

CHEMIE UND STOFFWECHSEL DER MUSKELN

VON

PROF. DR. OTTO NASSE IN HALLE.

ERSTES CAPITEL.

Der chemische Bau der Muskeln.

Einleitung.

Die Untersuchung und ihre Fehlerquellen.

Die Untersuchung des chemischen Baus der Muskeln stösst, wie die entsprechende Untersuchung anderer Organe des Thierkörpers, auf grosse, meist noch nicht überwundene Schwierigkeiten, welche in erster Linie darin bestehen, dass nirgends Muskelgewebe allein zu treffen ist, sondern überall mit diesem unzertrennbar sich vereinigt eine Anzahl anderer Gewebe und Organe, Bindegewebe mit elastischem Gewebe und Fett, Nerven, Blut- und Lymphgefässe und der Inhalt der Gefässe. Nur ein geringer Theil dieser für den Muskel als Organ unumgänglich nothwendigen Beimischungen lässt sich auf mechanischem Wege entfernen, die gröberen Bindegewebsmassen, Gefässe u. s. w. mit Messer und Scheere, der Inhalt der Blutgefässe durch Ausspritzen derselben. Man verwendet zum Ausspritzen, seitdem man die Schädlichkeit des destillirten Wassers für den Muskel (zuerst von A. VON HUMBOLDT¹ beobachtet) und ebenso für die meisten anderen Gewebe kennen gelernt hat, eine Chlornatriumlösung von 0,5 bis 0,75 %. Von allen bisher geprüften Lösungen der verschiedensten Stoffe ist dies diejenige, in welcher die Lebenseigenschaften des (Frosch-) Muskels am längsten erhalten bleiben. Ihr nahe kommen Lösungen anderer Natriumsalze, so eine NaNO_3 -Lösung von 1 %, eine Na_2SO_4 -Lösung von 1,4 % u. s. w. Natürlich sind die Gefässe nun statt mit Blut mit einer anderen, dem Muskel fremden Flüssigkeit gefüllt, die wiederum in Abrechnung gebracht werden muss, in sehr vielen Fällen aber nicht stört. Wenn es sich um die Aschen-

¹ A. VON HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser II. S. 222. Posen u. Berlin 1797.

bestandtheile handelt, kann man, DU BOIS-REYMOND's¹ Beispiel folgend, eine verdünnte Rohrzuckerlösung benützen. Die Hauptmasse der fremden Gewebe lässt sich indess von dem Muskel nicht trennen, es kann daher auch nur eine grosse Reihe von Untersuchungen, umfassend Muskeln von verschiedenen Körperstellen desselben Thieres und weiter Muskeln der verschiedensten Thiere, und Vergleich ihrer Ergebnisse mit denen der Untersuchungen der eintretenden Gewebe und Organe allein schliesslich die wichtige Frage entscheiden, welche der gefundenen chemischen Körper wesentliche Bestandtheile des Muskels sind. Nun sollte es scheinen, als würde hierdurch ganz besonders erschwert die Ermittlung der quantitativen Zusammensetzung des Muskels, zumal bezüglich solcher Stoffe, welche wie Wasser, gewisse Eiweisskörper und ganz besonders auch Fett sowohl dem Muskel als den anderen Geweben eigen sind, indess ist die practische Bedeutung dieses Umstandes doch nicht so gross, weil nämlich die Abweichungen in der Zusammensetzung der verschiedenen Muskeln desselben Individuums, der gleichen Muskeln derselben Species in verschiedenen Lebenszuständen und endlich gar der Muskeln verschiedener Thiere weit grösser sind, als die Beimischung einer etwas grösseren oder etwas geringeren Menge der fremden Gewebe bedingen könnte.

Zu den besprochenen anatomischen Schwierigkeiten kommt nun noch eine physiologische. Dieselbe beruht auf der Eigenschaft des Muskels unmittelbar nach seiner Entfernung aus dem Organismus rascher oder langsamer eine eingreifende chemische Veränderung zu erleiden, bei der manche Stoffe sogar verschwinden und neue auftreten. Die aus dem jeweiligen Stande der Wissenschaft zu erklärende Nichtbeachtung dieses Verhaltens nimmt den meisten, oft sehr mühevollen Untersuchungen der früheren Zeit einen grossen Theil ihres Werthes, aber auch die genaueste Kenntniss der Vorgänge in dem ausgeschnittenen Muskel lässt sie nicht ganz vermeiden, so dass, da die verschiedenen gefundenen Thatsachen verschiedene Interpretationen gestatten, auch hier wieder Unsicherheiten bestehen bleiben. Im Einzelnen wird sich zeigen, auf welche Weise man gesucht hat die Untersuchung des Muskels „frisch im Sinne des Physiologen“ (DU BOIS-REYMOND) auszuführen.

Endlich fehlen auch nicht technische Schwierigkeiten: es sind die Mittel und Wege noch nicht gefunden aus einem so complicirten Gemische in chemischem Sinne, wie es der Muskel ist, mit der nö-

1 E. DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

thigen Schärfe die einzelnen Bestandtheile zu isoliren und ihrer Menge nach zu bestimmen.

Trotz alledem muss und kann man schon den Versuch wagen zu unterscheiden die Bestandtheile des frischen ruhenden und geruhten Muskels von denen des thätig gewesenen und des todtenstarren, und den Stoffwechsel des ruhenden Muskels dem des thätigen gegenüber zu stellen.

I. Der frische ruhende Muskel.

Im frischen Muskel einschliesslich der zu dem eigentlichen Muskelgewebe hinzutretenden und nicht von ihm zu trennenden Gewebe sind folgende Stoffe nachgewiesen:

A. organische und zwar 1. stickstoffhaltige; hierunter eine Anzahl von Eiweisskörpern und diesen nahe verwandte Stoffe wie Haemoglobin, Elastin, Collagen, dann Abkömmlinge der Eiweisskörper: Kreatin und Kreatinin, Carnin, Hypoxanthin, Xanthin, Harnsäure, Harnstoff, Inosinsäure, Taurin, Lecithin, sowie Fermente; 2. stickstofffreie: Kohlehydrate: Glykogen und Inosit, und Fette; B. anorganische: Wasser, sogenannte Aschenbestandtheile oder Salze und Gase.

Der eingehenden Besprechung dieser Stoffe in der angegebenen Reihenfolge ist eine kurze Bemerkung über die Reaction des frischen Muskels voranzuschicken. Im Gegensatz zu den Angaben der meisten Chemiker und Physiologen erklärten schon ENDERLIN¹ und VON BIBRA² den frischen Muskel für neutral, sogar schwach alkalisch, keinesfalls aber sauer reagirend, eine endgültige Entscheidung wurde aber erst von DU BOIS-REYMOND³ herbeigeführt, sowohl durch Anwendung von einwurfsfreien Methoden unter Vermeidung der Fehlerquellen (Entfernung des alkalisch reagirenden Inhaltes der Blut- und Lymphgefässe durch Ausspritzen der Gefässe mit Rohrzuckerlösung), als auch durch eingehendes Studium der Bedingungen, unter welchen sich die Reaction ändert. DU BOIS fasst das Resultat seiner Untersuchungen dahin zusammen, „dass überhaupt in den frischen Muskeln gar keine durch die Reaction auf Lakmus nachweisbare freie Säure vorhanden ist.“ Die neutrale Reaction, welche man später, weil sowohl der rothe wie der blaue Farbstoff verändert nämlich

1 ENDERLIN, Ann. d. Chem. u. Pharm. L. S. 64. 1844.

2 E. VON BIBRA, Arch. f. physiol. Heilk. IV. S. 536. 1845.

3 E. DU BOIS-REYMOND, Fortschritte der Physik in den J. 1850 u. 1851 S. VII. Berlin 1855; De fibrae muscularis reactione etc. Berolini 1859; Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288; auch DU BOIS-REYMOND, Ges. Abh. II. S. 3. Berlin 1877.

violett gefärbt wird, auch amphichromatische (HEIDENHAIN¹) oder amphotere (HEINTZ²) Reaction genannt hat, kommt, wie es scheint, allen frischen Muskeln zu, so insbesondere auch dem menschlichen Muskel (briefliche Mittheilung von BENCE JONES an DU BOIS) und den Muskeln der Wirbellosen, so des Krebses und der Teichmuschel (BERNSTEIN³). Einzig das Herz kann auch in ganz frischem Zustand, wie KÜHNE⁴ zuerst beobachtet und VOIT⁵ bestätigt hat, sauer reagieren. Ein „ruhendes“ Herz ist übrigens noch nicht untersucht worden.

Die Eiweisskörper.

Die Eiweisskörper des Muskels sind theils gelöst, theils ungelöst. KÜHNE⁶ hat gelehrt beide Gruppen von einander zu trennen mit Umgehung der bei den früheren Bemühungen ein Muskelplasma, wie KÜHNE es nennt, von den ungelösten Theilen zu scheiden stets gemachten Fehlern. Einestheils war unterlassen das Blut aus den Gefässen zu entfernen, andernteils, und das ist die Hauptsache, war die Veränderung, welche auch noch so sorgfältig abgelöste Muskeln bei der mechanischen Misshandlung des Auspressens erleiden, nicht beachtet, oder wenn sie beachtet war, jedenfalls nicht vermieden. Man erhält, wenn man Muskeln ohne Weiteres der Presse übergibt, stets nur eine ganz geringe Menge von Flüssigkeit, und bleibt vollständig im Unklaren darüber, ob nicht in dem Presskuchen ursprünglich gelöste Theile zurückgeblieben, der Flüssigkeit dagegen Zersetzungsproducte beigemischt sind. KÜHNE's Methode möglichst unverändertes Muskelplasma und dazu in grösserer Menge zu gewinnen, stützt sich auf die Thatsache, dass bei -7 bis -10° C. zum Gefrieren gebrachte Froschmuskeln nach dem Aufthauen noch erregbar, während des Gefrorenseins aber vollkommen reizlos sind, und so die durchaus nöthige Zerkleinerung gestatten. Man thut hierbei wohl eine Bemerkung von L. HERMANN⁷ zu berücksichtigen und die Muskeln nur ganz allmählich auf die niedere Temperatur zu bringen, um der Störung durch die bei raschem Gefrieren unver-

1 HEIDENHAIN, Mechanische Leistung etc. bei der Muskelthätigkeit S. 153. Leipzig 1864.

2 HEINTZ, Journ. f. pract. Chemie VII. S. 374. 1872.

3 J. BERNSTEIN, De animalium evertibratorum musculis nonnulla. Dissert. Berolini 1862.

4 Briefliche Mittheilung an DU BOIS - REYMOND, in dessen oben citirter Arbeit angeführt.

5 VOIT, Ztschr. f. Biologie IV. S. 77. 1868.

6 W. KÜHNE, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859. S. 748; Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 493; Untersuchungen über das Protoplasma etc. Leipzig 1864; Lehrb. d. physiol. Chemie S. 270. Leipzig 1866.

7 L. HERMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 189. 1871.

meidlichen Zuckungen der Muskeln und die allzu schnell eintretenden Veränderungen der aufgethauten Masse zu entgehen. Aus den fest gefrorenen Muskeln, mit kalt gehaltenen Messern in Scheiben zerschnitten und in einem ebenfalls stark gekühlten Mörser vorsichtig zerrieben, bereitete KÜHNE ein schneeartiges Pulver, das schon bei -3°C . zu einer syrupartigen Flüssigkeit aufthaute, die schwer zu filtriren war. Das Filtrat, schwach gelblich gefärbt, etwas opalescirend, syrupös, reagirte deutlich alkalisch, und gerann (wie auch die unfiltrirte Masse selbst) spontan, sehr langsam bei 0°C ., in unmessbar kurzer Zeit bei 40°C ., dem Temperaturoptimum, zu einem festen, durchsichtigen, später trüblich werdenden Kuchen, der nach einiger Zeit saure Reaction zeigte, und eine geringe Menge einer opalescirenden sauren Flüssigkeit — Muskelserum — auspresste. Ein Tropfen des Plasmas in Wasser gebracht, bildete eine weisse undurchsichtige Kugel, wurde auch in Kalilauge und Salzsäure von 0,1 % sogleich fest, um sich jedoch beim Untersinken wieder aufzulösen. In ähnlicher Weise verhielt sich das Plasma auch zu 10 % Kochsalzlösung. Um eine grössere Menge von Plasma zu erhalten mischte KÜHNE endlich dem Muskelschnee Chlornatrium und reinen Schnee im Gewichtsverhältniss von 1 zu 100 bei. Das nun mit einer 1 % Kochsalzlösung verdünnte Muskelplasma verhielt sich wesentlich wie das unverdünnte, nur stellte sich die Gerinnung später ein und das Gerinnsel war lockerer und zerreisslicher.

Durch die Gerinnung tritt also im Muskelplasma eine ähnliche Trennung ein wie im Blutplasma. Die ausgeschiedene Substanz nennt KÜHNE Myosin.

Das Myosin, auch aus den Muskeln von Warmblütern dargestellt und wahrscheinlich aus allen muskulösen Gebilden zu gewinnen, ist seiner Elementarzusammensetzung nach unbekannt, durch seine Reactionen aber hinreichend als Eiweisskörper gekennzeichnet. Nach genügendem Auswaschen, am leichtesten durch Eintröpfeln von Plasma in destillirtes Wasser zu bewerkstelligen, zeigt sich das Myosin von nentraler Reaction, unlöslich in Wasser und Alkohol, sehr leicht löslich in Kochsalzlösungen von 5—10 %, aus diesen Lösungen, wie schon DENIS¹ nachgewiesen hat, durch gepulvertes Chlornatrium wieder ausfällbar und zwar mit unveränderten Eigenschaften. Verdünnte Kali- oder Natronlauge und Salzsäure aber lösen nicht einfach das Myosin, sondern verwandeln es in Alkalialbuminat und Acidalbuminat, letzteres nach KÜHNE's Vorgang jetzt meist Syntonin genannt.

¹ DENIS, Nouvelles études chimiques, physiologiques et médicales sur les substances albuminoïdes. Paris 1856.

Es ist ein solches Myosin-Salzsäure-Syntonin vermisch mit den Syntoninen der anderen Eiweisskörper des Muskels schon von der älteren Chemie, insbesondere von LIEBIG¹ und dann von LEHMANN² u. A. aus frischen sowohl wie aus starren Muskeln gewonnen, und ohne Weiteres mit der contractilen Substanz identificirt worden, bis KÜHNE den Nachweis erbrachte, dass sich Syntonine oder Acidalbuminate aus allen Eiweisskörpern darstellen lassen. Nur die Schnelligkeit des Uebergangs in Syntonine zeichnet die Eiweisskörper des Muskels und speciell auch das Myosin aus. Wird Myosin gekocht, sei es in Lösung, sei es ausgeschieden und etwa in Wasser vertheilt, so gerinnt es noch einmal und hat dann nur mehr die Eigenschaften aller durch Siedehitze bei Gegenwart von Wasser coagulirter Eiweisskörper. Von dem Blutfibrin unterscheiden die erwähnten Eigenschaften das Myosin bereits ganz bestimmt; dazu kommt noch, dass das Myosingerinnsel nie so fest ist wie ein Fibringerinnsel, und dass Myosin in einer Lösung von kohlensaurem Kali fest wird, Fibrin dagegen sich löst. Gemeinsam beiden Stoffen ist die Fähigkeit Wasserstoffhyperoxyd zu zersetzen (KÜHNE³).

Das Vorkommen von Myosin bildenden Körpern, mit dem eigentlichen Myosin wohl in die Gruppe der Globuline gehörig, ist nicht auf die contractilen Gewebe beschränkt. So haben BRUNS⁴ aus der Hornhaut, SCHWEIGGER-SEIDEL⁵ aus Hornhaut und Sehnen von Warm- und Kaltblütern durch Maceriren mit 10 % Kochsalzlösung Eiweisslösungen erhalten, die sich in jeder Beziehung wie Chlornatrium-Myosinlösungen verhielten. Als den Sitz dieses Stoffes bezeichnete BRUNS die contractilen Hornhautkörperchen, SCHWEIGGER-SEIDEL indess nach sorgfältiger mikroskopischer Verfolgung der Einwirkung der Kochsalzlösung die interfibrilläre Substanz der Hornhaut wie der Sehnen. Auch in den Blutkörperchen findet sich nach HEYNSIUS⁶ eine Substanz mit ähnlichen Reactionen. Eine spontan gerinnende Flüssigkeit ist indess in allen diesen Fällen noch nicht dargestellt worden.

Das Muskelserum, gewonnen durch Auspressen von rasch aber vollkommen geronnenem Muskelplasma, oder mit Wasser verdünnt durch Eintropfen von Muskelplasma in destillirtes Wasser und

1 LIEBIG, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXII. S. 257. 1847.

2 C. G. LEHMANN, Lehrb. d. physiol. Chemie III. S. 71. Leipzig 1851.

3 W. KÜHNE, Lehrb. d. physiol. Chemie S. 275. Leipzig 1866.

4 BRUNS, Hoppe-Seyler's med.-chem. Untersuchungen Heft 2 S. 260. Berlin 1867.

5 SCHWEIGGER-SEIDEL, Arbeiten a. d. physiol. Anstalt zu Leipzig IV. S. 121. Leipzig 1870.

6 HEYNSIUS, Arch. f. d. ges. Physiol. III. S. 404. 1870.

Filtriren reagirt anfangs neutral wird aber schnell sauer. KÜHNE unterscheidet darin drei Eiweissarten. Die erste, welche der Abkürzung wegen in Folgendem Musculin heissen mag, zeichnet sich dadurch aus, dass sie unabhängig von der Reaction des Serums bei einer ganz bestimmten Temperatur ausfällt, und zwar bei 45° C. aus dem Muskelserum von Kaltblütern (Fröschen), bei $50 - 55^{\circ}$ C. aus dem von Warmblütern, und ohne Beimischung anderer Eiweisskörper isolirt werden kann, wenn man die entstehende Säure bei der zunehmenden Erwärmung fortwährend neutralisirt. In Salzlösungen ist das Musculin unlöslich. Zweitens enthält das Muskelserum Alkalialbuminat, schon von LEHMANN¹ erwähnt, dessen Fällungstemperatur sinkt mit Zunahme der Säure. Diese Thatsache erklärt die in früherer Zeit wiederholt u. A. von SCHLOSSBERGER² und von BAUMHAUER³ beobachteten verschiedenen, oft auffallend niedrigen Gerinnungstemperaturen des Saftes todter d. i. saurer Muskeln. Die dritte Eiweissart endlich, an Menge die beiden ersten überwiegend, sicher zu einem, wenn auch kleinem Theile aus den accessorischen Geweben des Muskels stammend ist lösliches Eiweiss, so weit man es kennt, von Serumeiweiss nicht verschieden.

Die auffallende Aehnlichkeit der Myosingerinnung mit der Fibringerinnung erstreckt sich, wie KÜHNE nachweist, sogar bis auf Einzelheiten; fibrinoplastische Substanz aus dem Blute der gleichen Thierart, gefrorene und wieder aufgethaute Blutkörperchen beschleunigen die Gerinnung des Muskelplasmas, wie umgekehrt die Gerinnung fibrinogener Substanz beschleunigt wird durch Zusatz von Muskelplasma. Weiter lässt sich durch Lösen des einmal geronnenen Myosins oder Fibrins niemals wieder eine spontan gerinnende Flüssigkeit gewinnen, und endlich (O. NASSE⁴) hemmen Kaliumsalze schon in geringer Menge beide Gerinnungen. Wie die Fibringerinnung wird daher auch die Myosingerinnung als ein fermentativer Vorgang aufgefasst werden dürfen. Eingehendere Untersuchungen fehlen indess noch.

Die ungelösten Eiweisskörper der Muskelfaser, weil von den übrigen ungelösten Theilen des Muskels nicht ohne eingreifende Mittel zu trennen, sind weit weniger bekannt. Nächst den Kernen, welche ungelöste Eiweissstoffe von unbekannter Natur enthalten und sicher auch Nuclein, wären hier die sarcous éléments in Betracht zu

1 C. G. LEHMANN, Lehrb. d. physiol. Chemie III. S. 89. Leipzig 1851.

2 SCHLOSSBERGER, Vergleich. Unters. über das Fleisch verschiedener Thiere S. 36. Stuttgart 1840.

3 MULDER u. VON BAUMHAUER, Ann. d. Chem. u. Pharm. XLVII. S. 322. 1843.

4 Nicht veröffentlichte Beobachtung.

ziehen. Auf die Eiweissnatur der *sarcous elements* schliesst man aus ihren meist von BRÜCKE¹ festgestellten Eigenschaften: sie werden verändert, d. h. verlieren ihre doppelbrechenden Eigenschaften durch die meisten Agentien, welche die Eiweisskörper eingreifend verändern, durch Säuren und Alkalien, sowie durch Siedehitze, durch letztere freilich weniger rasch und vollständig. Ferner will PLÓSZ² aus Muskelfasern, welche durch Behandeln mit Kochsalzlösung von Myosin vollkommen befreit waren, unter Verschwinden der Doppelbrechung durch verdünnte Salzsäure Syntonin, durch kohlenstoffsaures Natron Alkalialbuminat gewonnen haben. Auffallend ist indess, dass die *sarcous elements* durch Alkohol gar nicht verändert zu werden scheinen, während alle sonst bekannten Eiweisskörper, wenn sie überhaupt in Alkohol unlöslich sind, durch denselben nach einiger Zeit in geronnene umgewandelt werden grade wie durch Siedehitze. Aehnlich ist es mit der Salicylsäure, welche eiweisscoagulirend wirkt, dem Muskel das Vermögen der Doppelbrechung aber nicht raubt (O. NASSE³). Nimmt man hinzu, dass von PLÓSZ der Beweis für vollkommene Entfernung des Myosins keineswegs geliefert ist, dieselbe überhaupt sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist (s. u. HERMANN), so werden die Zweifel an der Eiweissnatur der *sarcous elements* nicht unberechtigt erscheinen. Vielleicht könnte man mit PLÓSZ an eine Verbindung von Eiweiss mit einem anderen Körper denken, welche nicht durch Salze, wohl aber durch Säuren und Alkalien gelöst wird. —

Der Gesamteiweissgehalt der Muskeln schwankt bei verschiedenen Thieren und an den verschiedenen Körperstellen bei demselben Thiere zwischen ungefähr 16 bis 20 Prozent. Sehr viel geringere Werthe finden sich für fette Fleischarten angegeben; bei den betreffenden Analysen ist aber das nicht zur Muskelsubstanz gehörende Fett entweder absichtlich nicht entfernt worden, oder hat sich nicht entfernen lassen. Ueber das Mengenverhältniss der einzelnen Eiweissstoffe zu einander ist gar nichts bekannt. HERMANN'S⁴ Versuche aus fein zerriebenen Muskeln mit 10 procentiger Kochsalzlösung das Myosin zu extrahiren und so dessen Menge zu ermitteln, scheiterten daran, dass noch lange bevor die Muskeln erschöpft waren eine eigenthümliche Fäulniss mit käseartigem Geruch sich einstellte, welche die Arbeit abubrechen zwang.

1 E. BRÜCKE, Unters. über den Bau der Muskelfasern. Wien 1858. Sep.-Abdr. aus den Denkschriften d. Wiener Acad., mathem.-naturwiss. Cl. XV.

2 PLÓSZ, Hoppe-Seyler's med.-chem. Untersuchungen Heft 4 S. 510. Berlin 1871.

3 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XVII. S. 282. 1878.

4 L. HERMANN, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln etc. S. 96. Berlin 1867.

Haemoglobin.

Von dem rothen Farbstoffe der Muskeln, der wie die meisten der im Folgenden zu besprechenden Substanzen mit Ausnahme des Elastins, Collagens und eines Theiles des Fettes in der Muskelfaser gelöst ist und in das Plasma übergeht, vermuthete schon HENLE¹ auf Grund des Wechsels von stärker und von weniger stark gefärbten Muskeln bei Vögeln und des gelblichen Schimmers der isolirten Muskelfasern, dass er dem Muskel als solchem angehörte, und weiter auf Grund des Verhaltens an der Luft (heller werden) und in Schwefelwasserstoff (dunkler werden), dass derselbe mit dem Blutroth identisch oder wenigstens verwandt wäre. Dieser Auffassung schlossen sich SIMON², VON BIBRA³ und KÖLLIKER⁴ an. Der förmliche Beweis für die Identität des rothen Muskelfarbstoffes mit Haemoglobin ist indess erst von KÜHNE⁵ geliefert durch genaue spectroscopische Prüfung dünner, vollkommen blutfrei gemachter Muskeln (Zwerchfell) und der wässrigen Auszüge blutfreier Muskeln, sowie der Darstellung von Haeminkrystallen.

Was das Vorkommen des Haemoglobins angeht, so sind bei den Warmblütern die Muskeln fast alle roth, die farblosen die Ausnahme, während bei den Kaltblütern umgekehrt die rothen Muskeln die Ausnahme bilden, in vielen Fällen einzig der Herzmuskel gefärbt ist. Weiter kennt man aber auch in der Reihe der Wirbellosen rothgefärbte Muskeln, es sind von LEBÉRT⁶ im Pharynx von Buccinum, später von LEYDIG⁷ in den Kauorganen von verschiedenen Mollusken solche gefunden, und auch dieser Farbstoff ist nach LANKESTER'S⁸ Angaben identisch mit Haemoglobin.

Man wird wohl nach alledem nicht an ein Eintreten des Blutfarbstoffes in den Muskel, wie dies wiederholt geschehen ist, sondern an eine Entwicklung an Ort und Stelle zu denken haben. Bei näherem Eingehen auf diese Frage dürfte wohl die Thatsache Beachtung finden müssen, dass der rothe Farbstoff in den anfangs fast farblosen Muskeln der Kälber in einer ganz bestimmten Periode, dem Uebergang von Milchnahrung zu Grünfutter, auftritt. Das Studium der Bildung des Haemoglobins im Muskel, zu dessen wesentlichen Bestandtheilen es natürlich nicht zu rechnen ist, bietet übrigens kein allzu grosses

1 HENLE, Allg. Anatomie des menschl. Körpers S. 587. Leipzig 1841.

2 SIMON, Handb. d. angewandten med. Chemie II. S. 524. Leipzig 1842.

3 E. VON BIBRA, Arch. f. physiol. Heilk. IV. S. 536. 1845.

4 KÖLLIKER, Mikroskop. Anat. II. S. 248. Leipzig 1850.

5 W. KÜHNE, Arch. f. pathol. Anat. XXXIII. S. 79. 1865.

6 LEBÉRT, Ann. d. sc. natur. 3 série. XIII. p. 170. 1850.

7 LEYDIG, Lehrb. d. Histologie S. 137. Frankfurt a. M. 1857.

8 LANKESTER, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 315. 1871.

physiologisches Interesse, um so weniger, als sich durch die Untersuchung von E. MEYER¹ herausgestellt hat, dass RANVIER'S² Entdeckung keine allgemeine Bedeutung hat, nämlich dass weder dieselben anatomischen Eigenschaften (Lage der Muskelkerne, Form der Capillaren), noch dieselben physiologischen (Schnelligkeit und Dauer der Contraction) allen gleichgefärbten Muskeln eines Thieres zukommen.

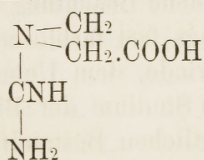
Von den Eigenschaften anderer Farbstoffe der Muskeln, wie des röthlich gelben des Lachses (VALENCIENNES & FREMY³) und des gelbbraunen in den Brustmuskeln stark fliegender Insecten (LEYDIG⁴) ist zur Zeit so gut wie gar Nichts ermittelt.

Elastin und Collagen.

Das elastische Gewebe, das sich in dem Muskel als Organ findet, gehört zum grössten Theil, wenn nicht ausschliesslich nicht dem Muskelgewebe, sondern dem Bindegewebe und den Gefässen an. Eine Zeit lang hat man das Sarcolemma als aus elastischem Gewebe bestehend angesehen, doch ist man von dieser Ansicht abgegangen, weil niemals elastisches Gewebe, wohl aber das leimgebende Gewebe sich in verdünnten Säuren und den Verdauungssäften so löslich zeigt, wie das Sarcolemma. Besteht nun das Sarcolemma wirklich aus leimgebendem Gewebe, so tritt hier die Schwierigkeit ein zu bestimmen, welcher Theil des im Muskel gefundenen Collagens zu den wesentlichen Bestandtheilen des Muskels gerechnet werden soll. Streng genommen würden sich die feineren, Sarcolemma genannten bindegewebigen Häute, welche nur contractile Substanz umschliessen, offenbar gar nicht unterscheiden von den gröberen Häuten, die eine Anzahl von Muskelfasern zu kleineren und grösseren Gruppen vereinigen.

Kreatin und Kreatinin.

