

Zur Kenntnis der Hefegärung.

Von

Hans Euler und Gunnar Lundeqvist.

Mit sieben Kurvenzeichnungen im Text.

(Aus dem biochemischen Laboratorium der Hochschule Stockholm.)

(Der Redaktion zugegangen am 30. März 1911.)

I.

Wenn bei der Reaktion



die nunmehr allgemein angenommen wird, Zwischenprodukte auftreten, so besteht die Möglichkeit, daß die bei der Vergärung verschiedener Hexosen gebildeten Zwischenprodukte verschieden sind. Die bis jetzt vorliegenden Angaben über die Existenz und Art dieser Zwischenprodukte widersprechen sich im hohen Grade. Da aber die Frage nach den enzymatischen Zwischenreaktionen der Gärung mit derjenigen nach der Stellung des Zymasekomplexes zum Plasma eng verknüpft ist,¹⁾ so sind im besagten Institut mehrere Untersuchungen angestellt worden, welche dieses nicht unwichtige Kapitel der Zuckerchemie und der Enzymchemie betreffen.

Als Zwischenprodukte kommen in Betracht nicht nur Zuckern, wie Glycerinaldehyd und Dioxyaceton oder Methylglyoxal, sondern teils Phosphorsäureester der Hexosen selbst, teils Phosphorsäureester der Spaltprodukte.

Die hier mitzuteilenden Versuche liefern einen Beitrag zur Dynamik der Vergärung und sollen besonders Aufschluß geben über den Verlauf der Bildung von Alkohol und Kohlen-

¹⁾ Vgl. Euler und af Ugglas. Diese Zeitschrift. Bd LXX. S. 279.

Euler und Kullberg. Diese Zeitschrift. Bd LXXI. S. 14. 1911.

H. P. Seyler's Zeitschrift f. physiol. Chemie. LXXII.

säure aus verschiedenen Zuckerarten in Anwesenheit und Abwesenheit von Phosphaten.

Vergärung der Maltose.

Aus den Angaben der Literatur schien hervorzugehen, daß die Maltose ungefähr ebenso schnell vergoren wird, wie die Glukose. Es ist dies auffallend, da die Spaltung der Maltose, wenn dieselbe überhaupt von der Gärung unabhängig gemacht werden kann, nicht oder sehr wenig schneller verläuft als die Gärungsreaktion. Wir haben es in Rücksicht auf die Möglichkeit, daß die Hydrolyse der Maltose mit ihrer Vergärung doch enger verknüpft ist, als man nunmehr allgemein annimmt, erforderlich gehalten, die wenigen vergleichenden Versuche, die über die Spaltung von Maltose und Glukose vorliegen,¹⁾ zu ergänzen.

Versuchsordnung.

Die meisten Versuche wurden volumetrisch ausgeführt. Die vergärende Zuckerlösung befand sich in kleinen Erlenmeyer-Kölbchen, welche luftdicht mit Gasbüretten durch kapillare Röhren verbunden waren. Während der Dauer der Reaktion befand sich das Gas über der gärenden Flüssigkeit unter einem Unterdruck von etwa 140 mm Quecksilber, abgesehen von den Augenblicken, in welchen das Ablesen des Gasvolumens stattfand. Mehrere Minuten vor jeder Ablesung wurde der Inhalt der Kölbchen geschüttelt. Diese Maßregel ist absolut notwendig.

¹⁾ Slator, Journal Chem. Soc., Bd. LXXXIX, S. 138, 1906.

Die folgende Tabelle von Slator bezieht sich auf die Anfangsgeschwindigkeiten der Kohlensäureentwicklung.

Temperatur	Konzentration des Zuckers	Gärungsgeschwindigkeit			
		Glukose	Fruktose	Saccharose	Maltose
30	5	100	91	103	101
30	5	100	90	—	—
25	5	100	—	106	—
25	4	100	94	—	—
25	10	100	91	—	84

um die sehr starke Übersättigung aufzuheben, welche in gärenden Flüssigkeiten stets eintritt. Die Gärkölbchen befanden sich in einem Thermostaten, dessen Temperatur sich sehr genau auf 30° hielt. Alle in diesem Abschnitt mitgeteilten Versuche sind, sofern nichts anderes angegeben, bei 30° ausgeführt.

Bei einigen anderen Versuchsreihen wurden die Erlenmeyer-Kölbchen, in welchen sich die gärende Zuckermischung befand, mit Meissl-Ventilen verschlossen, und die entweichende Kohlensäure wurde durch Wägung ermittelt. Hierbei haben wir stets vor der Wägung die Kohlensäure durch Luft ersetzt.

Parallelversuche wurden stets gleichzeitig ausgeführt. Die Größe der Versuchsfehler geht aus folgendem Beispiel hervor, welches sich auf 2,0%ige Glukoselösung bezieht (Tab. 1). Angewandt 0,5 g Hefe auf 25 ccm Lösung.

