

Ueber die Abstammung des Glykogens.

Von M. U. Dr. **Karl Maydl.**

(Aus dem medicinisch-chemischen Laboratorium zu Prag.)
(Der Redaction zugegangen am 26. März.)

In der Frage über die Abstammung des Glykogens stehen sich bekanntlich zwei Hypothesen unvermittelt gegenüber: die Hypothese der Anhydridbildung und die Ersparnishypothese. Während die eine das Glykogen direct aus den sogenannten Glykogenbildnern (Zuckerarten und Glycerin) hervorgehen lässt, lehrt die andere, das Glykogen entstehe in allen Fällen aus Eiweiss und die Glykogenbildner trügen nur insofern zur Entstehung des Glykogens bei, als sie das aus dem Eiweiss hervorgegangene Glykogen vor weiterem Zerfall schützen.

Es kann nicht in meiner Absicht liegen, den Streit um die ausschliessliche Gültigkeit der einen oder der andern dieser Theorien in allen seinen Phasen an dieser Stelle zu schildern, aber es sei mir gestattet, die wichtigsten Momente hervorzuheben, um die Stelle bezeichnen zu können, an welche sich meine Beobachtungen anschliessen.

Die Ersparnishypothese findet Boden zunächst in That- sachen, aus welchen sich die Bildung von Glykogen oder Zucker aus der Zersetzung von Eiweisssubstanzen im Thierkörper, ohne die vermittelnde Dazwischenkunft von Glykogenbildnern ergibt. Schon Bernard hat Belege für die Fortdauer der Zuckerbildung in der Leber bei reiner Fleischdiät beigebracht. Neuerdings aber beobachteten Naunyn¹⁾, v. Mering²⁾, Wolffberg³⁾ und Finn⁴⁾, dass sich bei

¹⁾ Naunyn, Archiv f. exp. Path. **3.** 94. 1875.

²⁾ v. Mering, Pflüger's Arch. **14.** 281. 1876.

³⁾ Wolffberg, Zeitschrift für Biologie **12.** 277. 1876.

⁴⁾ Finn, Arbeiten aus dem phys. Laborat. der Würzburger Hochschule. IV. Lief. 332. 1878.

reichlicher Fütterung mit kohlenhydratfreiem Eiweiss allein die durch Hungern glykogenfrei gewordene Leber wieder mit Glykogen füllte; einen gleichen Einfluss auf die Glykogenansammlung in der Leber nahmen Salomon¹⁾, Luchsinger²⁾ und v. Mering³⁾, von der Fütterung mit reinem Leim wahr, ferner fanden Valentin, sowie C. Aeby⁴⁾ und bestätigte C. Voit⁵⁾, dass in der Leber der Murmelthiere bei längerem Winterschlaf eine auffallend reichliche Glykogenbildung statt findet. Endlich ist oft beobachtet worden, dass Diabetiker unter rein animalischer Kost oder im Hunger nicht aufhören, zuckerhaltigen Harn zu entleeren.

Ist aber der Beweis erbracht, dass das Glykogen aus der Zersetzung von Eiweisssubstanzen überhaupt entstehen könne, so wird man sich auch der Vermuthung hingeben dürfen, dass die sog. Glykogenbildner nicht die Muttersubstanz des Glykogens zu sein brauchen, sondern nur im Sinne der Ersparnishypothese an der Bildung des Glykogens mitwirken. Die experimentellen Thatsachen für diese Anschauung sind von Wolffberg⁶⁾ und von Förster⁷⁾ beigebracht worden. Wolffberg hat es mindestens wahrscheinlich gemacht, dass die Glykogenbildung im Körper denselben Gesetzen folgt, wie die Fettablagerung unter dem Einfluss der Kohlenhydrate, indem seine Versuche fast zweifellos ergaben, dass bei gleichzeitiger Fütterung gleicher Mengen Zucker und steigender Mengen Eiweiss das Glykogen gleichfalls in steigender Menge entsteht und dass ferner bei Fütterung mit gleicher Menge Eiweiss und steigenden Mengen Zucker die Bildung des Glykogens zunimmt, aber, wie bei der Fettbildung aus Eiweiss und Zucker, nur bis zu einer gewissen oberen

¹⁾ Salomon, Virchow's Arch. 61. 350. 1874.

