

Ueber den Glycogenstoffwechsel des Herzens.

Von
Dr. Paul Jensen.

(Breslau, physiologisches Institut.)
Der Redaction zugegangen am 1. Juni 1902.

Vorbemerkungen.

Die vorliegende Untersuchung stammt noch aus den Jahren 1894 und 1895, wo es mir vergönnt war, im Institute des unvergesslichen Felix Hoppe-Seyler in Strassburg zu arbeiten. Damals wurde durch dazwischentretende andere Studien eine Veröffentlichung vereitelt, obwohl das thatsächliche Material im Wesentlichen vollständig war. Wenn ich so spät noch das Versäumte nachhole, so geschieht dies aus dem Grunde, weil mir der behandelte Gegenstand einiges Interesse zu verdienen scheint, eine Bearbeitung aber inzwischen nicht gefunden hat.

Den Ausgangspunkt der Untersuchung bildete die Frage, ob der Herzmuskel in seinem Stoffwechsel, vor Allem in seinen Glycogenverhältnissen, Eigenthümlichkeiten darbiete, welche den energetischen Besonderheiten entsprächen, die ihn vor den Skeletmuskeln auszeichnen. Eine solche etwaige stoffliche Sonderstellung des Herzmuskels musste sich vor Allem im Hungerzustande eines Organismus kundthun: da wir nämlich annehmen dürfen, dass die Leistungsfähigkeit eines Skeletmuskels unter Anderem in hohem Grade von seinem Glycogengehalt abhängt*, und hauptsächlich wohl aus diesem Grunde die durch Hungern glycogenfrei gemachten Muskeln besonders leicht ermüden, so erheben sich die Fragen: Auf Kosten welchen Stoffes erhält sich der Herzmuskel im Hungerzustande

* Vergl. auch Schunburg, Archiv f. Physiologie 1896, S. 537.

seine bedeutende mechanische Leistungsfähigkeit noch zu einer Zeit, wo die Skeletmuskeln im Allgemeinen ihre Glycogenvorräthe verbraucht haben? Ist vielleicht im arbeitenden Herzen stets Glycogen vorhanden? Auch für die Athem-muskeln kann man dieselben Fragen aufwerfen.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde das Herzglycogen von Hunden bestimmt, welche so lange gehungert hatten, dass man einen möglichst vorgeschrittenen Schwund des Glycogens der Skeletmuskeln erwarten durfte. Die letzteren wurden ebenfalls untersucht, und zwar ein Theil der Oberschenkelmuskeln und von den Athmungsmuskeln das Zwerchfell. Derselben Prüfung wurde auch das hauptsächlichste Glycogenreservoir, die Leber, unterworfen.

Um etwaige Abweichungen des Hungerherzens von demjenigen eines normal ernährten Hundes zu erkennen, habe ich zunächst den Glycogengehalt des letzteren festzustellen gesucht. Und in diese Voruntersuchung wurden auch die Herzen einiger anderer Thiere, wie vom Kalb, Hammel, Kaninchen, Huhn, Taube und Frosch hineingezogen, da über den normalen Glycogengehalt des Herzens überhaupt noch etwas widersprechende Angaben vorliegen.

Der normale Glycogengehalt des Herzens.

Frühere Untersuchungen.

Einige der bisherigen Angaben mögen hier zunächst Platz finden. Fast alle Autoren stimmen darin überein, dass der procentische Glycogengehalt des Herzens im Allgemeinen geringer sei als derjenige der Skeletmuskeln, wobei der letztere im Durchschnitt zu 0,75% angenommen ist. Mc. Donnell⁵⁾ und v. Wittich¹⁰⁾ fanden sogar keine Spur von Glycogen in den Herzen von menschlichen Neugeborenen. Bei eben solchen erhielt Cramer³⁾ einen durchschnittlichen Werth von 0,12% gegenüber einem Gehalt der Skeletmuskeln von 1,32%; derselbe Autor gewann aus dem Kalbsherzen durchschnittlich fast 0,1% Glycogen. Dagegen gab schon Weiss²⁾ das Verhältniss des Herzglycogens zu dem der Skeletmuskeln als 2 zu 3 an. Und E. Külz⁴⁾ fand in den Herzen von Hunden, die überdies