Tabelle 1.

Minuten	15	30	60	120	180	200	220	240
I. ccm CO_2	8,5	16	33,8	71	100	106,5	109	110,5
II. ccm CO_2	10	18	35,8	73,5	102	108	111	112,5

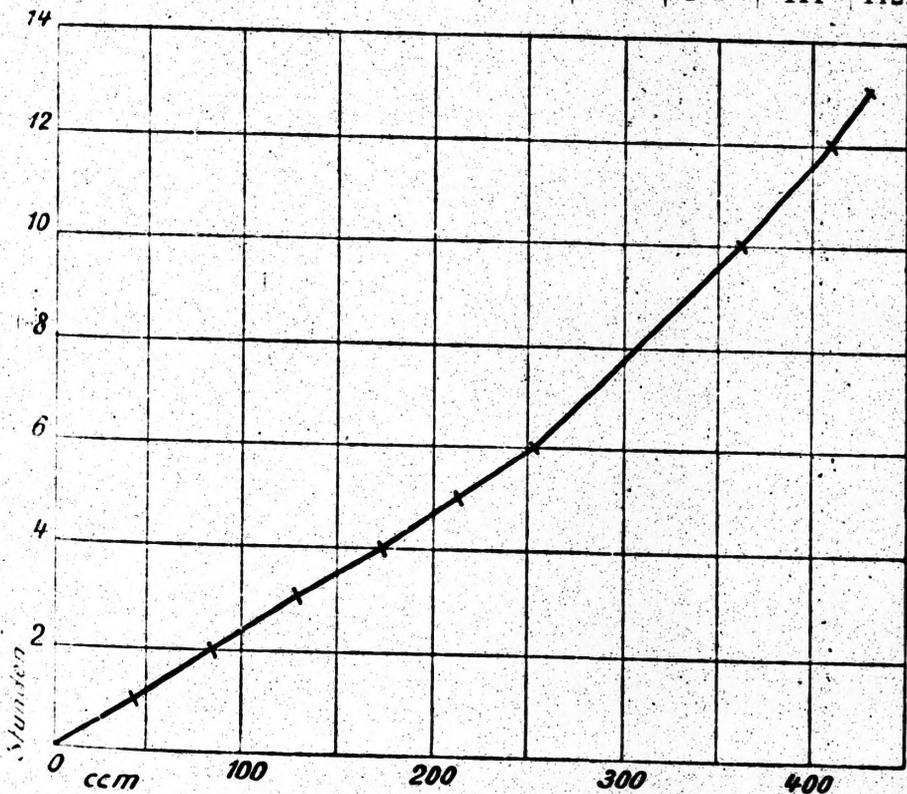


Fig. 1.

Die beiden Zahlenreihen der Tabelle 1 verlaufen fast vollkommen parallel. Die Differenz von 2 ccm ist während des ganzen Reaktionsverlaufes konstant.

Sowohl in dieser verdünnten wie in konzentrierteren Lösungen ist in der ersten Hälfte der Reaktion die Menge der entwickelten Kohlensäure der Zeit proportional, und der Reaktionsverlauf wird in diesem Bereich durch eine gerade Linie dargestellt, wie man aus vorstehender Figur 1 ersieht.

Maltose und Glukose.

Nach Slator (l. c.) wird Maltose in 5%iger Lösung etwas schneller vergoren als Glukose. Unsere Versuche gaben folgende Resultate:

Tabelle 2.

Minuten	Maltose, 2,0%ig		Glukose 2,0%ig	
	Versuch IX ccm	Versuch XXV ccm	Versuch IX ccm	Versuch XXV ccm
20	8	8	18	12
40	15	14,5	30	21,5
60	21,5	21	42	32
80	27,5	26,5	51	42,5
100	35	32	70	53
120	43	38,5	81,5	61
150	56	49,5	92	75,5
180	70	60	111	90
240	97	81	121,5	110
270	105	90	—	115
300	—	97	—	116,5
360	—	100	—	116,5
420	—	102,5	—	116,5

Bei einigen Versuchen mit 2,0%igen Lösungen erhielten wir beim Beginn der Reaktion folgenden Verlauf der Kurven, wie die nebenstehende Figur 2 angibt. Es ist nicht wahrscheinlich, daß hier Versuchsfehler vorliegen; vielmehr dürfte eine gewisse Vorbehandlung der Hefe diese Ergebnisse veranlassen.

Die relative Vergärungsgeschwindigkeit der Maltose und Glukose ist indessen von der Konzentration des Zuckers abhängig.¹⁾ Die beiden Kurven nähern sich einander mit steigender Konzentration.

