

Über die Rolle des Glykogens bei der Gärung durch lebende Hefe.

II. Mitteilung.

Von

Hans Euler.

(Aus dem biochemischen Laboratorium der Hochschule Stockholm.)

(Der Redaktion zugegangen am 12. März 1914.)

Vor kurzer Zeit bin ich der Frage näher getreten, ob das Glykogen als ein Zwischenprodukt der Gärung und des Zuckerzerfalls im Tierkörper angesehen werden kann.¹⁾ Bezüglich der Hefegärung hat bereits 1904 Grüss die Hypothese aufgestellt, daß die von der Hefe aufgenommenen Hexosen zunächst in Glykogen verwandelt werden. Diese verhältnismäßig wenig beachtete Annahme verdient in mehrfacher Hinsicht eine eingehendere Prüfung und eine solche wird im hiesigen Laboratorium von Herrn Magister S. Kullberg ausgeführt, weshalb ich bis zum Abschluß dieser Arbeit auf diese Angelegenheit nicht mehr zurückkommen will. Dagegen muß ich in Kürze auf eine Veröffentlichung von Harden und Young²⁾ eingehen, welche seit der Niederschrift der oben zitierten ersten Mitteilung erschienen ist und eine mit oben erwähnter Frage zusammenhängende Erscheinung betrifft.

In der erwähnten Mitteilung¹⁾ ging ich von der Feststellung aus, daß in lebender Hefe weniger Kohlensäure entwickelt wird, als dem Drehungsrückgang in der Zuckerlösung entspricht. Euler und Johansson³⁾ hatten nachgewiesen, daß die Differenz $\Delta - C$ bei der Gärung regelmäßig verläuft und unter normalen Verhältnissen Werte von 10—20% annimmt.

¹⁾ Diese Zeitschrift, Bd. 89, S. 337, 1914.

²⁾ Biochem. Journ., Bd. 7, S. 630, 1913.

³⁾ Diese Zeitschrift, Bd. 76, S. 347, 1912.

Wie früher erwähnt, war ein ähnlicher Effekt bei der zellfreien Gärung durch Hefepreßsaft bereits mehrfach beobachtet worden, zuerst von A. Macfadyen, Harris Morris und S. Rowland und später von Harden und Young.¹⁾

Beim Aufsuchen von Zwischenprodukten der alkoholischen Gärung muß natürlich die genannte Differenz $\Delta-C$ berücksichtigt werden. Bis jetzt haben wir uns über die Art dieses Zwischenprodukts, welches diese Differenz veranlaßt, nicht geäußert.

In Hardens und Youngs neuester Mitteilung wird die Tatsache festgestellt, daß in dem Extrakt von Trockenhefe bei der Vergärung von Fruktose eine rechtsdrehende glykogenartige Substanz gebildet wird. «Diese Ergebnisse» — sagen die genannten Forscher — «scheinen uns schon einiges Licht auf die Ursache der Differenz zu werfen, welche zwischen dem vergorenen Zucker und der entwickelten Kohlensäure besteht, nicht allein im Falle von Hefepräparaten, sondern auch in lebender Hefe». Euler und seine Mitarbeiter haben in neuen Arbeiten von der Existenz dieser Differenz zwischen dem Betrag des tatsächlich von der lebenden Hefe aus einer Glukoselösung entfernten Zuckers und dem Betrag der entsprechenden Kohlensäuremenge, $\Delta-C$, geschlossen, daß die Hexose eine Umwandlung erleiden muß, welche sie direkt vergärbar macht, und daß die Differenz $\Delta-C$ den Betrag der Hexose darstellt, welche sich in diesem Umwandlungszustand befindet. Es scheint indessen kein guter Grund für die Annahme vorzuliegen, daß Eulers und Johanssons $\Delta-C$ nicht auf Rechnung der wohlbekanntenen Glykogenbildung gesetzt werden kann, welche, wie Pavy und Bywaters gezeigt haben, von der verlangten Größenordnung ist. Es soll im nachfolgenden nun in aller Kürze zweierlei gezeigt werden:

1. Die von Harden und Young mir unterstellte Behauptung, daß der Betrag $\Delta-C$ die Zuckermenge angibt, welche sich im Umwandlungszustande befindet, haben wir niemals geäußert, vielmehr haben wir stets unsere Ergebnisse als empirische Feststellungen betrachtet, und uns einst-

¹⁾ Ber. d. Deutsch. chem. Ges., Bd. 37, S. 1067, 1904.

weilen einer theoretischen Deutung sowohl hinsichtlich der Art als der Menge des Umwandlungsproduktes enthalten.