schwere Arbeit verrichtet hatten, einmal $0,62\%$, dann $0,14\%$ Glycogen, während die Skelettmuskeln nur noch $0,17\%$ bzw. $0,03\%$ darboten. Ebenso konnte Aldehoff¹⁾ in den Herzen zweier Pferde nach einer 9tägigen Carenz noch $0,58\%$ Glycogen, in einem Katzenherzen nach einer solchen von 14 Tagen noch $0,44\%$ nachweisen. Eine Vermittelung zwischen den widersprechenden Angaben der zwei Gruppen von Autoren ermöglichen die Untersuchungen von Boruttan,²⁾ welcher feststellte, dass beim Hunde der procentische Glycogengehalt des ganz frischen Herzens demjenigen der Adductoren-muskeln nur wenig nachstand, dass ersterer aber nach dem Tode des Thieres unter gleichen Bedingungen rascher abnimmt als der letztere. Da nach Boruttan (l. c.) der Glycogenbestand des Herzens schon innerhalb einer halben Stunde nach dem Tode etwa auf die Hälfte der Norm zurückgehen kann, so liegt die Vermuthung nahe, dass die von Mc. Donnell, v. Wittich und Cramer so glycogenarm gefundenen Herzen nicht genügend frisch zur Bearbeitung gekommen seien: dafür spricht wohl auch die Herkunft der untersuchten Organe.

Eigene Analysen.

Methode: Die quantitative Bestimmung des Glycogens wurde zum grössten Theil nach der Brücke'schen, von R. Külz genauer ausgearbeiteten Kalimethode vorgenommen: in einigen Fällen, und zwar da, wo es sich um geringe Glycogenmengen handelte, habe ich mich einer colorimetrischen Methode bedient.

Bei der Brücke'schen Wägungsmethode wurden die Vorschriften von Külz beobachtet, wie sie in Kürze im Handbuch von Hoppe-Seyler angeführt sind. Gegen diese Methode ist freilich in neuerer Zeit der Vorwurf erhoben worden, dass sie beträchtliche Mengen von Glycogen unterschlage: nach Angabe von Pflüger⁷⁾ soll der Fehler sogar 20% erreichen können. Mögen aber auch die nach dem Brücke-Külz'schen Verfahren gewonnenen Ergebnisse nicht absolut richtig und einer Correctur, etwa auf Grund der neuen Pflüger'schen Methode,⁸⁾ bedürftig sein, so lassen sie doch mit allen auf

jenem Wege ermittelten Werthen, und das sind die meisten aller jemals festgestellten, eine Vergleichung zu.

Bezüglich des Brücke'schen Verfahrens sei in Kürze der mehrfach beobachteten milchigen Trübung gedacht, welche mit der Ausfällung der Eiweisskörper durch Jodquecksilberjodkalium nicht selten in der Organflüssigkeit auftritt und bisweilen störend sein kann. Pflüger (1893) hat dieser Erscheinung eine besondere Aufmerksamkeit zugewandt und einen Weg angegeben, auf welchem sich das Hinderniss überwinden lässt; freilich wird durch die hierzu nothwendigen Massnahmen der an sich schon langwierige Gang der Analyse noch mehr verzögert. Da ich nur selten derartige Trübungen erhielt, welche das Filtriren empfindlich störten, so begnügte ich mich damit, auf Grund der schon von Pflüger⁶⁾ mitgetheilten Löslichkeit des trübenden Körpers in Alkohol, zunächst durch vorsichtiges Zufügen des letzteren zum Filtrat die Trübung aufzulösen; dann erst wurde durch Verstärkung des Alkoholgehaltes das Glycogen zur Ausscheidung gebracht. Etwaige Verunreinigungen des letzteren durch den trübenden Körper lassen sich dadurch erkennen und ausschalten, dass man nach dem üblichen Reinigungsverfahren den Alkoholniederschlag in Wasser löst, zur Probe nochmals Brücke's Reagens zusetzt, filtrirt, wieder mit Alkohol ausfällt etc.

Die erwähnte colorimetrische Methode*) wurde nur zur Glycogenbestimmung des Froschherzens gebraucht.

Analysen: Für die Untersuchung des normalen Glycogengehalts des Herzmuskels wurde der Hund bevorzugt, da dieser auch für die späteren Versuche zur Verwendung kommen sollte. Die Ergebnisse dieser Analysen sowie derjenigen der Herzen jener anderen oben genannten Thiere zeigt die folgende Tabelle.