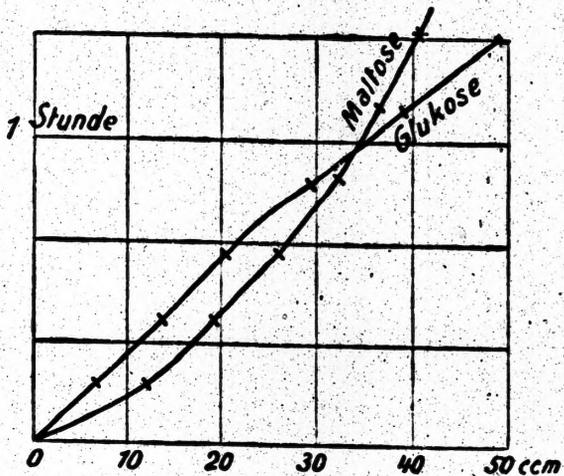


Fig. 2.

Tabelle 3.

Minuten	Maltose 8%ig		Glukose 8%ig	
	Versuch Va ccm CO ₂	Versuch XII a ccm	Versuch Vb ccm	Versuch XII b ccm
20	15	14	12	11
40	28	26	25	22
60	43	37	40	36
80	55.5	50	53.5	50
100	70	63.5	67	64.5
120	81	76	83	77
150	98.5	99	100	97
180	118.5	119	117	115
240	153	160	160	154

Wie aus der Tabelle 3 hervorgeht, besteht in 8%iger Lösung nur ein geringer Unterschied zwischen der Vergärungsgeschwindigkeit der beiden Zuckerarten. Etwas größer fiel die Differenz aus, als zwei Parallelversuche durch Wägung angestellt wurden. Mit einer Hefe, welche allerdings etwas anders vorbehandelt worden war, als die früher angewandte, erhielten wir folgende Zahlen:²⁾

¹⁾ l. c.

²⁾ Die drei Versuche sind von einander vollständig unabhängig. Der Wassergehalt der Hefe betrug durchschnittlich 60%.

Auf 25 ccm Lösung 0.5 g gepreßte Hefe Temperatur 30°	Versuch A.	Versuch B.	Versuch C.
	120 Minuten	150 Minuten	220 Minuten
	g CO ₂	g CO ₂	g CO ₂
Maltose	0.106	0.1580	0.2260
Glukose	0.117	0.1930	0.2750

Dagegen ergab sich bei einer Temperatur von 10°:

	190 Minuten	310 Minuten
	g CO ₂	g CO ₂
Maltose	0.0943	0.1542
Glukose	0.0953	0.1510

Untersucht man an einer gärenden Lösung gleichzeitig die Kohlensäureentwicklung und den Drehungsrückgang, so gewinnt man einen Anhaltspunkt, wie viel Maltose in einer gewissen Zeit hydrolysiert, aber noch nicht vergoren worden ist, mit anderen Worten, wie viel schneller die Hydrolyse verlaufen ist, als die Gärung. Wir führen aus einer größeren Versuchsreihe einige Beispiele an.

	Entwickelte CO ₂		Drehungsrückgang	
	in g	in % der Gesamtmenge	in Graden	in % der Gesamtdrehung
135 Minuten .	0.1450	14.8	10,32—8,72	15.5
240	0.2629	26,8	10,32—7,22	30.0

Wie man sieht, ist der Überschuß der Hydrolyse über die Gärung sehr gering; es wurden z. B. in 240 Minuten 26,4% der Maltose vergoren; dies entspricht einem Drehungsrückgang von 10,32 auf 7,56, während 10,32—7,22 gefunden wurde. Die Differenz beträgt 0,34°, und wie leicht berechnet werden kann, wären hiernach 5% der ursprünglich vorhandenen Zuckermenge als Glukose vorhanden. Indessen ist zweifellos selbst dieser Wert noch zu hoch, da es sich gezeigt hat, daß auch in Glukoselösungen und zwar infolge des Auftretens eines Zwischenproduktes sich eine derartige (oder meist noch größere) Differenz einstellt.

Wir kombinieren jetzt die beiden an unserer Hefe festgestellten Tatsachen, daß einerseits die Vergärung der Maltose nur wenig langsamer erfolgt als diejenige der Glukose, und daß anderseits die Hydrolyse der Maltose nicht oder nur wenig schneller verläuft als die Gärung dieses Zuckers.

Man könnte geneigt sein, folgenden Schluß zu ziehen: Da nach obigem Ergebnis die Glukose in vergärenden Maltoselösungen nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden sein kann, und da anderseits die Gärungsgeschwindigkeit der vorhandenen Zuckermenge proportional ist, so müßte, wenn nur Glukose vergoren würde, die Gärungsgeschwindigkeit höchstens etwa $\frac{1}{20}$ von derjenigen einer gleich konzentrierten Glukoselösung betragen. Da nun erfahrungsgemäß die Gärungsgeschwindigkeiten annähernd gleich sind, so muß auch die Maltose der direkten Gärung unterliegen. Der von E. Fischer geführte Nachweis, daß viele Hefen ein Maltose spaltendes Enzym enthalten, sagt ja noch nicht, daß nicht Maltose unter Umständen von diesen Hefen direkt gespalten werden könnte.