Kreatin $C_4H_9N_3O_2$ als Methylguanidinessigsäure



erkannt, neutral reagirend, mit Barytwasser

gekocht in Sarkosin (Methylamidoessigsäure), Harnstoff und Methylhydantoin zerfallend, durch längeres Kochen mit Wasser und noch leichter mit verdünnten Säuren unter Wasserabgabe in Kreatinin

1 E. MEYER, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1875. S. 217.

2 RANVIER, Traité technique d'histologie p. 466. Paris 1875.

3 VALENCIENNES & FRÉMY, Compt. rend. XLI. p. 738. 1855.

4 LEYDIG, Lehrb. d. Histologie S. 137. Frankfurt a. M. 1857.

$C_4H_7N_3O$ übergehend, ist 1835 von CHEVREUL¹ entdeckt, von LIEBIG² aber erst analysirt worden. Wie aus einer sehr bedeutenden Reihe von Untersuchungen des Fleisches des Menschen und der verschiedensten Thiere zu schliessen ist, ist das Kreatin constanter Bestandtheil des contractilen Gewebes der Wirbelthiere wie der Wirbellosen, übrigens in seinem Vorkommen nicht auf den Muskel beschränkt, sondern auch in vielen anderen Geweben und Organen zu treffen.

Kreatinin war eine Zeit lang aus der Reihe der Muskelbestandtheile gestrichen worden, nachdem NEUBAUER³ gezeigt hatte, dass die chemischen Operationen, hauptsächlich das lange Eindampfen der meist sauren Kreatinlösungen aus den Muskeln zur nachträglichen Bildung von Kreatinin Anlass geben können. Bei vorsichtiger Arbeit hatte dann auch NEUBAUER und ebenso nach ihm NAWROCKI⁴ nur Kreatin gefunden, C. VOIT⁵ will indes für einzelne Fälle das Kreatinin, wenn auch nur in äusserst kleinen Mengen, als präformirt gelten lassen. Die älteren Angaben der physiologischen Chemie wären nun durch Umrechnung des Kreatinins auf Kreatin immer noch zu verwerthen gewesen, litten sie nicht noch an einem anderen, viel wichtigerem, nicht corrigirbarem, von VOIT entdeckten Fehler, der in dem rascheren oder langsameren fäulnissartigen Verschwinden des Kreatins in dem ausgeschnittenen Muskel liegt. Es muss also auch hier der Muskel ganz frisch untersucht, jede mögliche Zersetzung sofort nach Entfernen des Muskels aus dem Körper durch Erhitzen desselben, Brühen, unmöglich gemacht werden. Das ist aber nicht geschehen, die zeitlichen Verhältnisse sind überhaupt nicht angegeben, und somit sind alle Schlüsse, welche aus den früheren quantitativen Bestimmungen gezogen waren, ganz unsicher.

Nach den vorwurfsfreien Methoden untersucht beträgt der Krea-tingehalt in den frischen Muskeln vom

Frosch	0,21—0,35
Fuchs	0,2064—0,2373
Rind	0,2198—0,2763
Hund	0,2231—0,2479
Pferd	0,1171—0,2160
Kaninchen	0,2693—0,3361
Mensch	0,282—0,3016 % (VOIT).

Aus diesen Zahlen zieht VOIT den Schluss, dass die Unterschiede

1 CHEVREUL, Journ. d. pharm. XXI. p. 231. 1835.

2 J. v. LIEBIG, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXII. S. 257. 1847.

3 NEUBAUER, Ztschr. f. analyt. Chemie II. S. 22. 1863.

4 NAWROCKI, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1865. S. 417 und Ztschr. f. analyt. Chemie II. S. 330. 1865.

5 VOIT, Ztschr. f. Biologie IV. S. 77. 1868.

bei den verschiedenen Thierspecies nicht grösser seien als bei den Individuen der gleichen Species. Die Gründe für die Schwankungen bei den letzteren sind nicht bekannt.

Für die verschiedenen Muskeln desselben Thieres (Huhn) hat SZELKOW¹ einen ungleichen Kreatingehalt angegeben, von NAWROCKI² aber wird grade für das Huhn ein solcher Unterschied bestritten. Entsprechende Untersuchungen an anderen Thieren liegen nicht vor; nur das Herz hat VOIT mit den Muskeln der Extremitäten verglichen und entgegen den freilich auf falscher Basis ruhenden Daten von LIEBIG in demselben stets weniger Kreatin gefunden als in den willkürlichen Muskeln.

Carnin.

Carnin $C_7H_5N_4O_2$ von WEIDEL³ entdeckt, kreideweisse krystallinische Massen bildend, in wässriger Lösung neutral reagirend, wird durch Bromwasser in bromwasserstoffsäures Hypoxanthin übergeführt unter Abspaltung von Brommethyl und Kohlensäure $C_7H_5N_4N_3 + 2Br = C_5H_4N_4O.HBr + CH_3Br + CO_2$, ist daher vielleicht als Vorstufe von Hypoxanthin zu betrachten. Es ist bis jetzt nur ein einziges Mal und zwar in amerikanischem Fleischextract gefunden, übrigens auch nicht weiter gesucht worden.

Hypoxanthin.

Hypoxanthin $C_5H_4N_4O$ durch reducirende Agentien aus Harnsäure zu bilden, bei Behandlung mit Salpetersäure, unter Aufnahme von Sauerstoff in Xanthin übergehend, ist von SCHERER⁴ zuerst in der Milz, dann im Herzmuskel gefunden worden. Weiter isolirte STRECKER⁵ aus den willkürlichen Muskeln verschiedener Thiere eine Substanz, die er anfänglich als eine neue Substanz unter dem Namen Sarkin beschrieb, bis er sich von der Identität derselben mit SCHERER's Hypoxanthin überzeigte.⁶ Mit dem von STRECKER für das Ochsenfleisch auf 0,0222 % bestimmten Gehalt an Hypoxanthin stimmen die von NEUBAUER⁷ für das Fleisch von Rindern (0,0221) und Kaninchen (0,0266) gelieferten Zahlen gut überein. Das Vorkommen des Hypoxanthins ist nicht auf den Muskel beschränkt.

1 SZELKOW, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1866. S. 481.

2 NAWROCKI, ibid. S. 625.

3 WEIDEL, Ann. d. Chem. u. Pharm. CLVIII. S. 353. 1871.

4 SCHERER, ibid. LXXIII. S. 328. 1862.

5 STRECKER, ibid. CII. S. 214. 1857.

6 STRECKER, ibid. CVIII. S. 129. 1858.

7 NEUBAUER, Ztschr. f. analyt. Chemie VI. S. 33. 1867.

Xanthin.

Xanthin $C_5H_4N_4O_2$ von MARCET¹ im thierischen Organismus entdeckt, wurde von SCHERER² in verschiedenen Fleischarten gefunden, seine Menge im frischen Muskel des Pferdes zu 0,0026% bestimmt. Der Nachweis dieses Körpers ist nicht leicht, negativen Angaben über sein Vorkommen ist daher nicht unbedingt Glauben zu schenken. Man kann somit einstweilen annehmen, dass Xanthin constanter Bestandtheil der Muskeln ist. Wie das Hypoxanthin findet sich das Xanthin ausser in den Muskeln in vielen anderen Organen des Thierkörpers.

Harnsäure.

Ob die Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$, das nächst höhere Oxydationsproduct des Xanthins, normaler Muskelbestandtheil ist, lässt sich einstweilen nicht sagen. LIEBIG³ erhielt, trotzdem er sich die grösste Mühe gab Harnsäure nachzuweisen, nur ein Mal eine schwache Murexidreaction, MEISSNER⁴ fand im Hühnerfleisch nur eine verschwindend kleine Menge Harnsäure. In Betreff der von PAGENSTECHER⁵ in den Cadavern von Alligatoren gesehenen grösseren Menge von Harnsäure, ist MEISSNER's Bedenken, dass es sich vielleicht um kranke Thiere gehandelt habe, nicht ganz unberechtigt. Möglicher Weise ist Harnsäure aber überhaupt nur bei denjenigen Thieren Bestandtheil der Muskeln, bei welchen der Stickstoff wesentlich in Form von Harnsäure den Körper verlässt.

Harnstoff.

Das Vorkommen von Harnstoff in den Muskeln war von LIEBIG⁶ bestritten worden, STAEDLER⁷ fand die Muskeln von *Raja clavatus* und verschiedener Torpedoarten reich an Harnstoff, doch wurde diesen einzeln stehenden Thatsachen keine Bedeutung beigelegt. Erst in allerneuester Zeit mehrten sich die Stimmen für eine regelmässige Anwesenheit und Bildung des Harnstoffs in den Muskeln. So sahen OWSJANNIKOW & ISTOMIN⁸ bei künstlicher Durchblutung des Hundemuskels das ausströmende Blut reicher an Harnstoff als das ein-

1 MARCET, Essay on the chemical history etc. London 1819.

2 SCHERER, Ann. d. Chem. u. Pharm. CVII. S. 314. 1858.

3 J. v. LIEBIG, ibid. LXII. S. 257. 1847.

4 MEISSNER, Ztschr. f. rat. Med. XXXI. S. 144. 1868.

5 PAGENSTECHER, Verh. d. naturhist. Vereins zu Heidelberg III. S. 129. 1868.

6 LIEBIG, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXII. S. 257. 1847.

7 STAEDLER, Journ. f. prakt. Chemie LXXVI. S. 58. 1858.

8 OWSJANNIKOW & ISTOMIN, Arb. d. Petersburger Gesellsch. d. Naturforscher. Sitzung d. zoolog. Abtheil. vom 28. Febr. 1876, citirt nach Jahresber. von HOFMANN & SCHWALBE.

strömende, und hat P. PICARD¹ den Harnstoff aus den Muskeln des Hundes und des Kaninchens auch isolirt. Die meisten Muskeln des Kaninchens enthalten bis über 3 %₀₀ Harnstoff.

Inosinsäure.

Eine Substanz mit Säurenatur von der Zusammensetzung $C_{10}H_7N_2O_{11}$, sonst weiter gar nicht bekannt, ist von LIEBIG² aus dem Muskel-decoct isolirt und seitdem in den Muskeln verschiedener Warmblüter gefunden worden, so von GREGORY³ und MEISSNER⁴ bei dem Huhn, von CREITE⁵ bei Ente, Gans, Taube, Kaninchen und Katze. Die Menge ist stets nur gering, nach CREITE enthalten die Muskeln des Huhnes 0,005—0,008 %₀, der Ente 0,26 %₀ inosinsauren Baryt. Die Isolirung der Inosinsäure ist so schwer, dass Angaben über das Fehlen derselben nicht als endgültig entscheidend angesehen werden dürfen, die Frage ob Inosinsäure allgemeiner Muskelbestandtheil ist, also offen bleibt. MEISSNER hat bei Hühnern einen Einfluss der Ernährungsweise auf die Menge der Inosinsäure constatirt: es war dieselbe bei Fütterung mit Gerste zehnmal grösser als bei Fleischfütterung.

Taurin.

Taurin $C_2H_7NSO_3$ (Amidoaethylsulfonsäure), nach VALENCIENNES und FRÉMY⁶ Bestandtheil der Muskeln der Mollusken, scheint auch in dem Fleisch der höheren Thiere häufig vorzukommen, so hauptsächlich im Fleisch des Pferdes (LIMPRICHT⁷, JACOBSEN⁸) und in dem von Fischen (LIMPRICHT⁹). Die Muskeln des Delphins sind nach JACOBSEN frei von Taurin.

Lecithin.

Lecithin ist in kleinen Mengen im Muskel von DIACONOW¹⁰ gefunden worden, wie früher schon von VALENCIENNES und FRÉMY, ein Zersetzungsproduct des Lecithins, die Glycerinphosphorsäure. Ob das Lecithin dem Muskel selbst angehört, oder nur den intermuskulären Nerven, ist nicht entschieden, doch ist das erstere bei der

1 P. PICARD, Compt. rend. LXXXVII. No. 15 u. 25. 1878.

2 J. v. LIEBIG, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXII. S. 257. 1847.

3 GREGORY, ibid. LXIV. S. 106. 1847.

4 MEISSNER, Ztschr. f. rat. Med. XXXI. S. 144. 1868.

5 CREITE, ibid. XXXVI. S. 195. 1869.

6 VALENCIENNES et FRÉMY, Cosmos 1855. 16. Nov.

7 LIMPRICHT, Ann. d. Chem. u. Pharm. CXXXIII. S. 293. 1865.

8 JACOBSEN, ibid. CLVII. S. 227. 1871.

9 LIMPRICHT, ibid. CXXVII. S. 185. 1863.

10 DIACONOW, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1867. S. 674.

grossen Verbreitung des Lecithins in den verschiedensten Gewebstheilen keineswegs unwahrscheinlich.

Fermente.

Der Reichthum des Muskels an löslichen Fermenten oder Enzymen (KÜHNE¹) ist schon an der starken Zersetzung des Wasserstoffhyperoxyds durch Muskelsubstanz zu erkennen. Ist die Trennung und Isolirung der einzelnen Fermente auch noch nicht gelungen, und gar ein eingehendes Studium derselben noch nicht möglich gewesen, so lässt sich doch schon eine Reihe von Fermenten mit grosser Wahrscheinlichkeit unterscheiden und zwar Fermente für Eiweisskörper und für Kohlehydrate.

Unter den Fermenten für Eiweisskörper ist zuerst, weil am besten bekannt, das Pepsin zu nennen. Die Aehnlichkeit zwischen der Auflösung des Fleisches in sehr verdünnter Salzsäure mit dem Verdauungsprozess bewog BRÜCKE² im Fleischsaft noch Pepsin zu suchen, und es gelang ihm auch mittelst der bei der Magenschleimhaut bewährten Methode Pepsin zu isoliren. Ob man indes jene Leichtlöslichkeit des Myosins und der anderen Eiweisskörper des Muskels wirklich bloss auf die Gegenwart des Pepsins zurückzuführen hat, wie dies BRÜCKE folgend von WITTICH³ und KÜHNE⁴ thun, dürfte doch wohl noch fraglich sein. Es kommt nämlich einerseits die Verdauung nie weiter als zu diesem ersten Stadium, und andererseits kann KÜHNE's für die erwähnte Anschauung angeführte That- sache, dass gekochtes Myosin oder Fleisch sehr viel schwerer durch verdünnte Salzsäure gelöst werde, doch auch genügend erklärt werden durch den grösseren Widerstand, den alle durch Hitze coagulirten Eiweisskörper der Lösung in verdünnter Salzsäure entgegensetzen. Eine Beziehung des Pepsins zu den physiologischen Vorgängen im Muskel ist bislang nicht aufgefunden.

Die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit der Wirkung von Fermenten bei der Gerinnung des Myosins ist oben schon bei der Besprechung dieses Vorganges im Zusammenhang vorgreifend erwähnt worden. Alle Versuche (z. B. von MICHELSON⁵) ein solches Ferment zu gewinnen, sind freilich bis jetzt gescheitert. Man kann für die Annahme eines Fermentes abgesehen von der Analogie mit der

1 KÜHNE, Verh. d. naturhist. Vereins zu Heidelberg. N. S. I. S. 3. 1876.

2 BRÜCKE, Sitzungsber. d. Wiener Acad. Mathem.-naturwiss. Cl. XLIII. II. Abth. S. 601. 1861.

3 von WITTICH, Königsberger med. Jahrb. III. S. 210. 1862.

4 W. KÜHNE, Unters. üb. d. Protoplasma u. die Contractilität S. 13. Leipzig 1864.

5 MICHELSON, Einige Versuche über die Todtenstarre des Muskels. Diss. Dorpat 1872.

Fibringerinnung nur noch die mächtige Einwirkung des aus Plasma ausgeschiedenen Myosins auf Wasserstoffhyperoxyd anführen. Es sind hierbei nicht, wie man denken könnte, die anderen Fermente mitgerissen und Ursache der Erscheinung, denn nach Entfernung des Myosingerinnensels gehen die anderen Fermentprozesse speciell die Säuerung noch ungestört weiter.

Die Fermente für Kohlehydrate angehend, so erwähnt schon MAGENDIE¹ die Ueberführung von Amylum in Zucker bei Digestion desselben mit Muskelsubstanz, es ist aber auch ein zuckerbildendes Ferment aus den Muskeln bereits dargestellt worden von PIOTROWSKI² mittelst des von COHNHEIM³ für die Speicheldrüsen modificirten BRÜCKE'schen Verfahrens. Das Ferment wird von J. MUNK⁴ als von dem Ptyalin und Pankreatin verschieden bezeichnet, weil es schon gegen den geringsten Ueberschuss von Alkali oder Säure empfindlich sei. Ganz entscheidend ist diese Mittheilung aber noch nicht, weil in ihr die Angabe fehlt, ob das mit dem Muskelfermente verglichene Ptyalin und Pankreatin von demselben Thiere stammten, die zuckerbildenden Fermente verschiedener Thiere aber nicht ohne Weiteres als gleich angesehen werden dürfen (O. NASSE⁵). Die behauptete Verschiedenheit wird indes aus einem anderen Grunde wahrscheinlich. Mit den Secreten oder Auszügen verschiedener Speicheldrüsen gelang es weder SEEGEN⁶ noch O. NASSE aus dem Glykogen Traubenzucker zu gewinnen, sondern stets nur eine andere, von Traubenzucker jedenfalls ganz verschiedene, erst durch Kochen mit Säuren in Traubenzucker zu verwandelnde Zuckerart, nach MUSCULUS und VON MERING⁷ Maltose, während das hypothetische diastatische Ferment des Muskels wenigstens im Muskel selbst aus Glykogen eine aller Wahrscheinlichkeit nach in die Gruppe des Traubenzuckers gehörige Zuckerart bildet.

Weiter ist ein milchsäurebildendes Ferment freilich noch nicht isolirt aber doch sicher zu vermuthen nach der weiter unten eingehend zu besprechenden Untersuchung von DU BOIS-REYMOND⁸ über die Säuerung des Muskels, insbesondere über die Hemmung und Beschleunigung derselben.

Die Fermente, von denen erst später gezeigt werden kann, dass

1 MAGENDIE, Compt. rend. XXIII. p. 189.

2 PIOTROWSKI, bei W. KÜHNE, Lehrb. d. physiol. Chemie S. 288. Leipzig 1866.

3 COHNHEIM, Arch. f. pathol. Anat. XXVIII. S. 241. 1863.

4 J. MUNK, Deutsch. med. Wochenschr. 1877. S. 575.

5 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XIV. S. 473. 1877.

6 SEEGEN, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1876. Nr. 48.

7 MUSCULUS und VON MERING, Ztschr. f. physiol. Chemie II. S. 403. 1879.

8 DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

sie wahrscheinlich in lebenden Muskeln sich stets in einem gewissen Grade der Thätigkeit befinden, auch noch im ausgeschnittenen („überlebenden“ DU BOIS-REYMOND) Muskel oder dem des todten Thieres, und dass sie unter gewissen Umständen in lebhaftere Thätigkeit kommen, sind die erste Ursache der oben bereits hervorgehobenen Veränderlichkeit der Muskelsubstanz. Die Fermente unschädlich zu machen, eventuell zu zerstören, giebt es verschiedene Mittel und Wege: rasches Erhitzen auf 100° C. („Brühen“ HERMANN), Kälte, antiseptische Mittel wie Kaliumsalze, Salicylsäure u. dgl., concentrirte Salzlösungen u. s. w. Welcher Weg der richtige ist, hängt von der Natur der Substanz ab, auf welche die Untersuchung gerichtet ist. Ausser den durch Fermenten bedingten Zersetzungen kommt aber noch eine andere, ganz kürzlich von PFLÜGER¹ entdeckte, erst unten näher zu besprechende Zersetzung, ein Dissociationsprozess, im Muskel zur Wirkung, der sich nicht hemmen lässt durch Siedhitze, im Gegentheil dabei um so rascher verläuft.

Glykogen.

Das Glykogen der Muskeln $C_6H_{10}O_5$ (?) scheint nicht wesentlich verschieden zu sein von dem der Leber. Gelegentlich sind allerdings kleine Differenzen bemerkt worden, so eine geringere Opaleszenz der Lösung von Muskelglykogen (LUCHSINGER²) und ein bläulicher Farbenton der Jodmuskelglykogene (NAUNYN³), besonders ausgesprochen bei dem Muskelglykogen des Huhnes, auch noch bei dem des Kaninchens, am wenigsten bei dem des Hundes, diesen noch ganz besonders auch von BOEHM und HOFFMANN⁴ hervorgehobenen Verschiedenheiten kann indes gegenüber der gleichen Zersetzungsweise beider Glykogenarten bei Digestion mit Speichel (O. NASSE⁵) keine allzugrosse Bedeutung beigelegt werden.

Lange Zeit hindurch wurde das Glykogen nur als dem embryonalen Muskel, in welchem es CL. BERNARD⁶ gefunden hatte, und zwar in seiner Eigenschaft als embryonalem Gewebe, oder höchstens noch als dem Muskel ganz junger Thiere zukommend angenommen, und das mitunter, so von CL. BERNARD⁷, von SANSON⁸ und von

1 PFLÜGER, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 381. 1878.

2 LUCHSINGER, Exper. u. krit. Beitr. z. Physiol. u. Pathol. d. Glykogens. S. 14. Dissert. Zürich 1875.

3 NAUNYN, Arch. f. exper. Pathol. III. S. 85. 1875.

4 BOEHM und HOFFMANN, ibid. X. S. 12. 1878.

5 O. Nasse, Arch. f. d. ges. Physiol. XIV. S. 473. 1877.

6 CL. BERNARD, Compt. rend. XLVIII. p. 673. 1859.

7 CL. BERNARD, ibid. XLIV. p. 1325. 1857.

8 SANSON, ibid. XLIV. p. 1323. 1857.

M'DONNEL¹ beobachtete Vorkommen im ausgewachsenen Thiere bei amyllumreicher Nahrung, und das Vorkommen in Muskeln, deren Nerven durchschnitten waren (M'DONNEL²) oder in Muskeln, die lange Zeit gewaltsam ruhend gehalten waren (OGLE³), sowie bei Winterschläfern (CL. BERNARD⁴) als unerklärliche und jedenfalls ausser Zusammenhang mit den wesentlichen Vorgängen im Muskel stehende Ausnahmen betrachtet. Die Untersuchungen von O. NASSE⁵, sowie die weiteren von BRÜCKE⁶, WEISS⁷ u. A., nach welchen das Glykogen überall, wo es gesucht, auch gefunden worden ist, bei Wirbelthieren wie bei Wirbellosen, Crustaceen (O. NASSE⁸), Mollusken (BIZIO⁹, CHITTENDEN¹⁰), Würmern (G. SCHWALBE¹¹), zwingen aber, das Glykogen unter die beständigen Muskelbestandtheile zu rechnen.

Die ungemein leicht eintretende Zersetzung des Glykogens, die also wieder bei allen einschlagenden Untersuchungen die besprochenen Vorsichtsmassregeln und zwar hauptsächlich rasches Erhitzen der Muskeln (wie es bei der Leber schon früher geschah) nöthig macht, hat dazu geführt auch die Zersetzungsproducte des Glykogens Dextrin (LIMPRICHT¹²) und Zucker (MEISSNER¹³) als Muskelbestandtheile anzusprechen. Spuren von beiden Stoffen mögen wohl wie in der Leber so auch in dem Muskel stets vorhanden sein, da aber schon der Nachweis derselben äusserst schwierig ist, von irgend messbaren Mengen aber gar nicht die Rede sein kann, man stets nur mit Glykogen zu rechnen hat, so ist es wohl erlaubt das Glykogen als den einzigen Repräsentanten der ächten Kohlehydrate im frischen ruhenden und geruhten Muskel zu bezeichnen.

Für quantitative Bestimmungen können Gemische von verschiedenen Muskeln desselben Thieres, die ja niemals gleichmässig zu machen sind, nicht mehr verwendet werden, seitdem man weiss, dass die verschiedenen Muskeln desselben Individuums einen sehr verschiedenen Glykogengehalt haben (O. NASSE¹⁴). So fanden sich bei Kaninchen, Hund und Katze die folgenden Glykogenmengen in je

1 MAC DONNEL, Journ. of anat. and physiol. II. p. 275. 1867.

2 MAC DONNEL, Amer. journ. of the med. sc. XLVI. p. 523. 1863.

3 OGLE, St. George hospital reports III. p. 149. 1868.

4 CL. BERNARD, Compt. rend. XLVIII. p. 673. 1859.

5 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 97. 1869.

6 BRÜCKE, Sitzungsber. d. Wiener Acad. LXIII. Abth. II. 1871. Febr.

7 S. WEISS, ibid. LXIV. Abth. 1. 1871. Juli.

8 Nicht veröffentlichte Beobachtung.

9 BIZIO, Compt. rend. 1866. I. p. 675.

10 CHITTENDEN, Ann. d. Chem. u. Pharm. CLXXVIII. S. 266. 1875.

11 G. SCHWALBE, Arch. f. mikroskop. Anat. V. S. 205. 1869.

12 LIMPRICHT, ibid. CXXXIII. S. 293. 1865.

13 G. MEISSNER, Göttinger Nachrichten 1861. Nr. 15 und 1862. Nr. 10.

14 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XIV. S. 473. 1877.

100 Theilen frischer Substanz der langen Rückenmuskeln und Adductores femoris:

	Kaninchen				Hund		Katze
	1	2	3	4	1	2	
Rückenmuskeln	0,94	0,93	0,68	0,95	0,97	0,69	0,54
Adductores femoris	0,74	0,74	0,47	0,7	0,97	0,69	0,86

Im Herzen eines Hundes fand WEISS nach vierzigstündigem Hunger nur $\frac{2}{3}$ des in einer annähernd gleichen Menge Rückenmuskeln enthaltenen Glykogens.

Es folgt aus diesen Daten zunächst, dass die gleichnamigen Muskeln verschiedener Thiere nicht gleichwerthig sind, dass also ein Vergleich verschiedener Thiere auf die Zusammensetzung ihrer Muskeln durch eine Untersuchung gleichnamiger Muskeln nicht angestellt werden kann. Um eine Deutung dieses Verhaltens zu finden, das sich am klarsten in der völligen Umkehr der Verhältnisse bei Kaninchen und Katze ausspricht, müssten die Bewegungen dieser Thiere genauer verfolgt werden. Nun sind aber offenbar bei Kaninchen die Schenkelmuskeln, bei Katzen die Rückenmuskeln die mehr angestregten; dies zusammengehalten mit den oben mitgetheilten Beobachtungen von M'DONNEL und OGLE erlaubt wohl den Schluss, dass der Glykogengehalt in umgekehrtem Verhältniss zur Thätigkeit der Muskeln steht.

Weiter zeigen sich nun bedeutende, zum Theil noch nicht hinreichend aufgeklärte individuelle Schwankungen des Glykogengehaltes bei derselben Thierspecies. Von grösserem Einfluss ist jedenfalls die Ernährung. Genauer verfolgt ist durch LUCHSINGER¹ die Abnahme des Glykogens bei Entziehung der Nahrung. Noch ehe der Tod eingetreten ist, zu Zeiten, wo die Leber noch deutliche Mengen von Glykogen enthält, können die Muskeln glykogenfrei sein. In vollkommen ruhenden Muskeln wie z. B. dem Brustmuskel des Huhnes bleibt das Glykogen länger erhalten als in den thätigen Muskeln, ja sogar länger als in der Leber. Bei seiner nur auf die Brustmuskeln gehungerter Hühner sich erstreckenden Untersuchung konnte WEISS² somit leicht zu einem ganz anderen Schlusse kommen, für eine nunmehr als unrichtig erkannte Unabhängigkeit der Glykogenmenge von der Nahrung sich aussprechen.

¹ LUCHSINGER, a. o. a. O. und Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 472. 1878.

² WEISS, a. o. a. O.

Inosit.

Der Inosit $C_6H_{12}O_6 + H_2O$, von SCHERER¹ 1850 entdeckt, ein mehratomiger Alkohol, übrigens seiner Constitution nach unbekannt, theilt mit den Kohlehydraten die allgemeine Zusammensetzung und den süßen Geschmack, pflegt daher unter den Kohlehydraten und zwar unter denen der Traubenzuckergruppe aufgeführt zu werden, unterscheidet sich aber von diesen durch den Mangel an Drehungs- und Reductionsvermögen sowie durch die Unfähigkeit in alkoholische Gährung zu gerathen, und durch den Widerstand gegen kaustische Alkalien auch in der Siedehitze, und andererseits von den Kohlehydraten der Stärke- und Rohrzuckergruppe durch die Widerstandsfähigkeit gegen verdünnte Säuren. Dagegen ist der Inosit der Milchsäuregährung fähig; die entstandene Milchsäure soll nach VOHL² Aethylidenmilchsäure und zwar Gährungsmilchsäure sein, nach HILGER³ aber Aethylenmilchsäure. Da die Richtigkeit einer der beiden Angaben zu bezweifeln kein Grund vorliegt, so ist nur an einen von unbekannten äusseren Bedingungen abhängigen verschiedenen Verlauf der Gährung zu denken.