2. Die von uns gefundene Differenz $\Delta - C$ kann nicht von der Bildung von Glykogen herrühren, da dieses Kohlenhydrat beim Auftreten dieser Differenz nicht gebildet wird, sondern im Gegenteil verschwindet.

I.

Daß wir uns in den von Harden und Young zitierten Arbeiten nicht so ausgesprochen haben, wie diese Forscher annehmen, dürfte aus folgenden Zitaten hervorgehen:

Euler und Johansson, diese Zeitschrift, Bd. 76, S. 353, 1912: «Für den Fall, daß diese Differenz nur durch die Bildung eines inaktiven Produktes während der Gärung veranlaßt ist, würde also in obiger Figur die Ordinate die prozentische Menge des gebildeten inaktiven Produktes darstellen. Für eine solche Annahme liegen aber bis jetzt nicht genügende Anhaltspunkte vor.»

Ebenda, S. 354: «Der Umstand, daß eine Hefe bei gegebener Gärungsgeschwindigkeit je nach der Vorbehandlung die besprochene Differenz in verschiedenem Grad ausbildet, deutet darauf hin, daß wir es hier mit der Wirkung eines Enzyms zu tun haben, welches weder von demjenigen Gärungsenzym, das die Glukose angreift, noch von demjenigen, welches die schließliche Bildung von Alkohol und Kohlensäure vermittelt, direkt abhängig ist. Ob dabei ein revertierendes Enzym der Hefe mitwirkt, müssen weitere, besonders präparative Versuche zeigen.»

Euler und Berggren, Zeitschr. f. Gärungsphysiol. Bd. 1, 203, 1912.

«Im wesentlichen dürfte die erwähnte Differenz durch die primäre Umwandlung des Zuckers in ein anderes Kohlenhydrat veranlaßt sein. Nun ist zunächst hervorzuheben, daß die Drehungsabnahme nur dann ein Maß für die Menge des verschwundenen Zuckers ist, wenn das gebildete Zwischenprodukt selbst nicht dreht. Würde das gebildete Zwischen-

produkt linksdrehend sein, so würde die verschwundene Zuckermenge zu groß gefunden werden, im entgegengesetzten Fall, also bei Rechtsdrehung des primären Umwandlungsproduktes, zu klein. Nun ist über die Drehung dieses Umwandlungsproduktes noch nichts bekannt.»

Was speziell den Einfluß des Glykogens betrifft, so haben wir denselben ständig erwogen, wenn wir denselben auch nicht in jeder Mitteilung diskutiert haben. Ich führe folgendes Zitat an:

Euler und Hille, Zeitschr. f. Gärungsphysiol., Bd. 3, S. 239, 1913.

«Die Versuche der Tabellen 5 a bis 5 c wurden mit der gleichen Hefe angestellt, und zwar wurde zu den Versuchen I der Tabellen 5 a und 5 b die direkt aus der Würze kommende gewaschene Hefe verwendet, während die Versuche der Tabelle 5 c ausgeführt wurden, nachdem die Hefe drei Tage lang in Berührung mit Eiswasser gewesen war und dadurch sicher den allergrößten Teil ihres Glykogens verloren hatte.

Und schließlich in meiner letzten, eingangs erwähnten Arbeit:

«Daß sich Glykogen in der Hefe in beträchtlichen Mengen bildet, ist eine altbekannte und nicht zu bezweifelnde Tatsache. — Viel weniger genau steht fest, in welcher Weise Glykogenbildung und Kohlensäureentwicklung bzw. Zuckerverlust in den die lebende Hefe umgebenden Lösungen zusammenhängen, und wir haben dieser Beziehung deshalb unsere Aufmerksamkeit gewidmet. Gleichzeitig war natürlich zu fragen, ob und in welchem Grade zwischen dem Zucker und dem Glykogen stehende höhere Kohlenhydrate gebildet werden.»

II.