²⁾ Luchsinger, Beiträge zur Phys. u. Pathol. des Glykogens. Zürich. 1875. S. 30.

³⁾ v. Mering, a. a. O. 279.

⁴⁾ C. Aeby, Arch. für exp. Pathol. 3. 184. 1875.

⁵⁾ C. Voit, Zeitschr. f. Biologie 12. 269. 1876.

⁶⁾ Wolffberg a. a. O. 304.

⁷⁾ Förster, Sitzungsber. der bayer. Akad. d. Wiss. 1876; Chem. Centralblatt 1877. 150.

Grenze, welche durch die Menge des Eiweisses gesetzt ist. Forster aber führte den Nachweis, dass die Menge des Glykogens, welche sich nach Injectionen einer Zuckerlösung in einen Zweig der v. mesenterica oder in eine Körpervene in der Leber bildet, in keinem Verhältniss steht zu der Menge des injicirten Zuckers (auf 500 Gr. Zucker 5 Gr. Glykogen), dass aber die Steigerung der Eiweisszersetzung, wie sie nach Zuckerinjection in die Blutbahn eintritt¹⁾, in den vorliegenden Fällen eine solche Höhe erreichte, dass sich aus dem Mehrzerfall von Eiweiss die Bildung der kleinen Mengen Glykogen ableiten liess; denn während die zu den Versuchen verwendeten Hunde unter den gegebenen Ernährungsverhältnissen 2—4 Gr. Eiweiss zersetzt haben würden, schieden sie in der ersten Zeit nach den Zuckerinjectionen die Zersetzungsprodukte von 7—14 Gr. Eiweiss mit dem Harne aus. Die Gesamtmenge des zerfallenen Eiweisses ist, aber jedenfalls noch grösser gewesen.

Gegen die Anhydridhypothese führte S. Weiss²⁾ den ersten Schlag, indem er zeigte, dass nicht blos die Verfütterung von Kohlehydraten, sondern auch von Glycerin, als im Körper leicht zersetzbarer und verbrennlicher Substanz die Anhäufung von Glykogen in der Leber bewirken könne. Diese Beobachtung gab aber Anstoss zu einer Reihe von Versuchen darüber, inwiefern auch andere stickstofffreie Substanzen, von denen man, im Sinne der Ersparungshypothese, einen ähnlichen Schutz des Glykogens gegen die zersetzenden Einflüsse des Organismus, wie von dem bis dahin allein verwendeten Traubenzucker, annehmen zu dürfen glaubte, sich ähnlich verhalten würden. In diesen von Luchsinger³⁾, Salomon, Külz⁴⁾, v. Mering und Finn ausgeführten

¹⁾ Forster, Zeitschr. f. Biol. 11. 515. 1875.

²⁾ S. Weiss, Sitzungsber. der kais. Akademie der Wiss. zu Wien. 3. Abth. 67. 1873.

³⁾ Luchsinger, Pflüger's Arch. 8. 289. 1874 u. Beiträge etc.

⁴⁾ Külz, Beiträge zur Pathologie u. Therapie des Diabetes 2. Bd. — Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg. Nr. 4. 74. und Nr. 5. 95.

Versuchen, ergab sich nicht blos eine Bestätigung der Angabe von Weiss, sondern auch, dass den meisten Zuckerarten (Rohrzucker, Milchzucker, Fruchtzucker, nach Luchsinger auch der Galaktose), sowie dem Inulin, ferner dem Lichenin (v. Mering) und Arbutin (v. Mering) das Vermögen zukomme, Glykogenanhäufung herbeizuführen. Dagegen erwiesen sich eine Reihe anderer Substanzen in dieser Hinsicht als unwirksam, nämlich nach übereinstimmenden Befunden Inosit, Mannit, Quercit und Erythrit (v. Mering), Gummi, Milchsäure und Weinsäure (Luchsinger, Külz), Fett und Seife (Külz, Luchsinger).

