	30,0	27,4
3	136,9	94,5	107,3	113,3	52,15	38,2	55,2	48,6	46,0	29,84	21,8	31,6	27,8	26,3
4	125,8	87,0	98,8	107,4	53,78	42,8	61,8	54,5	50,0	30,9	24,6	35,5	31,3	28,8
Bergius-Zucker (Oberkottau 1936)														
3	112,9	77,3	87,8	99,9	52,95	46,9	68,5	60,2	53,0	25,25	22,4	32,7	28,8	25,3
4	119,5	81,9	93,0	106,9	57,15	47,9	69,8	61,5	53,5	28,23	23,6	34,5	30,4	26,4
5	115,0	76,9	87,4	99,7	51,30	44,6	66,7	58,6	51,4	27,64	24,0	36,0	31,6	27,7
6	116,8	78,1	88,7	103,3	53,37	45,6	68,2	60,1	51,6	29,00	24,8	37,1	32,7	28,1
7	126,4	84,5	93,1	112,6	58,35	46,1	69,0	60,6	51,8	28,70	22,7	34,0	29,9	25,5
8	218,0	145,8	165,6	196,1	99,87	45,8	68,5	60,3	51,0	53,78	24,6	36,9	32,4	27,4

Von Seiten der Hefeindustrie wird neuerdings die Hefeaussbeute als sog. Normaltrockenhefe angegeben, worunter „marktgängige“ Ware mit 10,0% Wassergehalt verstanden wird. Unsere in den Tabellen 2 bis 4 angegebenen Ausbeutezahlen würden sich danach um 10,0% erhöhen. Wir erblicken aber in dieser Umrechnung auf Normaltrockenhefe mit 10% Wasser, die normalerweise nie vorkommt, gegenüber der Angabe der Hefetrockensubstanz, die direkt bestimmt wird, keinen Vorteil, jedenfalls keinen prinzipiellen Weg zur Ausbeutesteigerung.

Durch diese technischen Arbeiten⁹⁾ waren die Voraussetzungen, die wir auf Grund der Laboratoriumsversuche gemacht hatten, erfüllt, ja sogar übertroffen.

Als Ausbeuten an Hefetrockensubstanz bzw. Rohprotein, bezogen auf Holztrockensubstanz, ergaben sich hieraus, wenn man die von *Bergius* bzw. *Scholler* in jener Zeit angegebenen Zuckerausbeuten aus Holz zugrunde legt, folgende Werte¹⁰⁾:

¹⁾ In einer früheren Arbeit (s. Note ¹²⁾) wurde versehentlich 8000 l Fassung angegeben.

⁸⁾ *H. Fink*, *Z. Spiritusind.* 59, 373 [1936].

⁹⁾ So wichtig an und für sich die Tatsache auch ist, daß man bei der Futterhefegewinnung auf den organischen Stickstoff, den man bisher für die technische Hefeherzeugung für notwendig hielt, ohne weiteres verzichten kann, so kann es sich später aus neuen biochemischen Erkenntnissen oder aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen heraus doch als zweckmäßig erweisen, geringe Mengen bestimmter organischer Stickstoffquellen zuzusetzen, wenn dadurch besondere Wirkungen erzielt werden. Es müßten dann durch solche Zusätze auf Grund katalytischer Wirkungen (Umsteuerung der biochemischen Grundvorgänge, sauerstoffübertragende Wirkung und dadurch Ersatz der feinstdispersen Luftverteilung usw.) günstigere Ergebnisse erzielt werden. Wir haben auf solche Möglichkeiten schon einmal hingewiesen. Sie werden von uns zurzeit experimentell überprüft.

¹⁰⁾ Der Bezug auf Holztrockensubstanz erfolgt gewissermaßen über eine Hilfsannahme, da die Begriffe „vergärbare Zucker“ und

Bei diesem Stand der technischen Entwicklung hat dann die Wirtschaftliche Vereinigung der Deutschen Hefeindustrie auf Veranlassung der zuständigen Stelle gleichzeitig mit unserer Versuchsanlage den weiteren Ausbau ins Großtechnische übernommen. In der von ihr errichteten Versuchsfabrik für etwa 50 m³ Bottichraum in Tornesch sind unseres Wissens weitere betriebstechnische

auch die Bestimmungsmethoden in den früheren Veröffentlichungen der beiden Verfahrensträger noch nicht einheitlich festgelegt waren. Diese Zahlen sind somit nicht geeignet, etwa Werturteile über die beiden Verfahren zu fällen. Trotzdem also hier noch gewisse Unsicherheiten bestanden, hielten wir es für unbedingt notwendig, die Werte: „Hefe bzw. Eiweiß pro 100 kg Holztrockensubstanz“, auf die es letzten Endes ankommt, vor allem den diesem Gebiet Fernerstehenden unter Zugrundelegung unserer unerwartet hohen Ausbeuten bekanntzugeben. Inzwischen ist von uns in der Dessauer Großanlage (*Scholler-Verfahren*) zum ersten Male ein Versuch von der Holzeinwaage bis zur Bestimmung der Hefeaussbeute verfolgt worden. Sein Ergebnis kennzeichnet die oben für das *Scholler-Verfahren* gegebenen Zahlenwerte eher als untere Grenze der Ausbeute.

^{10a)} Vierjahresplan 2, 17 [1938].

