

Über Veränderung der fermentativen Eigenschaften, welche die Hefezellen bei der Abtötung mit Aceton erleiden.

Von

R. O. Herzog und O. Saladin.

(Aus dem chemischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe.)

(Der Redaktion zugegangen am 22. Juni 1911.)

Die Absicht war, zu untersuchen, wie sich lebende und Acetonhefe von gleicher Gärkraft gegenüber einer Zuckerart (z. B. Dextrose) in bezug auf die Umsatzgeschwindigkeit gegenüber anderen Zuckerarten verhielten.

1. Zur Anwendung gelangte untergärige Bierhefe, die uns von der Brauerei Sinner in Grünwinkel mit liebenswürdigster Bereitwilligkeit zur Verfügung gestellt wurde. Wir sprechen hierfür auch an dieser Stelle unseren besten Dank aus!

Die Hefe wurde stets gleichmäßig abgepreßt, sodaß ihr Wassergehalt annähernd konstant war. Auch in biologischer Beziehung war das Material sehr gleichmäßig, was seinen Ausdruck in der sehr konstanten Gärkraft findet. Wie die folgenden Tabellen zeigen, schwankte sie an den verschiedenen Versuchstagen nur um ein geringes, sodaß die zu verschiedenen Zeiten angestellten Versuche untereinander durchaus vergleichbar sind. Die Prüfung geschah in der Weise, daß dieselbe Gewichtsmenge Hefe mit einer konstanten Menge Traubenzucker geprüft wurde.

Auch die Abtötung erfolgte möglichst gleichmäßig. 200 g Hefe wurden mit etwa $\frac{3}{4}$ l Aceton eine Minute lang durchgerührt und die Masse auf der Nutsche scharf abgesaugt. Hierauf erfolgte dieselbe Behandlung mit Äther und dann nochmals

mit Aceton. Bis zur Entfernung des Acetongeruches wurde dreimal mit Äther nachgewaschen und immer wieder ausgepreßt. Dabei hielt man stets ein möglichst gleichmäßiges Arbeitstempo ein. Am Schluß wurde an der Luft getrocknet.

Die Ausbeute an «Dauerhefe» betrug etwa 55 g aus 200 g lebender Hefe, also 27,5%. E. u. H. Buchner und M. Hahn geben in der «Zymasegärung» an: 30–32% für Acetonhefe, 29–32% bei der Abtötung mit Alkoholäther: Euler und Beth af Ugglas¹⁾ erhalten bei Alkoholbehandlung zwischen 20 und 28% trockene Hefe. Die Differenzen hängen zum größten Teil natürlich davon ab, wie weit die lebende Hefe abgepreßt war.

Die Gärversuche wurden in folgender Weise ausgeführt. Eine Anzahl Erlenmeyerkölbchen wurden mit 25 ccm der Zuckerlösung und lebender (0,5 oder 1 g) oder toter (5 oder 10 g) Hefe beschickt, mit einem Watteverschluß versehen und auf einer Schüttelmaschine bewegt, was sich als wichtig für die Gleichmäßigkeit der Resultate herausstellte. Wegen der großen Anzahl von Kölbchen wurde auf Anwendung eines Wasserbadthermostaten verzichtet und in einem Raume gearbeitet, der gestattete, die Temperatur zwischen 23–24° C. konstant zu erhalten. In diesem Intervall sind also auch die Änderungen der Geschwindigkeitskonstanten von den Temperaturschlägen abhängig. Nach 0,5, 2, 4, und 8 Stunden wurde die Gärwirkung durch Zusatz von 5 ccm gesättigter Sublimatwirkung unterbrochen und die Hefe von der Flüssigkeit abzentrifugiert. Die Lösung wurde mittels Saccharimeter polarisiert. Zur Bestimmung der ursprünglichen Drehung wurde eine Zuckerlösung + 5 ccm Sublimat untersucht, die mit Hefe versetzt wurde, um den Einfluß der Hefeextraktstoffe auszugleichen. Es zeigte sich, daß bei Anwendung lebender Hefe keine merkbaren Mengen optisch aktiver Substanzen in die Lösung abgegeben wurden. Dagegen zeigte eine Reihe von Versuchen, daß bei Anwendung von Acetonhefe eine Veränderung der Drehung auftrat, welche betrug:

¹⁾ Diese Zeitschrift, Bd. 70. S. 279 (1911).