Von den meisten der sich negativ verhaltenden Substanzen lässt sich ein Grund dieser anscheinenden Abweichung wohl angeben. Fett und Fettsäuren hätte man nicht auf die Liste der Versuchsobjekte zu setzen brauchen, weil im Körper diese durch die Kohlehydrate vor der Zerstörung geschützt werden, ein umgekehrtes Verhalten also gar nicht zu erwarten war. Vom Inosit sowie von den vielatomigen Alkoholen ergab sich bei diesen Versuchen selbst, dass sie den Körper zu einem grossen Theil unzersetzt durchwandern; aus ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die zersetzenden Einflüsse des Körpers erklärt sich schon in natürlicher Weise, warum sie keine Glykogenanhäufung veranlassen. Wie sich Wolffberg¹⁾ bei dem Versuch, die Unfähigkeit der Milchsäure und Weinsäure zur Glykogenersparung zu deuten, über die Schwierigkeiten hinweghilft, soll hier nicht wiederholt werden. Vom Gummi lässt sich, wegen seiner geringen Resorptionsfähigkeit, von vornherein kein grosser Erfolg erwarten.

Von den Zuckerarten aber, von dem Inulin und der Moosstärke, endlich dem Arbutin mit seinem zuckerartigen Bestandtheil lässt sich kaum Anderes erwarten, als dass sie sich dem allgemeinen Gesetz der Ersparungstheorie ebenso fügen, wie der Traubenzucker.

Diese letzterwähnten Versuche mit positivem Resultat sind aber weiter geeignet, eine wichtige Stütze für die Er-

¹⁾ Wolffberg, a. a. O. 297.

sparungstheorie abzugeben, wenn sich herausstellte, dass die Glykogene, welche bei der Fütterung mit in ihrer chemischen Constitution heterogenen Körpern (wie z. B. Fruchtzucker und Traubenzucker) gebildet würden, identisch seien. Wollte man dann der auf positiven Grundlagen ruhenden chemischen Anschauung nicht einen durchaus unerlaubten Zwang anthun, so bliebe keine andere Annahme übrig, als die, dass diese Glykogene nicht alle aus den verschiedenen «Glykogenbildnern» entstanden sein können, sondern dass sie ihren Ursprung aus einer dritten Substanz genommen haben müssen. Und da nun das Eiweiss als solche erkannt ist, und da ferner nothwendiger Weise das, was von dem einen Kohlehydrat gilt, auch von den anderen gelten muss, so würde folgen, dass die Kohlehydrate überhaupt keinen directen Antheil an der Bildung des Glykogens haben, mit anderen Worten, dass das Glykogen bei gleichzeitiger und ohne gleichzeitige Verfütterung von Kohlehydraten, immer nur aus Eiweiss entsteht, dass es eine «Restsubstanz» der Eiweisszersetzung darstellt.

Da meine eigenen Untersuchungen auf diesen Punkt Bezug nehmen, so lege ich zunächst die diesen Gegenstand berührenden, bereits vorhandenen Beobachtungen vor.

Der chemischen Beschaffenheit der Glykogene haben ihre Aufmerksamkeit Tichanowitsch, Luchsinger, Salomon, v. Mering und Finn zugewandt.

Tichanowitsch soll, wie Schtcherbakoff¹⁾ angiebt, nachgewiesen haben, dass nach verschiedenen Nahrungsmitteln verschiedene Modifikationen des Glykogens erhalten werden. Da genauere Angaben als diese nicht vorliegen, die aufgestellte Behauptung aber in anderweitigen Beobachtungen keine Stütze findet, so darf sie füglich bei Seite gelassen werden.

Salomon untersuchte die meisten der von ihm erhaltenen Glykogene meist nur auf ihr Verhalten gegen Speichel, verdünnte Salzsäure und Jodlösung, und giebt dabei an, dass sie in gewöhnlicher Weise reagirt haben. Nur vom Fruchtzucker-Glykogen bemerkt Salomon²⁾ ausführlicher, es habe sich ausserdem, sowohl in Bezug auf die Richtung, als auf die Grösse der Ablenkung des polarisirten Strahls, als völlig

¹⁾ Schtcherbakoff, Ber. chem. Gesellsch. 3. 200. 1870.