Was nun die tatsächliche Frage betrifft: «Tritt Glykogen auf, während sich die Differenz Δ —C ausbildet?» — so habe ich (l. c.) bereits Versuche angeführt, welche meiner Ansicht nach beweisen, daß die Glykogenbildung nicht die Ursache der genannten Differenz sein kann:

1. Sinkt nämlich der Glykogengehalt, wenn sich die Differenz ausbildet.

2. Unter den von uns eingehaltenen Versuchsbedingungen würde, selbst wenn ebensoviel Glykogen gebildet würde, als tatsächlich verschwindet, diese Glykogenmenge nur etwa $\frac{1}{10}$ der beobachteten Differenz $\Delta-C$ erklären. Mit anderen Worten: Selbst eine Verdoppelung des Glykogengehaltes der Hefe würde, wenn man die für unsere Hefe gewonnenen analytischen Ergebnisse zugrunde legt, für $\Delta-C$ nur einen Wert von 1–2% ergeben, während im Mittel 10% gefunden wurden.

Zu den in meiner letzten Mitteilung angegebenen Versuchen will ich noch einige weitere hinzufügen, welche in diesem Winter hier ausgeführt worden sind und die älteren Ergebnisse vollkommen bestätigen.

Experimentelles.

Bezüglich der Versuchsanordnung kann ich mich sehr kurz fassen, da dieselbe sehr wenig von der in meiner letzten Mitteilung angegebenen abweicht. In neuester Zeit ist auch eine Arbeit von Schönfeld und Künzel¹⁾ erschienen, welche eine bedeutende Vereinfachung der Methode von Pflüger darstellt. Unsere Methodik wich sehr wenig von der der genannten Autoren ab. Hervorzuheben ist nur, daß die durch Hydrolyse gebildete Glukose nunmehr stets nach Bertrand bestimmt wurde. Die enzymatische Tätigkeit der Hefe wurde nach den angegebenen Versuchszeiten durch Zusatz eines gleichen Volumens Alkohol zur gärenden Lösung aufgehoben.

Neue Versuche.

Es handelte sich zunächst um eine nochmalige Bestätigung meines früheren Befundes, daß während der Gärung unter den von uns eingehaltenen Umständen, wo also eine Differenz $\Delta-C$ von etwa 10% auftritt, Glykogen nicht gebildet wird, sondern vielmehr verschwindet.

1 g abgepreßte Hefe befindet sich in 20 ccm 10% iger Glukoselösung. Die Gärtemperatur ist 30,4°, der Luftdruck 767 mm.

¹⁾ Wochenschr. f. Br., Bd. 31, S. 9, 1914.

Minuten	Entwickelte CO ₂		Drehungsänderung		Δ—C	
	in ccm red.	in %	in Graden	in %		
120	a	160	30,2	5,58—3,47	37,8	} 8,0
	b	159	30,0	5,58—3,44	38,3	

Mit ebenderselben Hefe wurde gleichzeitig unter analogen Bedingungen ein Gärungsversuch mit größeren Mengen (20 g Hefe in 400 ccm Glukoselösung) angestellt. Nach 20 Minuten wurde die Reaktion abgebrochen durch Zusatz von 400 ccm 96%igen Alkohols, wodurch die enzymatische Tätigkeit der Hefe fast vollständig aufgehoben wurde. Das Resultat war folgendes:

Minuten	% Glykogen
0	9,95
120	5,93

Versuch II.

Die gleichen Arbeitsbedingungen wie im Versuch I. Temperatur 30,6°.

Minuten	Entwickelte CO ₂		Drehungsrückgang		Δ—C
	ccm CO ₂ red.	in % C	in Graden	in % Δ	
60	67,4	13,3	5,36—4,37	18,5	5,2
120	136	26,8	5,36—3,55	33,8	7,0
180	200	39,3	5,36—2,81	47,6	8,3

Glykogenbestimmung.

20 g Hefe in 400 ccm Glukoselösung.

Von 250 ccm Lösung 10 ccm titriert.

1 ccm entspricht 0,0101 g Cu.

Minuten	ccm KMnO ₄	% Glykogen
0	9,15	5,6
60	7,37	4,4
120	6,50	3,9
180	8,70	5,3

Versuch III.

1 g abgepreßte Hefe in 10 ccm 10%iger Fruktose-Lösung in der letzten Zeile der Tabelle ein analoger Parallel-Versuch mit Glukoselösung.