Für Stunden	0,5	2	4	8
Bei Anwendung von 5 g Acetonhefe	-0,2°	-0,4°	-0,8°	-1,6°
» » » 10 » »	-0,4°	-0,8°	-1,6°	-3,2°

Diese Drehungsänderungen werden daher stets bei den Versuchen berücksichtigt.

Zum Verständnis der Tabellen sei vorausgeschickt, daß jeder neue in anderer Weise numerierte Versuch mit einer anderen Hefe durchgeführt ist. Zu Anfang der Arbeit wurden stets nur Ein-Versuche in größerer Zahl gemacht, um den Unterschied in der Wirkungskraft der lebenden und der getöteten Hefe von verschiedenen Tagen und den der Wirkung der Abtötung kennen zu lernen. Später wurde jeder Versuch doppelt angestellt und neben anderen Monosen immer noch Dextrose vergoren zum direkten Vergleich der Reaktionsgeschwindigkeiten.

Die in der Tabelle verwandten Zeichen haben folgende Bedeutung:

t ist die Zeit in Stunden, nach welchen die Gärung aufgehoben wurde.

c_t ist der an dem Saccharimeter abgelesene Winkel, welcher der Konzentration des Gärsubstrates nach der Gärung von t Stunden entspricht und somit ohne weiteres der unvergorenen Zuckermenge proportional ist.

k ist die Geschwindigkeitskonstante der Reaktion, berechnet nach der Formel

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{c_0}{c_t}$$

v ist die Geschwindigkeitskonstante berechnet nach der Formel

$$v = \frac{1}{t} \log \frac{c_0 + (c_0 - c_t)}{c_t}$$

a) Dextrose.

Versuch 1.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	22,0	—	—	0	21,5	—	—
0,5	21,2	322	632	0,5	19,8	714	1376
2	18,9	329	616	2	15,3	338	1289
4	16,0	345	608	4	11,0	727	1159
	Mittel: 365		618		Mittel: 593		1274

Versuch 2.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,2	—	—	0	20,8	—	—
0,5	20,3	376	738	0,5	19,1	742	1324
2	18,2	331	618	2	14,7	754	1312
4	14,8	380	677	4	9,6	839	1307
	Mittel: 392		6777		Mittel: 778		1348

Versuch 3.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,5	—	—	0	21,1	—	—
0,5	20,7	228	646	0,5	19,4	730	1402
2	18,6	314	589	2	15,2	712	1248
4	15,4	362	637	4	11,4	698	1119
8	10,7	369	593	8	3,5	975	1304
	Mittel: 318		616		Mittel: 779		1268
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,6	330	650	0,5	19,3	732	1408
2	18,7	293	551	2	15,0	731	1276
4	15,5	352	626	4	10,8	712	1139
8	10,6	384	603	8	3,8	928	1252
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,5	272	730	0,5	19,5	644	1244
2	18,5	366	596	2	15,3	688	1209
4	15,2	396	652	4	10,7	732	1165
8	10,8	371	589	8	4,0	900	1222
	Mittel: 345		625		Mittel: 758		1239

Versuche mit getöteter Hefe.

Versuch 4.

Hefemenge 5 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	20,6	—	—
0,5	19,8	344	674
2	17,3	379	752
4	14,3	396	676
	Mittel:	373	700

Versuch 5.