Die untersuchten Hunde waren sämmtlich gut genährt und hatten mindestens eine Woche vor der Verarbeitung täglich etwa ein Pfund Pferdefleisch bekommen: Hund IV war

*) Siehe hierüber die nachfolgende Mittheilung: Weitere Untersuchungen über das Herzglycogen.

Herz vom	Gewicht des Herzens in g	Glycogengehalt in g	Glycogengehalt in %
Hund I	79	0.408	0.52
" II	52	0.173	0.33
" III	52	0.187	0.36
" IV*	58	0.192	0.33
Kalb	351	0.579	0.17
" "	365	0	0
Hammel	—	0.525	—
Kaninchen	2.3	0.006	0.26
" "	3.0	0.015	0.50
Huhn	5.5	0.006	0.06
" "	4.0		
Taube	4.0	0.011	0.28
Frosch I	0.09	0.0004	0.44
" II	0.07	0.0005	0.71
" III	0.09	0.0004	0.44
" IV	0.09	0.0003	0.33

ausserdem am Tage vor der Untersuchung mit beträchtlichen Mengen Traubenzucker gefüttert worden. Getödtet wurden die Thiere durch Eröffnung der Carotiden und die Herzen noch schlagend zur Analyse genommen. Es sei ausserdem hinzugefügt, dass das Herz eines Hundes, welcher in Folge einer Gehirnoperation Nachts gestorben war, am nachfolgenden Tage kein Glycogen mehr aufwies. Die Herzen vom Kalb und Hammel waren vom Schlachthof bezogen und konnten daher nicht völlig frisch sein, obgleich dies möglichst angestrebt war. Ueber die verwendeten Kaninchen, Hühner und Tauben ist nichts Besonderes zu bemerken. Die Froschherzen stammten sämtlich von Esculenten, von denen I—III Winterthiere, IV ein Sommerthier war.

Meine Analysen bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse von Weiss, Külz und Boruttau:*) letzterer fand beispielsweise für das noch schlagende Hundehertz Glycogen-

* Vergl. S. 515.

werthe von 0,532^o/_o und 0,249^o/_o. Die geringen Procentgehalte, welche Kalb und Hammel*) lieferten, sind wohl darauf zurückzuführen, dass sich in der Zeit zwischen der Tödtung der Thiere und der chemischen Verarbeitung ihrer Herzen mehr oder minder grosse Mengen Glycogen zersetzen konnten.**)

Ob die Vögel durchschnittlich weniger Glycogen im Herzmuskel haben als die Säugethiere und der Frosch, möge bei der verhältnissmässig geringen Anzahl der bezüglichen Analysen dahingestellt bleiben.

Das Herzglycogen des hungernden Hundes.

Zur Bestimmung des Glycogens diene, wie bei den obigen Analysen, die Brücke-Külz'sche Methode.***)

Die Hunde wurden während ihrer Hungerzeit in einem grösseren Stallgelass gehalten und hatten stets frisches Wasser zur Verfügung. Um recht deutliche Ergebnisse zu erzielen, suchte ich die Carenz möglichst auszudehnen. Dabei starb mir das erste Thier nach 17tägigem Hungern, kam aber bald nach dem Tode zur Untersuchung. Sein Herz war glycogenfrei. Denselben Befund bot später einmal das Herz eines Thieres dar, welches nach 15tägiger Hungerzeit schon anscheinend todt war, aber nach Eröffnung der Carotiden noch einige starke Athembewegungen ausführte. Das Herz schlug noch und wurde sofort verarbeitet; es hatte sich also ohne Glycogen noch contrahirt.

Die anderen Hunde waren, als sie zur Untersuchung kamen, noch etwas mehr bei Kräften. Doch war der Fettgehalt der grossen Körperhöhlen und ihrer Organe auf kleinste Reste zusammenschmolzen, sodass die letzteren fast wie künstlich präparirt erschienen. Bei diesen Thieren wurde ausser dem Herzen auch das Zwerchfell, ein Theil der Oberschenkelmuskeln und in zwei Fällen auch die Leber auf Glycogen geprüft. Das Nähere zeigt die folgende Tabelle. Zu

*) Beim Hammelherzen wurde die Gewichtsbestimmung versäumt; doch dürfte auch hier der Glycogengehalt kaum mehr als 0,2^o/_o betragen haben.