Eine solche Schlußfolgerung halten wir indessen nicht für zwingend, und zwar aus folgenden Gründen: Für die Gärungsgeschwindigkeit kommt nicht sowohl die Konzentration der die Hefe umgebenden Lösung in Betracht, als vielmehr die in den Zellen vorhandene Zuckermenge bzw. die Menge der Komplexe Zucker-Plasma. Über den Zuckergehalt der Hefezellen und dessen Abhängigkeit von der äußeren Lösung wissen wir nichts Bestimmtes. Aber wir können wohl annehmen, daß der Zuckergehalt der Zellen klein ist. Wir haben anzunehmen, daß eine Bindung des Zuckers an das Plasma eintritt, und daß die Nachlieferung des vergorenen Zuckers durch Diffusion erfolgt. Bei der Vergärung sehr schwacher Zuckerslösungen wird die Diffusionsgeschwindigkeit den zeitlichen Verlauf der Gärung bestimmen; für die Diffusionsgeschwindigkeit gilt aber die Gleichung:

$$\frac{dx}{dt} = k (A-x),$$

in welcher A die Sättigungskonzentration des Zuckers in der Zelle bedeutet und x die Zuckerkonzentration in derselben zur Zeit t. Aus dem Verlauf der l. c. S. 133 wiedergegebenen Kurve von Sator

scheint hervorzugehen, daß bei Vergärung von 5⁰/₁₀igen und stärkeren Lösungen die Sättigungskonzentration des Zuckers immer erreicht ist, und daß also in solchen Lösungen nicht mehr die Diffusionsgeschwindigkeit, sondern die Umwandlungsgeschwindigkeit des Zuckers den zeitlichen Verlauf der Gärung bestimmt.

Wenn nun die Hydrolyse der Maltose ebenso schnell erfolgt als die Vergärung, so steht dem Plasma, an dem sich ja die Bruchstücke schon befinden, ebenso viel Glukose zur Verfügung, als in jedem Zeiteil verbraucht wird, und es ist also trotz der eingangs erwähnten Tatsachen mit den Grundsätzen der chemischen Kinetik nicht unvereinbar, anzunehmen, daß die Maltose zunächst hydrolysiert wird. Die Menge des an Plasma gebundenen Zuckers kann eben bei der Vergärung der Maltose so groß sein wie bei der Vergärung der Glukoselösungen.

Bekanntlich üben Phosphorsäure bzw. Phosphate auf die alkoholische Gärung eine beschleunigende Wirkung aus. Harden und Young haben diesen Einfluß in der Weise gedeutet, daß die vergärenden Kohlenhydrate mit der Phosphorsäure Ester bilden, welche als Zwischenprodukte der Gärung fungieren. Im hiesigen Laboratorium ist eine Untersuchung im Gang, welche die bei der Gärung entstehenden Ester der verschiedenen Kohlenhydrate behandelt. Da anzunehmen war, daß der Grad und die Ge-

Tabelle 4.

Versuch XVI und XVII.

Minuten	Mannose		Glukose	
	8 ⁰ / ₁₀	4 ⁰ / ₁₀	8 ⁰ / ₁₀	4 ⁰ / ₁₀
20	6	7	12	10,5
40	12,5	13,5	24,5	20
60	18,5	20,2	38	31
80	25	27	51,5	44
100	32,8	33,5	65,5	54
120	40,5	40	81,2	65,5
150	52	49,5	104	82,5
180	66	58,8	124,8	98
240	93,5	80	164,5	127
300	122,5	100,5	203	151

schwindigkeit der Esterbildung in dem Einfluß der Phosphate auf die Gärung zum Ausdruck kommt, haben wir die folgenden Messungen angestellt.

Zunächst haben wir die relative Vergärungsgeschwindigkeit der Mannose und Glukose gemessen.

Bei einigen Versuchen mit 4%igen Zuckerlösungen wurde die Kohlensäure gewichtsanalytisch bestimmt. Temperatur 20°.

	Minuten	g Kohlensäure	Quotient
Glukose	240	0,1180	—
Mannose	240	0,0088	1,34
Glukose	330	0,1640	—
Mannose	330	0,1240	1,32

Die Mannose wird also durchgehend langsamer vergoren und zwar ist der Unterschied in der Geschwindigkeit offenbar um so größer, je größer die Konzentration des Zuckers ist.

Die Unterschiede im Geschwindigkeitsverhältnis bei den gewichtsanalytischen (1,33) und den volumetrischen Versuchen (1,6) können auf der ungleichen Versuchstemperatur beruhen. (20 bzw. 30°.)