Hefemenge 5 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	20,6	—	—	0	20,2	—	—
0,5	19,8	344	674	0,5	19,5	308	602
2	17,3	379	752	2	17,6	426	601
4	14,3	396	676	4	15,2	309	543
	Mittel:	373	700	Mittel:	348	582	

Versuch 6.

Hefemenge 10 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	22,0	—	—
0,5	20,1	784	1504
2	15,1	817	1409
4	9,0	970	1477
	Mittel:	857	1463

Versuch 7.

Hefemenge 5 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,8	—	—
0,5	21,0	326	638
2	18,1	404	744
4	15,4	378	656
8	10,4	402	630
	Mittel:	327	667

Hefemenge 10 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,8	—	—	0	21,3	—	—
0,5	21,0	326	638	0,5	19,7	678	1306
2	18,1	404	744	2	15,2	738	1280
4	15,4	378	656	4	9,6	890	1340
	Mittel:	327	667	Mittel:	768	1308	

Versuch 8.

Hefemenge 5 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,0	—	—
0,5	20,1	380	744
2	17,7	371	688
4	14,5	402	695
8	9,9	407	638
	Mittel:	390	691

Hefemenge 10 g

t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,0	—	—	0	22,6	—	—
0,5	20,1	380	744	0,5	18,9	748	1436
2	17,7	371	688	2	14,3	798	1372
4	14,5	402	695	4	8,9	911	1399
	Mittel:	390	691	Mittel:	819	1402	

Versuch 9.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	20,9	—	—	0	20,5	—	—
0,5	20,0	382	750	0,5	18,8	752	1444
2	17,5	385	713	2	13,8	854	1473
4	14,5	396	687	4	8,5	956	1451
8	9,6	422	657				
0	20,9	—	—	0	20,5	—	—
0,5	20,0	382	750	0,5	18,7	800	1530
2	17,3	410	756	2	14,0	828	1426
4	14,6	389	675	4	8,7	930	1424
8	9,8	411	642				
	Mittel: 397		704		Mittel: 840		1458

Versuch 10.

Hefemenge 5 g Zymin (älteres Präparat)				Hefemenge 10 g Zymin			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,3	—	—	0	20,9	—	—
2	18,2	341	636	2	15,0	720	1260
4	15,4	352	617	4	10,5	742	1186
	Mittel: 346		627		Mittel: 731		1223

Versuch 11.

Hefemenge 5 g Zymin (frisches Präparat)				Hefemenge 10 g Zymin			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,6	—	—	0	21,2	—	—
0,5	20,7	370	724	0,5	19,4	770	1478
2	17,9	408	751	2	14,2	870	1489
4	14,9	403	696	4	9,0	930	1423
	Mittel: 394		724		Mittel: 856		1463

b) Lävulose.

Versuche mit lebender Hefe.

Versuch 12.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 38,5	—	—	0	— 38,0	—	—
0,5	— 37,5	230	452	0,5	— 36,2	422	824
2	— 34,9	213	407	2	— 30,7	463	845
4	— 31,1	232	423	4	— 23,9	503	823
8	— 25,4	205	372	8	— 13,7	554	822
0	— 38,5	—	—	0	— 38,0	—	—
0,5	— 37,6	206	406	0,5	— 36,1	446	890
2	— 34,9	213	407	2	— 30,9	449	821
4	— 31,3	222	411	4	— 23,7	413	859
8	— 25,1	232	394	8	— 13,3	569	842
	Mittel: 219	409			Mittel: 477	840	

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,6	330	650	0,5	19,4	688	1320
2	18,0	375	696	2	15,0	731	1276
4	15,2	352	626	4	10,5	732	1320
8	10,7	376	596	8	4,4	848	1192
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,6	330	650	0,5	19,4	688	1320
2	18,3	339	633	2	14,7	774	1344
4	15,2	352	626	4	10,7	732	1165
8	20,8	371	589	8	4,2	873	1180
	Mittel: 353	633			Mittel: 760	1264	