Nur im Herzfleisch scheint Inosit regelmässig vorzukommen, inconstant dagegen in den willkürlichen Muskeln. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Darstellung des Inosits ist den Angaben von negativen Resultaten kein allzugrosses Gewicht beizulegen. Immerhin wird sich schon sagen lassen, dass die Mengen von Inosit keine sehr erheblichen sind. JACOBSEN⁴ gibt den Inositgehalt des Pferdefleisches auf 0,003, den des Delphinfleisches auf nur 0,0008% an.

Ausser in vielen Organen und Flüssigkeiten des Thierkörpers ist Inosit auch im Pflanzenreich angetroffen worden. VOHL's⁵ Phaseomannit ist identisch mit Inosit.

Fette.

Die Bestimmung des Fettes im Muskel wird mehr als die eines der bisher besprochenen Bestandtheile durch die anatomischen Verhältnisse erschwert. Ausser dem Inhalt des Sarcolemmaschlauches kann das intermuskuläre Bindegewebe Fett führen und findet sich solches constant in den Nerven. Mit Bestimmtheit lässt sich indess doch aussprechen, dass die Muskelfaser als solche stets Fett enthält; das beweist der immerhin noch bemerkenswerthe Fettgehalt der Mus-

1 SCHERER, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXXIII. S. 322. 1850.

2 VOHL, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1876. S. 984.

3 HILGER, Ann. d. Chem. u. Pharm. CLX. S. 337. 1871.

4 JACOBSEN, ibid. CLVII. S. 231. 1871.

5 VOHL, ibid. XCIX. S. 125. 1856 und CI. S. 50. 1857.

keln nach sorgfältigster, durch das Mikroskop controlirter Entfernung von Bindegewebe und Nerven, und ferner da dabei die Nervenendigungen aus den Muskelfasern doch immer noch bleiben, das Verschwinden gewisser Körnchen im Innern des Primitivbündels, in Längsreihen zwischen den Muskelsäulchen liegend, bei der Behandlung der Muskeln mit Aether. Wie viel Fett als Minimum zur leistungsfähigen Muskelfaser gehört, und andererseits wie hoch der Fettgehalt sein darf, ohne dass es zur Störung der Function kommt, weiss man bis jetzt nicht. Einen Anhalt für den ersten Werth können die Untersuchungen der im Allgemeinen sehr fettarmen Muskeln der wilden Thiere liefern. Die niedersten Zahlen sind hier nach J. KÖNIG und B. FARWICK¹ 1,07 % in den Extremitätenmuskeln des Hasen, 1,43 % in den Muskeln des Rebhuhns, einen noch geringeren Fettgehalt (0,76 %) fand PETERSEN² in Muskeln eines mageren Ochsen.

Eine weitere, noch gar nicht in Angriff genommene Frage ist die nach der Zusammensetzung des Muskelfettes. Wahrscheinlich finden sich hier bei den verschiedenen Thieren dieselben Verschiedenheiten wie in dem Fett des Fettgewebes, und zu vermuthen ist auch, dass wie das sonstige Fett auch das Muskelfett desselben Thieres nach den verschiedenen Orten in seiner Zusammensetzung wechselt.

In Betreff der von SCHERER³ aus dem Muskelauszug nach Entfernung des Eiweisses und Ausfällung mit Baryt durch Kochen mit Schwefelsäure isolirten, stets als Muskelbestandtheile geführten flüchtigen Fettsäuren bemerkt KÜHNE⁴ mit Recht, dass über ihre Präexistenz wie über ihre Beziehung zu der eigentlichen Muskelsubstanz sich gar Nichts sagen lasse.

Wasser.

Der Menge nach nimmt das Wasser unter den Muskelbestandtheilen den ersten Platz ein. Bei der quantitativen Bestimmung desselben ist es eine der wichtigsten Bedingungen das Fettgewebe möglichst zu entfernen, weil in dem Fettgewebe, wie dessen Vergleichung mit möglichst fettfreiem Muskelgewebe lehrt, der eigentlichen Muskelsubstanz ein viel wasserärmerer Stoff beigemischt wird. So sieht man denn bei den Analysen des Fleisches im ökonomischen Sinne Wasser und Fett immer in umgekehrtem Verhältniss zu einander stehen. Aber auch noch nach Entfernung des Fettgewebes bleibt dies: stets entspricht bei demselben Thier oder derselben Thierart

1 J. KÖNIG und B. FARWICK, Ztschr. f. Biologie XII. S. 497. 1876.

2 PETERSEN, *ibid.* VII. S. 166. 1871.

3 SCHERER, Ann. d. Chem. u. Pharm. LXIX. S. 196. 1849.

4 W. KÜHNE, Lehrb. d. physiol. Chemie S. 304. Leipzig 1866.

dem Minimum des Fettes das Maximum des Wassers. Indes bedingt keineswegs das Fett allein die Unterschiede in dem Wassergehalt; so ist der Muskel des Kalbes nicht bloss weil er fettärmer ist wasserreicher als der entsprechende Muskel des Ochsen, sondern auch, weil das allgemeine Gesetz, dass die Organe jüngerer Organismen stets weniger feste Bestandtheile enthalten als die der ausgebildeten, sich auch auf den Muskel erstreckt. Und noch mehr spielt in der Reihe von den Wirbellosen durch die kaltblütigen Wirbelthiere und die Säuger bis zu den Vögeln, in welcher der Wassergehalt von c. 85 % beim Krebs (SCHLOSSBERGER¹), bis c. 70 % beim Sperling (VON BIBRA²) abnimmt, das Fett jedenfalls nur eine untergeordnete Rolle. Wie in der ganzen Thierreihe, so finden sich auch bei derselben Thierart constante Verschiedenheiten in dem Wassergehalt der einzelnen Muskeln. Beim Kaninchen bestimmte J. RANKE³ den Wassergehalt in den Rückenmuskeln im Mittel auf 75,1, in den weissen Schenkelmuskeln auf 76,5 %. Das Herz scheint nach den Angaben verschiedener Autoren: E. BISCHOFF⁴, J. RANKE, DANILEWSKI⁵ u. A. stets den grössten Wassergehalt zu haben.

Nähere Angaben und Zahlenbelege müssen fortbleiben, weil die Untersuchungen nicht unter gleichen Bedingungen gemacht, die Muskeln insbesondere nicht bei gleicher Temperatur, häufig bei einer zu geringen, bei 100° C., getrocknet worden sind.

Asche.

Analysen von Fleischaschen sind sehr häufig gemacht, jedoch nach verschiedenen, zum Theil sehr unvollkommenen Methoden, und hauptsächlich ohne Entfernung der entfernbaren Theile aus dem Muskel. So ist u. A. noch keine Analyse des völlig blutfreien Muskels ausgeführt worden. Die Abweichungen in den Angaben sind daher sehr beträchtlich. Mit Bestimmtheit lässt sich nur sagen, dass der grösste Theil der c. 1—1,5 % des frischen Muskels betragenden Asche phosphorsaures Kali ist. Dann folgen an Menge Kalk- und Magnesiaphosphate, in inniger Beziehung zu den Eiweisskörpern stehend, und Eisen. Natrium und Chlor kommen der eigentlichen Muskelsubstanz wohl nur in Spuren zu, die dem Inhalt des Kanälchennetzes im Inneren des Sarcolemmaschlauches angehören könnten.

1 SCHLOSSBERGER, Erster Versuch einer allgemeinen und vergleichenden Thierchemie II. S. 168. Leipzig u. Heidelberg 1856.

2 VON BIBRA, Arch. f. physiol. Heilk. IV. S. 536. 1845.

3 J. RANKE, Tetanus S. 78. Leipzig 1865.

4 E. BISCHOFF, Ztschr. f. rat. Med. (3) XX. S. 75. 1863.

5 DANILEWSKI, Ueber den Ursprung der Muskelkraft. Charkow 1876.

Gase.

Die Gase des frischen blutfreien Froschmuskels sind zuerst von L. HERMANN¹ mittelst der GEISSLER'schen Quecksilber-Luftpumpe untersucht worden in gefrorenen, zerkleinerten und in halbprocentiger Kochsalzlösung vertheilten Muskeln. Stickstoff wurde nur in Spuren, Sauerstoff aber gar nicht gewonnen, ja es fand sich sogar bei Anwendung sauerstoffhaltiger Kochsalzlösung der Sauerstoffgehalt derselben vermindert. Die Gase bestanden fast ausschliesslich aus Kohlensäure, welche an Menge wuchs mit der Dauer des Auspumpens und bis zu einem gewissen Grade mit der Höhe der angewendeten Temperatur, am schnellsten sich bei c. 45—50 ° C. entwickelte. HERMANN schloss hieraus, dass die gefundene Kohlensäure nicht ganz in den in den Apparat gebrachten Muskeln vorhanden, sondern zum Theil wenigstens erst während der Entgasung gebildet wäre. Die Bildung der Kohlensäure wird aber nach HERMANN verhindert, wenn der Muskel zu irgend einer Zeit auf 70 ° C. erwärmt wird. Mit dieser Angabe steht eine unter PFLÜGER's² Leitung und nach einer von ihm ersonnenen Methode angestellte Experimentaluntersuchung von STINTZING³ in Widerspruch. PFLÜGER und STINTZING brachten rasch zerkleinerte Kaninchenmuskeln frisch oder gefroren in kochendes Wasser, und fanden bei Fortsetzen des Kochens in den durch Ueberleiten eines reinen Luftstromes (frei von Kohlensäure) aus der Flüssigkeit gewonnenen Gasen im Mittel gegen 100 Volumprocent Kohlensäure (0° und 0,76 m.) der angewendeten Muskeln. Die Kohlensäurebildung wird hiernach also auch durch noch höhere Temperaturen, als sie HERMANN angewendet hatte, nicht gehemmt. Dass sie übrigens auch bei niederer Temperatur vor sich geht, wird bewiesen daraus, dass Muskeln, welche nicht sofort in die Kochflasche gebracht wurden, geringere Mengen von Kohlensäure beim Kochen lieferten. So gab ein 22 Stunden im Brütöfen bei 40—50 ° C. digerirter Muskel beim Kochen nur mehr ungefähr 30 Volumprocent Kohlensäure, die während der Digestion gebildete Kohlensäure war entwichen. Dass die Hauptmasse der gebildeten Kohlensäure nicht in den Muskeln präexistirte, sondern sich wirklich erst durch den Zerfall einer unbekannten Substanz bildete, will STINTZING beweisen durch eine Versuchsreihe, in welcher zum Entfernen der vorher vorhandenen Kohlensäure die Muskeln vor dem Kochen einige Zeit bei niederer Temperatur mit verdünnter Phosphorsäure oder Schwefelsäure und zum

1 L. HERMANN, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln. Berlin 1867.

2 PFLÜGER, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 381. 1878.

3 STINTZING, ibid. S. 388.

Schluss mit Wasser gewaschen wurden, und dann beim Kochen doch noch eine von der ursprünglichen nicht bedeutend abweichende Kohlensäuremenge lieferten. In dieser Beziehung findet sich also eine Uebereinstimmung mit HERMANN's Beobachtungen und Schlüssen. Wie es HERMANN hat entgehen können, dass der gebrühte Muskel noch Kohlensäure entwickelt, lässt sich einstweilen nicht sagen. Vielleicht hat er den Versuch zu früh abgebrochen; denkbar wäre aber auch, dass es zwei Quellen für die Kohlensäurebildung gäbe, die eine, welche ihr Temperaturoptimum bei $45-50^{\circ}$ C. hat und durch Erhitzen verschlossen wird, die andere, welche mit steigender Temperatur mehr und mehr fließt. Es dürfte indess gewagt sein, schon jetzt ohne weitere experimentelle Grundlagen sich in Vermuthungen zu ergeben.¹

Die Differenz zwischen den beiden Arbeiten erstreckt sich übrigens noch auf einen anderen Punct. Ausser der direct auspumpbaren Kohlensäure vermochte HERMANN nach Beendigung der ersten Kohlensäureentwicklung aus frischen oder gebrühten Muskeln noch eine kleine, sehr constante, auch dem erstarrten oder tetanisirten Muskel noch eigene Menge fest gebundener Kohlensäure unbekannten Ursprungs bei Zusatz von Säure zu erhalten. Auch diese Säure treiben aber PFLÜGER und STINTZING durch längeres Kochen oder auch nur Erhitzen auf 80° C. aus den Muskeln (und ebenso aus dem Blut), wie das Ausbleiben einer neuen Kohlensäureentwicklung bei dem Zufügen von Phosphorsäure zeigt. Offenbar ist die PFLÜGER'sche sehr energische Entgasungsmethode für den Nachweis solcher Unterschiede in der Bindungsweise der Kohlensäure nicht geeignet.

II. Der todtenstarre Muskel.

1. Die Säurebildung bei der Erstarrung.

Unter den inneren oder chemischen Veränderungen, welche der Muskel bei der Erstarrung erleidet, fällt zunächst auf die Aenderung der Reaction: der todtenstarre Muskel reagirt sauer und zwar bei allen Thieren.

Wie oben bei dem ruhenden Muskel bereits erwähnt worden ist, war die saure Reaction des Muskels für die normale gehalten, bis DU BOIS-REYMOND² überzeugend nachwies, dass der frische ruhende und geruhte Muskel neutral reagirt, „die ganze in den abgestorbenen

¹ Vgl. hierzu eine Bemerkung von L. HERMANN in der Allg. Muskelphysik S. 151. Anm.

² E. DU BOIS-REYMOND, De fibrae muscularis reactione. Berolini 1859; Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

Muskeln von den Chemikern erkannte Säuremenge erst zur Zeit des Erstarrens innerhalb der Primitivmuskelbündel frei wird“. Es gilt dies für die Muskeln aller Thiere. Die Frage, ob es sich hierbei um freie Säure oder nur um saures phosphorsaures Kali handelt, wie FRÉMY und VALENCIENNES¹ behaupteten, entscheidet DU BOIS mit Hülfe der MITSCHERLICH'schen² Untersuchung über das Verhalten der sauren Alkaliphosphate gegen Lakmuspapier, deren rothe Flecken nämlich beim Trocknen wieder verschwinden, während die von den Muskeln gemachten rothen Flecken beim Trocknen bleiben, dahin, dass neben dem sauren Phosphat sicher noch eine freie, nicht flüchtige Säure sich findet. Indem wir von deren Natur einstweilen völlig absehen, ist nur noch daran zu erinnern, dass, wenn zu einem Gemische von Salzen verschiedener Säuren eine Säure hinzukommt, niemals diese allein hinfort als die freie Säure der Mischung bezeichnet werden kann, auch wenn die anderen, bereits vorhanden gewesenen mit ihr verglichen als die stärkeren gelten, sondern in freilich sehr verschiedenem, dazu von Temperatur und anderen Bedingungen abhängendem Verhältniss ein Theil sämtlicher Säuren frei oder in sauren Salzen, wenn deren Bildung möglich, vorhanden zu denken ist.

An der Säuerung ist, wie DU BOIS weiter eingehend zeigte, der Sauerstoff der Umgebung nicht betheiligt; sie geht in Oel, unter Quecksilber, im Vacuum bei Gegenwart von Wasser mit derselben Schnelligkeit vor sich wie in atmosphärischer Luft, ja sogar noch schneller, in den beiden ersten Fällen vermuthlich der Zurückhaltung der Kohlensäure wegen.

Von grossem Einfluss auf die Schnelligkeit ist die Temperatur; mit Steigen derselben bis zu einem gewissen Grade (45° C. bei Fröschen, 50° C. bei Säugern, 50—55° C. bei Vögeln) nimmt die Schnelligkeit zu, um dann wieder abzunehmen, und zwar sehr schnell, so dass Froschmuskeln rasch auf 60° C. oder höher erhitzt nicht sauer werden, und wenn die Temperatur einige Zeit so hoch erhalten bleibt, ihr Säurebildungsvermögen überhaupt verlieren. Bei den niederen Temperaturgraden geht die Säuerung oft so langsam vor sich, dass sie durch die ammoniakalischen Producte der ebenfalls allmählich eintretenden Fäulnis verdeckt werden kann. An sofort unter Oel gebrachten und somit vor Bakterien möglichst bewahrten Muskeln gelang es indes HERMANN³ die Säuerung mit vollkommener Sicherheit

1 VALENCIENNES et FRÉMY, Ann. d. chim. et phys. XIX. p. 363. 1822; 3 sér. L. p. 171. 1857.

2 MITSCHERLICH, Ann. d. Phys. u. Chemie XXXI. S. 319. 1834.

3 HERMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 192. 1871.

zu beobachten. Die stets im ausgeschnittenen Muskel sofort auch beginnende Wirkung der Fäulnisbakterien erschwert überhaupt die Untersuchung der Säurebildung, besonders die genaue Feststellung des Maximums der Säure, nach dessen Erreichung der Muskel mehr oder minder rasch an Säure verliert, bis er schliesslich bei stinkender Fäulnis stark alkalisch reagirt. Am günstigsten ist es für die Bestimmung des Maximums der Säure dieselbe rasch bei möglichst hoher Temperatur entstehen zu lassen, weil in der Kürze der Zeit eine neutralisirende Wirkung der Producte der anfangs ja nur in geringer Menge vorhandenen Bakterien kaum merklich sein kann, und ausserdem mehrere Bestimmungen an verschiedenen Portionen desselben Muskels zu verschiedenen Zeiten zu machen.

Es ist nun nach den Untersuchungen von J. RANKE¹ der ausgeschnittene Muskel fähig eine ganz bestimmte Menge Säure zu bilden, und er bildet dieselbe, eine Anstellung der Versuche unter den nöthigen Cautelen vorausgesetzt, einerlei, ob die Säuerung rascher bei hoher Temperatur (selbstverständlich unterhalb der oben angegebenen Grenze) oder langsamer bei niedriger Temperatur verläuft. Auch ist zu vermuthen, dass die Säuremenge die gleiche bleibt, wenn der ausgeschnittene Muskel eine Zeit lang tetanisirt worden ist, während umgekehrt, das ist experimentell festgestellt, wenn ein Muskel intra corpus bei erhaltener Circulation Arbeit geleistet hat, das Säurebildungsvermögen desselben geringer ist als in dem entsprechenden geruhten Muskel der anderen Körperhälfte.

RANKE's quantitative Säurebestimmungen ergeben ferner noch einen verschiedenen Säuregehalt der verschiedenen todtenstarrten Muskeln desselben Thieres, so z. B. bei Kaninchen constant mehr Säure in den Muskeln des Rückens als in denen des Schenkels, sowie Verschiedenheiten in dem Säuregehalt des gleichen Muskels bei verschiedenen Individuen derselben Species. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Ernährung hierbei von grossem Einfluss ist. Die Muskeln gehungerter Thiere werden nach Cl. BERNARD überhaupt nicht sauer.

2. Neue Bestandtheile des starren Muskels.

Der todtenstarre Muskel enthält weiter einige neue Stoffe: Zucker und Milchsäuren; die ihren wichtigsten Eigenschaften nach der eingehenden Besprechung der chemischen Veränderungen des Muskel vorangestellt werden sollen.

1 J. RANKE, Tetanus S. 142. Leipzig 1865.

Zucker des Muskels.

Der Zucker des Muskels, von MEISSNER¹ zuerst isolirt und Fleischzucker genannt, in früheren Zeiten übrigens schon mehrfach gefunden, so von HEYNSIUS², VAN DEEN³, WINOGRADOFF⁴ u. A. ist bis jetzt noch nicht krystallinisch erhalten, auch noch nicht in krystallinischen Verbindungen mit Salzen und anderen Stoffen, und überhaupt noch nicht ausreichend untersucht. Aus MEISSNER's Angabe, dass diese Zuckerart alkoholischer Gährung fähig ist, und aus der von O. NASSE⁵, dass ihr Reductionsvermögen durch Kochen mit Schwefelsäure nicht merklich verändert wird, lässt sich indes schon schliessen, dass sie in die Traubenzuckergruppe gehört. Möglicher Weise wird sich sogar Identität mit Traubenzucker herausstellen.

Milchsäuren.

Die organische Chemie kennt vier isomere Säuren von der Zusammensetzung $C_3H_6O_3$. Diese sind: zwei Aethylidenmilchsäuren, eine Aethylenmilchsäure und eine Hydracrylsäure, letztere im Thierkörper übrigens nicht vorkommend, und daher hier ohne weiteres Interesse. Ihre Existenz wird neuerdings geleugnet (ERLENMEYER⁶), so dass möglicherweise nur drei Milchsäuren bleiben.

In den allgemeinen Characteren, als syrupöse, stark sauer schmeckende und reagirende Flüssigkeiten, in Wasser, Alkohol und Aether löslich, beim Erhitzen unter Wasserabgabe in Dilactylsäure $C_6H_{10}O_5$ (Miehsäureanhydrid) und Lactid $C_3H_4O_2$ übergehend, stimmen die ersten drei Säuren, die alle im Muskel schon angetroffen sind, überein, nicht aber in ihren Salzen, und z. Th. nicht in ihren Zersetzungsproducten und der künstlichen Bildungsweise. Aus diesen letzteren Verschiedenheiten ist die Constitution der Säuren erschlossen worden.



1. Die Aethylidenmilchsäuren $CH.OH$, bei Oxydation Essigsäure $COOH$

und Ameisensäure liefernd. Man unterscheidet:

- a) die optisch inactive, gewöhnliche oder Gährungmilchsäure. Dieselbe kommt natürlich vor bei der Gährung von Kohlehydraten

1 MEISSNER, Göttinger Nachrichten 1861. Nr. 15 und 1862. Nr. 10.

2 HEYNSIUS, Nederl. Tijdschr. f. Geneesk. I. p. 209. 1857.

3 VAN DEEN, ibid. 1861. p. 67.

4 WINOGRADOFF, Arch. f. pathol. Anat. XXIV. S. 600. 1862.

5 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XIV. S. 473. 1877.

6 ERLENMEYER, Ann. d. Chem. u. Pharm. CIC. S. 261. 1878.

und auch der von Inosit (VOHL¹), und weiter in den Muskeln, in denen sie von HEINTZ² mehrmals gefunden worden ist. Synthetisch wird

sie gewonnen aus α -Brompropionsäure $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CHBr} \\ \text{COOH} \end{matrix}$ sowie aus Aethyliden-

hydratecyanür $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CHOH} \\ \text{CN} \end{matrix}$, und trägt auf Grund dessen die Namen α -Hy-

droxypropionsäure oder Aethylidenmilchsäure. Das Zinksalz dieser Säure, mit 18,18 % Wasser krystallisirend, ist in 56 — 63 Theilen Wasser bei 14 °C. löslich, in Alkohol unlöslich.

b) Die optisch active oder Paramilchsäure, auch wohl Fleischmilchsäure genannt. Dieselbe kommt nur natürlich vor im Muskel, sowie in anderen thierischen Theilen und Flüssigkeiten, und ist auch von MALY³ einmal bei der Gährung von Rohrzucker gefunden. Das Zinksalz (links drehend, während die freie Säure rechts dreht) krystallisirt mit 12,9 % Wasser, ist schon in 17,5 Theilen Wasser und auch etwas in Alkohol löslich.

2. Die Aethylenmilchsäure $\begin{matrix} \text{CH}_2. \text{OH} \\ \text{CH}_2 \\ \text{COOH} \end{matrix}$, optisch inactiv, bei Oxy-

dation Malonsäure liefernd, kommt natürlich im Muskel vor, sowie bei Gährung von Inosit (HILGER⁴), wird synthetisch aus Aethylen-

hydratecyanür $\begin{matrix} \text{CH}_2. \text{OH} \\ \text{CH}_2 \\ \text{CN} \end{matrix}$ dargestellt. Das Zinksalz, wie das der Para-

milchsäure 12,9 % Wasser enthaltend, zerfließt an der Luft und ist in Alkohol leicht löslich.

3. Umwandlung der Muskelstoffe bei der Erstarrung.

Die sonstigen chemischen Veränderungen des Muskels sind nun an dessen einzelnen Bestandtheilen, in der Ordnung, in welcher sie bei dem ruhenden Muskel aufgeführt sind, zu verfolgen.

Die Eiweisskörper.

Todtenstarre Muskeln ausgepresst liefern unter allen Umständen eine Flüssigkeit, welcher das Myosin, oder vielleicht richtiger gesagt, die myosinbildenden Substanzen fehlen. Dieselben müssen also in

1 VOHL, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1876. S. 984.

2 HEINTZ, Ann. d. Chem. u. Pharm. CLVII. S. 314. 1871.

3 MALY, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1864. S. 1567.

4 HILGER, Ann. d. Chem. u. Pharm. CLX. S. 337. 1871.

den unlöslichen, geronnenen Zustand übergegangen sein. BRÜCKE¹ hatte längst (1842) den Rigor auf denselben einfachen Grund zurückzuführen gesucht wie die Blutgerinnung, d. h. auf eine Gerinnung des hypothetischen Faserstoffs, wie das auch von Anderen, jedoch ohne hinreichende Begründung, schon gelegentlich geschehen war, und für seine Anschauung die verschiedenen Analogieen angeführt, welche die Erscheinungen der Blutgerinnung und der Todtenstarre zeigen. Von diesen Analogieen haben einige auch heutigen Tages noch Geltung, wie die Contraction des Blutkuchens, der die häufig bei der Starre zu bemerkenden Bewegungen der Glieder gleich zu stellen sind, das Auspressen von Serum aus dem Blutkuchen, mit der die Ansammlung von Flüssigkeit in queren Einschnitten des Muskels von späteren Stadien der Starre verglichen wird, ferner die Erweichung des Blutkuchens und der todtenstarrten Muskeln durch die beginnende Fäulniss, während einige andere hervorgehobene Analogieen wie die Unveränderlichkeit des Volumens bei beiden Vorgängen jetzt als unrichtig zu bezeichnen sind. Dass BRÜCKE den Muskelfaserstoff für identisch mit Blutfibrin hielt, auf welchen Irrthum hauptsächlich VIRCHOW² hingewiesen hat, den von BERZELIUS schon beobachteten Unterschied gegenüber dem kohlensauren Kali hervorhebend, thut wenig zur Sache. Wichtiger war, dass es BRÜCKE nicht gelang, eine spontan gerinnbare Flüssigkeit aus dem Muskel zu erhalten. Bei den von SIMON³ und von VIRCHOW durch Auspressen noch warmer Muskeln gewonnenen gerinnbaren Flüssigkeiten liess sich der gewichtige Einwurf erheben, dass Blut und Lymphe nicht vorher aus dem Muskel entfernt worden waren. Ganz richtig hat aber BRÜCKE erkannt und nach ihm DU BOIS-REYMOND⁴ u. A., dass der negative Erfolg bei dem Auspressen von frischen Muskeln nicht nur nicht gegen seine Erklärung, sondern vielmehr für dieselbe spreche, weil der Muskel bei der mechanischen Misshandlung in der Presse starr werde. Den Beweis für die Richtigkeit von BRÜCKE's Theorie lieferte erst KÜHNE durch die oben ausführlich berichtete Untersuchung des Muskelplasmas, durch die Feststellung der Thatsachen, dass der Muskel zu derselben Zeit starr wird, zu welcher das Muskelplasma gerinnt, und dass für Starre und Gerinnung dasselbe Temperaturoptimum besteht, sowie dadurch, dass er aus todtenstarrten Muskeln mittelst

1 BRÜCKE, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1842. S. 178.

2 VIRCHOW, Ztschr. f. rat. Med. IV. S. 262. 1846.

3 SIMON, Handb. d. angewandten med. Chemie II. S. 524. Leipzig 1842.

4 E. DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen über thierische Electricität II. 1. S. 156. Berlin 1849.

10 % Kochsalzlösung einen Eiweisskörper extrahirte, der alle Eigenschaften des aus Muskelplasma freiwillig ausgeschiedenen Myosins besitzt.