**) Vergl. Boruttau, S. 515.

***) Siehe hierüber das S. 515 f. Gesagte.

dieser ist noch zu bemerken, dass Hund III, welcher am längsten gehungert hatte, bei der Tödtung schon recht matt war und im Begriffe stand, seine Athmung einzustellen.

Versuchsthier	Organ	Organgewicht in g	Glycogengehalt in g	Glycogengehalt in %
Hund I. Hungerzeit: 15 Tage.	Herz	31	0,177	0,571
	Zwerchfell	21	Spuren	0
	Beinmuskeln	131	0,033	0,025
Hund II. Hungerzeit: 17 Tage.	Herz	65,5	0,379	0,578
	Zwerchfell	33,5	0,051	0,153
	Beinmuskeln	127	0,098	0,077
	Leber	171	4,033	2,359
Hund III. Hungerzeit: 19 Tage.	Herz	56	0,029	0,051
	Zwerchfell	30,5	0	0
	Beinmuskeln	126	0	0
	Leber	135	0,110	0,082

Aus der Tabelle geht hervor, dass der Glycogengehalt des Herzens noch normale Werthe darbietet zu einer Zeit, wo derjenige der Beinmuskeln auf $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{30}$ der Norm gesunken ist. Für das Zwerchfell als Repräsentanten der ebenfalls rhythmisch stark arbeitenden Athmuskeln ein analoges Verhalten zu behaupten, wage ich nicht in Anbetracht von nur einem positiv ausgefallenen Versuch (Hund II). Es ist bemerkenswerth, dass die Leber noch recht viel Glycogen enthalten kann, wenn die Beinmuskeln schon sehr arm an solchem geworden sind*.

Schlussbemerkungen.

Auf die oben gestellte Frage, ob der arbeitende Herzmuskel stets Glycogen berge, kann nicht mit einem unbedingten Ja geantwortet werden, da, wie wir S. 518 sahen, auch ein völlig glycogenfreies Herz sich noch contrahiren kann. Wohl aber hat der Herzmuskel die Eigenthümlichkeit, noch beträchtliche Glycogenvorräthe verfügbar zu halten

* Nach Untersuchungen von Aldehoff¹⁾ schwindet bei vielen Thieren in der Carenz das Glycogen der Leber rascher als das der Muskeln.

unter Bedingungen, bei welchen der Skelettmuskel hierzu nicht mehr im Stande ist. Der letztere ist zwar im gutgenährten, nicht übermässig arbeitenden Thiere reicher an Glycogen als das Herz, büsst aber bei unzureichender Ernährung (Hunger) und, wie Kütz*¹) fand, bei starker Arbeit des Thieres sein Glycogen viel rascher ein als das Herz.

Wodurch bewahrt sich der Herzmuskel in solcher Weise seine Glycogenvorräthe?

Auf diese Frage kann man verschiedene Antworten ersinnen, welche zum Theil davon abhängen, wie wir uns das Hineinziehen des Glycogens in die Muskelthätigkeit überhaupt vorstellen. Es stehen hier wohl drei Möglichkeiten zur Wahl, zwischen denen eine Entscheidung zur Zeit noch kaum zu treffen sein dürfte.

1. Der Stoff- und Energie-Verbrauch bei dem in der Muskelcontraction zum Ausdruck kommenden Dissimilirungsprocess (absteigende Aenderung) könnte stets vorwiegend durch das zur Reserve aufgespeicherte Glycogen gedeckt werden.**²) Unter dieser Voraussetzung muss der Herzmuskel die Fähigkeit besitzen, innerhalb gewisser Grenzen immer gleichviel Glycogen in sich zu bilden, gleichgültig ob ihm vom Blute viel oder wenig in Glycogen verwandelbares Material, sei es Zucker, Fett***³)

*¹) Vergl. S. 515.

**²) Genauer ausgedrückt, hätte man sich diesen Vorgang folgendermaassen vorzustellen: Der Verlust an dissimilirbarer Substanz bei der absteigenden Aenderung des Protoplasmas wird zunächst durch das im letzteren gelöst enthaltene Assimilirungsmaterial (vergl. P. Jensen, «Ueber einige allgemein-physiologische Begriffe», Zeitschrift f. allgem. Physiologie, Bd. I, 1902) ausgeglichen und dieses dann wieder aus dem ungelösten Glycogen ergänzt.