Versuch 13.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 39,2	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 38,3	202	398	0,5	— 36,6	462	900
2	— 35,3	228	433	2	— 31,4	448	820
4	— 31,6	234	451	4	— 24,6	489	820
8	— 26,0	233	381	8	— 13,8	559	827
0	— 39,2	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 38,2	224	442	0,5	— 36,8	416	812
2	— 35,6	219	400	2	— 31,2	462	843
4	— 31,9	224	408	4	— 24,3	502	845
8	— 25,9	225	384	8	— 14,0	551	818
	Mittel:	224	412		Mittel:	486	835

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	+ 20,9	—	—	0	20,6	—	—
0,5	+ 20,2	294	582	0,5	18,9	748	1436
2	+ 17,7	361	670	2	14,7	733	1279
4	+ 14,8	377	653	4	10,1	776	1221
8	+ 10,4	379	599	8	4,0	889	1210
0	+ 20,9	—	—	0	20,6	—	—
0,5	20,1	382	710	0,5	18,9	748	1436
2	17,7	361	670	2	14,5	762	1325
4	14,9	347	641	4	10,2	763	1207
8	10,2	389	600	8	3,6	947	1271
	Mittel:	361	641		Mittel:	795	1298

Versuch 14.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 38,5	—	—	0	— 38,0	—	—
0,5	— 37,5	230	452	0,5	— 36,1	446	870
2	— 35,1	201	384	2	— 31,0	442	809
4	— 31,2	228	416	4	— 24,2	490	826
8	— 25,3	228	388	8	— 14,0	542	807
0	— 38,5	—	—	0	— 38,0	—	—
0,5	— 37,4	252	496	0,5	— 36,1	446	870
2	— 34,7	219	423	2	— 31,1	435	797
4	— 31,1	232	423	4	— 24,2	490	826
8	— 25,4	205	372	8	— 14,0	542	807
	Mittel: 224	419			Mittel: 479	826	

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	+ 20,9	—	—	0	20,5	—	—
0,5	20,1	338	666	0,5	18,9	706	1358
2	17,8	348	649	2	14,6	706	1286
4	14,9	367	641	4	10,2	758	1200
8	10,5	373	592	8	3,8	915	1238
0	20,9	—	—	0	20,5	—	—
0,5	20,0	382	740	0,5	18,9	706	1358
2	17,9	336	627	2	14,7	722	1263
4	14,5	396	687	4	10,1	768	1214
8	10,3	384	606	8	3,5	959	1287
	Mittel: 365	651			Mittel: 780	1275	

Versuch 15.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 39,2	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 38,4	180	356	0,5	— 37,0	368	720
2	— 35,7	203	388	2	— 31,5	434	796
4	— 32,3	210	386	4	— 25,3	458	780
8	— 26,5	212	365	8	— 15,8	484	736
0	— 39,2	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 38,3	202	298	0,5	— 37,0	368	720
2	— 35,9	191	366	2	— 31,9	414	761
4	— 32,4	207	380	4	— 25,0	471	799
8	— 26,2	218	374	8	— 15,4	498	754
	Mittel: 202	376			Mittel: 436	758	

Parallelversuche mit Dextrose.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,2	—	—	0	20,8	—	—
0,5	20,4	334	656	0,5	19,2	796	1416
2	18,2	331	618	2	15,0	710	1244
4	15,3	354	621	4	10,2	776	1220
8	11,0	356	569	8	4,2	868	1187
0	21,2	—	—	0	20,8	—	—
0,5	20,5	290	572	0,5	19,4	606	1172
2	18,0	331	618	2	15,0	710	1244
4	15,3	354	621	4	10,2	776	1220
8	11,2	346	556	8	4,3	856	1172
	Mittel: 337	604			Mittel: 749	1234	

Versuche mit getöteter Hefe.