^{10b)} Bei den Laboratoriumsversuchen wurde mittelfeine keramische Belüftung, bei den technischen Versuchen keramische Feinstbelüftung nach *Stich*, bei Sulfitablauge Strahlrohr-Feinstbelüftung von *Strauch & Schmidt* verwendet.

Ergebnisse¹¹⁾ erzielt und weitere Unterlagen für die Errichtung von Großbetrieben gewonnen worden.

Auch in der ersten Holzverzuckerungs-Großanlage nach dem Scholler-Verfahren in Dessau für rund 50000 hl Sprit ist inzwischen von meinen Mitarbeitern *Krebs*, *Illig* und *Toepffer* Futterhefe im technischen Maßstabe in einer lückenlosen Dauerzüchtung von 15 Führungen zu je 8 m³ durchgeführt worden¹²⁾, deren Ausbeuteergebnis aus Tab. 3 ersichtlich ist. Hierbei ist teilweise auch Laubholz zur Verwendung gekommen.

Produkte der Holzverzuckerung, in erster Linie für das massenhaft aus dem Holz anfallende Lignin und die Pentosen, dann aber auch für Furfurol und Essigsäure, günstigere Verwertungsmöglichkeiten gefunden sein werden.

Auch hierüber ist an unserem Institut gearbeitet worden. Nur zwei Ergebnisse seien kurz erwähnt. Wir haben nämlich gefunden, daß durch Mitverwertung der als Nebenprodukt der Holzverzuckerung unrein anfallenden Essigsäure als Kohlenstoffquelle¹³⁾ die Hefeaussbeute

Tabelle 3. Scholler-Zucker (Versuche in Dessau 1937).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nr.	Angewandter Zucker in kg				Zuwachs an Hefetrockensubstanz kg	Ausbeute an Hefetrockensubstanz in kg, bezogen auf 100 kg				Zuwachs an Eiweiß kg	Ausbeuten an Eiweiß in kg, bezogen auf 100 kg			
	reduzierender	alkoholvergärbare	vergärbare	Reduktions-differenz		reduzierender Zucker	alkoholvergärbare Zucker	vergärbare Zucker	Reduktions-differenz		reduzierender Zucker	alkoholvergärbare Zucker	vergärbare Zucker	Reduktions-differenz
1	139,6	—	—	112,3	11,73	8,4	—	—	10,4	6,06	4,3	—	—	5,4
2	280,8	196,6	228,5	244,8	118,58	40,5	57,8	50,8	46,4	56,67	20,2	28,9	25,4	23,2
3	248,8	177,1	201,4	230,3	110,84	44,5	62,6	55,0	48,2	55,74	22,4	31,5	27,7	24,2
4	243,1	175,4	199,3	227,4	109,80	45,2	62,6	55,1	48,3	58,26	24,0	33,2	29,2	25,6
5	216,0	164,8	187,2	202,3	94,65	43,8	57,5	50,7	46,8	53,04	24,6	32,2	28,4	26,2
6	304,7	208,0	236,2	275,8	128,90	42,3	62,0	54,6	46,8	56,83	18,6	27,3	24,0	20,6
7	302,4	206,6	234,6	258,3	122,34	40,5	59,3	52,2	48,8	56,84	21,9	32,1	28,3	26,2
8	280,4	197,7	224,6	250,4	114,40	40,8	58,0	51,0	45,7	59,57	21,2	30,2	26,5	23,8
9	267,2	184,7	209,9	247,8	128,00	47,9	69,4	61,0	51,7	60,82	22,8	33,0	29,0	24,6
10	268,8	193,7	220,2	236,0	111,72	41,6	57,8	50,7	47,4	61,10	22,7	31,6	27,7	25,9
11	298,3	215,5	245,0	242,9	87,77	29,4	40,7	35,9	36,2	47,80	16,0	22,2	19,5	19,7*
12	264,0	190,7	216,5	218,4	107,38	40,7	56,3	49,6	49,1	57,93	21,9	30,4	26,7	26,5*
13	309,6	223,5	254,0	249,8	100,71	32,6	45,1	39,7	40,8	58,85	17,4	24,1	21,2	21,6*
14	268,8	194,0	220,5	232,9	115,80	43,1	59,8	52,5	49,8	61,29	22,8	31,6	27,8	26,5*

*) Kontinuierliches Gärverfahren.

Bei den Züchtungen 11 bis 15 wurde zum erstenmal ein „kontinuierliches“ Gärverfahren angewendet, das gleichzeitig eine Vereinfachung und Leistungssteigerung bedeutet.

Nach *Richter* u. *Brüggemann*¹⁴⁾ ist unsere Holzzuckerhefe, obwohl sie sonst mit nur anorganischen Salzzusätzen erzeugt worden ist, ein der Bierhefe gleichwertiges Futtermittel.

Der von *Scheunert* u. *Schieblich*¹⁵⁾ ermittelte Gehalt an Vitamin-B-Komplex liegt für B₁ niedriger, für B₂ eher höher als für beste Brauereihefe. Diese neueren Feststellungen an unserer Hefe waren deshalb wichtig, weil früher sehr ausgedehnte Fütterungsversuche^{16, 17, 18, 19, 20)}, sowohl Ausnutzungsversuche als auch Respirationsversuche, mit einer Holzhefe durchgeführt worden waren, bei deren Gewinnung (*Scholler*) ungewöhnlich hohe Gaben²¹⁾ an organischem Stickstoff und Wuchsstoffen in Form von Malzkeimen Verwendung gefunden hatten.