***³) Eine Umwandlung von Fett in Kohlehydrate (Zucker) durch die Leberzellen ist von Seegen (Pflüger's Archiv, Bd. 39, S. 132, 1886) auf Grund von Versuchen behauptet worden. Dagegen hat sich wohl Widerspruch erhoben (vergl. hierüber Zuntz, Archiv f. Physiologie 1896, S. 538), doch scheint mir diese Frage noch nicht endgültig entschieden zu sein. Da zudem im Pflanzenreiche die Ueberführung von fetten Oelen in Stärke eine häufige Erscheinung ist (vergl. J. Sachs: Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie, II. Aufl., S. 301, Leipzig 1887), so dürfen wir für die thierische Zelle eine solche Möglichkeit nicht ohne Weiteres von der Hand weisen. Auch v. Noorden (Die Zuckerkrankheit und ihre Behandlung,

oder Eiweiss,* dargeboten wird. Im Gegensatz hierzu hätte man für den Skelettmuskel anzunehmen, dass seine Glycogenbildung in strengerem Sinne mit dem Gehalt des Blutes an Nahrungsstoffen steige und sinke.

Wenn der Herzmuskel des hungernden Thieres seine Arbeit vorwiegend auf Kosten des Glycogens leistet, so erhebt sich die Frage, aus welchen Organen und in welcher Form er das für den Aufbau des letzteren erforderliche Material beziehe. In dieser Hinsicht haben wir zunächst nachzusehen, ob das Glycogen des ganzen Thieres ausreichte, um den Energiebedarf des Herzens zu befriedigen. Den Glycogengehalt eines mittelgrossen Hundes können wir schätzungsweise etwa zu 50 g annehmen**). Ein solches Thier würde, falls es beispielsweise wie Hund II der zweiten Tabelle während 17 Hungertagen seine ganze Herzarbeit etwa auf Kosten von Glycogen leistete, 34 g dieser Substanz verbrauchen, wenn wir die 24stündige Herzarbeit zu 3000 kgm, also die 17tägige zu 51000 kgm veranschlagen.***) Hierfür reichte das Glycogen

Berlin 1895 und Zuntz¹⁰) haben sich auf Grund beachtenswerther Ueberlegungen für die letztere Annahme erklärt.

*) Nach den bisherigen Erfahrungen scheint es mir sehr wahrscheinlich, dass vom thierischen Organismus Kohlehydrate aus Eiweisskörpern gebildet werden können. Doch wird bekanntlich auch der gegenheilige Standpunkt noch vertreten, wie die neuere Discussion zwischen B. Schöndorff (Ueber die Entstehung von Glycogen aus Eiweiss, Pflügers Archiv, Bd. 82, S. 85, 1900, und Die Entstehung von Glycogen aus Eiweiss, ebenda, Bd. 88, S. 339, 1902) und M. Cremer (Ueber die Verwerthung der Rhamnose im thierischen Organismus und einige damit zusammenhängende Fragen der Physiologie der Kohlehydrate, Zeitschrift f. Biologie, Bd. 42, S. 428, 1901) zeigt.

***) Ein Hund von 13 kg Gewicht hat höchstens 2 kg Knochen; unter den besonders glycogenreichen Weichtheilen dürften vorwiegend die Muskeln mit 6 kg und die Leber mit 0,15 kg in Rechnung zu ziehen sein. Nehmen wir den Glycogengehalt der Muskeln zu 0,75% an, den der Leber zu 3% an, so erhalten wir die beträchtliche Menge von (45 + 4,5) g, also rund 50 g Glycogen, wobei wir von den Beiträgen anderer Organe noch absehen.

***) Der obige Werth für die Herzarbeit ist berechnet für einen Hund von 13 kg; seine Blutmenge ist zu 1 kg veranschlagt, ihre Umlaufzeit zu 1 Minute, der Blutdruck in der Aorta zu 1,5 m, in der

des ganzen Körpers offenbar aus: denn von den 50 g sind am Ende der Hungerzeit höchstens noch 10 g in Leber, Muskeln etc. zurückgeblieben, die übrigen 40 g könnten also unter Anderem zur Unterhaltung der Herzthätigkeit gedient haben. Selbstverständlich schliesst dies nicht aus, dass auch noch anderes Material zur Neubildung von Herzglycogen herangezogen wurde, wie Fett oder auch Eiweisskörper,*) welche von weniger lebenswichtigen Organen herrührten. Man kann sich vorstellen, dass die verschiedensten Bestandtheile der minder lebenswichtigen Organe in das Blut übertreten, wenn der Stoffwechsel dieser Organe erlahmt und die Partialdrucke ihrer Bestandtheile im Blute sehr gering geworden sind.