Versuch 16.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 39,5	—	—	0	— 39,0	—	—
0,5	— 37,9	360	704	0,5	— 35,8	744	1428
2	— 32,9	397	732	2	— 26,8	815	1406
4	— 27,0	413	711	4	— 17,0	901	1387
8	— 16,5	473	721				
0	— 39,5	—	—	0	— 39,0	—	—
0,5	— 37,8	382	748	0,5	— 35,7	768	1472
2	— 32,6	417	766	2	— 26,9	806	1393
4	— 27,2	405	699	4	— 17,2	889	1371
8	— 16,6	400	717				
	Mittel: 415	724			Mittel: 837	1410	

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,7	—	—	0	21,3	—	—
0,5	20,8	368	720	0,5	19,6	722	1380
2	18,4	358	665	2	14,7	805	1391
4	15,0	401	693	4	9,7	854	1326
8	10,2	409	640				
0	21,7	—	—	0	21,3	—	—
0,5	20,8	368	720	0,5	19,5	768	1472
2	18,2	394	706	2	14,9	776	1346
4	15,2	384	671	4	9,4	638	1370
8	10,3	404	633				
	Mittel: 389	681			Mittel: 760	1361	

Versuch 17.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 39,0	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 37,5	342	670	0,5	— 25,3	776	1488
2	— 32,6	389	719	2	— 26,4	825	1421
4	— 26,6	415	715	4	— 16,4	929	1422
8	— 16,0	483	735				
0	— 39,0	—	—	0	— 38,6	—	—
0,5	— 37,4	364	712	0,5	— 35,3	776	1488
2	— 32,6	389	719	2	— 26,8	792	1371
4	— 36,3	427	733	4	— 16,7	909	1397
8	— 16,0	483	735				
	Mittel: 411		717		Mittel: 834		1447

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,0	—	—	0	20,6	—	—
0,5	20,3	294	579	0,5	18,9	748	1430
2	17,6	383	709	2	14,1	823	1419
4	14,4	409	706	4	8,7	935	1431
8	9,4	436	675				
0	21,0	—	—	0	20,6	—	—
0,5	20,1	380	744	0,5	19,0	701	1350
2	17,5	396	731	2	14,0	839	1442
4	14,3	417	717	4	8,7	936	1431
8	9,4	436	675				
	Mittel: 394		692		Mittel: 830		1417

Versuch 18.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 38,6	—	—	0	— 38,1	—	—
0,5	— 36,8	416	1024	0,5	— 35,2	688	1326
2	— 32,3	393	727	2	— 25,3	889	1518
4	— 25,9	433	742	4	— 15,6	969	1473
8	— 16,0	478	724				
0	— 38,6	—	—	0	— 38,1	—	—
0,5	— 37,0	368	720	0,5	— 34,9	762	1464
2	— 31,9	414	761	2	— 22,5	1143	1377
4	— 26,0	429	236	4	— 15,9	942	1440
8	— 15,6	458	712				
	Mittel: 423	768			Mittel: 732	1433	

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,6	330	649	0,5	19,3	732	1409
2	18,0	376	696	2	14,5	804	1389
4	14,7	408	703	4	9,2	893	1380
8	10,0	413	645				
0	21,4	—	—	0	21,0	—	—
0,5	20,5	392	720	0,5	19,5	676	1244
2	19,9	358	716	2	14,5	853	1464
4	15,0	386	669	4	9,1	981	1486
8	9,8	424	659				
	Mittel: 386	687			Mittel: 823	1395	

Versuch 19.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	— 39,2	—	—	0	— 38,7	—	—
0,5	— 37,5	386	754	0,5	— 35,5	750	1440
2	— 33,0	374	693	2	— 26,6	814	1405
4	— 27,1	401	713	4	— 16,5	925	1582
8	— 16,3	476	726				
0	— 39,2	—	—	0	— 38,7	—	—
0,5	— 37,6	362	710	0,5	— 35,5	750	1440
2	— 32,9	381	704	2	— 26,3	838	1442
4	— 26,8	413	732	4	— 16,7	912	1402
8	— 16,5	457	717				
	Mittel: 406		718		Mittel: 831		1451