Was immer wieder gegen die großtechnische Erzeugung des so aus Holz und Holzauffällen gewonnenen hochwertigen Eiweißes ins Feld geführt wird, ist einstweilen noch der verhältnismäßig hohe Preis von etwa 500—600 RM. je Tonne Hefetrockensubstanz. Hier kann aber ein Wandel eintreten, wenn für die bisher schwer verwertbaren Neben-

z. B. beim *Bergius*-Verfahren um weitere 7—14% gesteigert werden kann, was einen grundsätzlich neuen Weg zur Ausbeutesteigerung darstellt. Außerdem wurde gemeinsam mit *F. Just* der Beweis erbracht, daß aus Holzzuckerhefe in nicht unbedeutlicher Menge Dulcitol, der Alkohol der Galaktose, gewonnen werden kann²²⁾, der bisher in Hefen unseres Wissens nie zuvor gefunden worden ist. Aus einer Tonne roher Futterhefe erhält man durch ein verhältnismäßig einfaches Extraktionsverfahren bis zu 10 kg Dulcitol, der einen wertvollen Stoff in der Pharmazie und für die Sprengstoffherstellung (Nitrodulcitol) darstellt. Gleichzeitig gewinnt man 50—80 kg Fett aus der Hefe, teils Lipide der Hefe, teils bei der Züchtung zugesetztes Gärfett. Die übrigbleibende Hefesubstanz ist gleichzeitig gereinigt und so in gewisser Beziehung wertvoller gemacht worden. Es ist noch zu prüfen, ob sie in dieser Form direkt für die menschliche Ernährung in Frage kommt. Der sehr verlustreiche Umweg über den Tiermagen käme dann in Wegfall. Die technische und wirtschaftliche Ausnutzbarkeit derartiger Ergebnisse muß untersucht werden.

Zur Schließung der Eiweißlücke soll die Holzzuckerhefe mit etwa 80000—100000 t jährlich im Vierjahresplan eingesetzt werden. Dazu sind 8—10 Großbetriebe zu je 10000 t notwendig mit einem Holzbedarf bzw. Abfallholzbedarf von insgesamt etwa 0,5—0,8 Mill. Festmeter.

Zum Schlusse dieses Abschnitts sei noch erwähnt, daß von uns inzwischen auch die Produkte anderer Holzverzuckerungsverfahren auf ihre Eignung zur technischen Hefezüchtung geprüft worden sind. Erwähnt sei das *Darboven*-Verfahren, das Verfahren *Hoch* und *Bohunek* u. a. m.

2. Sulfitablaugen.

Auch das Problem der Futterhefegewinnung aus Sulfitablauge ist von uns weiterentwickelt worden²³⁾, da Sulfitablauge im Gegensatz zu Holzzucker heute schon vielerorts in gewaltigen Mengen anfällt und in Anbetracht ihres Ge-

¹¹⁾ *H. Fink*, *R. Lechner* u. *J. Krebs*, *Biochem. Z.* **290**, 135, 447 [1937]; ferner *Vorratspflege u. Lebensmittelforschung* **1**, 119 [1938].

¹²⁾ *H. Fink* u. *F. Just*, *Biochem. Z.* **296**, 306 [1938].

¹³⁾ *H. Fink* u. *R. Lechner*, diese Ztschr. **40**, 775 [1936.]

¹¹⁾ *Christensen*, unveröffentlicht.

¹²⁾ Vgl. *H. Fink*, *Vorratspflege u. Lebensmittelforschung* **1**, 112 [1938].

¹³⁾ *Richter* u. *Brüggemann*, *Biedermanns Zbl. Agrik.-Chem. ration. Landwirtschaftsbetr. Abt. B.: Tierernährg.* **9**, 95 [1937].

¹⁴⁾ *Scheunert* u. *Schieblich*, ebenda **9**, 173 [1937].

¹⁵⁾ *F. Honcamp*: Vom Holz zum Kohlehydrat und Eiweiß für Futterzwecke. Vortrag, 46. Hauptversammlung des VDCh., Würzburg 1933. Carl Hinrichs Verlag. Rostock 1933.

¹⁶⁾ *G. Fingerling* u. *F. Honcamp*, *Landwirtsch. Versuchsstat.* **118**, 263 [1934].

¹⁷⁾ *H. Bünge* c. s., *W. Kirach* c. s. u. *K. Richter* c. s., ebenda **121**, 191 [1934].

¹⁸⁾ *H. Bünge*, *Dtsch. Landw. Presse* **62**, 195 [1935].

¹⁹⁾ *K. Richter* u. *J. Herbet*, *Landwirtsch. Versuchsstat.* **121**, 215 [1934].

²⁰⁾ *A. Scheunert* u. *M. Schieblich*, *Biedermanns Zbl. Agrik.-Chem. ration. Landwirtschaftsbetr. Abt. B.: Tierernährg.* **8**, 113 [1936].