²⁾ Salomon, a. a. O. 368.

identisch mit dem Rohrzucker-Glykogen erwiesen. Beim Erwärmen mit verdünnten Säuren habe es sich in rechts drehenden Zucker verwandelt.

v. Mering¹⁾ hat das Glykogen, welches nach Einführung von Traubenzucker, von Fleisch und von Fibrin erhalten wurde, näher untersucht. Die verschiedenen Arten bildeten stets amorphe, farb- und geschmacklose, in Wasser lösliche, in Alkohol und in Aether unlösliche Substanzen. Die wässrigen Lösungen zeigten immer eine sehr starke Opalescenz und rechtsseitige Polarisisation. Durch Jod wurden die Glykogene roth bis violett gefärbt. In ihrem Verhalten gegen Fermente und Säuren zeigten sie keinen Unterschied; durch Speichel, Pankreassaft, Lebersaft, Blut, Diastase sei jedes Glykogen gleich schnell in Traubenzucker verwandelt worden.

Später hat v. Mering in Gemeinschaft mit Musculus²⁾ das nach Fibrinfütterung, sowie nach Amylaceennahrung gewonnene Glykogen untersucht. Sie gaben mit Speichel beide reducirendes Dextrin und Maltose neben geringen Mengen Traubenzucker und zwar annähernd in denselben Gewichtsverhältnissen. Dieselben drei Zersetzungsprodukte wurden auch aus Pferde- und Katzen-Glykogen sowohl durch Speichel als Diastase gewonnen.

Von Luchsinger³⁾ rühren die ersten mit Zahlen belegten quantitativen Bestimmungen her. Er ermittelte die spezifische Drehung des Traubenzuckerglykogens, des Glyceringlykogens und des Inulinglykogens mittels des Wild'schen Polaristrobometers und fand

Traubenzuckerglykogen α_j	= + 127.27°
Glyceringlykogen	= + 130°
Inulinglykogen	= + 140°

In Anbetracht der grossen Versuchsfehler, mit welchen diese nur mit sehr verdünnten Lösungen anstellbaren Bestimmungen behaftet sein mussten, erklärt Luchsinger die spezifischen Drehungen dieser drei Glykogenarten als unter einander gleich und erklärt weiter alle drei für identisch. Der aus Inulinglykogen durch Kochen mit verdünnten Säuren darstellbare Zucker drehte zudem rechts.

Finn⁴⁾ fand mittels des Apparates von Soleil-Ventzke die spezifische Drehung vom

Traubenzuckerglykogen	= + 173°
Levuloseglykogen	= + 168°
Glyceringlykogen	= + 160°
Eiweissglykogen	= + 163°

Da ähnliche Differenzen, wie sie die verschiedenen Glykogenarten zeigten, auch bei wiederholter Untersuchung der gleichen Glykogenart

¹⁾ v. Mering a. a. O. 283 f.

²⁾ Musculus u. v. Mering, Zeitschr. f. phys. Chem. 2. 418. 1879.

³⁾ Luchsinger, Pflüger's Arch. 8. 294 u. 301. 1874.

⁴⁾ Finn a. a. O. 337 ff.

beobachtet wurden, so betrachtet Finn die specifischen Drehungen aller Glykogene als gleich.

Bei 4—6stündigem Kochen mit verdünnter Salzsäure gab

Traubenzuckerglykogen	46.6%
Glyceringlykogen	56.3%
Eiweissglykogen.	51.3%

von der nach der Gleichung $C_6H_{10}O_5 + H_2O = C_6H_{12}O_6$ (180 aus 162) erwarteten Menge Zucker. Die Lösung war beim Kochen gelblich geworden; der Zucker wurde nach Fehling filtrirt.

Es wurde ferner an Zucker erhalten, als die verschiedenen Glykogene bei 40° mit Speichel digerirt wurden

	nach 14 St.	30	46	78 St.
aus Traubenzuckerglykogen	45.4%	60.6	64.0	70.3%
Eiweissglykogen.	44.4%	68.6	69.8	74.4%
Levuloseglykogen.	48.4			

Alle hydrolytischen Produkte waren stark rechts drehend; mit dem Fortschreiten der saccharificirenden Wirkung des Speichels nahm aber die Rechtsdrehung ab.

Die mitgetheilten Beobachtungen, welche sich alle auf Leberglykogen beziehen, sind von ungleichem Werthe.