Parallelversuch mit Dextrose.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	20,9	—	—	0	20,6	—	—
0,5	20,1	338	666	0,5	19,0	702	1350
2	17,6	373	691	2	14,2	808	1395
4	14,5	396	649	4	9,2	875	1353
8	9,6	422	657				
0	20,9	—	—	0	20,6	—	—
0,5	20,2	294	582	0,5	19,0	702	1350
2	17,4	398	734	2	14,2	808	1395
4	14,2	419	721	4	9,4	852	1323
8	9,5	428	664				
	Mittel: 458		670		Mittel: 791		1361

c) Mannose.

Versuche mit lebender Hefe.

Versuch 20.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,1	—	—	0	6,1	—	—
0,5	5,9	248	(568)	0,5	5,8	438	856
2	5,7	147	285	2	4,9	475	865
4	5,2	173	322	4	4,2	405	699
8	4,6	153	272	8	2,8	422	657
0	6,1	—	—	0	6,1	—	—
0,5	6,0	144	284	0,5	5,9	248	568
2	5,7	147	285	2	5,0	431	791
4	5,2	173	322	4	4,2	405	699
8	4,7	141	253	8	2,8	422	657
	Mittel: 165		289		Mittel: 405		724

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 12.

Versuch 21.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,0	—	—	0	5,9	—	—
0,5	6,0	—	—	0,5	5,6	454	884
2	5,5	169	362	2	4,9	403	743
4	5,2	155	291	4	4,1	395	684
8	4,2	194	336	8	3,2	424	659
0	6,0	—	—	0	5,9	—	—
0,5	5,9	146	288	0,5	5,6	454	884
2	5,6	150	290	2	5,0	359	667
4	5,0	198	362	4	4,2	369	644
8	4,4	168	296	8	2,9	385	608
	Mittel: 168		315		Mittel: 405		721

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 13.

Versuch 22.

Hefemenge 0,5 g				Hefemenge 1 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,1	—	—	0	6,0	—	—
0,5	5,9	248	(568)	0,5	5,8	296	580
2	5,6	185	356	2	5,1	352	656
4	5,1	166	356	4	4,1	413	712
8	4,5	187	291	8	2,6	455	725
0	6,1	—	—	0	6,0	—	—
0,5	5,9	248	(568)	0,5	5,8	296	580
2	5,6	185	356	2	4,9	441	805
4	5,2	173	323	4	4,1	413	712
8	4,7	141	253	8	2,6	455	725
	Mittel: 191		322		Mittel: 390		686

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 14.

Versuche mit getöteter Hefe.

Versuch 23.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,2	—	—	0	6,1	—	—
0,5	6,0	284	560	0,5	5,7	588	1140
2	5,4	300	563	2	4,6	612	1090
4	4,5	343	611	4	3,1	735	1169
8	3,2	347	573				
0	6,2	—	—	0	6,1	—	—
0,5	6,1	142	(280)	0,5	5,8	438	856
2	5,4	300	563	2	4,7	566	1015
4	4,7	301	536	4	3,3	667	1077
8	3,4	326	523				
	Mittel: 293		559		Mittel: 601		1058

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 16.

Versuch 24.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,0	—	—	0	6,0	—	—
0,5	5,8	296	580	0,5	5,6	600	1160
2	5,3	269	509	2	4,5	615	1113
4	4,6	288	518	4	3,2	682	1123
8	3,1	358	572				
0	6,0	—	—	0	6,0	—	—
0,5	5,8	282	580	0,5	5,6	600	1160
2	5,2	311	582	2	4,5	615	1113
4	4,4	336	593	4	3,1	717	1145
8	3,2	341	549				
	Mittel: 310		560		Mittel: 638		1135

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 17.