²¹⁾ Auf 400 kg Holzzucker trafen 100 kg Malzkeime. In diesen 1934 von *Scholler* in Tornesch durchgeführten Versuchen sollte ermittelt werden, ob grundsätzlich die Futterheferzeugung aus Holzzucker im technischen Maßstabe möglich ist.

haltes von bis zu 2,5% ausnutzbarem Zucker den billigsten Rohstoff für die Gewinnung von Futterhefe darstellt, besonders dort, wo keine anderweitige Verwendung, etwa Vergärung auf Alkohol, besteht.

Aus Tabelle 4 sind die Ausbeuten an Hefe und Rohprotein, berechnet auf 100 kg vergärbaren Zucker, zu entnehmen, wie sie bei einem Dauerzüchtungsversuch von uns früher erzielt worden sind.

eine mächtige Hilfsquelle geworden war, z. T. wieder herauszunehmen.

Die gewaltigen Rückwirkungen, welche die Schließung²⁹⁾ von fast 4000 landwirtschaftlichen Betrieben auf die deutsche Landwirtschaft auslösen müßten, veranlaßten uns, schon frühzeitig die Frage zu überlegen, wie kann man aus Kartoffeln durch biologische Eiweißsynthese im Rahmen der landwirtschaftlichen

Tabelle 4. Sulfitablauge. (1936)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nr.	Angewandter Zucker			Konzentration an vergärbarem Zucker im Gesamtansatz	Zuwachs an Hefetrockensubstanz	Eiweißgehalt in der Hefetrockensubstanz	Ausbeute aus Hefetrockensubstanz, bezogen auf			Zuwachs an Eiweiß	Ausbeute an Eiweiß, bezogen auf		
	reduzierender	vergärbarer	Reduktionsdifferenz				reduzierenden Zucker	vergärbaren Zucker	Reduktionsdifferenz		reduzierenden Zucker	vergärbaren Zucker	Reduktionsdifferenz
	in g						in g				in g		
1	117,6	76,9	75,7	1,8	35,80	—	30,4	46,6	47,3	—	—	—	—
2	116,4	76,0	71,4	1,8	34,60	51,9	29,7	45,5	48,5	17,95	15,4	23,6	25,2
3	114,6	74,9	73,6	1,85	33,30	53,7	33,4	51,1	52,0	20,57	17,9	27,4	27,9
4	108,9	71,1	69,5	1,95	39,32	53,5	36,1	55,2	56,5	21,02	19,3	29,6	30,2
5	110,3	72,0	76,6	2,1	42,32	53,5	38,3	58,7	55,1	22,62	20,5	31,4	29,5
Mittelw.	—	—	—	—	—	—	33,6	51,4	51,9	—	18,3	28,0	28,2

Nach diesen Ausbeuteverhältnissen kann man pro m³ unverdünnter Lauge mit einem Anfall von 10—12 kg Hefetrockensubstanz rechnen. Da allein in Deutschland heute etwa 7 Millionen m³ Sulfitablauge anfallen, würde diese Menge etwa 70000 t Hefetrockensubstanz oder 37000 t Rohprotein entsprechen. Es ist das etwa 14 mal soviel Hefe, wie in den deutschen Bierbrauereien abfällt.

Daß dieses Gebiet der Laugenhefengewinnung von uns noch nicht bis zur Industriereife entwickelt werden konnte, liegt hauptsächlich daran, daß der in den Sulfitbrennereien anfallende billige Alkohol einstweilen noch dringend benötigt wird.

Im Hinblick auf das Interesse im Ausland sind von uns wiederholt in letzter Zeit auch ausländische Sulfitablaugen, die z. T. auch von neueren Kochverfahren stammten, mit gutem Erfolg auf ihre Eignung zur Hefegewinnung im kleintechnischen Maßstabe (200 l) untersucht worden, wobei gleichzeitig verschiedene Belüftungssysteme ausprobiert wurden.

Die Bedenken, die man gegen die Verfütterung von Laugenhefe erhoben hat²⁵⁾, bezogen sich irrtümlich auf die sehr aschereiche, sog. Sprithefe, die bei der Spritgewinnung aus Sulfitablauge gelegentlich als Nebenprodukt gewonnen wird und im wesentlichen einen hefehaltigen Industrieabfallschlamm darstellt, dessen Blei-, Kupfer- und Arsengehalt nicht unbedenklich erscheint. Allerdings haben neuere Dauerfütterungsversuche von Mangold²⁶⁾ u. Mitarb. an Ratten, selbst mit dieser Sprithefe, die bis zu 25% Asche enthalten kann, wider Erwarten günstige Ergebnisse gezeigt.

3. Kartoffeln (Eiweißschlempeverfahren).

Eine weitere technische Variante der biologischen Eiweißsynthese ist das unlängst gemeinsam mit R. Lechner ausgearbeitete Eiweißschlempeverfahren^{27, 28)}. Dieses steht, wie man schon aus dem Namen schließen kann, zu den landwirtschaftlichen Brennereien in Beziehung, in denen bekanntlich als Nebenprodukt die als Futtermittel wertvolle Schlempe anfällt. Es verdankt seine Entstehung den in den letzten Jahren bekanntgewordenen Planungen der nationalsozialistischen Regierung, den Spiritus, jedenfalls soweit er aus Erzeugnissen der Landwirtschaft stammt, aus der Treibstoffwirtschaft, für die er in den letzten Jahren

Kartoffelbrennereien ohne allzu große Neuinvestitionen zusätzliches Eiweiß zur Schließung der Eiweißlücke erzeugen.