Im Interesse der Anhydridhypothese musste es gelegen sein, solche Glykogene mit einander zu vergleichen, von denen sich von vornherein eine Verschiedenheit erwarten liess, wie das Fruchtzucker- und das Traubenzuckerglykogen. Die vermeintlichen Muttersubstanzen derselben besitzen so stark ausgeprägte Unterschiede, dass die Glykogene, die aus ihnen direkt durch Condensation hervorgegangen wären, unmöglich in allen Stücken die gleichen Eigenschaften hätten aufweisen können. Von den Glycerin- und Eiweissglykogenen, konnte sich ferner nicht voraussetzen lassen, mit welchen anderen Glykogenen sie identisch sein möchten; wollte man sie mit Zuckerglykogenen vergleichen, so mussten dazu, von den näher untersuchten, das Dextrose-Glykogen sowohl wie das Levulose-Glykogen gewählt werden. Schon aus diesem Grunde bin ich nicht geneigt, auf die Angaben von v. Mering, sowie auf die von Musculus und v. Mering, welche nur Traubenzuckerglykogen mit Eiweissglykogenen verglichen, ein grosses Gewicht zu legen. Ebensowenig dürfte ein Vergleich zwischen Fruchtzucker- und Rohrzuckerglykogen, wie ihn Salomon anstellte, für sich allein ausschlaggebend sein, weil

man schon vorher wissen müsste, ob der Rohrzucker als Ganzes oder, wenn nicht, welcher seiner Componenten zu Glykogen würde. Dagegen erscheint in den Untersuchungen von Luchsinger und von Finn die Auswahl des Materials als zweckmässig.

Die Resultate der vorliegenden Untersuchungen zeigen in manchen Punkten eine auffällige Uebereinstimmung der Art, dass die Identität der verschiedenen Glykogene wahrscheinlich wird. Uebereinstimmend geben alle Autoren an, aus den verschiedenen Glykogenen rechtsdrehende, reduzierende Substanz erhalten zu haben. Aber es scheint doch gewagt, nach bloss qualitativen Reactionen, auch wenn sie in demselben Sinne ausfallen, auf die völlige Identität der Zersetzungsprodukte zu schliessen, um so mehr, als die Zersetzung des Glykogens keine so einfache ist, als man damals noch annahm, und keine Bürgschaft dafür vorliegt, dass die Zersetzung auch zu Ende geführt war. Es ist ja denkbar, dass ein Gemenge von Zersetzungsprodukten verschiedener Glykogene in Summa dieselben allgemeinen Reactionen darbieten kann, ohne dass auch die Endprodukte unter einander identisch wären. Werthvoller könnten die quantitativen Bestimmungen erscheinen und kämen in dieser Hinsicht zunächst Finn's hydrolytische Versuche in Betracht, die unter den Glykogenen nicht unerhebliche Unterschiede aufweisen, indessen nicht grössere, als sie von Seegen¹⁾ und von O. Nasse²⁾ gleichfalls wahrgenommen wurden, Unterschiede, welche von diesen Forschern als innerhalb der Fehlergrenzen liegend betrachtet werden. Musculus und v. Mering erhielten die von ihnen nachgewiesenen drei Zersetzungsprodukte nur annähernd in denselben Gewichtsverhältnissen. Aber es macht sich auch hier gegen die Beweisfähigkeit der Resultate das Bedenken geltend, dass für die Untersuchungen keine Endprodukte verwendet wurden.

Als die werthvollsten Untersuchungen dürfen noch die Bestimmungen der specifischen Drehung der verschiedenen

¹⁾ Seegen, Centralblatt f. d. med. Wiss. 1876. 849.

²⁾ O. Nasse, Pflüger's Arch. 14. 473. 1877. -

Glykogene betrachtet werden. Wie aus der gegebenen Zusammenstellung hervorgeht, hat sie jeder der Autoren für die von ihm untersuchten Glykogene gleich befunden; so Salomon für das Rohrzucker- und das Fruchtzuckerglykogen, Luchsinger für das Glykogen aus Traubenzucker, Glycerin und Inulin, Finn für diese und noch für das aus Eiweiss. Aber die Zahlen, welche der eine Forscher gefunden, stimmen nicht mit denen des andern überein; Luchsinger fand die spezifische Drehung zu $+ 130-140^{\circ}$, Finn zu $163-173^{\circ}$: nimmt man dazu, dass R. Böhm und F. A. Hoffmann¹⁾ sie für Leberglykogen zu $+ 226.7^{\circ}$ angeben, so verlieren diese Beobachtungen wieder erheblich an Werth.