Minuten	Entwickelte CO ₂		Drehungsänderung		Δ—C
	in ccm red.	in % C	in Graden	in % Δ	
60	75,7	28,3	—(5,04—2,98)	40,9	12,6
120	144,9	64,1	—	—	—
180	195	72,8	—(5,04—0,67)	86,7	13,9
180	213	80,4	2,68—0,25	90,7	10,3

Glykogenbestimmungen mit Fruktose unter den gleichen Bedingungen wie in Versuch II.

Minuten	ccm KMnO ₄	% Glykogen
0	12,72	7,9
60	10,70	6,6
120	10,05	6,1
180	10,72	6,7

Wie ersichtlich, treten bei Anwendung von Fruktose ganz die gleichen Bestimmungen auf: Die Differenz Δ—C nimmt ähnliche Werte an, wie mit Glukose, sodaß man schließen muß, daß das Umwandlungsprodukt von der Glukose und Fruktose aus mit der gleichen Geschwindigkeit gebildet wird, bzw. daß eine Isomerisation sehr rasch verläuft. Ferner aber zeigt die Glykogenbildung einen ähnlichen Verlauf wie in Versuch II.

Versuch IV.

Die Wiederholung eines früheren Versuches von Th. Bergren (l. c. Tab. 3 u. 4) mit Mannose und ein Vergleich mit Fruktose führte zu folgenden Ergebnissen:

1 g Hefe in 20 ccm 10%iger Zuckerlösung. Temp. 30,5°.

Zucker	Min.	Entwickelte CO ₂		Drehungsänderung		Δ—C
		in ccm (red.)	in % C	in Graden	in % Δ	
Fruktose	60	70	13,1	—(10,00—8,10)	19,0	5,9
	120	140	26,2	—(10,00—6,50)	35,0	8,8
	180	205	38,3	—(10,00—5,20)	48,0	9,7
Mannose	60	32,3	6,5	1,44—1,24	14,1	7,8
	120	68,5	13,3	1,44—1,16	19,7	6,4
	180	110	21,5	1,44—1,04	28,2	6,7

Es zeigt sich, daß die Werte $\Delta-C$ sich bei den beiden Zuckerwerten wenig voneinander unterscheiden. Da die spezielle Drehung der Mannose sehr klein ist, machen sich bei Bestimmung der Drehungsänderung die Versuchsfehler stärker geltend als sonst, und man wird also den erhaltenen Zahlen kein anderes Resultat entnehmen wollen, als die Werte $\Delta-C$ bei Mannose innerhalb der Versuchsfehler annähernd ebenso groß sind als die Fruktose und Glukose.

Versuch V.

Die nächsten Versuchsreihen zeigen die Abhängigkeit der Differenz $\Delta-C$ von der Konzentration der Glukoselösung.

Die Gärungstemperatur war $30,5^\circ$. Es kamen bei allen Versuchen 5 g abgepreßte Hefe auf 100 ccm Zuckerlösung.

Konzentration der Glukose	Min.	Entwickelte CO_2		Drehungsänderung		$\Delta-C$
		in ccm (red.)	in % C	in Graden	in % Δ	
5 %	60	62,5	24,7	2,69—1,72	36,1	11,4
	120	128	50,2	2,69—0,94	64,3	14,1
	180	184,5	72,4	2,69—0,36	86,6	14,2
20 %	60	58,5	6,3	9,82—8,96	8,8	2,5
	120	124	13,3	9,82—8,12	17,3	4,0
	183	195	20,9	9,82—7,39	24,8	3,9

Die gleichzeitig angestellten Glykogenbestimmungen gaben folgende Resultate:

Glukosekonzentration	Minuten	ccm KMnO_4	% Glykogen
5 %	60	10,70	6,6
	120	9,44	5,8
10 %	0	11,16	6,9
	120	6,06	3,6
	180	6,15	3,7

Aus den Gärungstabellen lassen sich also etwa folgende Mittelwerte entnehmen:

Konzentration der Glukose	$\Delta-C$
5	13
10	7
20	3

Versuch VI.

Schließlich geben wir noch einige Versuchsreihen an, bei welchen die Hefemenge variiert wurde. Es kam dabei durchweg Glukose zur Anwendung.

A.

Versuchszeit: 90 Minuten.