Das Eiweißschlempeverfahren wird dieser Forderung in technischer Hinsicht weitgehend gerecht. Es wird, kurz gesagt, der Kohlenhydratanteil, besonders die Stärke der Kartoffeln, die bisher in der Brennerei nach Überführung in vergärbaren Zucker auf Alkohol verarbeitet wurde, nunmehr in „äquivalente“ Mengen eiweißreicher Hefezellschlempe verwandelt.

Die drei wichtigsten Prinzipien der biologischen Eiweißsynthese, nämlich Anwendung von Wuchshefe, intensive Belüftung und Zusatz der übrigen Bausteine, insbes. der Stickstoffverbindungen, in anorganischer Form finden auch hier wieder Anwendung. Zum erstenmal wird aber hier die biologische Eiweißsynthese im Gegensatz zu allen bisherigen Anwendungen im heterogenen Milieu, also in einer breiigen, nicht klaren Maischeflüssigkeit und bei einer bisher für unmöglich erachteten hohen Zuckerkonzentration bis zu 13% durchgeführt. In bezug auf die analytische Verfolgung bedeutete das eine beträchtliche Erschwerung. Sie erforderte die Ausarbeitung einer neuen, indirekten, aber nicht minder zuverlässigen Bilanzierungstechnik.

Man kann in zwei Richtungen arbeiten. Entweder wird der Prozeß so geleitet, daß möglichst hohe Hefe- und Eiweißausbeuten in der gesamten Masse und praktisch kein Alkohol entstehen, oder man arbeitet so, daß mittlere Hefe- und Eiweißausbeuten entstehen und daneben noch sehr beträchtliche Mengen Alkohol, z. B. die Hälfte an Alkohol wie beim bisherigen brennereiblichen Verfahren.

²⁹⁾ Ob diese Maßnahme zunächst nur, wie verlautet, zur Schließung der Brennereien auf schweren Böden führen oder ob sie allgemein durchgeführt werden sollte, spielte damals, als wir mit unseren Arbeiten begannen, noch keine Rolle. Sicher ist, daß die Abwrackung der landwirtschaftlichen Kartoffelbrennereien, namentlich auf den leichten Sandböden im Norden und Osten des Reiches, die im wesentlichen nur Kartoffeln und Roggen in der Fruchtfolge tragen, von denkbar ungünstigen Folgen für Bodenkultur und Ertrag und besonders für die Milchviehhaltung sein müßte. Denn die bekannten Wechselwirkungen zwischen Brennerei und Bodenkultur in den Brennereiwirtschaften müssen dann ebenfalls zum Erliegen kommen. Zuzugle dieser Wechselwirkungen, oder besser gesagt, zufolge dieses Kreislaufes liefern die landwirtschaftlichen Brennereien nicht nur den Spirit für unsere Treibstoffwirtschaft, sondern sie sind zugleich eine der wenigen und zugleich ergiebigen Kraftfuttererzeugungstätten im Inland. Die als Nebenprodukt anfallende Schlempe ermöglicht in den Brennereiwirtschaften eine stark erhöhte Milchviehhaltung und sichert bedeutend erhöhte Milcherträge. Der in Zusammenhang mit der Schlempefütterung in reichlicher Menge anfallende Stallmist, mit dem gleichzeitig wieder alle Mineralbestandteile der Kartoffeln auf den Acker gelangen, ist dann wiederum die Voraussetzung für die verbesserte Bodenkultur und den erhöhten Ertrag dieser leichten, sandigen Böden, womit sich dieser Kreislauf schließt.

²⁵⁾ L. Scheuring, diese Ztschr. 50, 51 [1937]; unsere Erwiderung: Vorratspflege u. Lebensmittelforsch. 1, 114 [1938].

²⁶⁾ Wir danken Herrn Kollegen Prof. Dr. Mangold für die Mitteilung der noch unveröffentlichten Ergebnisse.

²⁷⁾ H. Fink u. R. Lechner, Forschungsdienst 3, 115 [1937].

²⁸⁾ H. Fink, Z. Spiritusind. 60, 57 [1937].

Den Vergleichsmaßstab bildet dann die bisher übliche Brennereigärung der unverdünnten Maische ohne anorganische Salzzusätze und ohne Lüftung, bei der die Ausbeute an Kulturhefe ganz untergeordnete Bedeutung hat und die Hefe im wesentlichen dazu dient, den Zucker zu Alkohol zu vergären.

Welche Ergebnisse die drei Verfahrensmaßnahmen zeitigen, geht aus Tabelle 5 hervor. Es sind hier die Ausbeuten, wie wir sie bei einer unserer zahlreichen Versuchsserien erhalten haben, auf 1 t Kartoffeln für die drei Möglichkeiten angegeben.

Tabelle 5.

	a Eiweiß- Schlempe- Verfahren	b Kom- biniertes Verfahren	c Brennerei- übliches Verfahren
Alkohol, 100%ig	8,9	55,0	120,4
Schlempe-Trockensubstanz	181,1	168,2	85,5
Rohproteingehalt der Schlempe-Trocken- substanz	86,2	26,7	25,4
Rohprotein	65,5	42,3	21,7

Das Eiweißschlempeverfahren gibt also, verglichen mit der brennereiüblichen Vergärung, mehr als das Doppelte an Schlempe-trockensubstanz von einem um 50% höher liegenden Gehalt an Rohprotein, d. h. über dreimal so viel Rohprotein; der Alkoholanfall ist dagegen nur noch ein Dreißigstel.