Versuch 25.

Hefemenge 5 g				Hefemenge 10 g			
t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴	t	ct	k · 10 ⁴	v · 10 ⁴
0	6,0	—	—	0	5,9	—	—
0,5	5,7	446	(868)	0,5	5,5	610	1178
2	5,3	269	509	2	4,4	637	1128
4	4,5	312	555	4	3,0	734	1168
8	3,3	324	526				
0	6,0	—	—	0	5,9	—	—
0,5	5,8	296	580	0,5	5,5	610	1173
2	5,3	296	509	2	4,5	588	1050
4	4,3	361	632	4	3,0	734	1163
8	3,1	333	572				
	Mittel: 326		531		Mittel: 652		1145

Parallelversuch mit Dextrose siehe Versuch 18.

d) Galaktose.

Versuche mit lebender Hefe.

Versuch 26.

Hefemenge 1 g

t	c_t	c_t
0	34,6	34,6
4	33,6	33,8
7	22,6	32,1
10	30,1	29,9

Versuch 27.

Hefemenge 1 g

t	c_t	c_t
0	33,2	33,2
4	32,7	32,1
7	32,3	30,8
10	28,9	28,8

Versuch 28.

Hefemenge 1 g

t	c_t	c_t
0	32,9	32,9
4	32,1	32,1
7	30,5	30,5
10	28,4	28,1
12	27,2	27,2

Versuche mit getöteter Hefe.

Versuch 29.

Hefemenge 10 g

t	c_t	c_t
0	34,2	34,2
4	34,2	34,3
7	34,1	34,2
10	33,9	34,1

Versuch 30.

Hefemenge 10 g

t	c_t	c_t
0	32,5	32,5
4	32,5	32,8
7	32,4	32,6
10	32,3	32,5

Versuch 31.

Hefemenge 10 g

t	c_t	c_t
0	32,2	32,2
4	32,2	32,0
7	32,4	32,3
10	32,1	32,1

Aus den Tabellen folgt eine Bestätigung der älteren Versuche mit Dextrose; die unter v stehenden Werte liefern bessere Konstanten als die unter k (noch besser würde die Übereinstimmung sein, wenn man mit Herzog einen kleineren Koeffizienten als 1 vor das Glied $(c_0 - c_t)$ im Zähler wählen würde). Dasselbe Resultat liefern Lävulose und Mannose. Galaktose wird nicht vergoren; die Differenzen der Drehungswinkel sind auf die Anwesenheit von Extraktstoffen der Hefe und auf Infektion zurückzuführen.

Der Vergleich der Geschwindigkeitskoeffizienten untereinander zeigt zunächst, daß die zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Versuche durchaus vergleichbare Werte von v liefern.

Dextrose.

Lebende Hefe		Getötete Hefe	
0,5 g Hefe	1 g Hefe	5 g Hefe	10 g Hefe
618	1274	700	—
677	1348	582	—
616	1268	—	1463
625	1239	667	1300
641	1298	691	1402
760	1264	707	1458
651	1275	627	1223
604	1234	727	1463
616	1253	681	1361
677	1314	692	1417
638	1214	687	1395
Mittel: 647	1271	670	1361
		699	1461
		680	1363
		672	1330
		Mittel: 677	1384

Lävulose.

Lebende Hefe		Getötete Hefe	
0,5 g Hefe	1 g Hefe	5 g Hefe	10 g Hefe
409	840	724	1410
412	835	717	1447
419	826	768	1433
376	758	718	1451
Mittel: 404	818	Mittel: 732	1435

Mannose.