Hefemenge in 10 ccm 10%iger Glukose	Entwickelte CO ₂		Drehungsänderung		Δ—C
	in ccm red.	in % C	in Graden	in % Δ	
2,5 g	63	13,4	4,97—4,14	16,7	3,3
3,75 „	95	20,1	4,97—3,79	23,7	3,6
5,0 „	125,5	26,7	4,97—3,41	31,4	4,7
10,0 „	243	51,6	4,97—1,77	64,4	12,2

Die gleichzeitig angestellten Glykogenbestimmungen ergaben:

	ccm NMnO ₄	% Glykogen
Ursprüngliche Hefe a	10,73	6,6
„ „ b	10,50	6,5
Nach 90 Min. Gärung { 2,5 g Hefe auf 100 ccm Lösung	9,68	6,0
„ { 3,75 „ „ „ 100 „ „	9,00	5,6
„ { 5,9 „ „ „ 100 „ „	8,23	5,0
„ { 10,0 „ „ „ 100 „ „	10,95	6,7

Es zeigt sich also, daß bei kleineren Hefemengen, wie z. B. den früher von uns angewandten, die Werte Δ—C wenig mit der Hefemenge variieren. Erst wenn so viel Hefe angewandt wird wie 10 g auf 100 g Lösung, steigt die studierte Differenz erheblich an.

Anmerkung.

Bei einem Versuch mit 2,5 g Hefe in 10%iger Glukose-lösung wurden auffallend kleine Werte für Δ—C erhalten. Wir führen deshalb diesen Versuch besonders an:

Minuten	Entwickelte CO ₂		Drehungsänderung		Δ—C	Glykogen
	in ccm (red.)	in % C	in Graden	in % Δ		
0	—	—	—	—	—	7,9
60	42	8,6	5,13—4,64	9,6	1,0	6,1
120	78	16,1	5,13—4,22	17,7	1,6	4,5
180	114,5	23,5	5,13—3,86	24,8	1,3	5,6

Die Änderung des Glykogengehaltes war, wie aus der letzten Zahlenreihe ersichtlich, normal.

B.

Dieser Versuch unterscheidet sich von dem vorhergehenden dadurch, daß bei wechselnden Hefemengen nicht die gleiche Gärungszeit eingehalten, sondern die Dauer jeder Gärung so abgepaßt wurde, daß annähernd die gleiche Menge CO_2 entwickelt wurde.

10%ige Glukoselösung. — Temp. 30°.

Hefemenge auf 100 ccm	Min.	Entwickelte CO_2		Drehungsänderung		$\Delta-C$	Glykogengehalt
		ccm red.	in % C	in Graden	in % Δ		
—	0	—	—	—	—	—	7,7
2,5 g	200	122	24,8	5,20—3,58	31,2	6,4	6,1
5,0 „	100	121	24,6	5,20—3,50	32,7	8,1	6,1
10,0 „	50	122	24,8	5,20—3,17	39,1	14,3	6,8

Auch hier ruft der bedeutende Hefezusatz einen großen Wert $\Delta-C$ hervor. Von einer Proportionalität zwischen dieser Differenz und der Hefemenge kann aber nicht die Rede sein.

Was also das Auftreten des Glykogens und dessen Zusammenhang mit der Differenz $\Delta-C$ betrifft, so sprechen die hier angeführten Tatsachen gegen die von Harden und Young ausgesprochenen Vermutungen. Immerhin bleibt zu untersuchen, in welcher Weise sich das Glykogen an dem Kohlenhydratstoffwechsel der Hefe beteiligt. Dabei sind natürlich auch die Zwischenprodukte zwischen Glykogen und Glukose zu berücksichtigen, und besondere Aufmerksamkeit wird Herr Kullberg der Rolle der niederen Dextrine widmen, welche in letzter Zeit von Pringsheim und Langhans¹⁾ sowie im hiesigen Laboratorium von v. Friedrichs²⁾ dargestellt wurden. Bei dieser Untersuchung soll auch wieder auf die älteren Versuche von Koch³⁾ und Cremer⁴⁾ zurückgegriffen werden, nach welchen

¹⁾ Pringsheim u. Langhans, Chem. Ber., Bd. 45, S. 2533, 1912.

²⁾ v. Friedrichs, Sv. Vet. Akad. Arkiv f. Kemi, Bd. 5, Nr. 2—4, 1913.

³⁾ Koch und Hosaeus, Zentralbl. f. Bakt., Bd. 16, S. 145, 1893.