Um den Entscheid dieser Frage einer grösseren Sicherheit entgegenzuführen, habe ich Glykogene, welche nach der Fütterung mit Fleisch und Kartoffeln, mit Stärkemehl, mit Inulin und mit Glycerin erhalten wurden, in der Weise untersucht, dass ich sie mit verdünnter Schwefelsäure so lange kochte, bis die Drehung des Produktes eine konstante wurde und darauf den Gehalt der Lösungen sowohl polarimetrisch als mittelst Fehling'scher Lösung bestimmt.

Um eine zu Vorversuchen genügende Menge Glykogen zu gewinnen, wurde ein Hund mit Fleisch und Kartoffeln gefüttert und während der Verdauung getödtet. Das Glykogen wurde, wie in allen übrigen Fällen nach der Brücke'schen Methode, aus der Leber dargestellt.

Zu den weiteren Versuchen dienten Hühner. Dieselben hungerten zunächst 4 Tage und wurden dann mindestens 2 Tage reichlich mit Fibrin gefüttert, das mit Wasser gut ausgewaschen, mit Alkohol ausgekocht und getrocknet worden war. Da es sich bald herausstellte, dass das trockene Fibrin lang im Kropfe liegen blieb, liess ich dasselbe vor der Fütterung in warmer 0.1procentiger Salzsäure aufquellen. In den meisten Fällen frassen die Hühner das Fibrin nicht freiwillig; sie wurden dann damit so oft des Tags gestopft, dass ihr Kropf nie ganz leer wurde. Nach dieser Versuchsanordnung mussten die Hühner alles von dem früheren Futter stammende Glykogen verlieren, und in der That wurde bei einem so gefütterten Huhne in der Leber nur eine nicht verarbeitbare Spur, in den Muskeln aber gar kein Glykogen mehr angetroffen.

An weiteren 2-3 Tagen wurden neben dem Fibrin die Glykogenbildner gefüttert, und zwar wurden diese den Hühnern 3 Mal des Tages

¹⁾ R. Böhm und F. A. Hoffmann. Archiv für exper. Pathol. 7. 492. 1877.

in Lösung mittels eines langen Trichters in den Kropf gegossen. Vom Glycerin wurde auf die Gabe immer 500 verabreicht, dasselbe aber vorher mit der doppelten Menge Wassers verdünnt; vom Inulin je 1 Gr., vom Stärkmehl je gegen 3 Gr., beide in Wasser gequollen; zu jedem Fütterungs-Versuch wurden immer 2 Hühner verwendet; sie wurden ungefähr 3 Stunden nach der letzten Gabe durch schnelles Verbluten getödtet.

Das Glykogen wurde aus Leber und Muskeln jedes für sich dargestellt und im Trockengläschen bei 110° bis zum konstanten Gewicht getrocknet. Da es noch Spuren unverbrennlicher Substanz enthielt, so wurde ein Theil desselben zur Aschebestimmung verwendet und die gefundene Menge Asche von dem Gewicht des zu den weiteren Versuchen dienenden Theils in Abrechnung gebracht. Dieser zweite Theil wurde mit verdünnter Schwefelsäure in einem Kolben mit aufgesetztem Condensationsrohr gekocht. Kocht man im offenen Kolben, so bräunen sich die an die Innenwand des Kolbens gespritzten Tropfen und setzen eine braune Substanz ab. Man erleidet auf diese Weise einen Verlust an Glykogen und die Flüssigkeit färbt sich ausserdem gelb; durch Aufsetzen eines Condensationsrohres lässt sich dieser Uebelstand mit Sicherheit vollständig vermeiden. Wie der Vorversuch ergab, genügt 7-8stündiges Kochen, um die Flüssigkeit, selbstverständlich bei gleichem Volumen, auf konstante Drehung und zugleich das Reductionsvermögen auf sein Maximum zu bringen. Die Drehung wurde mit einem Wild'schen Instrumente bestimmt.