In wie weit die ausgepresste Flüssigkeit die anderen Eiweisskörper des Muskels enthält, hängt von den äusseren Umständen ab, unter welchen die Starre verlaufen ist. Ist die Temperatur des Muskels nicht über 40° C. beim Frosch, 45° C. bei Warmblütern gestiegen, so muss der eigenthümliche bei 45 bzw. 50° C. gerinnende Eiweisskörper, das Musculin, noch vorhanden sein, das Alkalialbuminat aber kann, wenn hinreichend Säure entwickelt war, zum Theil ausgefällt sein. War die Temperatur etwas, jedoch nicht viel über die genannten Grade hinausgegangen, (man nennt die Summe der hierbei eingetretenen Veränderungen Wärmostarre) so fehlt nebst dem nun abgeschiedenen Alkalialbuminat das Musculin, und endlich war der Muskel allmählich bis auf 70—80° C. erwärmt worden, so fehlt auch das lösliche Eiweiss, das Extract ist eiweissfrei, denn es sind nun alle Eiweisskörper geronnen, und auch das Myosin ist nicht mehr durch Kochsalzlösung auszuziehen. Es ist wichtig hinzuzufügen, dass um dieses Resultat zu erhalten, die Erhitzung nur allmählich geschehen soll, denn wenn frische geruhte Muskeln möglichst rasch auf die hohe Temperatur gebracht werden, so gerinnen nicht alle Eiweisskörper, nicht nämlich das zur Gerinnung der Säure bedürftige Alkalialbuminat, das sich dann auch in der alkalisch reagirenden ausgepressten Flüssigkeit noch findet (DU BOIS-REYMOND ¹).

Die stickstoffhaltigen Extractivstoffe.

Die einzige bisher bemerkte Veränderung betrifft das Kreatin. VOIT ² hat, wie oben schon bemerkt worden ist, in dem ausgeschnittenen Muskel eine fortdauernde Abnahme der Kreatinmenge beobachtet, vermag aber nicht anzugeben, was aus dem Kreatin geworden ist. Ein Uebergang in Kreatinin wird bestimmt in Abrede gestellt. Möglicher Weise handelt es sich um Fäulnis, nicht um einen eigentlich dem Muskel angehörenden Vorgang.

Die Kohlehydrate.

Von einem bestimmten Momente an, der annähernd mit dem Maximum der Säure zusammenfällt, enthält der todtenstarre Muskel kein Glykogen mehr, statt dessen den erwähnten Fleischzucker (O. NASSE ³).

1 E. DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

2 C. VOIT, Ztschr. f. Biologie IV. S. 77. 1868.

3 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 97. 1869 und XIV. S. 473. 1877.

Man kann das allmähliche Auftreten desselben während des Verschwindens des Glykogens verfolgen und darf ihn daher wohl unbedenklich als Abkömmling des Glykogens betrachten. Man kennt auch keine andere einfache Muttersubstanz für denselben, kennt dagegen ein Ferment im Muskel (s. o. S. 277), welches Kohlehydrate der Stärkegruppe umzuwandeln im Stande ist. Endlich sind auch öfters Zwischenproducte dieser Umsetzung beobachtet worden, so insbesondere Erythro-dextrin von LIMPRICHT¹ im Fleisch junger Pferde, und von KÜHNE² in nicht ganz frischen Muskeln von Kaninchen. Dieselben müssten eigentlich jedesmal zu treffen sein, wenn vor gänzlichem Verschwinden des Glykogens ein absterbender Muskel untersucht wird. Es ist auf die Zwischenproducte, welche zur Aufklärung des Modus der anscheinend unter der Wirkung eines vom Ptyalin verschiedenen Fermentes vor sich gehenden Umwandlung des Glykogens in Traubenzucker nicht unwesentlich beitragen würden, noch nicht hinreichend gefahndet worden. Versuche mit dem möglichst isolirten Fermente oder auch schon Versuche mit Zusatz von Glykogen zu zerkleinertem Muskelgewebe könnten zur Erkenntnis beitragen.

Wie man den Fleischzucker im Muskel allmählich an Menge in dem todtenstarrten Muskel zunehmen sieht, so sieht man ihn, nachdem die Menge einen gewissen Grad erreicht hat, auch wieder abnehmen. Quantitative Bestimmungen des Fleischzuckers sind somit recht mislich, und können nur dann auf Werth Anspruch erheben, wenn unter Beachtung der oben bei den Säurebestimmungen angedeuteten Vorsichtsmassregeln gearbeitet worden ist. Es haben nun solche Bestimmungen ergeben, dass die Menge des Fleischzuckers im todtenstarrten Muskel, als Glykogen berechnet, stets weit geringer ist als die des Glykogens im frischen Muskel; so gehen z. B. bei den Froschmuskeln 70 % des Glykogens während des Erstarrens verloren. Werden Muskeln mit verschiedenem Glykogengehalt, aber von demselben Individuum stammend untersucht, so findet man, dass in allen Muskeln ein gleicher Bruchtheil der Kohlehydrate bei der Erstarrung verschwindet, bei Kaninchen durchschnittlich 70—80 %. Die Muskeln, von vornherein verschieden im Glykogengehalt, sind also auch wieder verschieden im Zuckergehalt. Diese Thatsache würde, wenn es nöthig wäre, noch als Stütze für die Zurückführung des Fleischzuckers auf das Glykogen dienen können. Rascherer oder langsamerer Verlauf der Starre, sowie Tetanisiren des ausgeschnittenen Muskels

¹ LIMPRICHT, Ann. d. Chem. u. Pharm. CXXXIII. S. 293. 1865.

² W. KÜHNE, Lehrb. d. physiol. Chemie S. 307. Leipzig 1866.

vor Beginn der Starre ändern an der Grösse des Kohlehydratverlustes Nichts.

Der Kohlehydratverlust legt die Frage nahe, ob auch der zweite der neuen Stoffe des todtstarren Muskels, die Milchsäure etwa von den Kohlehydraten abstamme. Nun ist freilich von BORSZCZOW¹ behauptet worden, auch der ruhende Muskel enthalte schon Lactate; wenn man indes erwägt, dass der von BORSZCZOW verwendete Muskel, das Herz, sehr häufig auch frisch schon sauer reagirend, sich zur Entscheidung der Frage überhaupt gar nicht eignet, und wenn man ferner auch die entgegenstehende Angabe von FOLWARCZNY² berücksichtigt, der in neutral reagirendem Herzfleisch die Anwesenheit von Lactaten, deren Nachweis gar nicht schwer ist, bestimmt in Abrede stellt, so dürften zum Mindesten noch genauere Untersuchungen abzuwarten sein. Wird übrigens die Milchsäure neugebildet und nicht nur aus Salzen frei gemacht, so ist die Anwesenheit einer ganz geringen Menge von Milchsäure im Muskel eben so wohl möglich wie die einer Spur Zucker.

An die Entstehung der Milchsäure aus Kohlehydraten ist ihrer längst bekannten Beziehungen zu diesen halber natürlich auch schon früher gedacht worden, ganz besonders aber nachdem das constante Vorkommen von Kohlehydraten im Muskel und Verschwinden derselben bei der Erstarrung festgestellt war. Es kommen hierbei nur die ächten Kohlehydrate, das Glykogen und seine Derivate in Betracht, nicht der Inosit, dessen Vorkommen ein zu beschränktes ist, und von dessen Verwandlungen im Muskel man gar Nichts weiss. Die Milchsäurebildung im Muskel hat bereits oben veranlasst die Gegenwart eines Milchsäure bildenden Fermentes im Muskel als wahrscheinlich zu bezeichnen. Nun ist aber das Ferment noch nicht isolirt, ja es ist noch nicht einmal der Versuch gemacht mit einem Muskelauszuge zugefügte Fleischzuckerlösung unter den nöthigen Cautelen gegen das Eindringen von Pilzen u. s. w. in Milchsäure zu verwandeln. Indes gibt es schon einige andere Gründe, welche die in Rede stehende Annahme stützen können. Zunächst sprechen die Mengenverhältnisse der gebildeten Milchsäure und der verschwundenen Kohlehydrate wenigstens nicht gegen dieselbe, insofern die Menge der letzteren die erstere mehr als hinreichend deckt, wie O. NASSE's³ Bestimmungen beider Grössen (nach Anbringung der später nothwendig gewordenen Correction der Werthe für die Kohlehydrate) zu ent-

1 BORSZCZOW, Würzburger naturwiss. Ztschr. II. S. 65. 1862.

2 FOLWARCZNY, Wiener med. Wochenschr. 1862. Nr. 4.

3 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 97. 1869 und XIV. S. 473. 1877.

nehmen ist. Auch dürfen wohl mit Recht herangezogen werden die Thatsachen, dass im Allgemeinen bei Froschmuskeln mit der ursprünglich vorhandenen Menge von Kohlehydraten (Glykogen) die Säuremenge steigt, und auch bei Kaninchen in den verschiedenen Muskeln hoher Säuregehalt mit hohem Glykogengehalt zusammenfällt und umgekehrt, und endlich die glykogenfreien Muskeln gehungerter Thiere nicht sauer werden. Sollte LIMPRICHT's¹ Gewinnung von Gährungsmilchsäure aus Muskel-Dextrin bei gewöhnlicher Schizomyceten-Gährung dann als Gegenbeweis angeführt werden, so wäre abgesehen davon, dass es sich im Muskel ja um eine ganz andere Gährung handelt, zu erwidern, dass, wie oben schon erwähnt worden ist, einerseits auch, wenn auch selten, Gährungsmilchsäure im Muskel vorkommt (HEINTZ²), und andererseits bei der gewöhnlichen Pilzgährung auch Paramilchsäure gebildet werden kann (MALY³). Wodurch es bedingt ist, dass bald mehr von dieser, bald mehr von jener Milchsäure entsteht, lässt sich weder für die gewöhnliche Gährung noch für die Zersetzung im Muskel sagen. Es ist aber eine ganz bekannte Thatsache, dass Gährungen innerhalb gewisser Grenzen verschieden verlaufen.

Die Bildung der Milchsäure aus Glykogen bzw. Fleischzucker als völlig bewiesen angenommen, bleibt nun immer noch ein nicht unbeträchtliches, die Milchsäure an Menge wohl übertreffendes Quantum von Kohlehydraten in bis jetzt unerklärter Weise verschwunden. Der nächstliegende Gedanke wäre die Kohlensäure, welche im erstarrenden Muskel entsteht, auf die verschwundenen Kohlehydrate zu beziehen. Was zuvor das Thatsächliche der Kohlensäurebildung angeht, so hatte HERMANN⁴ durch seine Evacuationsversuche genau festgestellt, was von J. RANKE⁵ schon nach minder exacten Methoden vermuthet war, dass jeder ausgeschnittene Muskel das Vermögen besitzt (unter den bei der Milchsäurebildung genauer angeführten Bedingungen der Temperatur u. s. w.) eine bestimmte Menge von Kohlensäure zu erzeugen, c. 0,018—0,024 Gewichtsprocente oder ungefähr 15 Volumprocente bei Froschmuskeln, und zwar unabhängig von gleichzeitiger Sauerstoffzufuhr und weiter von den Zuständen, welche er bis zur Erstarrung durchläuft, insbesondere unabhängig davon, ob die Erstarrung in einem kürzeren oder längeren Zeitraum sich vollendet, und ob der Muskel, natürlich vor Kohlensäureabgabe geschützt,

1 LIMPRICHT, Ann. d. Chem. u. Pharm. CXXXIII. S. 293. 1865.

2 HEINTZ, *ibid.* CLVII. S. 314. 1871.

3 MALY, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1864. S. 1567.

4 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln etc. Berlin 1867.

5 J. RANKE, Tetanus S. 151. Leipzig 1865.

noch Contractionen ausführt, welche nur die Kohlensäurebildung beschleunigen, während der in Luft tetanisirte und nachher erst in die Gaspumpe gebrachte Muskel beim Erstarren weniger Kohlensäure bildet.

Somit war im Muskel ein gewisser Vorrath kohlenensäurebildender Substanz gefunden, wie schon früher ein Vorrath milchsäurebildender Substanz, und da beide Substanzen unter den gleichen Bedingungen verbraucht zu werden scheinen, so glaubte HERMANN (ohne Kenntniss des Kohlehydratgehaltes und Kohlehydratverlustes des Muskels) die Vermuthung aussprechen zu dürfen, dass die Milchsäure und die Kohlensäure die Zersetzungsproducte eines einzigen Muskelbestandtheiles wären. Wenn dieser Bestandtheil nun wirklich das Glykogen oder der Fleischzucker wäre, dessen Verhalten im Muskel offenbar doch gut zu einer solchen Annahme stimmt, so würde sich hieran eine ganze Reihe noch kaum aufgeworfener, geschweige denn schon zu beantwortender Fragen knüpfen. Dieselben würden sich zunächst drehen um die die Zersetzung bedingenden Kräfte und um den Modus der Zersetzung selbst. Ist es nicht unmöglich, dass die Kohlensäure direct aus dem Zuckermolekül entstehe, so ist doch wahrscheinlicher, dass sie erst durch Zerfall der Milchsäure (es sei hier an die Buttersäure-Gährung der Milchsäure als Beispiel erinnert) gebildet wird, dass also das Kohlenstoffatom, ehe es die Form der Kohlensäure angenommen, eine ganze Reihe von Zwischenstufen vom Glykogen aus durchlaufen hat. Bei dieser Oxydation des Kohlenstoffs müssen, weil dieselbe in sauerstofffreien Gasegemengen, wie auch im Vacuum vor sich gehen kann, unter allen Umständen sauerstoffärmere, reducirende Stoffe entstehen, seien dieses nun Theile des ursprünglichen Kohlehydrat- oder Milchsäuremoleküls, oder Theile anderer Muskelbestandtheile, auf Kosten deren Sauerstoffgehaltes die Oxydation sich vollzogen hat. Solche Stoffe sind in dem thätigen Muskel bereits gefunden worden und bei der grossen weiter unten zu erörternden Aehnlichkeit der chemischen Vorgänge in dem thätigen und erstarrenden Muskel auch hier mit Sicherheit zu erwarten. Vielleicht kann die Restitution des erstarrenden Muskels durch sauerstoffhaltiges Blut, und der von LUDWIG und A. SCHMIDT¹ beobachtete Sauerstoffverbrauch im blutdurchströmten ausgeschnittenen Muskel die Richtigkeit dieser Vermuthung schon jetzt bestätigen.

Die eben entwickelte, bis vor Kurzem jedenfalls vollkommen mögliche Vorstellung hat aber einen Stoss erlitten, seitdem PFLÜGER

¹ C. LUDWIG und A. SCHMIDT, Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig. 3. Jahrg. 1868. S. 1. Leipzig 1869.

und STINTZING¹ noch eine zweite, oben S. 285 geschilderte Kohlensäurequelle entdeckt haben, die von der hier angenommenen gänzlich verschieden ist, die bedeutend grössere Mengen von Kohlensäure zu liefern vermag als der nach Abzug des Zuckers und der Milchsäure bleibende Rest von Kohlehydraten. Gänzlich fallen würde die Vorstellung aber, wenn sich herausstellen sollte, dass die neue Kohlensäurequelle die einzige ist. Dafür ist aber der Beweis noch nicht geliefert. Würde er geliefert, so bliebe dann zu untersuchen, was aus dem Rest von Kohlehydraten bei der Starre geworden ist.

Die sehr eingehend studirte Wärmebildung in dem erstarrten Muskel kann hier nur ohne Besprechung der einzelnen Untersuchungen erwähnt werden, von electrischen Erscheinungen wird hier wie im Folgenden ganz abgesehen.

4. Erklärung der Muskelstarre.

A) Zusammenfassung der Erscheinungen.

Der Prozess der unterhalb einer gewissen, wiederholt angegebenen Temperatur verlaufenden Starre, spontane oder auch Zeitstarre genannt, setzt sich nach dem Vorhergehenden aus einer Anzahl von Veränderungen der Muskelsubstanz zusammen. Diese „Theilerscheinungen der Starre“ sind: 1) die Ausscheidung oder Gerinnung des Myosins, 2) die Ausfällung von Kalialbuminat, nicht unumgänglich nöthig, also unwesentlich, ein secundärer Vorgang, daher im Folgenden nicht weiter zu berücksichtigen, 3) der Uebergang von Glykogen in Fleischzucker, 4) die Bildung von Milchsäure aus Fleischzucker, 5) das Freiwerden von Kohlensäure. Man könnte auch vielleicht zusammenfassend und die zuletzt versuchten Beweise für die Umwandlungen und Neubildungen wenigstens zum Theil als vollgültig ansehend sagen: an dem Prozess der Starre theilnehmen sich einerseits die Eiweisskörper, wesentlich die äusseren oder mechanischen Veränderungen der Muskeln veranlassend, und andererseits die Kohlehydrate und ein anderer unbekannter stickstofffreier Atomcomplex, die inneren oder chemischen Veränderungen ganz oder zu grossem Theile bedingend.

Es wird nun oft der Ausdruck „Höhe der Starre“ gebraucht, ohne dass genau festgestellt ist, dass die Höhepunkte der Theilerscheinungen, der Bildung des Zuckers, der Milchsäure und der Kohlensäure zeitlich vollkommen zusammenfallen. Ja es ist sogar nach den besprochenen Beziehungen dieser Stoffe zu einander wahrschein-

¹ PFLÜGER, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 381. 1878 u. STINTZING, ibid. S. 388

lich, dass die genannten Vorgänge in der erwähnten Ordnung einander folgen, wenn sie schon einander so rasch folgen können, dass der zeitliche Unterschied kaum messbar ist. Am allerschwierigsten ist indes das Myosingerinnsel zu beobachten, für dessen vollkommene Bildung man gar keinen Maasstab besitzt. Es ist die Definition des Höhepunctes der Myosinausscheidung überhaupt ganz unmöglich, ausserdem kann man aber, bis der Muskel undurchsichtig wird und sich verkürzt, gar Nichts bestimmtes erkennen; bei der Contraction des anfangs gallertig sich ausscheidenden Myosins, von der BRÜCKE¹ und nach ihm HERMANN² spricht, handelt es sich, wie HERMANN ausdrücklich gesteht, nicht um wirkliche Beobachtungen, sondern nur um Folgerungen aus den Erfahrungen an Muskelplasma.

B) Allgemeine Bedingungen der Erstarrung.

In das Wesen der Starre wird man, so weit sich nicht schon aus dem Mitgetheilten gewisse Schlüsse ziehen lassen, am ersten einen Einblick erhalten durch Prüfen der in der allgemeinen Muskelphysik Cap. Todtenstarre zum Theil schon erwähnten, hier aber im Zusammenhang aufzuführenden Bedingungen, unter welchen der Muskel starr wird.

Die Muskelstarre stellt sich ein nach dem Tod des ganzen Organismus und ebenso auch an ausgeschnittenen Muskeln, sowie ferner an noch im Körper befindlichen Muskeln des lebenden Thieres, wenn deren Blutzufuhr abgeschnitten wird. Das Aufheben der Circulation durch Unterbinden der Arterien hat diesen zuerst von STENSON³ in seinen Anfängen wenigstens beobachteten, von STANNIUS⁴ und von BROWN-SEQUARD⁵ dann später weiter untersuchten Erfolg indes nur bei warmblütigen Thieren, die Muskeln der Kaltblüter sind in viel höherem Grade von der Blutzufuhr unabhängig.

Es fallen der Starre alle muskulösen Gebilde der Wirbelthiere wie der Wirbellosen anheim.⁶ Wo Ausnahmen gefunden sind, oder noch gefunden werden, ist an Störungen von Aussen durch Eintritt von Flüssigkeiten, rasche Entwicklung der Fäulnis oder dergl. zu denken.

1 BRÜCKE, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1842. S. 178.

2 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln. Berlin 1867.

3 STENSON, HALLER, Elementa Physiologiae corp. human. etc. IV. p. 544. Lausanne 1762.

4 STANNIUS, Arch. f. physiol. Heilk. XI. S. 1. 1852.

5 BROWN-SÉQUARD, Compt. rend. I. p. 855. 1851.

6 In eine allgemeine Behandlung der Starre würden auch die den in Rede stehenden ganz analogen Erscheinungen bei dem Absterben des contractilen Protoplasmas, der Leberzellen u. s. w. gehören.

Die Zeit bis zur völligen Erstarrung ist bei den verschiedenen Thieren verschieden, im Allgemeinen pflegt es zu heissen: die Starre tritt eher bei den Warmblütern als bei den Kaltblütern ein, steht, wie der Erfolg des Abschneidens der Blutzufuhr schon lehrt, in directer Beziehung zu dem Sauerstoffbedürfnis (oder Schnelligkeit des Stoffwechsels). Es sind aber noch nie Versuche unter völlig gleichen Bedingungen, besonders bei gleicher Temperatur gemacht worden. Die tiefere Lage des Temperaturoptimums für die Erstarrung des Froschmuskels und die Beobachtung von CL. BERNARD, dass die Muskeln von vor dem Tode auf 20° C. abgekühlten Warmblütern (Kaninchen) fast ebenso langsam erstarren als die des Frosches, fordern zu neuen eingehenden Prüfungen auf.

Bei derselben Thierart ist es nun möglich den Eintritt der Starre zu beschleunigen und auf der anderen Seite zu verzögern oder gänzlich zu hemmen.

C) Beschleunigung der Erstarrung.

Zu den beschleunigenden Mitteln gehören

1) die Wärme, wie schon bei den meisten Theilerscheinungen der Starre berichtet ist, für die auch, immer wieder die PFLÜGER'sche Kohlensäurequelle ausgenommen, das Temperaturoptimum das gleiche zu sein scheint. Der beschleunigende Einfluss ist so bedeutend, dass einzelne Gliedmassen auf das Temperaturoptimum erwärmt, bei bestehender Circulation starr werden können (HERMANN¹). Mit Abnahme der Temperatur geht also die Erstarrung immer langsamer vor sich, sie tritt aber auch bei 0° C. noch ein, wie HERMANN² an unter Oel aufbewahrten und vor Bacterien möglichst geschützten Muskeln zeigte.

2) Contractionen sei es des ganzen Thieres vor dem allgemeinen Tode, sei es ausgeschnittener Muskeln. Die Wirkung derselben von BRÜCKE³ zuerst bezüglich der physikalischen Veränderungen beobachtet, von KÖLLIKER⁴, BROWN-SEQUARD⁵ u. A. wiederholt bestätigt, erstreckt sich auf alle Theilerscheinungen der Starre.⁶ Insofern mechanische Mishandlungen aller Art, wie Zerschneiden,

1 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln etc. S. 94. Berlin 1867.

2 HERMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 192. 1871.

3 BRÜCKE, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1842. S. 178.

4 KÖLLIKER, Arch. f. pathol. Anat. X. S. 259. 1856.

5 BROWN-SÉQUARD, Gaz. méd. d. Paris 1857. p. 214.

6 Auch dem practischen Leben ist dieser Einfluss längst bekannt; um den Eintritt der Todesstarre und der ihr folgenden Fäulniss hinauszuschieben werden in den besseren Schlachthäusern die Thiere bei vollkommener Ruhe des Nachts rasch ergriffen und getödtet. Umgekehrt kann man sicher aus dem langen Todeskampf der Fische die rasche Zersetzlichkeit ihres Fleisches zum Theil erklären.

Zerreissen, Quetschen u. s. w. als mechanische Reizungen Contractionen hervorrufen, gehört auch die durch solche Mishandlungen bedingte Beschleunigung des Eintritts der Todtenstarre an diese Stelle. Nur gefrorene Muskeln lassen sich, wie die Darstellung des Muskelplasmas gelehrt hat, ohne Nachtheil zerkleinern. Das Frieren selbst aber kann, wenn man die Kälte rasch einwirken lässt, HERMANN's Beobachtungen nach, durch mechanische Reizung ebenfalls Contractionen veranlassen und so die Erstarrung beschleunigen.

3) Dehnung oder Belastung der Muskeln. Straff gespannte Muskeln eilen in der Erstarrung schlaffen so bedeutend voraus, dass E. KRAUSE¹ das Erstarren der Beugemuskeln stark flectirter Glieder übersehen konnte, und nach einigen an ausgeschnittenen Muskeln von Kaninchen und Fröschen, gespannt und schlaff im feuchten Raume aufgehängt, angestellten Versuchen sich zu der Behauptung berechtigt glaubte, dass eine gewisse Spannung des Muskels durchaus nothwendig wäre für das Auftreten der Starre. Der Schluss ist aber falsch, wie WUNDT² durch erneute, sorgfältige, längere Zeit fortgesetzte Prüfung solcher Muskeln nachwies: auch ganz erschlaffte Muskeln werden starr, nur sehr viel langsamer als gedehnte. E. KRAUSE's Irrthum erklärt sich zum Theil übrigens schon daraus, dass der gespannte Muskel von vornherein sich fester anfühlt, der Grad der Starre aber überhaupt nur nach der Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Muskels von ihm bemessen wurde. Die chemischen Veränderungen waren zur Zeit von KRAUSE's Untersuchung noch nicht bekannt. Man überzeugt sich von dem Einfluss der Spannung am besten und schnellsten, wenn man die beiden zu vergleichenden (ausgeschnittenen) Muskeln bei einer nahe dem Temperaturoptimum liegenden Temperatur absterben lässt (O. NASSE³). Die in Rede stehende Erscheinung steht in Einklang mit dem von HEIDENHAIN⁴ ermittelten Einfluss der Spannung der thätigen Muskeln auf Ermüdung und Säurebildung.

Wahrscheinlich gibt es nun noch Stoffe, die in ganz bestimmter eigenthümlicher Weise die Starre beschleunigen, vergleichbar der Beschleunigung von Fermentprozessen durch bestimmte Substanzen. Das vorliegende thatsächliche Material ist sehr gering, man kennt überhaupt nur Wirkungen auf einzelne Theilerscheinungen, so des Blutes auf die Myosingerinnung (s. o. S. 269), verschiedener Salze und

¹ E. KRAUSE, De rigore mortis etc. p. 40. Dissert. Dorpat 1853.

² WUNDT, Die Lehre von der Muskelbewegung S. 71. Braunschweig 1858.

³ O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XVII. S. 282. 1878.

⁴ HEIDENHAIN, Mechanische Leistungen etc. bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864.

Alkaloide auf die Milchsäurebildung, und es ist nicht ohne Weiteres gestattet die an einer Theilerscheinung gemachten Beobachtungen auf die anderen auszudehnen.

Treffen alle oder mehrere beschleunigenden Umstände zusammen, so kann die Starre äusserst rasch eintreten.

D) Hemmung der Erstarrung.

Bei der Hemmung der Starre ist zu unterscheiden, ob dieselbe eine dauernde oder eine vorübergehende ist.

Dauernd gehemmt oder aufgehoben wird die Starre in allen ihren Theilerscheinungen mit Ausnahme der Kohlensäurebildung oder eines Theiles derselben (s. o.) durch rasches Erhitzen der Muskeln auf Siedetemperatur. Ob auch Alkohol dauernd hemmt, ist noch nicht entschieden. Bleibt der Muskel einige Zeit unter Alkohol, so gerinnt natürlich das Myosin oder die myosinbildende Substanz wie durch Siedehitze, und wenn der Muskel nun wieder in Wasser aufgeweicht würde, könnten nur noch die im Bereiche der Kohlehydrate verlaufenden Zersetzungen (eventuell auch Ausfällung von Kalialbuminat) eintreten, vielleicht auch PFLÜGER's Kohlensäurebildung, worüber indes noch keine Versuche vorliegen, das Bild der Starre wird aber kein vollständiges mehr. DU BOIS-REYMOND¹ hat solchen Muskel freilich nicht wieder deutlich sauer gefunden, doch war die Beobachtungszeit vielleicht nicht lang genug.

Vorübergehende Hemmungen oder Verzögerungen beobachtet man selbstverständlich zunächst, wenn die beschleunigenden Bedingungen so wenig wirksam wie möglich gemacht oder in das Gegentheil verkehrt werden. So tritt im gefrorenen Muskel die Starre nicht ein, so stirbt der Muskel um so später ab, je vollständiger die unten bei dem Stoffwechsel der ruhenden Muskeln näher zu besprechende fortwährende Anregung oder Erregung von dem Nervensystem aus fortfällt. Es ist hier auch der Ort die von LUDWIG und A. SCHMIDT² zuerst festgestellte und practisch verwerthete Thatsache zu erwähnen, dass ausgeschnittene Muskeln von Warmblütern bei künstlicher Durchströmung mit sauerstoffhaltigem Blut längere Zeit am Leben erhalten bleiben, vielleicht auch die von A. VON HUMBOLDT³ und G. VON LIEBIG⁴ gemachte Beobachtung, dass ausgeschnittene

1 DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. S. 288. 1859.

2 C. LUDWIG u. A. SCHMIDT, Arbeiten a. d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 3. Jahrg. 1868. S. 1. Leipzig 1869.

3 A. v. HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern II. S. 282. Posen u. Berlin 1797.

4 G. v. LIEBIG, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1850. S. 393.

Froschmuskeln in sauerstoffhaltigen Gasmengen länger erregbar bleiben und später starr werden als in sauerstofffreien. Ja es vermag das sauerstoffhaltige Blut sogar, wie STANNIUS und BROWN-SEQUARD in ihren oben citirten Experimenten durch Lösung der Arterien-Ligatur der starren Muskeln zuerst gezeigt haben, BROWN-SEQUARD dann auch an ausgeschnittenen Muskeln durch Zuleitung eines künstlichen Stromes defibrinirten Blutes, wenn die Starre nur erst einen gewissen, nicht näher definirbaren Grad erreicht hat, die normale Beschaffenheit des Muskels in jeder Beziehung wieder herzustellen. Aber auch in Fällen, in welchen die Blutcirculation allein die Starre nicht zu lösen vermochte, gelang PREYER¹ noch die Restitution, wenn er den Muskel vor Einwirkung der Circulation in 10 % Kochsalzlösung badete, das Myosin also löste.