2. Eine zweite der oben erwähnten Möglichkeiten wäre die, dass die Herzarbeit nur zum Theil aus dem Reserveglycogen bestritten werde, im Uebrigen aber aus Assimilirungsmaterial,**) welches direkt den Nahrungsstoffen des Blutes resp. der Gewebsflüssigkeit entnommen wird. Unter solchen Umständen würde der Herzmuskel seinen Ersatz an Glycogen und seinen Bedarf an dem weiteren Arbeitsmaterial auf Grund derselben Fähigkeiten erwerben, die ihm schon in der vorhergehenden Ausführung eingeräumt werden mussten.

3. Endlich ist es denkbar, dass alles zum Ersatz der assimilirbaren lebendigen Substanz herangezogene Assimilirungsmaterial normaler Weise stets direkt aus den Nahrungsstoffen des Blutes resp. der Gewebslymphe bezogen wird: das aufgespeicherte Glycogen würde, dann zunächst unangetastet bleiben und erst im äussersten Nothfall verwendet werden.***) Auch unter dieser dritten Voraussetzung haben

Arteria pulmonalis zu 0.5 m: daraus ergibt sich als Arbeit pro 1 Min. $(1.5 - 0.5) \text{ kgm} = 2 \text{ kgm}$. Dieser Arbeit sind äquivalent rund 5 gkal und diese erfordern etwa 0.0013 g Glycogen, wenn wir die Verbrennungswärme des letzteren zu rund 4000 gkal pro 1 g annehmen: hiernach beansprucht die Herzarbeit von 24 Stunden etwa 2 g Glycogen.

*) Es sei hier zur Analogie an den bekannten Vorgang des Einschmelzens der Rumpfmuskeln des Lachses zu Gunsten des Wachsthum der Ovarien während der Laichzeit erinnert. Vergl. auch S. 520 Anm. 3.

***) Vergl. S. 520, Anm. 2.

***) Vergl. den verhungerten Hund S. 518 und den Hund III der zweiten Tabelle.

wir dem Herzmuskel die Fähigkeit beizulegen, selbst aus einem sehr nahrungstoffarmen Blute das zur Instandhaltung seiner lebendigen Substanz erforderliche Assimilirungsmaterial in genügender Menge aufzusammeln.

Eine Fähigkeit der letzteren Art müssen wir also jedenfalls für den Herzmuskel annehmen, die demnach seinen energetischen Eigenthümlichkeiten an die Seite zu stellen wäre.

Litteratur.

- 1) Aldehoff. Ueber den Einfluss der Carenz auf den Glycogenbestand von Muskel und Leber. Zeitschr. für Biologie, Bd. 25, S. 137, 1889.
- 2) Boruttau. Vergleichende Untersuchungen über den Chemismus im Herz- und Körpermuskel. Zeitschr. f. physiolog. Chemie, Bd. XVIII, S. 513, 1894.
- 3) Cramer. Beiträge zur Kenntniss des Glycogens. Zeitschr. f. Biologie, Bd. 24, S. 67, 1888.
- 4) E. Külz. Beiträge zur Kenntniss des Glycogens. Festschr. f. C. Ludwig z. 50jähr. Doct.-Jubelfeier, S. 110, 1890.
- 5) Mc. Donnell, Recherches physiologiques sur la matière amylacée des tissus foetaux et du foie. Ref. in Centrbl. f. d. med. Wiss., Bd. III, S. 422, 1865.
- 6) Pflüger. Ueber die quantitative Analyse des Glycogenes. Pflüger's Archiv, Bd. 53, S. 491, 1893.
- 7) Derselbe. Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Zuckers, als Fortsetzung meiner Untersuchungen über die Quelle der Muskelkraft. Pflüger's Archiv, Bd. 66, S. 635, 1897.
- 8) Pflüger und Nerking. Eine neue Methode zur Bestimmung des Glycogenes. Pflüger's Archiv, Bd. 76, S. 531, 1899.
- 9) Weiss. Zur Statik des Glycogens im Thierkörper. Sitzber. d. Wien. Acad., math.-nat. Kl., Juli 1871.
- 10) v. Wittich. Vorkommen des Glycogens. Hermann's Handb. d. Physiologie, Bd. V, 2, S. 367, 1881.