Unter der Voraussetzung, dass bei der vollständigen Zerlegung des Glykogens Traubenzucker entstehe und diesem ein Drehungsvermögen von + 56° zukomme, wurden folgende Zahlen gewonnen:

Futter:	Gewebe.	Glykogen Gew.	Zucker Gew.	
			polarisirt.	titirt.
Fleisch und Erdäpfel.	Leber.	0.7797	0.7856	0.7710
Glycerin	Leber	0.4374	0.4249 ¹⁾	0.4353
	Muskeln	0.3756	0.3720	0.3750
Inulin	Leber	0.3503 ²⁾	0.3192	0.3262
	Muskeln	0.4353	0.4250	0.4275
Stärkmehl	Leber	0.2667	0.2273	0.2323
	Muskeln			

¹⁾ Mit Asche.

²⁾ Nicht ganz sicher, Lösung schwach trüb.

Bei diesen Bestimmungen hat sich das offenbar unrichtige Resultat ergeben, dass fast in allen Fällen die Menge des zersetzten Glykogens dem Gewicht nach grösser war, als die des aus ihm gewonnenen Zuckers. Da die Zersetzung sicher eine vollständige war, so kann der Grund dieser Abweichung nur in der Beschaffenheit des Glykogens gelegen sein und ich vermute als wahrscheinlichsten den, dass das Glykogen noch zu viel hyroskopisches Wasser enthielt. Dass das Glykogen sehr hyroskopisch ist, ergibt sich aus dem Umstand, dass es je nach der Temperatur, bei welcher man es trocknet, verschiedenes konstantes Gewicht annimmt. Es kommt übrigens für unseren Zweck auch darauf Nichts an, wie viel Zucker aus Glykogen überhaupt erhalten wird. Vielmehr ist das Hauptgewicht auf diejenigen Mengen Zucker zu legen, welche nach beiden Bestimmungsmethoden ermittelt wurden. Darnach ergibt sich nun, dass beide Bestimmungen mit genügender Genauigkeit übereinstimmen, sicher so weit, dass man nicht sagen kann, der Zucker habe ein wesentlich anderes Drehungsvermögen besessen, als der Traubenzucker. Keinesfalls kann man behaupten, eines der Glykogene habe linksdrehenden Zucker geliefert, selbst nicht einmal in kleinen Mengen nebenbei. Denn, wenn auch das Leberglykogen aus Inulin nach der Polarisation etwas weniger Zucker gegeben hat als nach der Titrirung, so ist dasselbe fast bei allen anderen auch der Fall gewesen und namentlich auch beim Stärkmehl-Glykogen, in dem Niemand Levulose voraussetzen wird. Die konstante Differenz zu Ungunsten der optischen Zuckerbestimmung dürfte sich vielmehr leicht aus den Fehlern der angewandten Methode erklären lassen.

Ich glaube daher schliessen zu dürfen, dass das Endprodukt der Zersetzung aller Glykogene Traubenzucker ist, somit alle Glykogene identisch sind. Aus dieser Thatsache würde, nach den oben gemachten Auseinandersetzungen, folgen, dass die Glykogene nicht aus den verfütterten stickstofffreien Substanzen (Kohlehydraten) entstehen, sondern nach der Ersparnistheorie lediglich aus Eiweiss.