Tabelle 6 gibt nun die Verhältnisse so wieder, wie sie sich vom Standpunkt der deutschen Futtermittelversorgung darstellen, wenn man sämtliche Brennereien bei gleichbleibendem Kartoffelverbrauch auf das Eiweißschlempeverfahren oder das kombinierte Alkoholeiweißverfahren abstellen würde.

Tabelle 6.

	a Eiweiß- Schlempe- Verfahren	b Kom- biniertes Verfahren	c Bisheriges Brennerei- Verfahren
Alkohol	78400	1100000	2400000
Rohprotein	158000	99000	51000
Getrocknete Schlempe (zum Vergleich berechnet auf 10% Wasser u. 25% Rohprotein)	715000	448000	227000

Dabei wurde auf Grund statistischer Unterlagen errechnet, daß in den landwirtschaftlichen Kartoffelbrennereien in runden Zahlen je Betriebsjahr aus 2,4 Millionen t Kartoffeln und 40000 t Gerste (hauptsächlich als Diastase-lieferant) etwa 2,4 Millionen hl 100%iger Sprit neben 3,4 Millionen t Schlempe von 6% Trockensubstanz, letztere mit 25% Rohprotein, anfallen würden, die im wesentlichen aus den angewandten Kartoffeln stammen.

Die Eiweißschlempe fällt normalerweise ebenso wie die bisherige Schlempe in dünn-breiiger Form mit 6 bis 7% Trockensubstanz an. Der Rohproteingehalt in der Trockensubstanz beträgt 30 bis 40%. Da dieser zu etwa zwei Dritteln aus Hefeeiweiß besteht, muß natürlich der Futterwert und die Verdaulichkeit beträchtlich höher sein als bei der bisherigen Schlempe. Die Verfütterung erfolgt wohl am zweckmäßigsten in frischem Zustande nach der Entgeistung bzw. nach dem Aufkochen, wobei die Eiweißschlempe in Anbetracht ihres höheren Eiweißgehaltes sparsamer angewandt werden kann.

Die Trocknung würde zu einem sehr wertvollen neuen Kraftfuttermittel führen, das in gewaltigen Mengen anfallen würde. Günstig ist dabei der Umstand, daß etwa 400 Brennereien schon jetzt über Trocknungsanlagen, wenn auch für Kartoffelflocken, verfügen. Auf die hier bestehenden Möglichkeiten ist früher schon einmal^{27) 28)} von mir hingewiesen worden.

Auch das Eiweißschlempeverfahren ist von uns inzwischen in den Großbetrieb übertragen worden. Seit dem 15. Februar läuft an unserem Institut eine Versuchsanlage im Dauerbetrieb, die an unsere Versuchs- und Lehrbrennerei angeschlossen ist. Es können dort 2000 bis 6000 kg Kartoffeln pro Tag verarbeitet werden. Erfreulicher-

weise ist das Ergebnis der auch hier wieder eingehend bilanzierten biologischen Großversuche in mancher Hinsicht günstiger als die eben besprochenen Zahlen, die sich auf die ersten grundlegenden Laboratoriumsversuche aufbauten.

Der Hauptrohstoff, die Kartoffel, hat bekanntlich einen niedrigeren Rohproteingehalt von 7—8% in der Trockensubstanz. Die Eiweißschlempe verläßt die Anlage mit einem Rohproteingehalt von 37—40% in der Trockensubstanz und entspricht in dieser Hinsicht etwa der Sojabohne. Erkauft wird dieser hohe Eiweißgehalt allerdings durch einen Trockensubstanzverlust an Kohlenhydraten der Kartoffel von 25—35%, der in Form von Kohlensäure in Erscheinung tritt. Es ist das eine Folge der oben erwähnten Gesetzmäßigkeiten der biologischen Eiweißsynthese.

Nach Verdauungsversuchen mit Pepsin und Salzsäure ist das erzeugte Rohprotein hochwertig. Das in unserem Versuchsbetrieb täglich anfallende Futtermittel wird auf einem Versuchsgut der Universität Berlin von Prof. Dr. Schmidt in Großfütterungsversuchen auf seinen Futterwert und seine Verdaulichkeit zurzeit geprüft. Die Versuche sind bisher günstig, aber noch nicht abgeschlossen.

Erst nach Abschluß der technischen Großversuche kann auch die Rentabilität des Verfahrens überprüft werden. Sicher ist heute schon, daß das neue Futtermittel ebenfalls erheblich teurer kommen wird als Sojabohne.

4. Einfache Kohlenstoffverbindungen.

(Hefe aus Acetaldehyd, Alkohol, Essigsäure usw.).

Zu neuen wissenschaftlichen Ergebnissen und Aus-sichten auch in technischer und nationalwirtschaftlicher Hinsicht haben dann die gemeinsam mit Krebs, Lechner u. Münder²⁹⁾ in meinem Institut durchgeführten, aber noch nicht ganz abgeschlossenen Arbeiten geführt, in denen gewissermaßen der Reaktionsmechanismus der biologischen Eiweißsynthese aus reinen Kohlenhydraten und Ammoniak und anderen Salzen studiert werden sollte.