Tabelle 5.

Einfluß von Phosphat auf die Gärungsgeschwindigkeit.

Min.	Mannose				Glukose			
	Versuch XX		Versuch XXII		Versuch XXI		Versuch, XXIII	
	2% NaH ₂ PO ₄	H ₂ O	2% NaH ₂ PO ₄	H ₂ O	2% NaH ₂ PO ₄	H ₂ O	2% NaH ₂ PO ₄	neutr. Phosphat
20	6,5	5,5	8	7	15,5	12	10,5	10
40	13,5	11,5	18,5	12,5	31,5	24,5	24	23
60	19,5	17,8	19,5	18,5	51	39,5	40	38
80	25,5	24,5	25	25	72	54	57	55
100	31,8	31	31	32,5	93	70	75,5	74,8
120	38	39	36,8	39,8	112,5	84,5	95,5	94
150	50	51,5	45	52,5	143	106	124,5	123,5
180	62	64	55	66	176,8	129	155	157
240	89	91	—	—	239,5	171	216	219,5
300	115,5	118,8	—	—	295	213	268	280

Das Ergebnis dieser Tabelle ist, daß NaH_2PO_4 unter den Umständen, unter welchen die Gärung der Glukose beschleunigt wird, auf die Mannosegärung ohne Einwirkung ist.

II.

Die nachstehenden Versuche beziehen sich auf die Frage: Unter welchen Bedingungen und bis zu welchen Grenzen ändert der lebende Organismus, speziell der Mikroorganismus seinen Enzymgehalt bzw. die Wirksamkeit seines Enzymsystems? Es handelt sich bei den folgenden Versuchen um solche Änderungen in der Gärwirkung der Hefe, welche nach kurzer, wenige Stunden dauernder Vorbehandlung mit verdünnten Lösungen von Zucker und Phosphaten auftreten.

Methodik: Die Gärwirkung wurde in der auf S. 98 angegebenen Weise gemessen. Die während einer gewissen Zeit vorbehandelte Hefe wurde nach Ablauf dieser Zeit auf dem Filter kurz gewaschen, abgepreßt und auf Tontellern getrocknet. Der Wassergehalt eines jeden Hefepreparates wurde durch Trocknen bei 105° bestimmt; er schwankte zwischen 63 und 73 %; die zu vergleichenden Gärungsgeschwindigkeiten wurden wegen des ungleichen Wassergehaltes korrigiert. Ein Parallelversuch wurde jedesmal mit Hefe ausgeführt, welche sich während der Vorbehandlungszeit in reinem Leitungswasser befand, und zwar bei der gleichen Temperatur wie die untersuchte Lösung. Die zu allen Versuchen angewandte Hefe war eine untergärige Bierhefe der hiesigen St. Eriksbrauerei. Dieselbe wurde am Versuchstage etwa 1 Stunde mit Leitungswasser von 10° gewaschen und dann abgepreßt.

Die nebenstehenden Kurven der Figur 3 stellen den Einfluß dar, welcher durch reines und neutralisiertes NaH_2PO_4 ausgeübt wird, einerseits, wenn dieses Salz bei der Gärung anwesend ist (die beiden unteren Kurven), andererseits, wenn die Hefe vor der Gärung damit in Berührung ist (die obere Kurve; sie fällt mit der für unbehandelte Hefe erhaltenen zusammen).

Das Ergebnis ist, daß unsere Hefe, deren Gärwirkung durch Phosphate beschleunigt wird, durch eine mehrstündige Vorbehandlung mit Phosphat nicht oder höchstens 5 % gärkräftiger wird.

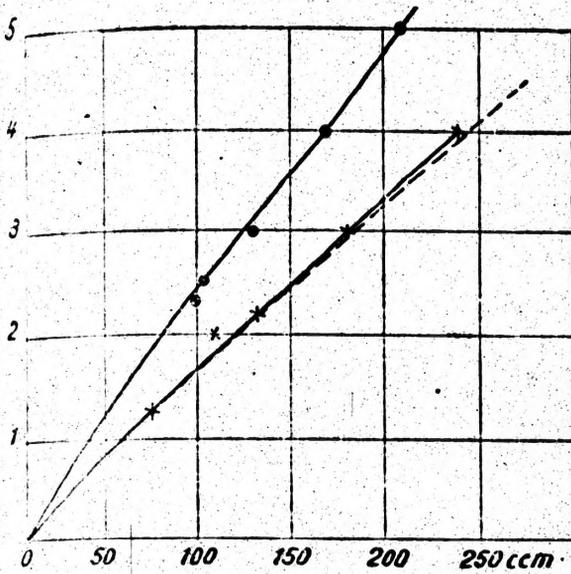


Fig. 3.