Endlich gehört noch hierhin Hemmung der Starre durch concentrirte Lösungen neutraler Alkalisalze, beruhend auf der Beschlagnahme des für die Zersetzungen nöthigen Wassers durch die Salzmoleküle (DU BOIS-REYMOND², O. NASSE³), sowie die Hemmung durch bestimmte Stoffe verschiedener Art, welche in ähnlicher Weise specifisch hemmend wirken, wie die oben angeführten beschleunigenden (O. NASSE).

Nur bei genauester Berücksichtigung und Würdigung aller dieser Bedingungen wird sich die wie es scheint für jede Thierart und so auch für den Menschen specifische Reihenfolge⁴, in welcher bei allgemeinem Tode die Muskeln erstarren, erklären lassen.

E) Wesen der Vorgänge bei der Erstarrung.

Von einer Theilerscheinung der Starre, der Säurebildung, sagt DU BOIS-REYMOND auf Grund deren Abhängigkeit von Temperatur, ihrer Vernichtung durch Siedehitze, ihrer Hemmung durch concentrirte Salzlösungen, dass man sich nicht leicht der Vorstellung erwehren könne, dass man es hier mit einem wahren Gährungs Vorgange zu thun habe, bei der Myosingerinnung ist an die zu den fermentativen Vorgängen zu rechnende Gerinnung des Blutfaserstoffs erinnert worden, für die Zuckerbildung ist ein Ferment bereits isolirt, nur für die Kohlensäurebildung kennt man nicht nur noch kein Ferment, sondern gegen HERMANN's aus der Unabhängigkeit der Kohlensäurebildung von der Sauerstoffzufuhr geführten Beweis,

1 PREYER, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1864. S. 769.

2 DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

3 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XI. S. 138. 1875.

4 Vgl. oben Allg. Muskelphysik S. 140.

dass es sich bei derselben nicht um eine Oxydation im gewöhnlichen Sinne sondern um einen Zerfall, einen Spaltungsprocess ähnlich der Spaltung des Zuckermoleküls in der Hefe handelt, dass die Kohlensäurebildung überhaupt unter denselben Bedingungen wie die Milchsäurebildung vor sich geht, haben PFLÜGER und STINTZING auf Grund der mehrfach erwähnten Versuche eingewendet, dass die Kohlensäure, weil auch bei der Temperatur des siedenden Wassers sich bildend, unmöglich einer Fermentation, sondern einer Dissociation ihre Entstehung verdanke. Es ist indes noch einmal darauf aufmerksam zu machen, dass der Möglichkeit einer zwiefachen Kohlensäurequelle Nichts entgegensteht.

Immerhin kann demnach die Erstarrung zu einem Theile, und zwar dem grössten, als ein Fermentprocess aufgefasst werden; es ist daher weiter die Frage zu erörtern, ob ein einziges Ferment oder mehrere die Zersetzungen veranlasse. Ohne eine Entscheidung durch Versuche über die Isolirung der Fermente abzuwarten, wird man es schon als wahrscheinlich bezeichnen dürfen, dass mehrere Fermente in Wirkung kommen, weil die sonst bekannten Fermente stets nur eine einzige Art von Spaltung hervorrufen können. Wenn man für die Annahme nur eines Ferments geltend machen will, dass die Theilerscheinungen immer zusammen verlaufen, so kann dagegen angeführt werden, dass dieses streng genommen überhaupt nicht der Fall ist, da erst Zucker entstehen muss, damit Milchsäure gebildet werden kann, besonders aber, dass sehr wohl verschiedene Fermente unter den gleichen Bedingungen stehen und daher im gewöhnlichen physiologischen Gang der Dinge sehr wohl stets zu gleicher Zeit wirken können. Nun wird aber sogar eine gewisse Unabhängigkeit der Theilerscheinungen von einander behauptet, doch ist nicht Alles, was hier angeführt wird, einwurfsfrei. Wenn DU BOIS-REYMOND die Thatsache, dass gebrühter Muskel nicht mehr sauer wird, als Gerinnung des Muskelfaserstoffs ohne Säuerung des Muskels hinstellt, so ist doch daran zu erinnern, dass es sich in diesem Falle, was DU BOIS freilich damals nicht wissen konnte, um eine ganz andere Gerinnung des Myosins als bei seiner Ausscheidung bei Erstarrung handelt, wie das Verhalten gegen Kochsalzlösung zeigt, und dass die Säuerung, wie DU BOIS kurz vorher selbst auseinandersetzt, durch rasches Erhitzen des Muskels überhaupt jedes Mal unmöglich gemacht wird. Ebenso ist die von DU BOIS herangezogene Erscheinung saurer Reaction in nicht starrem Muskel nicht in diesem Sinne zu verwerthen, seitdem erwiesen ist, dass das Herz bei voller Leistungsfähigkeit sauer reagiren kann. Wenn die Muskeln verhungerrnder Kanin-

chen nicht sauer werden (CL. BERNARD), so ist immer noch die Möglichkeit vorhanden, dass die anfänglich entstandene Milchsäure, deren absolut nothwendige Menge überdies vielleicht so gering ist, dass sie übersehen werden könnte, unter Kohlensäurebildung sich zersetzt habe, von deren Auftreten in diesem Falle übrigens Nichts bekannt ist. Ueber die Reihenfolge der Myosingerinnung und der Säurebildung weiss man gar Nichts, nur könnte man, da KÜHNE¹ eine Beförderung der Gerinnung des Plasmas durch Milchsäure dargethan hat, geneigt sein, die Milchsäurebildung für das zeitlich frühere zu halten, keinenfalls aber wohl die gesammte, denn wie sich leicht durch eigends darauf gerichtete Beobachtungen zeigen lässt, kann ein Muskel vollkommen starr, d. h. fest geronnen erscheinen, bevor das Maximum der Säure erreicht ist. Jedenfalls geht aus Alle dem hervor, dass eine Unabhängigkeit der Theilerscheinungen von einander noch gar nicht bewiesen ist, wohl zu merken wieder mit Ausnahme der einen Bildungsweise der Kohlensäure, die nicht wie die anderen Prozesse durch Siedehitze unterbrochen wird, möglicher Weise aber gar nicht mehr zu den Theilerscheinungen der Starre gehört. Vielleicht führen zur Entscheidung Versuche, in welchen eins der Substrate dauernd unlöslich gemacht wird, wie die myosinbildende Substanz beim Einlegen des Muskels in Alkohol, oder Versuche mit beschleunigenden oder hemmenden Substanzen, die möglicher Weise doch die verschiedenen hypothetischen Fermente verschieden beeinflussen, wie denn aus einer Untersuchung von O. NASSE² über die Wirkung der Kohlensäure schon hervorzugehen scheint, dass Zuckerbildung und Säurebildung bei Anwesenheit von Kohlensäure mit verschiedener Schnelligkeit verlaufen.

5. *Besondere Arten der Starre.*

Nachdem bisher ausschliesslich von der spontanen oder Zeitstarre mit genauer Angabe der obersten erlaubten Temperaturgrenze und von der einen als Wärmestarre bezeichneten Modification derselben (s. oben. S. 292) die Rede gewesen ist, ist nun noch übrig einige besondere Arten von Starre zu erwähnen, zugleich mit der Erörterung, ob und wie weit dieselben von der spontanen Starre abweichen.

Vollkommen übereinzustimmen scheint mit der spontanen Starre dieselbe Temperaturgrenze vorausgesetzt die Wasserstarre, die

1 KÜHNE, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859. S. 231.

2 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XV. S. 471. 1877.

Summe der Veränderungen, welche eintreten, wenn der Muskel in destillirtes Wasser gelegt wird, oder noch rascher, wenn durch die Blutgefässe destillirtes Wasser getrieben wird. Man könnte von vornherein denken, dass etwa die Myosinausscheidung eine andere wäre wie bei der spontanen Starre, wie auch bei dem Eintropfen von Muskelplasma in destillirtes Wasser das ausgeschiedene Myosin als einfache Ausfällung von dem eigentlichen Product des fermentativen Gerinnungsprocesses verschieden sein könnte in der Art, dass bei passender Lösung aus jenem Wasser-Myosin wieder eine gerinnungsfähige Flüssigkeit sich gewinnen liesse; es ist aber auf diesen Punct noch nicht hinreichend geachtet worden. Möglicher Weise liegen indes bei dem Muskel die Dinge doch etwas anders als bei dem Muskelplasma, da der wirklichen Ausfällung des Myosins, an der Undurchsichtigkeit des Muskels zu erkennen, deutlich Zuckungen vorangehen, die lange bekannt und oft Gegenstand der Untersuchung gewesen sind (vgl. die allgem. Muskelphysik). Von den anderen Theilerscheinungen ist nur bekannt, dass der Gesamtverlust des Muskels an Kohlehydraten eben so gross ist wie bei der spontanen Starre, und dass sich Säure bildet. Der Muskel kann aber, wenn er schon ganz geschwollen und weiss ist, noch neutral reagiren (DU BOIS-REYMOND ¹), die ganze Menge der Säure entwickelt sich erst allmählich. Zur Aufklärung der Beziehungen der einzelnen Theilerscheinungen der spontanen Starre zu einander kann dieses Verhalten natürlich Nichts beitragen.

Von den der Starre ähnlichen Veränderungen, welche entstehen, wenn der Muskel direct mit gewissen dem Organismus ganz fremden oder in anderen Mengeverhältnissen zukommenden Substanzen in Berührung gebracht, oder selbige ihm durch das Blut zugeführt werden, — man könnte sie zusammenfassend als chemische Starre bezeichnen — lässt sich nichts Allgemeines sagen, es müsste jede einzelne Art, wie die von KÖLLIKER ² entdeckte Veratrinstarre, die von COZE ³, KUSSMAUL ⁴ und H. RANKE ⁵ beobachtete Chloroformstarre u. s. w. genau nach allen Richtungen hin untersucht werden. Da würden sich dann wahrscheinlich bedeutende Verschiedenheiten zwischen den äusserlich ganz gleich erscheinenden Arten finden. Nur die Säurestarre kennt man etwas näher. Man weiss durch KÜHNE

1 DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

2 KÖLLIKER, Arch. f. pathol. Anat. X. S. 259. 1856.

3 COZE, Compt. rend. XXVIII. p. 534. 1849.

4 KUSSMAUL, Prager Vjschr. II. S. 67. 1856 u. Arch. f. pathol. Anat. XIII. S. 289. 1858.

5 H. RANKE, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1867. S. 209.

und HERMANN von der Milchsäure, dass sie in starker Verdünnung den Eintritt der Todtenstarre beschleunigt, von den stärkeren Säuren ebenfalls in sehr verdünnter Form, nach Beobachtungen am Muskelplasma wie am frischen Muskel, dass sie anfangs Myosin fällen, im lebenden Muskel nach mehr oder minder heftigen Zuckungen, denn die verdünnten Säuren sind Muskelreize, dann aber das Myosin wieder lösen, so dass es jedenfalls nicht zum vollkommenen Bild der Starre kommt. Ein nachträgliches theilweises Lockern des Myosingerinnsels soll nach KÜHNE auch die in dem Muskel selbst entwickelte Milchsäure bewirken können, daher der todtenstarre Muskel schon wieder weicher wird, bevor es zur lösenden Fäulniss kommt. Wie bei Behandlung mit verdünnten Mineralsäuren die übrigen Theilerscheinungen sich entwickeln, ist unbekannt, doch lassen schon J. MUNK's Angaben über die grosse Empfindlichkeit des zuckerbildenden Fermentes vermuthen, dass die Entwicklung nicht vollkommen ist. Damit stimmt auch überein, dass es bei den stärkeren Säuren nicht zur Kohlensäureentwicklung kommt, nur zum Freiwerden der früher erwähnten fest gebundenen. Einzig in Kohlensäure scheint nach den übereinstimmenden Mittheilungen von G. VON LIEBIG¹, J. RANKE² und HERMANN³ die Erstarrung vollkommen zu werden und zwar rascher als in atmosphärischer Luft. Auch kommt es hier nach HERMANN sicher zur Bildung von Milchsäure, und ist der Kohlehydratverlust nach O. NASSE⁴ sicher eben so gross wie bei dem in atmosphärischer Luft erstarrten Muskel, nur scheinen in den späteren Zeiten der Starre, lange nach der vollständigen Gerinnung des Myosins, die einzelnen Prozesse nicht mehr in derselben Weise neben einander zu verlaufen wie bei normaler Erstarrung.

1 G. v. LIEBIG, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1850. S. 393.

2 J. RANKE, *ibid.* 1864. S. 320.

3 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln S. 54. Berlin 1867.

4 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XV. S. 471. 1877.

ZWEITES CAPITEL.

Der Stoffwechsel der Muskeln.

Einleitung.

Die Untersuchungsmethoden.

Die Methoden der Erforschung des Stoffumsatzes in dem Muskel sind für die beiden zu unterscheidenden Zustände desselben: Ruhe und Thätigkeit im Wesentlichen die gleichen, wenn sich auch die eine für diesen, die andere für jenen Zustand mehr oder ausschliesslich eignet. Es sind in erster Linie Beobachtungen angestellt an den ausgeschnittenen Muskeln selbst, indem die chemische Zusammensetzung von entsprechenden Muskeln beider Körperhälften eines Thieres oder mindestens von zwei möglichst gleichen Individuen derselben Thierspecies in verschiedenen Zuständen, wie in Ruhe oder nach geringerer oder grösserer Arbeitsleistung, ermittelt wurde. Es leiden aber die meisten nach dieser von HELMHOLTZ¹ begründeten Untersuchungsweise angestellten Beobachtungen an einem doppelten Fehler, auf welchen HERMANN² zuerst aufmerksam gemacht hat. Einestheils hat das Studium der Bedingungen für die Todtenstarre gelehrt, dass Contractionen die Entwicklung der Starre beschleunigen; man wird also im günstigsten Falle, d. h. wenn man, falls dies überhaupt möglich ist, beide mit einander zu vergleichenden Muskeln in einem bestimmten Momente brüht, wodurch man also die eigentlichen Fermentvorgänge unterbricht, nur einen ruhenden Muskel mit einem sowohl durch Contractionen als auch durch Starre veränderten Muskel vergleichen, den Antheil der durch die Thätigkeit veranlassten Veränderungen nur schwer oder gar nicht bestimmen können. Dieser Antheil liesse sich überhaupt nur bestimmen, wenn die Veränderungen durch Thätigkeit und Erstarrung verschieden wären; das scheint aber nach dem bei der Starre bereits Besprochenen nicht der Fall zu sein, insofern die Grösse der überhaupt zu messenden Zersetzungen in einem erstarrten Muskel dieselbe bleibt, wenn er erst nach langen

1 HELMHOLTZ, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1845. S. 72.

2 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln S. 84. Berlin 1867.

heftigen Contractionen starr wird. Werden nun aber die Muskeln nicht gebrüht, und dieser zweite Fehler ist eben sehr häufig oder meist begangen worden, sind also die Prozesse in dem ausgeschnittenen absterbenden Muskel sämmtlich nicht unterbrochen, so werden nun beide Muskeln während der Vorbereitungen zur Untersuchung, die nur bei der Prüfung der Reaction so gut wie keine Zeit in Anspruch nehmen, starr, und es wird sich entweder gar kein Unterschied zeigen, oder ein Unterschied wie zwischen zwei in verschiedenen Stadien der Starre befindlichen Muskeln, da ja in dem thätiger gewesenem Muskel die Starre in allen ihren Theilerscheinungen sich rascher entwickelt. Sichere Schlüsse auf die Vorgänge bei der Thätigkeit des Muskels lassen sich hieraus natürlich nicht ziehen.

Man kann aber auch zwei Muskeln, die bei erhaltener Circulation eine Zeit lang in verschiedenen Thätigkeitszuständen sich befunden hatten, auf ihre Zusammensetzung mit einander vergleichen. Da ist denn auch wieder zur Vermeidung des zuletzt gedachten Fehlers nach dem Ausschneiden der Muskeln durch sofortiges Brühen wenigstens ein Theil der weiteren Zersetzungen abzuschneiden, und bei der Beurtheilung von etwa gefundenen Unterschieden die Würdigung der Wirkung des Blutstromes, der vielleicht Zersetzungsproducte wegführt, neue Stoffe dafür zuführt, nicht zu vergessen.

Eine zweite von LUDWIG¹ eingeführte Methode sucht den Stoffumsatz im Muskel durch Untersuchung des ein- und austretenden Blutes zu ermitteln, hat übrigens bis jetzt fast nur zur Kenntniss der Muskelathmung beigetragen.

Die dritte Methode endlich, die wohl von LEHMANN² zuerst in ausgedehnterem Maasse benutzt ist, vergleicht miteinander, wenn sie vollkommen ist, unter Berücksichtigung der Einnahmen, die Ausgaben des Gesamtorganismus bei Thätigkeit, bei Ruhe und unter Ausschaltung eines Theiles oder sämmtlicher willkürlicher Muskeln.

Die verschiedenen Methoden controliren sich nicht nur, sondern sie ergänzen sich auch; das ist sehr wichtig, weil durch einige nur der eine Theil des aus Verbrauch und Ersatz bestehenden Stoffwechsels zu verfolgen ist. Auch muss noch besonders bemerkt werden, dass die Ergebnisse des Gesamtstoffwechsels nur dann verwerthbar sind, wenn sie mit den Resultaten der anderen Untersuchungen übereinstimmen; wichen sie ab, so wäre an eine Compensation

1 SCZELKOW, Sitzungsber. d. Wiener Acad. Mathem.-naturwiss. Cl. XLV. S. 171. 1862.

2 C. G. LEHMANN, R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. II. S. 21. Braunschweig 1844.

durch gleichzeitige Veränderungen des Stoffwechsels in anderen Organen zu denken.

Die chemischen Veränderungen des Muskels sollen nun wie bei der Starre an den einzelnen Bestandtheilen in der früheren Reihenfolge besprochen werden, nur soll der Einzelbesprechung die Darstellung des Gaswechsels des Muskels vorausgeschickt werden, theils weil derselbe für die Erkenntnis der Vorgänge im Muskel von grosser Wichtigkeit ist, theils weil so am wenigsten über den nicht ohne Weiteres klaren Zusammenhang des Gaswechsels mit den anderen Zersetzungen präjudicirt wird.

I. Der Stoffumsatz in der Ruhe.

Die Trägheit des Umsatzes in der Ruhe erschwert nicht unbedeutend die Erforschung desselben, macht eine Verwendung der Kaltblüter mit ihrem an und für sich schon langsamem Stoffwechsel fast ganz unthunlich. Die Möglichkeit den Stoffwechsel des ruhenden Muskels zu ermitteln ist aber dadurch gegeben, dass er einerseits noch mehr geschwächt, und andererseits, ohne dass es zur Thätigkeit kommt, verstärkt werden kann. Die Schwächung wird hervorgebracht durch Trennung des Muskels von den nervösen Centralorganen, sei es mechanisch, sei es durch Gifte. Schon ein ausgeschnittener Muskel mit langem Nerven stirbt eher ab, als wenn der Nerv dicht an der Eintrittsstelle abgeschnitten ist (H. MUNK¹), und noch rascher, wenn er in Verbindung geblieben mit dem Rückenmark. Die hauptsächlichsten Beweise für eine fortwährend von den Centralorganen ausgehende Anregung des Stoffwechsels werden erst durch die unten anzuführenden, von RÖHRIG und ZUNTZ, PFLÜGER, COLASANTI, CHANDELON u. A. ermittelten Thatsachen geliefert. Dieser Tonus, chemischer Tonus, wie RÖHRIG und ZUNTZ ihn nennen, in welchem sich der normale Muskel im Körper stets befindet, ist ein Reflextonus, und kann daher herabgesetzt werden sowohl in seinem centrifugalen Theile, wie bereits bemerkt, durch mechanische Trennung des Muskels von den Centralorganen oder Lähmung der Muskelnerven durch Curare, Morphinum u. s. w., wie auch in seinem centripetalen Theile durch Verminderung der den Tonus auslösenden Reize, so u. A. durch Gleichmachen der Temperatur der Haut und ihrer Umgebung. Umgekehrt ist es auch möglich von der Peripherie her den Tonus und so den Stoffumsatz des Muskels zu verstärken, so von den Hautnerven aus vermittelt Reizung durch Abkühlung, von dem Opticus

1 H. MUNK, Allg. med. Centralztg. 1860. Nr. 8.

aus mittelst Belichtung u. s. w. Auch durch vermehrte Spannung lässt sich der Stoffwechsel, wie HEIDENHAIN's¹ Untersuchungen gelehrt haben, nicht unbedeutend erhöhen.

1. Der Gaswechsel des ruhenden Muskels.

Die erste Gruppe der hierher gehörigen Untersuchungen bezieht sich auf ausgeschnittene Muskeln kaltblütiger Thiere, von denen aber aus den besprochenen Gründen von vornherein wenig zu erwarten ist. Alle Beobachter: DU BOIS-REYMOND², G. VON LIEBIG³, VALENTIN⁴, MATTEUCCI⁵, HERMANN⁶ stimmen darin überein, dass der ruhende Muskel Kohlensäure abgibt, und zwar unabhängig vom Blutgehalt, sowie auch in sauerstofffreien Gasgemengen. Ebenso ist auch zuerst von LIEBIG und dann weiter von den anderen genannten Autoren mit immer mehr vervollkommenen Methoden eine Sauerstoffaufnahme, ebenfalls unabhängig vom Blutgehalt, dargethan worden. Nun zwingen aber schon VALENTIN's, von HERMANN durch ganz exacte Versuche bestätigte Angaben über einen, dem beschriebenen ähnlichen Gaswechsel des absterbenden, des abgestorbenen und sogar des faulen Muskels zur grössten Vorsicht in der Verwendung jener Thatsachen. HERMANN bezieht in Folge dessen den Gaswechsel des ausgeschnittenen Muskels, den er mit Vergrösserung der Oberfläche zunehmen sah, wesentlich auf faulige Prozesse, die hauptsächlich auf der Oberfläche des Muskels und weiter auf freien Schnittflächen verlaufen. Dies gilt ganz besonders für den Sauerstoffverbrauch. Einem möglicher Weise zu machenden Einwande, dass die Versuche mit Vergrösserung der Oberfläche gar nicht beweisend seien, weil ja selbstverständlich dadurch die Aufnahme des Sauerstoffs erleichtert werde, begegnet HERMANN durch den Vergleich mit frischen, wärme- oder wasserstarren Muskeln, der keinen Unterschied in dem Sauerstoffverbrauch ergab. Immerhin darf eine physiologische Sauerstoffaufnahme seitens des ausgeschnittenen Froschmuskels, der geringen Menge wegen übrigens der Bestimmung sich vollkommen entziehend, doch nicht ganz geleugnet werden. Für dieselben sprechen die schon von ALEXANDER VON HUMBOLDT⁷ und ferner von LIEBIG und von

1 R. HEIDENHAIN, Mechanische Leistung etc. bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864.

2 DU BOIS-REYMOND, mündliche Mittheilung an G. v. LIEBIG, in des letzteren Arbeit angeführt.

3 G. v. LIEBIG, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1850. S. 393.

4 VALENTIN, Arch. f. physiol. Heilk. XIV. S. 431. 1855.

5 MATTEUCCI, Compt. rend. I. 1856.

6 L. HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln. Berlin 1867.

7 A. v. HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern II. S. 282. Posen u. Berlin 1797.

HERMANN gemachten Beobachtungen über die längere Erhaltung der Lebereigenschaften des Muskels in sauerstoffhaltigen Gasgemischen gegenüber solchen, die frei von Sauerstoff sind, natürlich aber nur indifferente Gase wie Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenoxyd enthalten. Dünne Muskeln, wie z. B. den Sartorius sah HERMANN in Sauerstoff eher absterben als in Wasserstoff, und erklärt diese Erscheinung durch ein Ueberwiegen der die Fäulnis begünstigenden und den dünnen Muskel in seiner ganzen Masse rasch zerstörenden Wirkung über die erhaltende des Sauerstoffs. Wie die Sauerstoffaufnahme so stammt auch gewiss die Kohlensäurebildung, wenn nicht ganz, so doch zum grossen Theil, von Fäulnisprozessen an der Oberfläche des Muskels, eine neue Complication tritt hier aber ein durch die oben mitgetheilte Kohlensäurebildung in dem erstarrenden Muskel. Der Vieldeutigkeit der Resultate wegen ist die ganze Untersuchungsmethode überhaupt wohl aufzugeben.

Wer zuerst venöses Blut aus den Muskelvenen hat ausfliessen gesehen, lässt sich nicht mehr feststellen. CL. BERNARD¹ bemerkt bei Anführung der Thatsache selbst, dass der durch Nervendurchschneidung gelähmte Muskel ein weniger dunkles Venenblut besitze, ohne jedoch auf eine Erklärung dieses Falles von bis unter die Ruhe herabgesetztem Stoffwechsel einzugehen. Die wichtigsten der in diese zweite Gruppe gehörigen Untersuchungen sind im LUDWIG'schen Laboratorium gemacht worden. Zunächst arbeitete SCZELKOW² mit dem (ruhenden) Muskel des lebenden Thieres, das einströmende arterielle Blut (A) mit dem aus der Vena profunda femoris ausströmenden (VR) vergleichend auf seinen mittelst der Gaspumpe von LUDWIG ermittelten Gasgehalt. Es wurden folgende Werthe für den Gehalt des Blutes an Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure (locker- und festgebundene), in Volumprocenten des Blutes berechnet auf 0⁰ und 1 Meter Quecksilberdruck erhalten.

		O	N	ΣCO_2	$Q = \frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
Vers. 1	A	16,289	0,931	28,389	
	VR	8,217	0,951	34,260	
Vers. 2	A	12,083	1,108*	27,103	
	VR	4,389	1,080	34,404	0,949
	VB	4,680	1,318	39,530	1,679
Vers. 5	A	17,334	1,636	24,545	
	VR	7,500	1,364	31,586	0,716
	VB	1,265	0,923	34,881	0,643

¹ CL. BERNARD, Leçons sur les propriétés des tissus vivants p. 221. Paris 1857.

² SCZELKOW, Sitzungsber. d. Wiener Acad. Mathem.-naturwiss. Cl. XLV. S. 171.

Es findet hiernach in den ruhenden Muskeln fortwährend eine lebhaft Kohlensäurebildung statt, im Mittel aus allen Versuchen SCZELKOW's eine Zunahme um 6,71 % in dem durchströmenden Blute, und auch ein starker Sauerstoffverbrauch, im Mittel eine Abnahme von 9 % im Blute.

LUDWIG und A. SCHMIDT¹ schlugen dann ein neues Verfahren ein, dessen Princip darin bestand, einen künstlichen Strom frischen, faserstofffreien Blutes desselben Thieres, 18—20° C. warm, durch die eben ausgeschnittenen Muskeln, *M. biceps* und *semitendinosus* vom Hunde, zu leiten und wiederum die Veränderung dessen Gasgehaltes auf dem Wege durch den Muskel festzustellen. Die Versuche betrafen somit Muskeln mit stark herabgesetztem Stoffwechsel, denn zu der Trennung derselben von den Centralorganen kommt noch die abnorm niedere Temperatur. Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureabgabe war auch hier zu erkennen, durchschnittlich aber im Verhältnis zur Sauerstoffaufnahme eine grössere Kohlensäurebildung als in der Versuchsreihe von SCZELKOW. Auch beim Durchleiten von sauerstofffreiem Blut fand noch Kohlensäureabgabe statt. LUDWIG und SCHMIDT schliessen hieraus auf eine dem ausgeschnittenen Muskel eigenthümliche, mit dem Absterben einhergehende Kohlensäurebildung, entsprechend der von HERMANN am ausgeschnittenen Froschmuskel nachgewiesenen. Eine Abhängigkeit, Wachsen, des Sauerstoffverbrauches von der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes, wie sie LUDWIG und SCHMIDT behaupteten, findet nach PFLÜGER's² theoretischen Auseinandersetzungen und experimentellen, hauptsächlich von D. FINKLER³ beigebrachten Beweisen nicht statt, es ist der Sauerstoffverbrauch, natürlich innerhalb gewisser Grenzen, unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit.