Lebende Hefe		Getötete Hefe	
0,5 g Hefe	1 g Hefe	5 g Hefe	10 g Hefe
289	724	559	1058
315	721	560	1135
322	686	531	1145
Mittel: 309	710	Mittel: 550	1173

Der Vergleich der Mittelwerte für die zusammengehörigen Werte in bezug auf die variablen Hefemengen zeigt, daß sich sowohl beim Verhältnis von 0,5 : 1 bei lebender, wie bei 5 : 10 bei toter Hefe durchwegs auch das Geschwindigkeitsverhältnis von 1 : 2 = 0,5 ergibt; die einzige größere Abweichung zeigt der Versuch mit lebender Hefe bei Mannose (0,435). — In der folgenden Tabelle sind die Daten übersichtlich zusammengestellt.

Dextrose.	Lebende Hefe	$\frac{647}{1271}$	=	0,508
	Tote Hefe	$\frac{677}{1384}$	=	0,490
Lävulose.	Lebende Hefe	$\frac{404}{818}$	=	0,496
	Tote Hefe	$\frac{732}{1435}$	=	0,510
Mannose.	Lebende Hefe	$\frac{309}{710}$	=	(0,435)
	Tote Hefe	$\frac{550}{1113}$	=	0,494
				Mittel: 0,4996

Zu neuartigen Ergebnissen gelangt man aber, wenn man die mit lebender und toter Hefe gegenüber den verschiedenen Zuckerarten erhaltenen Geschwindigkeitskoeffizienten vergleicht.

Man findet für lebende Hefe

	Dextrose:	Lävulose:	Mannose:
Hefe: 0,5 g	647	404	309
» 1 »	1271	814	710

Somit ist das Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten im Mittel: 1 : 0,63 : 0,52.

Für tote Hefe wird erhalten:

	Dextrose:	Lävulose:	Mannose:
Hefe: 5 g	677	732	550
» 10 »	1384	1435	1115

und das Verhältnis der Geschwindigkeiten im Mittel:

1 : 1,06 : 0,81.

Da die Geschwindigkeitskoeffizienten für 0,5 g (bezw. 1 g) lebende und 5 g (bezw. 10 g) tote Hefe annähernd gleich sind, lassen sich die Zahlen direkt untereinander vergleichen.

Man erkennt, daß durch die Abtötung das Gärungsvermögen der Hefe gegenüber den einzelnen Zuckerarten gänzlich verschoben wird. Während die lebende Hefe Dextrose am schnellsten, Lävulose viel langsamer und Mannose nur etwa halb so schnell vergärt, wirkt die Acetonhefe am schnellsten gegenüber Lävulose, langsamer gegen Dextrose, am langsamsten bei Gegenwart von Mannose. Am übersichtlichsten werden vielleicht die Verhältnisse, wenn man die Mengen an Hefe berechnet, welche dieselbe Gärgeschwindigkeit gegenüber den verschiedenen Zuckerarten entfalten. Die folgende Tabelle gibt die Zahlen hierfür:

	Mannose:	Lävulose:	Dextrose:
Lebende Hefe (in g):	1	0,82	0,52
Tote Hefe (in g):	6	4,6	4,8

Es wäre denkbar, daß durch die Tötung die Passierbarkeit der Zellmembran verändert worden ist, oder auch, daß verschiedene «Zymasen» in der Hefe vorhanden sind. Die einfachste Erklärung ergibt sich aber wohl auf Grund der von Harden und Young erwiesenen Zusammengesetztheit des Gärungsfermentes. Durch die Behandlung der Hefe mit Aceton-Äther wird jedenfalls ein Stoff geschädigt, der gerade für die schnelle Vergärbarkeit der Dextrose wesentlich, relativ am unwesentlichsten für die Lävulosegärung ist.¹⁾

Die Versuche geben ein Beispiel für eine allgemein anwendbare Methode zur Prüfung auf die Einheitlichkeit eines Fermentes.

¹⁾ Vgl. hierzu H. Euler und G. Lundqvist, Diese Zeitschrift, Bd. 72, S. 97 (1911).