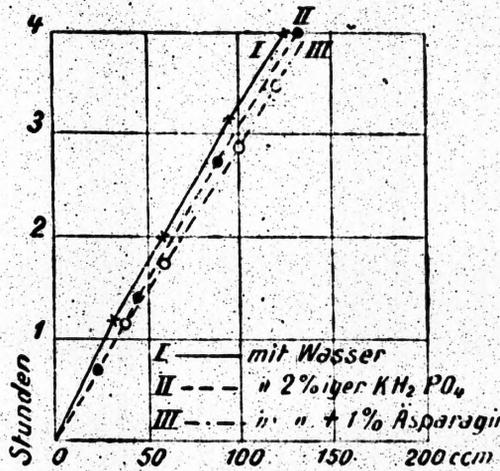


Fig. 4.

Analytisch wurde festgestellt, daß unsere Hefe aus Natriumphosphatlösung kein Phosphat aufgenommen hatte. Ein Zusatz von 0,1% Asparagin (Fig. 4, Kurve III) änderte an diesem geringen Effekt nur wenig.

Die folgenden Versuche (Fig. 5) betreffen Gärungen, bei welchen die Hefe mit Zuckerlösungen ohne Phosphat (Kurve II) und mit Phosphat (Kurve III) vorbehandelt worden war.

5 g Hefe bleibt während 2 Stunden bei 18° mit 100 ccm 10% iger Rohrzuckerlösung in Berührung. Die Hefe wird hierauf abfiltriert, gewaschen und auf Ton getrocknet.

Der Parallelversuch blieb während der gleichen Zeit mit Wasser in Berührung und wurde hierauf ebenfalls auf Ton getrocknet.

Wie nebenstehende Figur 5 zeigt, ist der Effekt der Vorbehandlung auch hier gering.¹⁾

Da im hiesigen Laboratorium früher mit andern Hefen recht er-

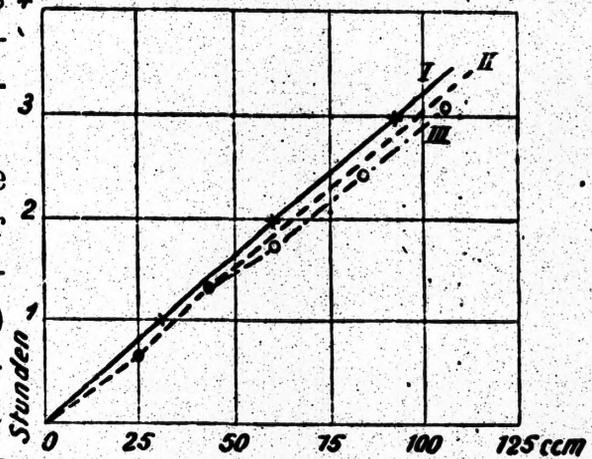


Fig. 5.

¹⁾ Im Anschluß an diese Versuche sei auch erwähnt, daß wir die

hebliche Änderungen der Gärkraft erzielt worden waren, und da die Frage, auf welchen Ursachen die verschiedene Empfindlichkeit der Heferasen beruht, von bedeutendem Interesse ist, haben wir nicht versäumt, die von uns angewandte Hefe analytisch zu charakterisieren.²⁾

Abgepreßte Hefe wurde zuerst im Paßburgschen Apparat im Vakuum und dann bei 105° im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz entwässert.

Phosphorsäurebestimmung: Vor dem Einäschern wurde die Hefe mit 5—6 ccm 2-norm.-Sodalösung versetzt, um den in der Hefenasche vorhandenen Überschuß an Säure zu binden. Nach dem Veraschen wurde der Rückstand während etwa 4 Stunden mit HNO₃ behandelt, um Pyrophosphat in Orthophosphat überzuführen; die weitere Bestimmung geschah nach der Methode von Woy.

I. 1,9878 g Trockenhefe gaben 0,1291 g Mg₂P₂O₇ 5,72 H₃PO₄
= 4,14% P₂O₅.

II. 2,7006 g Trockenhefe gaben 0,1700 g Mg₂P₂O₇ 5,54 H₃PO₄
= 4,02% P₂O₅.

Stickstoffbestimmung: 4 Bestimmungen nach der Methode von Kjeldahl ergaben die Werte:

8,53 — 8,57 — 8,45 — 8,35. Mittel: 8,48% N₂.

Eine Stickstoffbestimmung nach Dumas lieferte folgenden Wert:

0,1100 g getrocknete Hefe gab 8,1 ccm N₂ bei 22,5° und 768 mm Hg.

Das Präparat enthält also 8,37% N₂.

Hefe auch mit Hefewasser vorbehandelt haben, in der Erwägung, daß die organischen Phosphate dieses Extraktes das Zymasystem der lebenden Hefe beeinflussen könnten. Indessen war der Effekt ein negativer; nach 2stündiger Berührung war die Gärungsgeschwindigkeit um 10% vermindert.