Auch die letzte Versuchsreihe aus dem LUDWIG'schen Laboratorium von MINOT⁴ betrifft den ausgeschnittenen Muskel des Hundes. Es wurde hier durch denselben nur Blutserum geleitet und zwar fast sauerstofffrei, und dessen Kohlensäuregehalt erhöht gefunden, vorausgesetzt, dass das eintretende Serum nicht mehr Kohlensäure enthielt, als nach Schütteln mit Sauerstoff zurückbleibt. Im anderen Falle konnte die Kohlensäureabgabe seitens des Muskels verhindert, ja sogar Kohlensäure von dem Serum an den Muskel abgegeben werden. Wie weit bei diesen Versuchen die Kohlensäurebildung,

1 E. LUDWIG u. A. SCHMIDT, Arbeiten a. d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 3. Jahrg. 1868. S. 1. Leipzig 1869.

2 PFLÜGER, Arch. f. d. ges. Physiol. VI. S. 48. 1872 und X. S. 251. 1875.

3 D. FINKLER, *ibid.* X. S. 368. 1875.

4 MINOT, Arb. a. d. physiol. Anstalt z. Leipzig. XI. Jahrg. 1876. S. 1. Leipzig 1877.

deren Unabhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme wieder sehr bemerkbar ist, von der unzweifelhaft im Muskel allmählich eintretenden, durch Blutzufuss wiederholt zu hebenden Starre abhängt, lässt sich nicht entscheiden.

Die dritte Gruppe von Beobachtungen, aus denen für die Athmung des ruhenden Muskels Schlüsse gezogen werden können, umfasst verschiedene, z. Th. ursprünglich zu ganz anderen Zwecken ausgeführte Arbeiten, alle aber betreffend den gesammten Gasaustausch des Körpers und zwar einerseits bei Ausschaltung von Muskelgruppen oder Herabsetzung des Stoffwechsels in einem Theil oder sämmtlichen Muskeln, andererseits unter Erhöhung des Stoffwechsels. Der Gedanke der Ausschaltung von Muskelgruppen findet sich zuerst bei LUDWIG und SCZELKOW¹, die angewendete Methode, Unterbrechung des Blutstromes durch Compression der Aorta führte indes nicht zum Ziele. Dagegen ist viel zu lernen aus den Untersuchungen bei herabgesetztem Stoffumsatz der Muskeln. Zuerst haben RÖHRIG und ZUNTZ² ein ganz enormes Sinken der Kohlensäureabgabe und Sauerstoffaufnahme in Folge von Curarevergiftung während künstlicher Respiration beobachtet, und zwar wie ZUNTZ³ in einer zweiten Mittheilung angibt, ein Sinken etwa auf die Hälfte der vor der Vergiftung erhaltenen Werthe. PFLÜGER⁴ bestätigte dies Verhalten, fand im Mittel den Sauerstoffverbrauch während einer energischen Curare-narkose um 35,2%, die Kohlensäureausscheidung um 37,4% bei Kaninchen verringert, und glaubt aus diesen so nahe bei einander liegenden Zahlen abnehmen zu dürfen, dass beide Prozesse in relativ gleicher Stärke durch die Vergiftung betroffen werden. Endlich hat COLASANTI⁵, als er auf PFLÜGER's Veranlassung reines und mit Curare versetztes Blut durch je einen Hinterschenkel eines Hundes leitete, Kohlensäurebildung und Sauerstoffaufnahme in beiden Fällen gleich gefunden, und so den strengen Beweis geliefert, dass es sich bei der Curarevergiftung nicht um eine unmittelbare Hemmung der Spaltungs- und Oxydationsvorgänge im Muskel, sondern nur um Aufhebung einer Einwirkung vom Rückenmark aus handelt.

Wie das Curare, so setzt auch das Morphinum nach den Mittheilungen von VON BOECK und J. BAUER⁶ sowie von JOLYET⁷ den Gas-

1 SCZELKOW, Sitzungsber. d. Wiener Acad. Mathem.-naturwiss. Cl. XLV. S. 171. 1862.

2 RÖHRIG u. ZUNTZ, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 57. 1871.

3 ZUNTZ, ibid. XII. S. 522. 1876.

4 PFLÜGER, ibid. XVIII. S. 247. 1878.

5 COLASANTI, ibid. XVI. S. 257. 1877.

6 VON BOECK und J. BAUER, Ztschr. f. Biologie X. S. 336. 1874.

7 JOLYET, Gaz. méd. d. Paris 1875. No. 7.

wechsel bedeutend herab; ob die Verhältnisse aber ganz so liegen, wie bei der Curarevergiftung, d. h. ob kein unmittelbarer Einfluss auf die Vorgänge in der Muskelsubstanz besteht, ist noch nicht klar gelegt. Es muss offenbar in jedem einzelnen Falle ein strenger Beweis verlangt werden, seitdem man eine Einwirkung der Alkaloide und verschiedener anderer Stoffe (s. oben S. 302) auf die Geschwindigkeit der Zersetzung des absterbenden Muskels kennen gelernt hat.

Die Curarevergiftung unterscheidet sich also nicht wesentlich von der mechanischen Trennung der Muskeln von den nervösen Centralorganen durch Durchschneidung der Nerven oder Durchschneidung des Rückenmarks an gewissen Stellen. Nach dieser Operation sahen ERLER¹, sowie PFLÜGER² bei Kaninchen ebenfalls ein bedeutendes Sinken des Gasumtauses, natürlich aber an Grösse zurückbleibend hinter der Abnahme des Gaswechsels bei der sämtliche willkürliche Muskeln betreffenden Curarevergiftung. Auch darf hier wohl erwähnt werden, dass VOIT³ die Kohlensäureausgabe eines durch Bruch des achten Brustwirbels in der unteren Körperhälfte gelähmten Mannes achtzehn Tage nach der Verletzung weit geringer fand, als seinem Körpergewicht und Ernährungsverhältnissen entsprach.

Der Tonus, unter welchem sich die Muskeln befinden, kann aber auch vermindert, und so der Stoffwechsel geschwächt werden durch Schwächung der auf die centripetalen Nerven wirkenden Reize. Die wiederholt gemachten Beobachtungen, dass bei Einwirkung von Wärme auf die Hautnerven, aber Erhaltung der Eigentemperatur der Stoffwechsel sinkt, sprechen für die reflectorische Natur des Tonus, doch liegt erst in dem Ausbleiben dieses Erfolges bei Curarevergiftung (RÖHRIG und ZUNTZ) und nach Durchschneidung des Rückenmarks (PFLÜGER) das Recht die erwähnten Beobachtungen in diesem Sinne zu verwerthen.

Unter die auf den Muskel zurückzuführenden Fälle von Herabsetzung des Stoffwechsels gehört endlich auch die während des Schlafes (auch Winterschlafes?) vorkommende, bei der übrigens hier unerörtert bleiben muss, wie weit neben dem Aufhören der Reize auf der Peripherie eine directe Beeinflussung der Centralorgane in Wirkung tritt.

Andererseits lässt sich auch eine Erhöhung des gesamten Gasaustausches erklären durch Mehrzerfall im Muskel, ohne dass es jedoch zu wirklichen Bewegungen kommt. Es ist möglich, dass durch Reizung der Endorgane jedes centripetalen Nerven der reflec-

1 ERLER, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1876. S. 557.

2 PFLÜGER, Arch. f. d. ges. Physiol. XII. S. 282 u. 333. 1876.

3 C. VOIT, Ztschr. f. Biologie XIV. S. 57. 1878.

torische Tonus verstärkt wird. Am längsten und besten bekannt ist die Vermehrung des Gaswechsels bei Reizung der Hautnerven durch Kälte, natürlich ohne Herabsetzung der Körpertemperatur. Dass es sich dabei in der That um eine Einwirkung auf die Muskeln handelt, die Athmung des Muskels verändert wird, haben wieder RÖHRIG und ZUNTZ durch Vergiftung mit Curare und PFLÜGER durch Durchschneidung des Rückenmarks bewiesen. In beiden Fällen blieb nun der Gaswechsel unverändert. Es ist wohl kein Zweifel vorhanden, dass auch bei dem Opticus und Acusticus, deren Erregung den Tonus der Muskeln so augenfällig verstärkt, und vielleicht auch bei den anderen Sinnesnerven sich der Beweis in dieser Art führen liesse. So lange er aber nicht geführt ist, dürfen, wie das oben schon für ähnliche Verhältnisse bei Herabsetzung des Stoffwechsels betont wurde, die betreffenden Thatsachen nicht zu Schlussfolgerungen benutzt werden.

Alle Untersuchungen dieses Abschnittes zusammengefasst, ergibt sich also in dem ruhenden Muskel ein nicht unbeträchtlicher Stoffumsatz, der sich in Abgabe von Kohlensäure und Aufnahme von Sauerstoff ausspricht.

2. Der übrige Stoffwechsel des ruhenden Muskels.

Ueber die Betheiligung der Eiweisskörper oder allgemeiner gesagt, der stickstoffhaltigen Bestandtheile des Muskels liegen, ausser einer Angabe von SCZELKOW¹ über Sinken des Kreatingehaltes in durch Abtrennung vom Rückenmark gelähmten Muskeln, welche, weil die anderen Angaben SCZELKOW's über die Physiologie des Kreatins von NAWROCKI² bestritten werden, doch sicher auch der Bestätigung bedürfte, nur einige Beobachtungen vor von Veränderung der Stickstoffausscheidung, das ist der Eiweisszersetzung des Gesamtorganismus, bei Herabsetzung und bei Erhöhung des Stoffwechsels der Muskeln in der zuletzt bei der Muskelathmung ausführlich besprochenen Weise. Schon als VON BOECK³ gefunden hatte, dass bei Morphinumvergiftung, während die Kohlensäureabgabe so bedeutend sinkt, die Stickstoffausscheidung nur ganz unbedeutend abnimmt, glaubte man zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass im ruhenden (unvergifteten) Muskel nicht viel stickstoffhaltiges, sondern wesentlich stickstofffreies Material zersetzt werde. Aber erst nachdem RÖHRIG und ZUNTZ und COLASANTI die Wirkung des Curares

1 SCZELKOW, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1866. S. 481.

2 NAWROCKI, *ibid.* S. 625.

3 VON BOECK, Zeitschr. f. Biologie VII. S. 418. 1871.

klar gelegt hatten, konnte zu einer Beweisführung dieses Satzes geschritten werden. Derselbe ist geliefert worden von VOIT¹: Bei einem curarisirten hungernden Hunde zeigte sich während der Lähmung keine Abnahme, ja sogar eine geringe Zunahme der Eiweisszersetzung.

Auch die Erhöhung des Stoffwechsels der Muskeln durch Einwirken der Kälte auf die Hautnerven, selbstverständlich wiederum so lange die Eigentemperatur sich nicht verändert, scheint nach LIEBERMEISTER'S² an Menschen bei gleicher Lebensweise und Diät angestellten Versuchen sich nur auf vermehrte Zersetzung stickstofffreier Substanzen nicht auf die stickstoffhaltiger zu erstrecken.

Kommen wir weiter zu den stickstofffreien Bestandtheilen des Muskels, so geht aus dem bei dem Gaswechsel, sowie soeben bei dem Eiweissumsatz Besprochenen schon hervor, dass stickstofffreie Verbindungen fortwährend im ruhenden Muskel zerfallen. VOIT spricht hierbei stets von Fettumsatz, aus der directen Untersuchung der Muskeln selbst geht aber nur ein Umsatz der Kohlehydrate hervor. Der Zunahme von Glykogen in gelähmten oder künstlich gewaltsam zur Ruhe gezwungenen Muskeln (M'DONNEL³ und OGLE⁴) ist früher schon gedacht worden. Eine eingehendere Untersuchung ist von CHANDELON⁵ angestellt, in welcher derselbe wie die genannten Autoren nach Nervendurchschneidung jedesmal eine mehr oder minder beträchtliche Vermehrung des Glykogens in den Muskeln (um 5 bis 172 %) findet, die er erklärt durch Aufhören des Verbrauchs in dem absolut ruhigen Muskel bei ungehinderter Neubildung, dagegen umgekehrt bei erhaltener Nervenverbindung des Muskels mit dem Rückenmark aber unterbrochener Circulation eine starke Verminderung des Glykogens, die er als normale Zersetzung bei gehinderter Neubildung deutet. Dass ABELES⁶ bei Curarevergiftung keine Zunahme des Glykogens bemerkte, ist bei der nur kurzen Beobachtungszeit nicht unverständlich. Da ferner auch BOEHM und HOFFMANN⁷ nach zu Tode führender Durchschneidung des Rückenmarks die Glykogenmenge der Muskulatur erhöht sehen, so darf wohl auf eine fortwährende, wahrscheinlich an Stärke wechselnde Zersetzung von Glykogen im ruhenden Muskel geschlossen werden. Wie diese

1 VOIT, Ztschr. f. Biologie XIV. S. 57. 1878.

2 LIEBERMEISTER, Deutsch. Arch. f. klin. Med. X. S. 90. 1869.

3 M'DONNEL, Americ. journ. of the medic. sciences XLVI. p. 523. 1863.

4 OGLE, St. George hospital reports III. p. 149. 1868.

5 CHANDELON, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 626. 1878.

6 ABELES, Wiener med. Jahrb. 1877. S. 551.

7 BOEHM und HOFFMANN, Arch. f. exper. Pathol. VIII. S. 375. 1878.

Zersetzung vor sich geht, insbesondere auch, ob dieselbe die Quelle der im Muskel gleichzeitig entstehenden Kohlensäure ist, wird im folgenden Abschnitte erörtert werden.

Zum Gesamtbild der Vorgänge im ruhenden Muskel gehört nun noch die bedeutende Wärmebildung in demselben, mit dem Stoffumsatz im Muskel zu- und abnehmend.

II. Der Stoffumsatz bei der Thätigkeit.

Es wird hier der ruhige Muskel mit dem thätigen verglichen in der gleichen Weise, wie in dem vorigen Abschnitt der im gewöhnlichen Sinne ruhende Muskel neben einen anderen, dessen chemischer Tonus verändert war, gestellt worden ist.

1. Der Gaswechsel des thätigen Muskels.

In der ersten Gruppe von Untersuchungen handelt es sich wieder um den ausgeschnittenen Muskel des Frosches. Kohlensäureabgabe und Sauerstoffaufnahme seien vermehrt in dem gereizten Muskel, berichtete zuerst MATTEUCCI¹ und nach ihm VALENTIN², letzterer jedoch mit dem Zusatze, dass die Sauerstoffaufnahme nicht in gleichem Maasse zunehme wie die Kohlensäureabgabe. Beide Prozesse sind also auch getrennt zu behandeln; hierbei ist hauptsächlich HERMANN's eingehende, auch auf den entbluteten Muskel sich erstreckende Untersuchung zu Grunde zu legen.

Was den Sauerstoff angeht, so ist von DU BOIS-REYMOND⁴ zuerst die Vermuthung ausgesprochen, dass die Bewegung des gereizten Muskels, durch die derselbe beständig mit neuen Luftschichten in Berührung komme, die Ursache der vermehrten Sauerstoffaufnahme sei. HERMANN schüttelte, um die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen, während ein Muskel tetanisirt wurde, einen anderen entsprechenden mit Luft und Quecksilber, und fand in der That bei letzterem die Sauerstoffaufnahme gleich, ja sogar noch grösser. Auch DANILEWSKI⁵, der zwei Muskeln gleich belastete, und den einen den Zuckungen des anderen entsprechend bewegte, sah keinen Unterschied in der Sauerstoffaufnahme. Weiter fand HERMANN, dass im Gegensatze zu dem ruhenden Muskel der tetanisirte in Sauerstoff kaum

1 MATTEUCCI, Compt. rend. I. 1856.

2 VALENTIN, Arch. f. physiol. Heilk. N. F. I. S. 285. 1857.

3 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. Berlin 1867.

4 DU BOIS-REYMOND, De fibrae muscularis reactione etc. S. 33. Berolini 1859.

5 DANILEWSKI, Centrabl. f. d. med. Wiss. 1874. S. 721.

länger erregbar ist als in Wasserstoff, und folgte aus alledem, dass die Möglichkeit einer vermehrten Sauerstoffaufnahme seitens des ausgeschnittenen thätigen Muskels nicht ganz von der Hand zu weisen, dieselbe aber jedenfalls nicht bedeutend und mit den gebräuchlichen Methoden nicht messbar wäre.

Die vermehrte Ausscheidung der Kohlensäure dagegen sah HERMANN und ebenso DANILEWSKI bei den Schüttelversuchen zu Gunsten des tetanisirten Muskels bleiben. Auch aus Muskeln im Vacuum befindlich vermochte dann HERMANN während und nach dem Tetanus mehr Kohlensäure zu gewinnen als durch dieselben Mittel während der Ruhe. Daraus folgt die Unabhängigkeit der Kohlensäurebildung von der Sauerstoffzufuhr, auf die schon G. VON LIEBIG's Beobachtungen an gereizten Muskeln in sauerstofffreien Gasgemengen hindeuteten. Der gleiche Gehalt frischer wie tetanisirter Muskeln an fest gebundener Kohlensäure lehrte ferner, dass es sich nicht bloss um Entbindung eines bereits vor dem Tetanus vorhandenen festgebundenen Kohlensäure-Vorrathes handelt, sondern um eine wirkliche Neubildung von Kohlensäure während des Tetanus. Endlich kann auch noch die Thatsache, dass tetanisirte Muskeln bei nachträglichem Erstarren an das Vacuum weniger Kohlensäure (HERMANN) und ebenso bei nachträglichem Kochen mit Wasser weniger Kohlensäure abgeben (STINTZING ¹), für die Kohlensäurebildung bei Tetanus angezogen werden.

Bei den Untersuchungen der Blutgase des thätigen Muskels begegnen uns nächst einer Bemerkung von CL. BERNARD ² über dunklere Färbung des venösen Blutes bei Reizung des Muskels wieder wesentlich die Arbeiten von LUDWIG und seinen Schülern, und zwar zuerst die von SCZELKOW, die nach dem Studium der Vorgänge in dem ruhenden Muskel des lebenden Thieres sich auch dem thätigen zuwendet. Die Tabelle auf S. 311, in welcher mit VB das venöse Blut aus dem contrahirten Muskel bezeichnet wird, lässt deutlich erkennen, dass durch Muskelzusammenziehung der Kohlensäuregehalt des venösen Blutes wächst. Der Unterschied in der Kohlensäureausscheidung wird noch erheblicher, wenn man berücksichtigt, dass die mittlere Geschwindigkeit des Blutes, wie LUDWIG und SCZELKOW bei dieser Gelegenheit fanden, im zuckenden Muskel bedeutend grösser ist als im ruhenden. Auch der Sauerstoffverbrauch des gereizten Muskels ist grösser als der des ruhenden, doch wächst er nicht in gleichem Maasse, so dass das Verhältniss der gebildeten Kohlensäure

¹ STINTZING, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 388. 1878.

² CL. BERNARD, Leçons sur les propriétés des tissus vivants p. 221. Paris 1857.

zu dem verschwundenen Sauerstoff, (Q) der respiratorische Quotient, wie ihn PFLÜGER nennt, meist zunimmt. Die von BERNARD angegebene dunklere Färbung des venösen Blutes konnte SCZELKOW nicht immer bestätigen.

LUDWIG und SCHMIDT¹ fanden im Gegensatz zu SCZELKOW die Kohlensäurebildung des ausgeschnittenen Muskels bei der Contraction nicht jedes Mal erhöht, auch den Sauerstoffverbrauch nicht constant erhöht, auch keine Veränderung des respiratorischen Quotienten.

Auch nach MINOT's² Versuchen beim Durchleiten von Blutserum durch den ausgeschnittenen Muskel ist der Sauerstoffverbrauch im thätigen Muskel nur unbedeutend höher als im ruhenden, die Kohlensäureabgabe aber gar nicht vermehrt, so dass MINOT meint, dass Kohlensäure überhaupt nicht zu den Zersetzungsproducten gehöre, welche sich im Muskel während seiner Contraction bilden.

In der dritten Gruppe, behandelnd den gesammten Gasaustausch bei Ruhe und bei Thätigkeit, treffen wir von LAVOISIER und SEGUIN³ ab, welche zuerst bei Versuchen von SEGUIN an sich selbst angestellt einen Mehrverbrauch von Luft d. i. Sauerstoff als Folge ausgeführter Körperbewegungen beobachtet haben, und weiter von den ersten exacten Experimenten von REGNAULT und REISET⁴ ab, eine grosse Anzahl von Untersuchungen mit grösserer oder geringerer Genauigkeit, mit und ohne Berücksichtigung der gleichzeitigen Aufnahmen angestellt, sich erstreckend auf niedere und höhere Thiere, wie insbesondere auch auf den Menschen, zum Theil längere Zeit vor und nach der Arbeitsleistung den Organismus beobachtend und zum Theil auch die Grösse der geleisteten Arbeit nach Möglichkeit messend. Die Resultate derselben stimmen mit denen der Arbeiten der ersten und zweiten Gruppe, wenn man absieht von denen der MINOT'schen Versuche, die doch vielleicht in den ganz besonderen abnormen Verhältnissen, in welchen sich die Muskeln befanden, ihre Erklärung finden werden, darin überein, dass bei der Thätigkeit der Muskeln Kohlensäure gebildet wird und zwar in hohem Grade unabhängig von der Sauerstoffaufnahme. Aus allen Untersuchungen zusammen genommen folgt sogar eine vollkommene Unabhängigkeit der Kohlensäurebildung im thätigen Muskel von der gleichzeitigen Sauerstoffaufnahme.

1 LUDWIG und SCHMIDT, Arbeiten aus der physiolog. Anstalt zu Leipzig. 3. Jahrg. 1868. S. 1. Leipzig 1869.

2 MINOT, dieselben. 11. Jahrg. 1876. S. 1. Leipzig 1877.

3 LAVOISIER, Mém. de l'Acad. des sciences 1785. p. 575 u. 1789. p. 185, nach Oeuvres de LAVOISIER, p. 688 u. 696. Paris 1862.

4 REGNAULT et REISET, Recherches chim. sur la respir. des animaux de div. cl. Paris 1849.

2. Der übrige Stoffwechsel des thätigen Muskels.

Ueber das Verhalten der Eiweisskörper bei der Thätigkeit der Muskeln geben die an dem Muskel selbst angestellten Beobachtungen im Ganzen nur wenig Aufschluss. Die schon mehrfach berührten Analogieen zwischen Contraction und Starre haben HERMANN¹ veranlasst, eine Myosingerinnung bei der Contraction für möglich oder sogar wahrscheinlich zu erklären, übrigens mit dem ausdrücklichen Zusatze, dass es für den Nachweis eines solchen Gerinnsels einstweilen keine Mittel gebe. Einzig könnte für diese Vermuthung eine mikroskopische Erscheinung angeführt werden, die darin besteht, dass an den knotenförmigen Contractionsstellen der Muskelfasern, wie solche in dem absterbenden, aber noch contractionsfähigen Muskel verschiedener Thiere leicht entstehen und sich darin fixiren lassen (FLÖGEL²), bei Anwendung der gebräuchlichen als Fibrillenbildner zu bezeichnenden Reagentien die Fibrillen sich weit weniger leicht von einander ablösen als an den in Ruhe befindlichen Theilen der Faser (O. NASSE³). Es sei hier auch noch erwähnt, dass auch der todtenstarre Muskel mit denselben Mitteln untersucht weniger leicht in Fibrillen zerfällt als ein in Alkohol oder Salicylsäure u. s. w. ohne Entwicklung der Starre getödteter Muskel. Während aber die besprochenen fixirten Contractionsstellen auch in Bezug auf die feinere Structur der Muskelfaser Veränderungen erkennen lassen, ist bei dem todtenstarren Muskel die Lage der Querstreifen in allen ihren Einzelheiten dieselbe geblieben.

Eine Verminderung des Eiweissgehaltes der Muskeln in Folge ihrer Thätigkeit ist von J. RANKE⁴ behauptet worden, HERMANN⁵ hat aber überzeugend nachgewiesen, dass dies aus den betreffenden Versuchsreihen keineswegs hervorgeht, ja dass dieselben zum Theil sogar gradezu als ein Beweis dafür gelten dürfen, dass kein Stickstoff aus dem Muskel bei der Contraction ausgeschieden wird. Anders steht es mit einer Arbeit von NAWROCKI⁶, in welcher die Eiweissstoffe durch Ueberführen in Natronalbuminat bestimmt worden sind, aber NAWROCKI legt selbst auf die sich dabei herausstellende Steigerung des Eiweisszerfalles „um ein Geringes“ der weiten Fehler-

1 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. Berlin 1867.

2 FLÖGEL, Arch. f. microscop. Anat. VIII. S. 69. 1872.

3 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. XVII. S. 282. 1878.

4 J. RANKE, Tetanus S. 199. Leipzig 1865.

5 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. S. 88. Berlin 1867.

6 NAWROCKI, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1866. S. 385.

grenzen wegen so wenig Werth, dass auch hier eine eingehende Besprechung nicht erforderlich ist.

Nun könnte eine Vermehrung der stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte im Muskel unter gewissen Umständen, so ganz besonders im ausgeschnittenen Muskel für einen erhöhten Eiweisszerfall beweisend sein. Im Gegensatz zu früheren Angaben über Vermehrung des Kreatins im arbeitenden Muskel stellt aber NAWROCKI¹ dieselbe nach unanfechtbaren Versuchen auf das Bestimmteste in Abrede, ja VOIT² findet sogar eine Abnahme des Kreatins im thätigen Muskel, die aber ebenso wie die Abnahme des Kreatins bei der hier natürlich auch noch störend hinzutretenden Starre als Fäulnisserscheinung gedeutet werden muss.

Während die sich auf den Stickstoff des Muskels selbst beziehenden Untersuchungen wenig zahlreich und noch weniger erfolgreich gewesen sind, steht es anders mit den Bemühungen aus dem Gesamtstoffwechsel Aufschluss über das Verhalten der Eiweisskörper während der Thätigkeit zu erhalten. Die Literatur dieses Abschnittes der Physiologie geht mit den Arbeiten von J. FR. SIMON³ und C. G. LEHMANN⁴ beginnend, die beide von einer Vermehrung der Harnstoffausscheidung bei körperlichen Anstrengungen berichteten, bis auf die allerneueste Zeit. Die Angaben stimmen zum Theil mit denen von SIMON und LEHMANN überein, wiederholt wurde aber auch mit grosser Bestimmtheit eine solche Vermehrung in Abrede gestellt, so von MOSLER⁵, von DRAPER⁶ u. A. In den zusammenstellenden Referaten der Lehrbücher ist aber eigenthümlicher Weise Resultaten der letzteren Art wenig Gewicht beigelegt worden. Eine entschiedene Wendung erhielt die Angelegenheit, als die Bedingungen, unter welchen derartige Versuche gemacht werden müssen, klar gelegt wurden. Der zu dem Versuche dienende Organismus soll sich entweder, wie BISCHOFF und VOIT⁷ lehrten, im Stickstoffgleichgewicht der Einnahmen und Ausgaben befinden, oder nach VOIT⁸ im Eiweiss hungerzustand, weil kein anderes Moment auf die Eiweisszer-

1 NAWROCKI, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1865. S. 417.

2 C. VOIT, Ztschr. f. Biologie IV. S. 77. 1868.

3 J. FR. SIMON, Handb. d. angewand. medic.-Chemie II. S. 368. Leipzig 1842.

4 C. G. LEHMANN, Wagner's Handwörterb. d. Physiol. II. S. 21. Braunschweig 1844.

5 MOSLER, Beiträge zur Kenntniss der Urinabsonderung u. s. w. Dissert. Giessen 1853.

6 DRAPER, New-York Journal. March. 1856.

7 BISCHOFF und VOIT, Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers. Leipzig u. Heidelberg 1860.

8 VOIT, Unters. über den Einfluss des Kochsalzes u. s. w. auf den Stoffwechsel. München 1860.

setzung von grösserem Einfluss ist als die Eiweisszufuhr. Alle ohne Erfüllung dieser Voraussetzungen angestellten Experimente können hiernach entweder gar nicht, oder nur mit grosser Beschränkung bei der Lösung der vorliegenden Frage in Betracht kommen. Es ergeben nun die Versuche von VOIT, in welchen ein Hund im Stickstoffgleichgewicht und im Hungerzustande Arbeit (Laufen im Tretrade) leisten musste, nur unbedeutende Vermehrung der Harnstoffausscheidung. Dem offenbar nicht unberechtigten Einwurf von MEISSNER¹, dass der Stickstoff vielleicht bei der Arbeit in anderen Formen aus dem Körper ausgeschieden würde als in der Ruhe, begegnete eine neue Versuchsreihe von VOIT² mit directer Stickstoffbestimmung der Harnbestandtheile des hungernden Hundes, die zweifellos feststellte, dass auch die stärkste körperliche Anstrengung die Eiweisszersetzung nicht wesentlich vermehrt. PETTENKOFER und VOIT³ haben auch ebenso genaue Versuche mit Menschen angestellt, und an zwei Hungertagen, an welchen nur etwas Fleischextract, 1,69 Grm. am Ruhetage, 1,31 am Arbeitstage, genossen wurde, gefunden in Grm.