Zu der Ansicht, dass die verschiedenen Glykogene identisch

seien, sind vor mir auch schon Andere gelangt, so Luchsinger, einer der eifrigsten Verfechter der Anhydridhypothese. Nach der Untersuchung des von ihm erhaltenen Inulinglykogens, erklärt es Luchsinger¹⁾ für völlig identisch mit den anderen Glykogenen. Trotz alledem hielt er die Anhydridhypothese noch nicht für widerlegt und wünschte noch deutlichere Beweise gegen sie. Sollte es, nach Luchsinger's Ausspruch, möglich sein, den eingeführten Zucker mit einer Marke zu stempeln, so dürfte nach der Theorie der Synthese auch das dann resultierende Glykogen diese Marke wohl noch besitzen. Von derselben Verstellung geleitet, äussert sich Salomon²⁾, wie Luchsinger mit vollem Recht, aber präziser, es gebe offenbar nur einen Weg, die Bildung von Glykogen aus den eingeführten Substanzen zu beweisen: die Einführung substituierter Kohlehydrate. Wenn es gelänge, durch Fütterung eines substituirten Kohlehydrates ein substituirtes Glykogen in der Leber zu erzeugen, so sei damit der direkte Uebergang unwiderleglich festgestellt. Salomon verfütterte deshalb nach Schützenberger dargestellte Monacetylsaccharose; aber das darnach gewonnene Glykogen unterschied sich weder durch sein physikalisches Verhalten noch hinsichtlich der Reactionen von gewöhnlichem Glykogen. Mit dem von Schützenberger beschriebenen Acetylglykogen hatte es keine Aehnlichkeit, auch enthielt es keine Essigsäure. Wiewohl nun dieser Versuch unter den gemachten Voraussetzungen gegen die Anhydridhypothese spricht, macht sich Salomon doch noch den Einwand, die Essigsäure könne sich von dem Rohrzucker abgespalten haben, noch bevor die Condensation zu Glykogen stattgefunden habe.

Unter solchen Umständen macht sich der Wunsch nach dem Besitze eines Kohlehydrates geltend, das die allgemeinen physiologischen Eigenschaften des Zuckers besässe, aber unter den zersetzenden Einflüssen des Organismus, die gänzliche Zerstörung seines Moleküls ausgeschlossen, nicht in Trauben-

¹⁾ Luchsinger, Beiträge 51.

²⁾ Salomon a. a. O. 371.

zucker verwandelt würde; das wäre ein Kohlehydrat mit unverwischbarer Marke und man kann sich in der That kein besseres wünschen und wird durch irgend welche Substitution kein besseres herstellen, als wie ein solches im Fruchtzucker bereits gegeben ist, dem Fruchtzucker, der sich in seinen Eigenschaften in unzweifelhafter Weise und in leicht erkennbarer Art vom Traubenzucker unterscheidet, oder, wenn man sich theoretisch-chemisch ausdrücken will, der durch die Anordnung seiner Kohlenstoffgruppen selbst vom Traubenzucker unterschieden ist. Der Versuch hat nun ergeben, dass das nach Fruchtzuckerfütterung entstandene Glykogen die Marke des Fruchtzuckers nicht mehr getragen habe, sondern die des Traubenzuckers.

Sprechen nun die Anhänger der Anhydridhypothese dem positiven Ausfall einer der von ihnen angestellten Synthesen beweisende Kraft zu, so darf man dieselbe Art der Schlussfolgerung auch für diejenigen Fälle in Anspruch nehmen, wenn der Versuch das erwartete Resultat nicht hatte, das gewünschte Glykogen nicht entstanden ist. Einem unbefangenen Urtheil bleibt dann nur die eine Annahme übrig, dass der markirte Zucker, die Acetylsaccharose, der Fruchtzucker, zerstört worden, überhaupt nicht in das Glykogenmolekül eingetreten sei. Die Ausrede aber, dass der Fruchtzucker vor der Umwandlung in Glykogen zu Traubenzucker geworden sei, eine völlige Umgestaltung seiner chemischen Constitution erfahren habe, ist eine unglückliche und unbegründete. Wenn solche Ansichten in der Physiologie Platz griffen, so würde sie überhaupt auf den leitenden Einfluss der Chemie principiell Verzicht leisten.

Darf es nun als entschieden angesehen werden, dass das Glykogen nach der Ersparnisshypothese entsteht, so hätte die Physiologie ausser dieser Thatsache einen weiteren Gewinn zu verzeichnen. Die Reihenfolge der Processe, welchen das Glykogen einerseits seine Entstehung verdankt und die es andererseits der Zerstörung zuführen, wäre eine

in einheitlichem Sinne kontinuierliche und man hätte nicht die sicher gezwungene Annahme zu machen, dass in einem und demselben Organ, neben Vorgängen, welche eine Synthese einer Substanz zur Folge haben, auch solche stattfinden, welche wieder zur Zersetzung der neugebildeten Substanz führen.