Folgende Zwischenglieder kommen in Frage:
von den Kohlenstoffverbindungen

mit 2 C-Atomen:
Acetaldehyd, Essigsäure und Alkohol,

mit 3 C-Atomen:
Brenztraubensäure, Milchsäure, Glycerin u. a.,

mit 4 C-Atomen:
Bernsteinsäure, Fumarsäure,

nicht aber Maleinsäure, dagegen wieder Oxallessigsäure und vielleicht Apfelsäure.

Alle diese im Vergleich zu den Kohlenhydraten einfachen Kohlenstoffverbindungen geben also ebenso wie Zucker mit den nötigen anorganischen Aufbaustoffen meist in bester Ausbeute Hefezellsubstanz mit 50 bis 60% Roh-eiweiß und kommen damit als Zwischenglieder zunächst durchaus in Frage. Je nach ihrem Energieinhalt liegen die Ausbeuten an eiweißreicher Hefezellsubstanz teils beträchtlich über, teils erheblich unter der Ausbeute aus Traubenzucker. Um die Möglichkeiten weiter einzuschränken, sind wir seit einiger Zeit mit dem „Abfangen“ von Zwischenprodukten, insbes. von Acetaldehyd³¹⁾, bei Zellsubstanz-synthesen und oxydativem Zuckerabbau beschäftigt.

Wie die Synthese dann weitergeht, namentlich in welcher Phase z. B. der Einbau des Stickstoffs und der anderen Elemente zum kompletten Eiweißmolekül erfolgt, wird noch Gegenstand jahrelanger Forschungen sein müssen. Der erste Übergang scheint von der Fumarsäure, die wir ja als wert-

²⁹⁾ Diss. Krebs, Diss. Münder, beide Universität Berlin, 1938, unveröffentlicht.

³¹⁾ Nachtrag bei der Korrektur: Acetaldehyd konnte in hoher Ausbeute (in bezug auf die Theorie) inzwischen gemeinsam mit Krebs und Plöttner abgefangen werden.

volle Kohlenstoffquelle erkannt haben, durch Anlagerung von Ammoniak zur Asparaginsäure zu erfolgen. Damit wäre wenigstens die biologische Synthese einer wenn auch noch verhältnismäßig einfachen Aminosäure erklärt. Diese theoretischen Ergebnisse werden demnächst in der nötigen Ausführlichkeit veröffentlicht werden.

Zu den einfachen Kohlenstoffverbindungen, die bei unserem Verfahren als Kohlenstoffquelle dienen können, gehören u. a. auch Acetaldehyd, Essigsäure und Alkohol²³⁾, Stoffe, die man heute schon in großtechnischem Maßstab aus Kohle herstellen kann. Die Ausbeuten können wir einstweilen wie folgt angeben:

100 kg Essigsäure + Nährsalze ergaben bis zu 176 kg Hefe mit 25 % Trockensubstanz,

100 kg Alkohol + Nährsalze ergaben bis zu 290 kg Hefe mit 25 % Trockensubstanz,

100 kg Acetaldehyd + Nährsalze ergaben bis zu 200 kg Hefe mit 25 % Trockensubstanz.

Sie liegen also der Größenordnung nach dem Zucker nahe, teils darüber, teils darunter, je nach dem Caloriengehalt der betreffenden Kohlenstoffverbindungen.

Kohlenhydrate als Erzeugnisse der Scholle werden vollwertig vertreten durch Stoffe, die der Retorte entsprungen sind. Damit ist die technisch-biologische Zellsynthese besonders für die für uns so wichtige biologische Eiweißsynthese von der Scholle unabhängig gemacht und losgelöst worden.

Daß Acetaldehyd, Essigsäure und Alkohol von gewissen Mikroorganismen als Kohlenstoffquellen zusammen mit Zucker oder auch für sich allein assimiliert werden können, ist an und für sich nicht neu. Keines der uns bekanntgewordenen Verfahren hat sich aber als technisch brauchbar erwiesen.

Auch hier geht die Synthese technisch glatt mit bester Ausbeute und, was wesentlich ist, auch hier wieder ohne jeglichen organischen Stickstoff, sondern ausschließlich mit Ammoniak und anorganischen Salzen. Also auch der zweitwichtigste Rohstoff für die Synthese, das Ammoniak, entstammt der Retorte. Die Ausgangsmaterialien für diese Erzeugung von vollwertigem biologischen Eiweiß sind also letzten Endes die Kohle, der Stickstoff der Luft, Düngesalze und Wasser.

Wichtig ist, daß das Verfahren auch in der Dauerzucht geht. Man kann nach jeder Züchtung, die etwa 10 h dauert, einen Teil der Hefeernte für die nächste Führung wieder verwenden. Bis zu zehnmal haben wir das ohne Abfall der Ausbeute durchgeführt. Ein Großversuch mit einer halben Tonne Essigsäure und einer mit Alkohol verlief glatt, sogar einfacher als mit Holzzucker, da das lästige Schäumen nicht eintritt.

Die erzielte Hefe ist nach unseren bisherigen Feststellungen vollwertig. Sie enthält im wesentlichen die gleichen Stoffe (Kohlenhydrate, Eiweiß, Fette, Fermente usw.) wie

auf Zucker gezüchtete Hefe. Hiermit ist die Fähigkeit der Hefe, alle diese Stoffe zu synthetisieren, mit besonderer Eindeutigkeit bewiesen.