N-Ausgabe

bei Ruhe 12,26

bei Arbeit 12,27

und ebenso bei mittlerer Kost eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen der Stickstoffeinnahme und Ausgabe. Das erste VOIT'sche Resultat wurde also auch hier bestätigt. Verschiedene gegen diese Arbeiten erhobene Einwände, wie der von PARKES⁴, dass der Stickstoff möglicher Weise erst in der der Arbeit folgenden Ruhe den Körper verlasse, sowie der grade entgegengesetzte von J. RANKE⁵, dass die Stickstoffausscheidung in der Ruhe nach der Arbeit um so geringer werde, haben durch die Ausdehnung der VOIT'schen Versuche auf eine längere Reihe von Tagen ihre Erledigung gefunden. Die kleine nicht wegzuleugnende Vermehrung der Eiweisszersetzung, die so oft gefunden worden ist, und sich auch in den ersten VOIT'schen Versuchen bemerklich macht, ist nach VOIT eine normale Erscheinung wenn die stickstofffreien Substanzen in der Nahrung und im Körper in zu geringer Menge vorhanden sind, und findet ebenso wie der unter denselben Verhältnissen zur Beobachtung kommende erhöhte ursprüngliche Eiweisszerfall eine genügende, aber erst später zu be-

1 MEISSNER, Bericht über die Fortschritte der Anatomie u. Physiologie im J. 1860 S. 374. Leipzig u. Heidelberg 1862.

2 VOIT, Ztschr. f. Biologie II. S. 307. 1866.

3 PETTENKOFER und VOIT, Ztschr. f. Biologie II. S. 459. 1866.

4 PARKES, Proceed. Roy. Soc. XV. p. 339. 1867.

5 J. RANKE, Tetanus S. 304. Leipzig 1865.

gründende Erklärung darin, dass das stickstofffreie Material, welches bei der Contraction der Muskeln verbraucht wird, in diesen Fällen ganz oder zum Theil von den Eiweisskörpern gebildet werden muss.

Es ist dann zu sehen, wie sich die stickstofffreien Bestandtheile der Muskelfaser bei der Thätigkeit derselben verhalten. Vermehrung des Fettes glaubte J. RANKE¹ beweisen zu können aus der gefundenen Vermehrung des Aetherextracts; wenn die Methode auch sonst frei von Fehlern wäre, wie z. B. dem Fehler der ungleichen Betheiligung der ätherextractreichen intramuskulären Nerven, so müsste der Beweis doch schon aus dem Grunde mindestens als etwas unvollkommen zu bezeichnen sein, weil der tetanisirte Muskel ein Mehr von in Aether löslichen Stoffen in der Milchsäure erhalten hat. Von SZELKOW's² Angaben über Abnahme der flüchtigen Fettsäuren im tetanisirten Muskel hat HERMANN³ gezeigt, dass sie der fehlerhaften Methoden wegen ebenfalls keine Berücksichtigung verdienen. Bleiben somit nur noch die Kohlehydrate übrig und zwar wiederum nur das Glykogen, so ist zu bemerken, dass falls im thätigen Muskel Fleischzucker und Milchsäure auftreten sollten, dieselben als direct oder indirect von dem Glykogen abstammend angesehen werden.

Nun ist in erster Linie bei dem Vergleiche von rasch gebrühten frischen ausgeschnittenen Muskeln mit solchen, die vor dem Brühen eine Zeit lang tetanisirt waren, in jenen kein Zucker, in diesen aber eine messbare Menge gefunden worden, zuerst von J. RANKE⁴, der den Zucker aus dem Eiweiss entstanden glaubte, und weiter von O. NASSE⁵, umgekehrt aber in den tetanisirten Muskeln ein geringeres Quantum von Glykogen. Aus diesem Glykogenverlust, der auch von WEISS⁶ bestätigt wurde, kann aber nicht ohne Weiteres auf eine vollkommene Zersetzung (Verbrauch) der Kohlehydrate geschlossen werden, wie das oft geschehen ist; ob eine solche stattfindet, kann vielmehr erst entschieden werden nach der Nebeneinanderstellung der Summen des übrig gebliebenen Glykogens und des neu entstandenen Fleischzuckers in dem tetanisirten und der Menge des Glykogens im frischen Muskel. Hierbei wird aber stets ein Unterschied zu Gunsten der letzteren bemerkbar (O. NASSE⁷), natürlich nur gering, wenn man um die Complication durch die Starre zu vermeiden nicht sehr lange

1 J. RANKE, Tetanus S. 190. Leipzig 1865.

2 SZELKOW, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1864. S. 672.

3 HERMANN, Unters. über den Stoffwechsel der Muskeln S. 87. Berlin 1867.

4 J. RANKE, Tetanus S. 165. Leipzig 1865.

5 O. NASSE, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 97. 1869.

6 S. WEISS, Sitzgsber. d. Wiener Acad. Mathem.-naturw. Cl. LXIV. (1) 1871. Juli.

7 O. NASSE, nach nicht veröffentlichten Beobachtungen.

Zeit hindurch den Muskel tetanisirt. Lässt man beide Muskeln starr werden, den einen ruhend, den andern aber bei fortwährender Reizung, so enthalten beide schliesslich nur Zucker (s. o. S. 293) und zwar in gleichen Mengen. Da aber die Starre in dem thätigen Muskel so sehr viel schneller eintritt als in dem ruhenden, so kann es sich leicht einmal treffen, dass man, da ja ein Maass für die Entwicklung der Starre fehlt, den ruhenden Muskel vor Ablauf der zur Starre gehörigen Prozesse zur Untersuchung nimmt, und dann natürlich wieder die erwähnte Differenz in dem Kohlehydratgehalt findet. Umgekehrt besitzen gelähmte Muskeln nach den mehrfach erwähnten Beobachtungen von M' DONNEL und OGLE einen höheren Glykogengehalt.

Durch erschöpfende Thätigkeit bei Strychninkrämpfen oder Tetanisirung der Muskeln im lebenden Thier, sowie auch bei anhaltender Reizung von ausgeschnittenen Muskeln sah DU BOIS-REYMOND¹ die neutrale Reaction der Muskeln in saure übergehen, und zwar bei abgeschnittener Blutzufuhr weit deutlicher als bei erhaltener, weil in letzterem Falle das stets erneute alkalische Blut die in den Muskeln entwickelte Säure sättigen und fortführen musste. Ein Beispiel für Eintritt saurer Reaction bei erhaltener Circulation bietet das Herz (s. o. S. 266). Dass diese Säure Fleischmilchsäure sei, schliesst DU BOIS aus dem gleichen Verhalten der tetanisirten und erstarrten Muskelsubstanz gegen Lakmuspapier, und führt auch für die Wahrscheinlichkeit dieser Anschauung an, dass BERZELIUS, wie er im Jahre 1841 Herrn LEHMANN erzählt habe, aus den Muskeln gehetzten Wildes eine auffallend grosse Menge Milchsäure erhalten habe, während die Muskeln partiell gelähmter Extremitäten ihm weniger als sonst davon zu enthalten schienen. Diese Beobachtung von BERZELIUS, von LEHMANN in seiner physiologischen Chemie mit den Worten angeführt: „BERZELIUS glaubt sich überzeugt zu haben, dass ein Muskel desto mehr Milchsäure enthält, je mehr er vorher angestrengt worden ist“², könnten BERZELIUS als den Entdecker der Beziehungen der Milchsäure zur Muskelthätigkeit erscheinen lassen, solche und ähnliche Beobachtungen hatten indes keine Bedeutung, ehe die Eigenschaften des ruhenden Muskels klar erkannt waren. Eine in ihren Einzelheiten hier nicht näher zu erörternde Abhängigkeit der Säuremenge von der Grösse der Arbeit hat sich aus den Arbeiten von HEIDENHAIN³ ergeben.

1 E. DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

2 C. G. LEHMANN, Lehrb. d. physiol. Chemie I. S. 103. Leipzig 1850.

3 R. HEIDENHAIN, Mechan. Leistung u. s. w. bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864.

Die bei der Thätigkeit der Muskeln entstehende Milchsäure ist noch nicht näher untersucht; wenn SPIRO¹ in dem Blute tetanisirter Hunde und Kaninchen die ja überhaupt am häufigsten vorkommende Paramilchsäure (Aethylenmilchsäure) gefunden hat, so ist damit natürlich nicht ausgeschlossen, dass unter anderen Bedingungen sich wie in den erstarrenden Muskeln die beiden Aethylidenmilchsäuren bilden.

Ist es schon aus allgemeinen Gründen wahrscheinlich, dass die Kohlehydrate des Muskels auch hier die Muttersubstanzen der Milchsäure sind, so findet diese Annahme doch noch einen besonderen Anhalt darin, dass, wie oben schon berichtet worden ist, die von dem Muskel beim Erstarren gebildete Milchsäuremenge um so geringer ist, je länger der Muskel vorher bei erhaltener Circulation gearbeitet hat. Die bei dem Tetanus und bei der Starre entstehenden Milchsäuren haben also dieselbe Quelle. Ueber das Verhältnis der Grösse des Kohlehydratverbrauches bei der Thätigkeit zu der Menge der gebildeten Milchsäure liegen aber gar keine Bestimmungen vor, so dass von dieser Seite, wenn wir die erst unten zu behandelnde Analogie mit der Starre bei Seite lassen, einstweilen gar kein Recht besteht, auch die Bildung der Kohlensäure mit dem Verbrauch von Kohlehydraten in Beziehung zu bringen. Weist auch Alles darauf hin, dass eine stickstofffreie Substanz die Kohlensäure liefert, es müsste denn aus einem Eiweissmolekül oder einer noch complicirteren Substanz als das Eiweiss ist Kohlenstoff vielleicht nebst Wasserstoff sich ablösen und auf Kosten des Sauerstoffs derselben Substanz oder irgend eines anderen Körpers oxydiren können, so unterliegt es doch nach STINTZING's² Versuchen über die Verminderung der durch Kochen zu gewinnenden Kohlensäure durch vorhergehendes Tetanisiren keinem Zweifel, dass Kohlehydrate allein nicht die Quelle der Kohlensäure sein können, weil von ihnen ein derartiger Zerfall ohne Mitwirkung von Fermenten nicht bekannt ist. —

Nach dieser an die Bestandtheile der Muskeln anknüpfenden Besprechung ihrer Veränderungen bei der Thätigkeit ist noch eine kleine Anzahl von Thatsachen zu erwähnen, die bisher keinen Platz gefunden haben, und nur zum Theil in dem mitgetheilten ihre Deutung erhalten.

Es gehören hierher in erster Linie die Ergebnisse der schon erwähnten Untersuchung von HELMHOLTZ³, des ersten Versuches

1 SPIRO, Ztschr. f. physiol. Chemie I. S. 110. 1877.

2 STINTZING, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 388. 1878.

3 HELMHOLTZ, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1845. S. 72.

überhaupt das Stattfinden eines chemischen Umsatzes im Muskel während seiner Thätigkeit nachzuweisen. HELMHOLTZ bestimmte die Rückstände wässriger sowie alkoholischer Auszüge von frischen geruhten und von durch Arbeit stark angestrengten ausgeschnittenen Muskeln des Frosches, sowie der Quappe und der Taube, und fand regelmässig in den letzteren das wässrige Extract vermindert, das alkoholische vermehrt. Zur Erklärung dieses an und für sich noch keinen weiteren Aufschluss gebenden Factums lässt sich einstweilen nur folgendes anführen: der alkoholische Auszug muss vermehrt sein, weil an Stelle des in Alkohol unlöslichen Glykogens Zucker und Milchsäure getreten sind, der wässrige dagegen vermindert, weil, wie es wenigstens die Analogie mit der Starre sehr wahrscheinlich macht, ein Verbrauch d. i. eine vollkommene Zersetzung einer gewissen Menge von Kohlehydraten unter Bildung von Kohlensäure und Wasser bei der Thätigkeit stattfindet. HELMHOLTZ's Beobachtung ist bestätigt von J. RANKE¹ mit dem Zusatze, dass das Gesamtexttract des in gleicher Zeit stärker arbeitenden Muskels geringer sei, und in HEIDENHAIN's Laboratorium von NIGETIET und HEPNER² bei dem Vergleich von zwei verschieden stark arbeitenden Muskeln.

Weiter gehören hierher zwei einander ergänzende Arbeiten von GRÜTZNER und GSCHIEDLEN. GRÜTZNER³ wollte sehen, ob der Muskel und zwar in verschiedenen Zuständen im Stande wäre eben so wie dem Blut, so auch Stoffen, welche leicht Sauerstoff abgeben, den Sauerstoff zu entziehen, dieselben zu reduciren, bemerkte aber nur an der Oxydation von Pyrogallussäure die Möglichkeit der Abgabe von Sauerstoff seitens des ruhenden und geruhten Muskels und im Gegensatze dazu an dem Ausbleiben dieser Reaction ein festes Gebundensein des Sauerstoffs im tetanisirten Muskel. GSCHIEDLEN⁴ wies direct die Anwesenheit von reducirenden Substanzen im thätigen Frosch- und Säugethiermuskel nach an der Umwandlung von Nitraten in Nitrite und der Reduction von Indigo, ein Verhalten, welches DANILEWSKI⁵ bestätigte. Welcher Art diese reducirenden Stoffe sind, weiss man nicht. Sie sind in Alkohol löslich, vermehren also wahrscheinlich HELMHOLTZ's alkoholischen Auszug. Sehr wichtig wäre es noch festzustellen, ob sie in das Blut übergehen. Einen

1 J. RANKE, Tetanus S. 121. Leipzig 1865.

2 HEIDENHAIN, NIGETIET u. HEPNER, Arch. f. d. ges. Physiol. III. S. 574. 1870.

3 P. GRÜTZNER, Arch. f. d. ges. Physiol. VII. S. 254. 1873.

4 GSCHIEDLEN, ibid. VIII. S. 506. 1874.

5 DANILEWSKI, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1874. S. 721.

Beitrag zur Entscheidung dieser Frage könnte ein Versuch von AL. SCHMIDT¹ liefern, in welchem sauerstofffreies Erstickungsblut durch ruhende und durch tetanisirte Muskeln geleitet und nachher mit Sauerstoff versetzt wurde. Das durch den tetanisirten Muskel geleitete Blut verzehrte eine grössere Menge von Sauerstoff.

Endlich wäre auch noch zu erwähnen, dass KLÜPFEL² den absoluten Säuregehalt der täglichen Harnmenge an Arbeitstagen bedeutend höher fand als an Ruhetagen. Ueber die Natur der Säure ist Nichts angegeben, auch wird die Thatsache selbst von Anderen bestritten.

Von den anorganischen Bestandtheilen des Muskels ist eine Betheiligung bei seiner Thätigkeit nicht bekannt. Nur in Beziehung auf das Wasser existiren einige Angaben. Bei erhaltener Circulation wird nach J. RANKE³ und DANILEWSKI⁴ der arbeitende Muskel wasserreicher, und zwar wie RANKE nachweist auf Kosten des Wassers im Blut, dessen Menge von im Durchschnitt 88,3 % bei ruhenden Fröschen durch das Tetanisiren auf 87 % sinkt. Eine Erklärung dieser Vermehrung der Wasser anziehenden Kraft des Muskels aus der Bildung neuer Substanzen bei der Thätigkeit ist wohl möglich, zur Zeit aber nicht ausführbar.

Die Wärmebildung und Volumenabnahme des Muskels bei seiner Contraction wird, weil an einer anderen Stelle dieses Buches ausführlich behandelt, hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt.

Die in dem vorstehenden aufgeführten, auf die verschiedenste Weise ermittelten Thatsachen gestatten nun die schon wiederholt angedeutete Frage, welches Material, ob stickstoffreies oder stickstoffhaltiges, oder vielleicht beides bei der Muskelthätigkeit verbraucht werde endgültig zu entscheiden, da wesentliche Widersprüche in den Angaben nicht vorkommen. Schon vordem die Vorr'schen Untersuchungen zu dem unumstösslichen Satz geführt hatten, dass die Zersetzung der Eiweisskörper nicht die Quelle der Muskelkraft ist, weil ihr Zerfall durch die Thätigkeit nicht befördert wird, waren Zweifel entstanden an der hauptsächlich durch J. VON LIEBIG gestützten Lehre von dem Verbrauch von Eiweisskörpern bei der Muskelarbeit, für deren Richtigkeit auch der augenfällige Einfluss stickstoffreicher Nahrung auf die Körperkraft angeführt zu werden pflegte.

1 AL. SCHMIDT, Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig. Jahrg. 1867. S. 99. Leipzig 1868.

2 KLÜPFEL, Hoppe-Seyler's med. chem. Untersuchungen (3) S. 412. Berlin 1868.

3 J. RANKE, Tetanus S. 63. Leipzig 1865.

4 DANILEWSKI, Ueber den Ursprung der Muskelkraft. Charkow 1846.

Nicht bloss experimentelle Arbeiten wie die schon früher erwähnten von MOSLER und DRAPER, in denen sich kein vermehrter Eiweisszerfall bei starker Bewegung ergeben hatte, erregten die Bedenken, sondern auch theoretische Betrachtungen. J. R. MAYER¹ hatte bereits im Jahre 1845 sich dahin geäussert, dass der Muskel, — worunter man zu jener Zeit einen Complex von Eiweissstoffen in einer bestimmten anatomischen Form verstand, — nur das Werkzeug wäre, mittelst dessen die Umwandlung der Kraft erzielt würde, aber nicht der zur Hervorbringung der Leistung umgesetzte Stoff. Die Berechnung, welche dieser Behauptung zu Grunde lag, war die, dass ein angestrengt thätiger Mann in einem Tage ungefähr 82 grm. Kohlenstoff ($\frac{1}{5}$ der gesammten zersetzten Kohlenstoffmenge) zu mechanischen Effecten verarbeite. Wenn nun die Muskulatur 32 Ko. beträgt mit 7,5 Ko. trockener combustibeler Substanz, so würde, die Verbrennungswärme derselben gleich der von Kohlenstoff angenommen, die ganze Muskulatur des Mannes, wenn sie den Stoff zur Krafterzeugung liefern sollte, in längstens 13 Wochen oxydirt werden (mit Zugrundelegen der heutigen viel geringeren Werthe für die Verbrennungswärme in weit kürzerer Zeit). „Es steht aber, sagt MAYER, die Annahme einer raschen Umsetzung (Verbrennung und Neubildung) der normal thätigen Muskelfaser mit physiologischen Thatsachen und mikroskopischen Forschungen in offenbarem Widerspruche, und es beweisen also die gefundenen Zahlenwerthe von 13 Wochen zur Evidenz, dass ein erheblicher Theil des zu der Leistung verbrauchten Brennstoffes von der Muskelfaser selbst nicht herrühren kann.“

Während nun aber VOIT selbst aus seinen Versuchen zunächst nicht den obigen Schluss zog, dass die Muskelthätigkeit überhaupt nicht an den Umsatz stickstoffhaltiger Körper geknüpft wäre, griff M. TRAUBE² die Frage auf und sprach mit Entschiedenheit aus, dass der Muskel bei seiner Arbeit nur stickstofffreies Material oxydire, sich berufend nicht bloss auf die VORR'schen Versuche, die ihm nur das experimentum crucis geliefert haben sollen, sondern auch auf die bedeutende Arbeitsleistung der auf eine verhältnismässig stickstoffarme Nahrung angewiesenen Pflanzenfresser. Noch mehr befestigt wurde diese Ansicht durch den von FICK und WISLICENUS³ angestellten Vergleich zwischen dem mechanischen Aequivalent der bei vollkommen stickstofffreier Nahrung während und nach einer gemessenen Arbeit zersetzten Eiweisskörper und der Arbeit selbst. Bei der Besteigung

1 J. B. MAYER, Die Mechanik der Wärme. 2. Aufl. S. 13. Stuttg. 1874.

2 M. TRAUBE, Arch. f. pathol. Anat. XXI. S. 386. 1861.

3 FICK und WISLICENUS, Vjschr. d. naturf. Ges. in Zürich X. S. 317. 1865.

des Faulhorns betrug die von FICK geleistete Arbeit 129096, die von WISLICENUS geleistete 148656 Kilogrammtr., ungerechnet die Herz- und Respirationsarbeit, die nicht direct zur Hebung dienenden Bewegungen, die sogenannte statische Arbeit, welche beim Halten des gehobenen Gewichtes geleistet wird u. s. w. Die Zahlen sind also bedeutend zu erhöhen, noch mehr aber, wenn die chemische Spannkraft der zersetzten Stoffe nicht bloss mechanische Arbeit, sondern auch, was mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, Wärme liefert. Hiernach glauben FICK und WISLICENUS die bei der Arbeit verausgabte Summe von lebendiger Kraft auf 319274 bzw. 368574 Kilogrammtr. schätzen zu dürfen. Aus der Harnstoffausscheidung in der Zeit von 8 Uhr Morgens bis 7 Uhr Abends (die Besteigung währte von 8 Uhr Morgens bis 2 Uhr Nachmittags) nachdem Mittags des vorigen Tages die letzte eiweisshaltige Nahrung eingenommen war, während von da ab bis 7 Uhr Abends des folgenden Tages nur stickstofffreie Kost genossen wurde, berechnete sich ein Eiweissverbrauch von 37,17 grm. bei FICK, von 37 grm. bei WISLICENUS. Die Verbrennungswärme von 6730 W. E. für 1 grm. Eiweiss zu Grunde gelegt konnte also im besten Falle durch die Verbrennung des Eiweisses eine Arbeit von 106256 (F.) und 105825 (W.) Kilogrammtr. geleistet werden, nach FRANKLAND's¹ Bestimmung der Verbrennungswärme von 1 grm. Eiweiss im Körper, also nach Abzug des gebildeten Harnstoffs, auf 4236 W. E. sogar nur von 68690 (F.) und 68376 (W.) Kilogrammtr. Gewiss hat der Versuch selbst seine Unvollkommenheiten hauptsächlich darin bestehend, dass der Eiweissverbrauch bei gleicher Ernährung in der Ruhe nicht ermittelt worden ist, die Differenzen zwischen den beiden Werthen sind aber so gross, dass FICK und WISLICENUS in vollstem Maasse das Recht haben der TRAUBE'schen Ansicht über die Rolle welche die stickstoffhaltigen und stickstofffreien Bestandtheile des Muskels bei dessen Thätigkeit spielen, beizupflichten.

Die von VOIT für die öfters gefundene Zunahme des Eiweisszerfalls bei der Arbeit gegebene Erklärung ist oben S. 322 schon mitgetheilt worden. Hier ist noch hinzuzufügen, dass von HERMANN² auf die Möglichkeit einer vollkommenen Erstarrung einzelner Fasern bei starker Erschöpfung aufmerksam gemacht worden ist. Auch NOYES³ hat, wie es scheint gleichzeitig mit HERMANN, den Gedanken

1 FRANKLAND, Proceed. Roy. Soc. 1866. Juni.

2 HERMANN, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. S. 100. Berlin 1867.

3 NOYES, Amer. journ. of scienc. Octob. 1867.

geäußert, dass nur wenn in hohem Grade ermüdende Arbeit geleistet wird, die Harnstoffausgabe vermehrt werde. In der von DU BOIS-REYMOND¹ an Fasern aus unbeweglich gespannten, tetanisirten Wadenmuskeln des Frosches beobachteten Veränderung der Structur, Verschiebung der Querstreifen, Auftreten von krümligen Massen u. s. w., die später KRONECKER² wiederholt constatirte, könnte HERMANN's Vermuthung eine Stütze finden. Uebrigens ist bei alledem wohl nicht ausgeschlossen, dass secundär manche andere Organe, wie etwa die Schweissdrüsen in stärkere Thätigkeit versetzt werden, und bei dieser ein erhöhter Eiweisszerfall eintritt. Für jede einzelne Beobachtung von Erhöhung der Eiweisszersetzung mit Steigerung der Arbeit, so z. B. in der jüngsten Mittheilung von KELLNER³, die sich von Neuem gegen die Annahme der Folgerungen von TRAUBE, FICK und WISLICENUS sträubt, lässt sich durch Rechnung nachweisen, dass der Mehrverbrauch von Eiweiss das Mehr der Arbeitsleistung nicht deckt.

Ohne hier einzugehen auf die zeitweilig aufgetretene vermittelnde Ansicht, dass sowohl stickstoffhaltige wie stickstofffreie Stoffe Quelle der Muskelkraft sein können, wäre nun zu prüfen, welche stickstofffreie Substanzen die Quelle bilden. Zur Wahl bleiben Fette und Kohlehydrate; eine Zersetzung jener bei der Muskelcontraction ist aber den früheren Auseinandersetzungen nach gar nicht bekannt, so dass einstweilen nur die Kohlehydrate in Betracht kommen können. Wenn wir nun auch im Voraus als bewiesen betrachten, dass die Summe von Glykogen, Fleischzucker und Milchsäure als Glykogen berechnet im tetanisirten Muskel kleiner ist als die Menge des Glykogens im frischen geruhten Muskel, dass also bei der Thätigkeit wirklich eine vollkommene Zersetzung der Kohlehydrate unter Bildung von Kohlensäure und Wasser stattfindet, so stehen doch der Annahme, dass die Kohlehydrate die einzige Kraftquelle seien, zwei gewichtige Gründe entgegen. Der erste ist der, dass beim Hungern das Glykogen aus den Muskeln verschwindet, die Muskeln des hungernden Thieres dennoch aber noch einer gewissen Leistung fähig sind. Einerseits bedarf es aber jedenfalls nur so geringer Glykogenmengen zur Deckung der auch in sehr geringem Grade zu leistenden Arbeit, dass sie übersehen werden könnten, und andererseits fällt ein Fehlen von Glykogen, wie bei einer anderen Gelegenheit schon hervorgehoben wurde, nicht zusammen mit Fehlen der Kohlehydrate; die

1 DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen über thierische Electricität II. S. 71. Berlin 1849.

2 KRONECKER, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Mathem.-phys. Cl. 1871. S. 690.

3 KELLNER, E. v. WOLFF, W. v. FUNKE, E. KREUZHAGE, Amtl. Bericht der 50. Versamml. deutsch. Naturforscher und Aerzte S. 224. München 1877.

Betheiligung der Kohlehydrate bei der Muskelarbeit würde also erst ausgeschlossen werden, wenn die Muskeln auch zuckerfrei gefunden würden. Das ist aber noch nicht untersucht worden. Immerhin wird aber schon das Fehlen von Glykogen etwas Bedenken erregen müssen. Viel mehr fällt in das Gewicht die von PFLÜGER und STINTZING entdeckte Bildung von Kohlensäure aus einer bis dahin noch unbekannten Substanz, die aber weder zu den Fetten noch zu den Kohlehydraten gehören kann. Es ist der Möglichkeit, dass die Kohlensäure einem ganz complicirt gebauten, vielleicht auch eiweisshaltigen Molekül entstamme, früher gedacht worden; ein solches Molekül, das Kohlensäure, Milchsäure und Myosin(gerinnsel) bei der Zersetzung liefere, wurde von HERMANN schon vor längerer Zeit unter dem Namen inogene Substanz angenommen. Das Auffinden des Glykogens und der neuen Quelle der Kohlensäure würde HERMANN's damalige Anschauung natürlich etwas modificiren müssen. Auf die wohl unüberwindbare Schwierigkeit eine solche Substanz aus dem Muskel zu isoliren, hat HERMANN ganz besonders aufmerksam gemacht. Unter allen Umständen wird aber aus dem Gesagten hervorgehen, dass die Quelle der Muskelkraft eine zwifache sein kann, unter normalen Verhältnissen es auch wahrscheinlich ist, es müssten denn die bei den Umsetzungen der Kohlehydrate freiwerdenden Kräfte nur die Form von Wärme haben.

3. Vergleich der Vorgänge im ruhenden, thätigen und absterbenden Muskel.

Bevor die Erörterungen weiter fortschreiten zu der Natur der chemischen Prozesse im thätigen Muskel, dürfte es zweckmässig sein nebeneinanderzustellen die Vorgänge im thätigen, im ruhenden sowie im erstarrenden Muskel.

Was zuerst die Aehnlichkeit zwischen Contraction und Erstarrung angeht, so ist dieselbe schon seit geraumer Zeit aufgefallen, allerdings hauptsächlich wegen der äusseren Veränderungen, der in beiden Fällen eintretenden Verkürzung. Dann zog die beiden Zuständen gemeinsame Säuerung der Muskeln die Aufmerksamkeit in höherem Grade auf die Aehnlichkeit, wenngleich DU BOIS-REYMOND selbst sich gegen die Gleichheit der Vorgänge aussprach. Seit der Zeit haben sich die Analogien noch vermehrt, zum guten Theil durch die Arbeiten von HERMANN, der auch zuerst den Vergleich wirklich durchführte.