Dieses Resultat erinnert an das Ergebnis von E. Buchner (Die Zymasegärung, S. 113), daß Hefepreßsaft die Gärtätigkeit der lebenden Hefe hemmt.

²⁾ Die Gärkraft der Hefe ist durch den in Fig. 1 dargestellten Versuch gekennzeichnet. Invertasesystem: 0,25 g abgepreßte Hefe = 0,1 g getrocknete Hefe in 25 ccm 8%iger Rohrzuckerlösung ergaben eine Inversionskonstante $k \cdot 10^4 = 365$.

Während der Stickstoffgehalt normal ist — C. Lintner¹⁾ hat in 9 Proben von untergäriger Bierhefe den Stickstoffgehalt zwischen 7,74 und 8,80 gefunden —, übertrifft der Gehalt unserer Hefe an Phosphorsäure, rund 4,0% P_2O_5 den höchsten von Lintner gefundenen Gehalt, 3,84%. Die von Lintner angegebenen Grenzen sind 3,21—3,84 und das Mittel ist 3,6. Buchner und Haehn²⁾ sowie Schönfeld und Krampf³⁾ haben allerdings kürzlich noch höhere P_2O_5 -Gehalte gefunden. Wahrscheinlich wird sich der ziemlich geringe Einfluß, den Phosphate auf die Gärung unserer Hefe besitzen, darauf zurückführen lassen, daß der Phosphorgehalt derselben bereits von vornherein sehr hoch ist. Jedenfalls deuten hierauf die folgenden Versuche hin, welche früher mit einer Hefe M vom Phosphorgehalt 3,52% P_2O_5 erhalten wurden:

50 g Hefe M der Hamburgerbrauerei bleibt 2 Stunden bei 18° mit 1 l einer 10%igen Zuckerlösung in Berührung, welche 2%ig in bezug auf NaH_2PO_4 ist. Der Parallelversuch ist mit Wasser angestellt. Hier hat also die Vorbehandlung mit Phosphat, wie Fig. 6 zeigt,

innerhalb der ersten 3 Stunden eine Zunahme von etwa 40% ergeben.

Mit der Hefe M waren schon früher folgende Versuche angestellt worden:

Je 100 g Hefe während 2 Stunden behandelt:

Mit 1 Liter 10%iger Rohrzuckerlösung (a).

Mit 1 Liter 2%iger Natriumphosphatlösung (b).

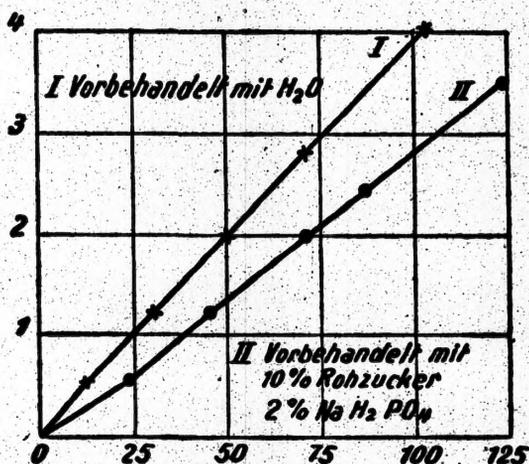


Fig. 6.

¹⁾ Zeitschrift f. d. ges. Brauwesen, Bd. VI, S. 397, 1883.

²⁾ Biochemische Zeitschrift, Bd. XXVII, S. 418, 1910.

³⁾ Wochenschrift für Brauerei, Bd. XXVIII, S. 157 u. ff., 1911.

Mit einer Lösung, welche 10% Rohrzucker und 2% Phosphat enthielt (c).

Das Resultat ergibt sich aus folgender Figur 7. (O = unbehandelte Hefe.)

Der Einfluß von Rohrzucker, a, und von Phosphat, b, jedes für sich, ist also gering; beide zusammen, c, beschleunigen jedoch die Gärung. Diese Versuche stehen in bester Übereinstimmung mit dem von Lange¹⁾ erhaltenen Ergebnis. Über den Phosphorgehalt dieser Hefe sind keine Angaben gemacht.