Störend an dieser schönen Synthese von Eiweiß ist nur, ebenso wie beim künstlichen Kautschuk und künstlichen Benzin, der hohe Preis, der aber für Futterhefe, z. B. aus Acetaldehyd mit schätzungsweise 800—900 RM. pro Tonne Trockensubstanz, nicht gerade übertrieben hoch über dem Preis der Holzzuckerhefe mit 500—600 RM. pro Tonne Trockensubstanz liegen dürfte.

Verarbeitet man nun die bei verschiedenen Holzverzuckerungsverfahren als Nebenprodukt unrein anfallende Essigsäure zusammen mit dem Holzzucker, so erhält man erheblich mehr Hefetrockensubstanz als aus der gleichen Menge Essigsäure allein. Es ist das ebenfalls ein Ergebnis unserer rein wissenschaftlichen Arbeiten. Die Gesamtausbeute an Futterhefe bei dem *Bergius*-Verfahren z. B. erhöht sich dadurch immerhin um etwa 8 % bei Nadelholz und um 14 % bei Laubholz.

Ähnlich wie die beim *Bergius*-Prozeß als Nebenprodukt anfallende Essigsäure könnte natürlich auch andere, irgendwo in der Industrie abfallende Essigsäure, deren Rückgewinnung nicht lohnt, auf Futtereweiß, am besten zusammen mit zuckerhaltigen Rohstoffen, verarbeitet werden.

Auch Alkohol, der im Gegensatz zu manchen Rohstoffen, aus denen er gewonnen wird, ein leicht und beliebig lange speicherfähiger Stoff ist und in manchen Ländern mit Alkoholüberschuß nur mit Schwierigkeiten zu verwerten ist, könnte unter gewissen Verhältnissen als Ausgangsmaterial für die technisch-biologische Eiweißsynthese Bedeutung bekommen.

Wir sehen also an diesen Beispielen, daß die biologische Eiweißsynthese aus einfachen Kohlenstoffverbindungen und Nährsalzen, die zugleich zum erstenmal die technisch gangbare Lösung des Problems bedeutet, vollwertiges Eiweiß, losgelöst vom Ackerboden, aus Kohle und Luftstickstoff zu erhalten, auch heute schon einen greifbaren realen Boden hat und nicht nur ein Phantasiegebilde darstellt.

In den meisten Ländern unserer gemäßigten Zone bringt der Boden zwar Pflanzen mit einem hohen Gehalt an Kohlenhydraten in gewaltiger Menge hervor — so in Schweden und Finnland ungeheure Mengen an Holz, in Deutschland und anderen Ländern neben Holz besonders an Kartoffeln und Zuckerrüben —, es gedeihen in unserem Klima aber nur wenige Kulturpflanzen, die jenen sehr hohen Eiweißgehalt im Sinne der Eiweißkraftfuttermittel haben wie gewisse subtropische und tropische Pflanzen. Ganz abgesehen von den deutschen Bestrebungen der Eigenversorgung mit dem uns mangelnden Kraftfuttereweiß kann die biologische Eiweißsynthese hier einen Ausgleich schaffen dadurch, daß im Überschuß vorhandene Kohlenhydrate in Eiweiß umgewandelt werden. Leider dürfte sich eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu dem billigen „Weltmarkteweiß“ zunächst nur schwer erreichen lassen.

[A. 41.]

²³⁾ Vgl. K. R. Dietrich, Brenner-Ztg. 55, 5 [1938].

ZUSCHRIFTEN

Eine einfache Methode zur potentiometrischen Bestimmung von Chlorid-Bromid-Gemischen.

Bemerkung zu der Arbeit von H. Schütza¹⁾.

Von Doz. Dr.-Ing. H. Flood, Institutt for uorganisk kjemi, Norges Tekniske Høiskole, Trondheim.

In der Arbeit von Schütza wird einleitungsweise behauptet, daß „eine theoretisch erfassbare Beziehung zwischen Br-Wende- und Äquivalenzpunkt nicht besteht“. Der Verfasser empfiehlt, als Titrierendpunkt bei der Bromidbestimmung „durch entsprechende Verlängerung der beiden Kurvenäste den unteren

¹⁾ H. Schütza, diese Ztschr. 51, 55 [1938].

Knickpunkt der Br-Kurve“ zu wählen und die Verschiebung dieses Punktes gegenüber dem Äquivalenzpunkt mittels eines empirischen, vom Bromid-Chlorid-Verhältnis abhängigen Faktors zu korrigieren.

Ich möchte in diesem Zusammenhang auf zwei 1936 erschienene Veröffentlichungen²⁾ hinweisen, die dem Verfasser anscheinend entgangen sind, in denen gerade dieses Verhalten Gegenstand der Untersuchung ist. Ich habe hier gezeigt, daß die Verschiebung des Wendepunktes dem Äquivalenzpunkt gegenüber in Anwesenheit von kolloid ausflockenden Elektrolyt-

²⁾ H. Flood, Über den von Mischkristallbildung bedingten Titrierfehler bei der potentiometrischen Maßanalyse, Z. anorg. allg. Chem. 229, 76 [1936]; H. Flood u. B. Bruun, Über den Titrierfehler bei potentiometrisch-maßanalytischer Bestimmung von Bromid und Chlorid in Gemischen, ebenda 229, 85 [1936].