Nach dem augenblicklichen Stand der Kenntnisse ergibt sich

eine Uebereinstimmung zwischen Contraction und Starre in der Wärmebildung, der Volumenabnahme, dem festeren Zusammenhängen der Fibrillen, und auf dem eigentlichen chemischen Gebiete in dem Fehlen einer eingreifenden Zersetzung der Eiweissstoffe, möglicher Weise in einer Myosinausscheidung, sodann in der Zersetzung von Kohlehydraten unter Bildung von Zucker und Milchsäure, und zwar mit der Eigenthümlichkeit, dass in dem ausgeschnittenen Muskel von letzterem Stoffe gerade um so viel weniger bei der Starre entsteht, als bei den vorhergehenden Contractionen bereits entstanden war. Weiter kommt hinzu Kohlensäurebildung sowohl bei Starre als bei Contraction, ebenso wie der Zucker und die Milchsäure sicher in beiden Zuständen aus derselben (vielleicht zweifachen) Quelle stammend, und Unabhängigkeit aller dieser einzelnen Vorgänge von dem Sauerstoff der Umgebung. Mit Wahrscheinlichkeit kann man die Bildung von reducirenden Substanzen in beiden Fällen annehmen, sicher ist wenigstens, dass sowohl Starre (s. oben S. 302) wie Ermüdung nach langer Thätigkeit, wie unten gezeigt werden wird, durch sauerstoffhaltiges Blut gehoben werden kann. Endlich darf auch wohl noch erwähnt werden, dass gewisse Stoffe, wie z. B. verdünnte Säuren sowohl die Contractionen anregen (chemische Muskelreize), als auch die Starre beschleunigen, und dass, wie HERMANN¹ hervorgehoben hat, die idiomusculäre Contraction einen Uebergangszustand zwischen Contraction und Starre darstellt.

Hiernach scheint der Beweis für die Identität der beiden Prozesse, soweit das überhaupt möglich ist, erbracht zu sein. Man wird aber nicht mehr wie früher die Erstarrung als die letzte Contraction, als eine über den ganzen Muskel verbreitete, anhaltende, idiomusculäre Contraction, wie SCHIFF² sich ausdrückte, sondern umgekehrt jede Contraction als eine momentane und vorübergehende Erstarrung betrachten (HERMANN).

Auch zwischen Ruhe und Thätigkeit finden sich, soweit es sich um den eigentlichen Stoffverbrauch handelt, Aehnlichkeiten, die wesentlich bestehen in Bildung von Wärme und Kohlensäure und Verbrauch von Kohlehydraten in beiden Fällen. Ist die Art der Zersetzung der letzteren im ruhenden Muskel auch noch nicht sicher bekannt, so ist es doch mehr als wahrscheinlich, dass sie von der im thätigen Muskel stattfindenden nicht abweicht, dass speciell die entstehende Säure, wie DU BOIS-REYMOND sogar beim thätigen Muskel gelegentlich fand, sich der Wahrnehmung entziehen muss, dadurch

1 HERMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 371.

2 SCHIFF, Molesch. Unters. S. 181. 1859.

dass sie fortwährend neutralisirt und ausgewaschen wird. Die schon seit langer Zeit aufgetretene Ansicht, dass die Zersetzungsprozesse im ruhenden und im thätigen Muskel nur quantitativ nicht qualitativ verschieden seien, ist auch nie auf erheblichen Widerspruch gestossen. Etwas anders verhalten sich natürlich die Muskeln, wenn gleichzeitig Ersatz stattfinden kann; dann halten sich bei Ruhe im gewöhnlichen Sinne Verbrauch und Ersatz im Ganzen die Waage, bei Arbeit überwiegt der Verbrauch den Ersatz, bei absoluter Ruhe im gelähmten Muskel der Ersatz den Verbrauch.

III. Natur der chemischen Vorgänge im Muskel.

Der erste Theil des Stoffwechsels, der Verbrauch von chemischen Spannkraften, der wie eben gezeigt worden, im ruhenden, thätigen und absterbenden Muskel qualitativ derselbe ist, wurde in der früheren Zeit stets ohne Weiteres als ein Oxydationsvorgang angesehen. Nachdem aber zuerst DU BOIS-REYMOND¹ von einer Theilerscheinung dieses Kraftverbrauches, der Säurebildung im erstarrenden Muskel, die Aehnlichkeit mit einem wahren Gährungsprozess hervorgehoben, hat HERMANN² auf Grund der gefundenen Unabhängigkeit der in Rede stehenden Vorgänge von Sauerstoffaufnahme ganz allgemein ausgesprochen, dass das chemische Substrat der Muskelarbeit nicht ein Oxydationsprozess sei, sondern ein Spaltungsprozess, bei welchem durch Sättigung stärkerer Affinitäten, durch Uebergang in eine stabilere Atomgruppierung, Kräfte frei werden, etwa wie bei der alkoholischen Gährung des Zuckers. Insofern bei dieser Spaltung, die auch oben bei der Starre bereits theilweise erörtert worden ist, einerseits sauerstoffreichere Atomcomplexe, die Kohlensäure, andererseits sauerstoffärmere entstehen, kann man doch von einer Oxydation, „inneren Oxydation“, sprechen, wobei die Frage, ob der Sauerstoff der Kohlensäure von demselben Molekül wie der Kohlenstoff geliefert wird oder von einem anderen unentschieden bleibt. Die Auffassung von HERMANN hat bis auf den heutigen Tag Geltung für die Bildung des Zuckers und der Milchsäure, wahrscheinlich auch für die Gerinnung des Myosins, ferner sicher noch für den Theil der Wärme, der den eben erwähnten Prozessen seinen Ursprung verdankt, aber nicht mehr für die Bildung der gesammten Kohlensäure, sondern nur mehr für einen Theil derselben. Der grösste

1 E. DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

2 L. HERMANN, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. Berlin 1867.

⁴ Theil der Kohlensäure entsteht vielmehr, wie die Untersuchungen von PFLÜGER und STINTZING gelehrt haben, ohne Betheiligung eines Fermentes durch Dissociation, die durch Wärme und Innervation beschleunigt wird wie eine Fermentation, durch Wärme aber noch von solcher Höhe, wie sie Fermentprozesse niemals ertragen.

In welcher Weise die Innervation die in der Ruhe fortwährend stattfindenden Spaltungen beiderlei Art so bedeutend zu beschleunigen im Stande ist, so dass der Kraftvorrath nun rasch erschöpft werden kann, darüber kann man sich wohl Vorstellungen machen, aber auch nicht mehr als Vorstellungen. Vielleicht ist das erste, was entsteht, wenn der Erregungsvorgang im Nerven, der wahrscheinlich doch auch hier mit Verbrauch von chemischer Spannkraft einhergeht, von Querschnitt zu Querschnitt sich fortpflanzend den Muskel erreicht, und ebenso im Muskel selbst der Verkürzung vorausseilend, von Querschnitt zu Querschnitt mit messbarer Geschwindigkeit fortschreitet, theilweise Zersetzung der Kohlehydrate unter Bildung von Wärme und Milchsäure, die dann erst die weiteren Umsetzungen, insbesondere die freilich noch hypothetische Myosingerinnung und die Spaltung der kohlensäurebildenden Substanz von PFLÜGER und STINTZING veranlassen. Es ist indes dabei an die unvollkommene Kenntniss der Reihenfolge der verschiedenen chemischen Theilerscheinungen des Contractionsvorganges zu erinnern.

Noch mehr fehlt es aber an irgend einer plausibelen Vorstellung darüber, wie im thätigen Muskel die chemische Spannkraft, die im vollkommen ruhenden Muskel nur die Form von Wärme annimmt, in mechanische Arbeit umgewandelt wird. Dass die Verkürzung des Muskels gebunden ist nicht direct an den fermentativen Zerfall der Kohlehydrate, auch nicht direct an die als Dissociation aufzufassende Kohlensäureentwicklung, sondern an die Eiweisskörper, unterliegt wohl keinem Zweifel. Es ist dies wohl auch daraus zu entnehmen, dass Eiweissreichthum des Körpers, der seinerseits wieder um erhalten zu bleiben, eine entsprechend hohe Eiweisszufuhr in der Nahrung verlangt, — dies ist die Erklärung des Einflusses einer stickstoffreichen Nahrung auf die Arbeitsfähigkeit — zu den grössten Kraftleistungen befähigt. Sollte vielleicht die chemische Spannkraft der PFLÜGER'schen kohlensäurebildenden Substanz, soweit sie nicht als Wärme auftritt, wesentlich dazu dienen, aus dem hypothetischen Myosingerinnung, welches selbst unter Freiwerden von Wärme, also unter Verminderung der ursprünglichen chemischen Spannkraft auftritt, unter Mithilfe von anderen Substanzen oder ohne solche die myosinbildenden Substanzen wieder zu regeneriren?

Um die angedeuteten Fragen zu lösen, ist nebst vielem anderen auch eine Aufklärung der Beziehungen zwischen den Muskelbestandtheilen im chemischen Sinne und den morphologischen Verhältnissen durchaus erforderlich. Es ist nöthig an dieser Stelle noch besonders hervorzuheben, dass die Theorie, welche die Muskelcontraction durch vorübergehende Gerinnung des Myosins zu erklären sucht, die sarcons elements gar nicht berücksichtigt. Gerinnt doch das ausgepresste Muskelplasma ohne dieselben. Eine Betheiligung der doppelbrechenden Theilchen bei dem Contractionsvorgang ist aber mit grosser Bestimmtheit zu vermuthen, seitdem, hauptsächlich durch ENGELMANN's¹ Untersuchungen, ein Vorkommen solcher doppelbrechender Theilchen, stets positiv einaxig und in ihrer Axe mit der Richtung der Verkürzung zusammenfallend, in der contractilen Substanz im weitesten Sinne des Wortes festgestellt ist. —

Der zweite Theil des Stoffwechsels, der Ersatz, ist noch weniger klar als der Verbrauch. Im lebenden Organismus bei erhaltener Circulation hält im ruhenden Muskel der Ersatz mit dem Verbrauch so ziemlich gleichen Schritt, aber doch nicht ganz, es tritt auch hier allmählich locale und allgemeine Ermüdung ein, an der natürlich das Nervensystem betheiligt ist, weil eben die Ruhe doch keine vollkommene ist. Bei der absoluten Ruhe, wie man vergleichsweise den durch Aufhebung jeglicher Innervation hervorzubringenden Zustand nennen könnte, kann der Ersatz grösser als der Verbrauch sein, so dass es zur Anhäufung sonst fortwährend zersetzter Stoffe kommt. Nachgewiesen ist dies freilich nur für das Glykogen (s. o. S. 316), und mit Bestimmtheit lässt sich auch sagen, dass nicht alle Ersatzstoffe sich in dieser Art anhäufen können. Umgekehrt findet sich im thätigen Muskel der Verbrauch grösser als der Ersatz. Der ausgeschnittene Muskel endlich und auch der im Körper noch befindliche, aber von der Blutzufuhr abgeschnittene Muskel, einerlei natürlich ob ruhend oder thätig oder durch Wärme in seinem Umsatz beschleunigt, bieten den extremsten Fall von Verbrauch allein dar. Wenn dies Missverhältniss zwischen Verbrauch und Ersatz einige Zeit gedauert hat, verringert sich die Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit des Muskels, er ist ermüdet. Die Ermüdung wird *et. par.* um so eher eintreten, je vollkommener der Ersatz ausgeschlossen ist, und je mehr der Verbrauch auf irgend eine Weise beschleunigt wird. Es bedarf wohl keiner weiteren Auseinandersetzung, dass ein im Anfange der Starre befindlicher Muskel sich von einem durch Contractionen ermüdeten Muskel nicht unterscheidet.

1 ENGELMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. XI. S. 432. 1875.

Der bei erhaltener Blutzufuhr arbeitende Muskel ermüdet aber nicht bloss darum weniger, weil das Blut ihm Ersatzstoffe zuführt, sondern auch weil es ihm die bei der Thätigkeit entstehenden Zersetzungsproducte zum Theil wegnimmt. Die Anhäufung von Milchsäure im tetanisirten Muskel (DU BOIS-REYMOND) und deren Uebergang in das Blut (SPIRO) machen es wahrscheinlich, dass ein Theil der Milchsäure im Muskel nicht weiter verwendet, sondern stets fortgeschafft wird. Ob das Blut, von der Kohlensäure abgesehen, noch andere von dem Thätigkeitsvorgang direct stammende Stoffe aus dem Muskel wäscht, lässt sich einstweilen nicht mit Bestimmtheit sagen. Die Anhäufung von Milchsäure befördert aber offenbar die Ermüdung. Das beweisen J. RANKE's¹ Versuche über die Erfolge von Injectionen verdünnter Milchsäure in das Gefässsystem. Die Muskeln geriethen dadurch in einen der Ermüdung sehr ähnlichen Zustand. Dem entsprechend zerfällt auch die Restitution des ermüdeten Muskels in zwei Theile, von denen der eine, jedenfalls aber nicht der wesentlichste, in der Fortschaffung der Zersetzungsproducte besteht. Wie Muskeln bis zur Reactionslosigkeit durch Tetanus erschöpft nach Ausspülen ihrer Gefässe mittelst einer verdünnten Kochsalzlösung wieder contractionsfähig werden, haben die RANKE'schen Experimente ebenfalls gelehrt. Der andere Theil der Restitution umfasst dasjenige, was bis dahin als Ersatz bezeichnet wurde.

Unter den Ersatzstoffen ist der Sauerstoff in erster Linie zu nennen, weil die übrigen Substanzen ohne den Sauerstoff vollkommen wirkungslos sind, Sauerstoff aber auch allein dem ermüdeten Muskel zugeführt denselben bis zu einem gewissen Grade seine Leistungsfähigkeit zurückgeben kann. Die beweisenden Thatsachen, zum grössten Theile früher schon angeführt, sind: die längere Dauer der Erregbarkeit in sauerstoffhaltigen Gasgemengen, die Restitution des starren Muskels durch sauerstoffhaltiges Blut, die Erholung des ermüdeten Muskels durch kleine Mengen übermangansäuren Alkalis (KRONECKER²). Der Sauerstoff braucht dem Muskel nicht in Sauerstoffhämoglobin zugeführt zu werden. Dafür hat HERMANN³ schon unter Anderem geltend gemacht, dass das Blut der wirbellosen Thiere nicht hämoglobinhaltig ist, während doch ihre Muskeln denen der höheren Thiere völlig analog sind. Für diese selbst hat OERTMANN⁴ den noch fehlenden Beweis geliefert durch Untersuchung des gesamm-

1 J. RANKE, Tetanus S. 329. Leipzig 1865.

2 KRONECKER, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Mathem.-phys. Cl. 1871. S. 690.

3 HERMANN, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. S. 59. Berlin 1867.

4 OERTMANN, Arch. f. d. ges. Physiol. XV. S. 381. 1877.

ten Gasumtausches von entbluteten Fröschen, sogenannten Salzfröschen. Die Oxydationsprocesse erlitten durch die Entblutung keine Veränderung, insbesondere war auch der Sauerstoffverbrauch nicht geringer als bei bluthaltigen Fröschen. Der aufgenommene Sauerstoff geht sofort in so feste Verbindungen über, dass er nicht wieder als solcher ausgetrieben werden kann. Es ist daher wohl auch die Hypothese von M. TRAUBE¹, welche annimmt, dass der Sauerstoff sich mit der Muskelfaser zu einer losen chemischen Verbindung vereinigt, die im Stande sei Sauerstoff an andere mit kräftigerer Affinität zum Sauerstoff begabte Stoffe abzugeben, und zwar um so leichter, je höher die Temperatur und je stärker die Innervation ist, und dann von Neuem Sauerstoff aufzunehmen, nicht sehr wahrscheinlich, da man sich, wie HERMANN mit Recht hervorhebt, eine derartige Verbindung von Sauerstoff mit einem fermentartigen Körper kaum anders vorstellen kann, wie die des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin, und eine Unzersetzlichkeit einer solchen Verbindung im Vacuum nicht wohl denkbar ist. Die Hypothese liesse sich übrigens mit der früher gegebenen Erklärung der Vorgänge im Muskel sehr wohl vereinigen. Weiter kann auch von einer Aufspeicherung des Sauerstoffs im Muskel in irgend einer, noch dazu sehr schwer erklärlichen Weise, nicht die Rede sein. Hieraus würde folgen, dass die Sauerstoffaufnahme eine secundäre Erscheinung ist. Welche Aufgaben dem Sauerstoff zufallen, lässt sich mit Sicherheit nicht sagen. Er wird dazu dienen, die in dem Muskel gefundenen reducirenden Stoffe zu oxydiren, sei es dass dieselben den Muskel zu verlassen, sei es, dass sie in ihm weiter zu verbleiben und von Neuem bei dem Stoffumsatz sich zu betheiligen bestimmt sind. Ob und wie der Sauerstoff bei der Regeneration der myosinbildenden Substanzen oder gar einer complicirter gebauten inogenen Substanz mitwirkt, darüber thut man wohl sich der Vermuthungen und Hypothesen zu enthalten, so lange die Substanzen, welche im Muskel sich zersetzen, so unbekannt sind. Vielleicht könnten ausserhalb des Körpers angestellte Versuche aus dem Myosin wieder eine gerinnbare Flüssigkeit zu gewinnen die Erkenntniss etwas fördern. Man müsste zu solchen Versuchen ein Myosin verwenden, das nicht zu lange mit Milchsäure und nicht mit zu grossen Mengen derselben in Berührung gewesen wäre, denn es ist wohl denkbar, dass die Einwirkung derselben auf das Myosin, d. i. die Bildung von Syntonin, die, wie oben schon bemerkt wurde, nach KÜHNE's Ansicht sich in einer gewissen Lockerung der Starre ausdrückt, die Grenze für die Möglichkeit der Restitution der myosinbildenden Substanzen sei es extra corpus sei es intra corpus bei hochgradiger Starre bildet.

Zum Ersatz müssen weiter dem Muskel kohlenstoffhaltige stickstofffreie Atomcomplexe zugeführt werden, die aber unter Umständen erst im Muskel vielleicht aus stickstoffhaltigen Körpern sich bilden. Es wäre wohl nicht unmöglich, dass die stickstoffhaltigen Abkömmlinge der Eiweisskörper wie Kreatin, Hypoxanthin

1 M. TRAUBE, Arch. f. pathol. Anat. XXI. S. 396. 1861.

u. s. w. ausser dem regelmässigen, von dem Thätigkeitszustand des Muskels unabhängigen Zerfall der Eiweisskörper des Muskels, zum Theil der Bildung jener kohlenstoffhaltigen Atomcomplexe aus Eiweissstoffen ihren Ursprung verdanken. Es liegt übrigens auf der Hand, dass in den Fällen, in welchen die Eiweisskörper durch vollkommene Verbrennung die geleistete Arbeit nicht decken können, diese Deckung noch weniger durch zudem noch unvollkommen verbrannte (z. Th. als Milchsäure ausgeschiedene) stickstofffreie Spaltungsproducte, also Theile derselben geleistet werden kann, dass also in diesen Fällen von einem Ursprung der in Rede stehenden stickstofffreien organischen Verbindungen aus Eiweisskörpern nicht die Rede sein kann. Andererseits bei reiner Eiweissnahrung müssten sie aber sämmtlich aus Eiweisskörpern entstehen, und in gewissen zwischen diesen beiden Extremen liegenden Fällen, wenn die stickstofffreien Verbindungen der Nahrung zwar nicht fehlen, aber in zu geringer Menge in derselben vorhanden sind, in welchen, wie oben S. 322 auseinandergesetzt wurde, vermehrte Stickstoffausscheidung während der Arbeit und in der der Arbeit folgenden Ruheperiode eine normale Erscheinung ist, werden stickstoffhaltige wie stickstofffreie Substanzen die Ersatzstoffe liefern.

Wie die durch Dissociation Kohlensäure liefernde Substanz restituirt wird, darüber lässt sich natürlich gar Nichts sagen. Die zweite Substanz, welche im Stoffwechsel des Muskels fortwährend zersetzt wird, das Glykogen, bildet sich in den Muskeln wahrscheinlich auf dieselbe Weise wie in der Leber. Das ist durch Fütterungsversuche nach längerem Fasten, also bei sehr herabgesetztem Glykogengehalt der Muskeln, durch LUCHSINGER¹ erwiesen worden: nach Fütterung von Glycerin und Traubenzucker fand sich das Muskelglykogen bei Kaninchen bedeutend vermehrt. Dass das Glykogen auch aus Eiweisskörpern entstehen kann, scheint aus dem Glykogenreichthum der Muskeln von mit ausgekochtem Pferdefleisch gefütterten Hühnern hervorzugehen (NAUNYN²). Der bei Traubenzucker beobachtete Erfolg legt die Frage nahe, ob der in dem Muskel selbst gebildete Traubenzucker (Fleischzucker) wieder in Glykogen zurückverwandelt werden könne. Es wird aber in gewöhnlichen Verhältnissen kaum zur Ansammlung von Fleischzucker kommen, sondern es ist wahrscheinlich, dass die gebildeten Zuckermoleküle rasch weiter die Milchsäuregährung eingehen. Die Frage wird also nicht von praktischer Bedeutung werden.

Der Ersatz wird nach jeder Richtung hin erleichtert durch die schnellere Circulation des Blutes im thätigen Muskel.

1 LUCHSINGER, Exper. u. krit. Beiträge z. Physiol. u. Pathol. d. Glykogens. Dissert. S. 22. Zürich 1875.

2 NAUNYN, Arch. f. exper. Pathol. III. S. 85. 1875.

ANHANG.

Die glatten Muskeln.

Zu den bei den quergestreiften Muskeln angeführten die Untersuchung erschwerenden Umständen kommt bei den glatten Muskeln noch hinzu, dass das Material so schwer zu beschaffen ist, da die Masse der glatten Muskeln bei den einheimischen Kaltblütern zu gering ist, bei den Warmblütern aber das rasche Absterben störend eingreift. Vielleicht lassen sich verwenden die glatten Muskeln von Warmblütern, die nach dem oben S. 299 erwähnten Verfahren von CL. BERNARD vor dem Tode auf 20° C. abgekühlt worden sind. Die Untersuchung im Einzelnen würde dann dieselben Wege einzuschlagen haben, die sich bei den quergestreiften Muskeln bewährt haben.

Bis jetzt ist über den chemischen Bau der glatten Muskeln folgendes festgestellt.

Die Reaction der glatten ruhenden Muskeln ist stets neutral oder alkalisch (DU BOIS-REYMOND¹), nur der hintere Schliessmuskel von Anodonta — falls es erlaubt ist, die den glatten Muskeln ähnlichen Muskeln der niederen Thiere mit heranzuziehen — reagirt auch im Leben sauer (J. BERNSTEIN²). Dieser Muskel ist aber nicht ruhend, sondern stets in einem gewissen Grade der Contraction.

Die Eiweisskörper angehend, so hat man aus der auch die Muskelfaserzellen befallenden Starre auf die Gegenwart von Myosin bildenden Substanzen geschlossen. Dass man beim Auspressen von glatten Muskeln keine gerinnbare Flüssigkeit erhält, ist nach dem bei den analogen Versuchen von BRÜCKE Gesagten nicht als Gegenbeweis aufzufassen. Einen dem Musculin ähnlichen bei 45—49° C. gerinnenden Eiweisskörper haben HEIDENHAIN und HELLWIG³ durch Auspressen gewonnen. Alkalialbuminat kommt nach M. S. SCHULTZE⁴ in grossen Mengen vor. Endlich fehlt auch nicht lösliches Eiweiss.

Von ungelösten Eiweisskörpern enthält die contractile Faserzelle ausser den in dem Kern befindlichen nach den BRÜCKE'schen⁵ Untersuchungen sarcous elements.

Mit Leichtigkeit gehen sämtliche Eiweisskörper durch die Einwirkung verdünnter Salzsäure in Syntonin über.

Hämoglobin ist wie bei den quergestreiften Muskeln kein constant und wesentlicher Bestandtheil. Nach LANKESTER⁶ sind u. A. die glatten Muskeln des Rectums des Menschen rothgefärbt.

Von stickstoffhaltigen Abkömmlingen der Eiweisskörper ist Kreatin von LEHMANN nachgewiesen worden.

1 DU BOIS-REYMOND, Monatsber. d. Berliner Acad. 1859. S. 288.

2 J. BERNSTEIN, De animal. evertibrat. musculis nonnulla. Dissert. Berol. 1862.

3 HELLWIG, Nonnulla de musculis laevibus. Dissert. Vratisl. 1861; HEIDENHAIN, Studien d. physiol. Instituts zu Breslau. 1. Heft. S. 199. Leipzig 1861.

4 M. S. SCHULTZE, Ann. d. Chemie u. Pharm. LXXI. S. 277.

5 E. BRÜCKE, Untersuchungen über den Bau der Muskelfasern. Wien 1858.

6 LANKESTER, Arch. f. d. ges. Physiol. IV. S. 315. 1871.

Von Kohlehydraten hat BRÜCKE¹ Glykogen in der Muskelhaut des Schweinemagens gefunden. Das Vorkommen von Inosit wird von LEHMANN² angegeben.

Der Gehalt der organischen Muskeln an Fetten, Wasser, Asche und Gasen ist noch nicht bestimmt.

Die glatten Muskeln werden unter denselben Bedingungen wie die quergestreiften starr. Eine Gerinnung in den Fasern ist von HEIDENHAIN³ beobachtet, die allgemeine Erstarrung in mechanischem Sinne von KÜHNE⁴ beschrieben. Es sollen frische nicht contrahierte Därme für das Gefühl grössere Weichheit zeigen als 4—5 Stunden nach dem Tode. Ferner bedarf es um die Harnblase des Hundes bis zur annähernden Herstellung der Kugelform zu erweitern einige Stunden nach dem Tode eines weit höheren Druckes als unmittelbar nach dem Tode des Thieres. Von den Theilerscheinungen der Starre ist nur die Säurebildung in das Auge gefasst worden. LEHMANN⁵ hatte Milchsäure im Muskel gefunden und saure Reaction der Muscularis des Schweinemagens, auch SIEGMUND⁶ fand Milchsäure im sauer reagirenden Uterus einer nach künstlicher Frühgeburt im achten Monat gestorbenen Frau, DU BOIS-REYMOND aber konnte weder an dem Muskelmagen der Vögel, dessen Veränderungen er bis zur Fäulniss verfolgte, noch an der Muskelhaut des Dickdarms und der Aorta vom Ochsen saure Reaction entdecken, und hielt daher die Säuerung der glatten Muskeln überhaupt für zweifelhaft, indem er das positive Resultat von SIEGMUND für Folge von Contractionen erklärte. Jetzt aber, wo man im Gegensatz zu der damaligen Auffassung von DU BOIS den Prozess der Thätigkeit und der Starre nicht mehr für von einander verschieden hält, wird SIEGMUND's Erfahrung als Beweis für Säurebildung bei der Starre gelten, ebenso ferner die Gegenwart von Glykogen, wenn auch dessen Umsetzung noch nicht bekannt ist. Das Ausbleiben der sauren Reaction wird man nicht als ein Ausbleiben der Säurebildung, sondern als ein Verdecktwerden der Säure, vielleicht durch die Alkalialbuminate auffassen.

Von dem Stoffwechsel der glatten Muskeln weiss man gar Nichts, es sind aber bei der offenbar sehr grossen Uebereinstimmung zwischen den organischen und willkürlichen Muskeln im chemischen Bau und den Veränderungen bei der Erstarrung auch hier keine grossen Abweichungen zu erwarten. Dass sich bei der Thätigkeit der Muskeln Säure bildet, darf wohl aus der oben erwähnten sauren Reaction des stets in einem gewissen Grade contrahirten hinteren Schliessmuskels von Anodonta geschlossen werden. Die übliche Trennung beider Muskelarten wird in der Physiologie mit der Zeit wegfallen können. —

1 BRÜCKE, Sitzgsber. d. Wiener Acad. LXIII. 2. Abth. Febr. 1871.

2 C. G. LEHMANN, Lehrb. d. physiol. Chemie III. (1) S. 73. Leipzig 1851.

3 HEIDENHAIN, Studien d. physiol. Instit. zu Breslau. 1. Hft. S. 199. Leipzig 1861.

4 W. KÜHNE, Lehrb. d. physiol. Chemie S. 331. Leipzig 1866.

5 C. G. LEHMANN, Lehrb. d. physiol. Chemie III. (1) S. 72. Leipzig 1851.

6 Mündliche Mittheilung an DU BOIS-REYMOND.