⁴⁾ Cremer, Münch. Med. Woch., Bd. 7, 1894.

die Glykogenbildung nicht nur von Hexosen veranlaßt wird, sondern auch besonders von Stoffen wie Milchsäure und Glycerinaldehyd. Neuerdings ist bekanntlich Parnas¹⁾ der Nachweis gelungen, daß Glycerinaldehyd in der künstlich durchströmten Schildkrötenleber reichlich Glykogen bildet. Auch an eine Isomerisation der Lävulose unter Bildung von Traubenzucker ist zu denken.²⁾

An anderer Stelle werde ich bald Gelegenheit haben, auf die Vermutung von Harden und Young einzugehen, daß die Bestimmung der Werte $\Delta-C$ durch den Zuwachs der Hefe bzw. die Vermehrung der Hefezellen beeinflusst ist. Mit dem Problem, ob das Glykogen bei der Gärung die Rolle eines Zwischenproduktes spielt, hängt diese Frage nicht zusammen, und was die Deutung der Werte $\Delta-C$ betrifft, so berührt diesen letzteren Punkt nur insofern, als ich mit einigen Mitarbeitern den Einfluß einiger Zusätze wie Hefenextrakt, Alkalisalze u. a. untersucht habe. Ich kann mich also hier auf die Mitteilung folgender Tatsachen beschränken:

Wird 1 g abgepreßte Hefe in 100 ccm 10%iger Glukoselösung aufgeschlemmt und bei 30° der Gärung überlassen — dies sind die bei unseren Versuchen angestellten Bedingungen —, so findet man folgendes:

Nach Stunden	Zellenzahlen	Gesamtgewicht der Hefe
0	$18,4 \cdot 10^{10}$	1,000
120	$18,6 \cdot 10^{10}$	0,995
240	$18,7 \cdot 10^{10}$	0,988

Nach der Zeit von vier Stunden hat der Wert $\Delta-C$ in der Regel sein Maximum erreicht. Die in dieser Zeit beobachtete Änderung der Zellenzahl liegt — bei Einhaltung unserer Versuchsbedingungen — innerhalb der Versuchsfehler.

Schließlich möchte ich noch betonen, daß durch das im vorhergehenden Gesagte weder das experimentelle Ergebnis von Harden und Young, daß sich im Mazerationssaft von Münchener Hefe eine rechtsdrehende, glykogenartige Substanz bildet, noch der Wert dieses Nachweises in Abrede gestellt

¹⁾ Parnas, Zentralbl. f. Physiol., Bd. 26, S. 671, 1912.

²⁾ Embden, Diese Zeitschrift, Bd. 88, S. 210, 1913.

werden soll. Vielmehr handelt es sich hier um die richtige Deutung dieser Tatsache, bezw. um die Anwendung derselben auf die Deutung der Vorgänge bei der Gärung.

Das von der lebenden Hefe während der Gärung gebildete Glykogen kann nicht die Ursache der Differenz zwischen dem verschwundenen Zucker und der auftretenden Kohlensäure sein. Dagegen kann, wie ich auch schon früher hervorgehoben habe, die Glykogenbildung den Wert von $\Delta-C$ in einem gewissen Grad beeinflussen und anderseits können Harden und Young in ihrer Auffassung insofern recht haben, als, wie ich ebenfalls bereits hervorgehoben habe, synthetische Vorgänge unter der Einwirkung eines revertierenden Enzymes an dem Zustandekommen der in Rede stehenden Differenz beteiligt sein können.

Über die Einwirkung von Kupferhydroxyd-Ammoniak auf Traubenzucker.

Von

Adolf Windaus und Arthur Ullrich.

(Aus dem Institut für angewandte medizinische Chemie der Universität Innsbruck.)

(Der Redaktion zugegangen am 6. März 1914.)

Wie durch die Arbeiten von Windaus und Knoop¹⁾ bekannt geworden ist, geht Glukose beim Behandeln mit Zinkhydroxyd-Ammoniak in 4-Methylimidazol über; ähnlich wirkt auch Cadmiumhydroxyd-Ammoniak. Wie sich indessen oxydierend wirkende Metallhydroxyde in ammoniakalischer Lösung gegenüber Traubenzucker verhalten, ist noch nicht eingehend geprüft worden. Wir haben darum Glukose mit Kupferhydroxyd-Ammoniak behandelt und gefunden, daß hierbei neben Oxalsäure die Imidazol-4-carbonsäure gebildet wird.

¹⁾ Chem. Ber., Bd. 38, S. 1166 (1905).