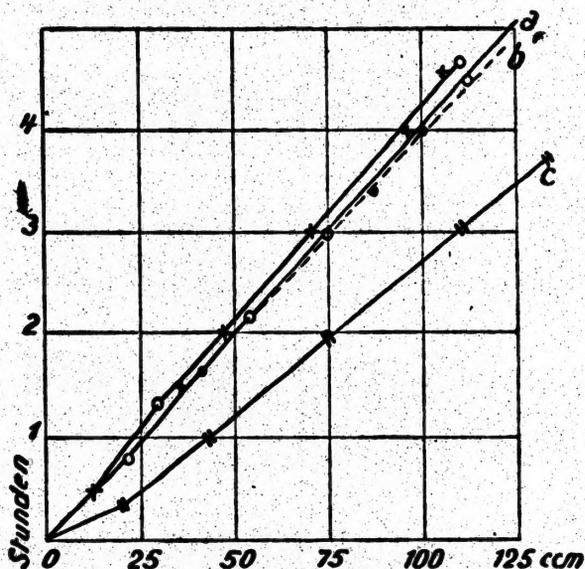


Fig. 7.

Die erwähnten Resultate setzen wir nun in Zusammenhang mit den Angaben von Harden und Young, von L. Iwanoff und A. von Lebedew über die Bildung organischer Phosphate bei der Gärung.

Harden u. Young²⁾ nehmen an, daß bei der Gärung in Gegenwart von Phosphorsäure 2 Moleküle Phosphat auf

2 Moleküle Hexose in der Weise einwirken, daß 1 Molekül Hexosephosphat entsteht, während ein zweites Hexosemolekül in Alkohol und Kohlensäure gespalten wird. Die Richtigkeit dieser Auffassung beruht natürlich in erster Linie auf der Richtigkeit der bis jetzt noch nicht festgestellten Formel des Phosphoresters. Wir wollen dieselbe hier nicht diskutieren; durch weitere Versuche soll festgestellt werden, ob nicht bei der Zuckerspaltung in Gegenwart von Phosphaten ein Phosphorsäureester entsteht, welcher die weitere Zuckerspaltung katalytisch beschleunigt, und ob nicht dieses organische Phosphat

¹⁾ Wochenschrift für Brauerei, 1907. — Beiträge zur Physiologie der Hefe. Herausgeg. von M. Delbrück. Berlin, Institut für Gärungsgewerbe, 1910.

²⁾ Proc. Roy. Soc., Bd. LXXX, S. 299, 1908.

identisch ist mit dem von Harden und Young, sowie von Buchner und Meisenheimer studierten sog. Co-Enzym der Zymase.

Bei denjenigen Fällen, in welchen die kurze Vorbehandlung mit Rohrzucker-Phosphat einen Einfluß ausübt, sind zwei Möglichkeiten vorhanden bezüglich der Art dieses Einflusses: Entweder der Enzymgehalt der Hefe variiert, oder aber der Enzymgehalt ist eine für jede Hefe charakteristische Größe, welche erst im Laufe von Generationen langsam geändert werden kann; in letzterem Fall ist es nur die Wirksamkeit des Enzymsystems, welche, den äußeren Einflüssen folgend, rasch wechselt.

Für die letztere Annahme spricht die überwiegende Anzahl der bis jetzt bekannten Tatsachen; da diese Frage für das Studium der Variationen von Mikroorganismen von grundlegender Bedeutung ist, werden wir bald auf dieselbe eingehender zurückkommen.

Zusammenfassung.

1. Die von uns untersuchte Hefe erwies sich sehr maltasearm; die durch dieselbe hervorgerufene Spaltung der Maltose zu Glukose verläuft wenig oder nicht schneller als die Vergärung dieses Zuckers. Trotzdem wird von dieser Hefe Maltose annähernd ebenso schnell vergoren wie Glukose. Man könnte hieraus auf die direkte Vergärung der Maltose schließen, in dessen lassen sich die beiden erwähnten Tatsachen auch in anderer Weise miteinander vereinbaren.

2. Die Gärung der Glukose wird bekanntlich sowohl durch neutralisiertes als durch reines Mononatriumphosphat beschleunigt, (2%iges NaH_2PO_4 beschleunigt die Gärung einer 8%igen Zuckerlösung durch die Hefe H um etwa 25%). Die Gärung der Mannose wird unter den gleichen Umständen nicht beeinflusst. Dies deutet darauf hin, daß die bei der Vergärung der Mannose eintretenden Zwischenreaktionen teilweise andere sind als diejenigen, welche bei der Gärung der Glukose statthaben.

3. Die von uns untersuchte Hefe ändert durch Vorbehandlung mit Zucker, Phosphat oder Mischungen dieser beiden Stoffe ihre Gärwirkung nicht; es liegen also keine hinreichenden Anhaltspunkte dafür vor, daß ihr Zymasegehalt durch die Gärung beeinflußt wird. Auch bei anderen Hefearten, bei welchen durch eine Vorbehandlung die Gärwirkung gesteigert werden kann, dürfte nicht die Zymase selbst eine Veränderung erfahren, vielmehr scheinen die Hilfsstoffe des Enzyms beeinflußt zu werden.

4. Unsere Hefe, welche gegen Vorbehandlung mit Phosphat unempfindlich ist, zeichnet sich durch einen hohen Phosphorsäuregehalt aus.
