

(Physiologisches Laboratorium in Bonn.)

Beiträge zur Lehre von der Respiration.

I.

Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen.

Von

E. Pflüger.

§ 1. Definition der Aufgabe.

In meiner Abhandlung »Ueber die Diffusion des Sauerstoffs, den Ort und die Gesetze der Oxydationsprocesse im thierischen Organismus«¹⁾ habe ich mit dem stärksten Nachdruck das Princip ausgesprochen, dass die **lebendige Zelle die Grösse des Sauerstoffverbrauches regelt**, nicht aber der Sauerstoffgehalt des Blutes, also nicht die Geschwindigkeit des Blutstromes oder andere Momente, die darauf von Einfluss sein können.

Meiner Auffassung nach ist die thierische Oxydation vergleichbar der langsamen Verbrennung activen Phosphors in verdünntem Sauerstoff. Denn hier liegt nur im Phosphor die Ursache, dass die chemische Bindung sich vollzieht.

Die thierische Verbrennung der Zelle setzt nicht bloss **keinen activen und nur neutralen Sauerstoff voraus, sondern ist auch innerhalb weiter Grenzen vollkommen unabhängig von dem Partiardruck des neutralen Sauerstoffs.**

So wenig ist diese fundamentale Wahrheit erkannt, dass trotz alles Dessen, was ich bis dahin dafür geltend gemacht habe, einer unserer berühmtesten Physiologen, nämlich C. Ludwig und seine Schule bis in die neueste Zeit geradezu das Umgekehrte des von mir aufgestellten Gesetzes für das Wahre ausgeben.

Nur mein oben ausgesprochenes Princip enthält die richtige Erklärung des Gesetzes von Regnault und Reiset, dass Thiere

1) E. Pflüger, Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. VI. p. 43.

gleichviel Sauerstoff absorbiren und Kohlensäure abgeben, welches auch der Partiardruck des Sauerstoffes sei, den sie einathmen.

Die fast allgemein adoptirte Erklärung Lothar Mayer's ist falsch. Er sieht in dem Hämoglobin den Regulator des Sauerstoffverbrauches; er sagt, dass eine Blutentziehung deshalb gleichwerthig einer Sauerstoffentziehung sei. Aber es ist ja ganz klar, dass Thiere und Menschen je nach Arbeit und Nahrungsaufnahme bald wenig, bald viel Sauerstoff aufnehmen, ohne dass der Hämoglobingehalt ihres Körpers eine Aenderung erfährt. In der dieser Abhandlung folgenden Arbeit von Dr. D. Finkler ist ausserdem der experimentelle Beweis geliefert, dass sehr grosse Blutverluste keine Spur eines Einflusses auf den Sauerstoffverbrauch haben, weil eben nur der Verbrauch der Zelle das wesentlich Bestimmende ist. Nicht durch Sauerstoffentziehung wirkt ein Aderlass, sondern durch Herabsetzung der Ernährung, weil der gesunkene Blutdruck die Filtration in den Capillaren verkleinert und weil das Blut an Concentration abnimmt. Secundär kann dies dann eine Herabsetzung des Sauerstoffverbrauches induciren. Auch bei den Thieren, deren Blut den Sauerstoff gar nicht chemisch bindet, gilt ganz sicher das Gesetz von Regnault und Reiset auch.

Wer mit mir der Ansicht ist, dass nur der Gedanke den That-sachen des Naturforschers Werth verleiht, dass nur die Erkenntniss der wahren Principien den wirklichen Fortschritt möglich macht, der wird die Berechtigung dieser Abhandlung anerkennen.

§ 2. Kritik der Beweise, welche für die Gegenwart des Ozons im thierischen Organismus vorgebracht worden sind.

Abermals will ich also eintreten für die Entscheidung der Frage, ob die Metamorphose der Materie im thierischen Stoffwechsel dadurch bedingt ist, dass der Sauerstoff die organischen lebendigen Molecule zerreisst, oder ob diese letzteren das neutrale Sauerstoffmolecul spalten.

Ich werde in der Folge deshalb genöthigt sein, die von angesehenen Forschern beigebrachten That-sachen und Schlussfolgerungen, welche gegen meine Ansicht sprechen, zu kritisiren, wobei ich Niemandem zu nahe treten will. Wo ich beim Citiren ein Ausrufungszeichen hinter einem Worte anbringe, möchte ich damit nur die

Aufmerksamkeit des Lesers auf diejenigen Punkte lenken, die ich für die Quelle von Fehlern ansehe.

Von jeher hat man an der Thatsache Anstoss genommen, dass das Eiweiss gegen den neutralen Sauerstoff sich indifferent verhalte und doch in dem lebendigen Körper bei relativ niedriger Temperatur so energisch oxydirt werde. Allgemein gelangte man zu der Annahme, es müsse der Sauerstoff im lebendigen Organismus eine Veränderung erfahren und seinen indifferenten Charakter verlieren, um als gefrässiges Ozon das Eiweiss, die Fette und Kohlenhydrate zu verbrennen.

Obwohl bereits Hoppe-Seyler sich auf das Bestimmteste gegen die Berechtigung der Annahme des Ozons im Thierkörper ausgesprochen, so findet man doch noch in den neuesten Lehrbüchern der Physiologie, sowie allenthalben in der medicinischen Literatur die entgegengesetzte Auffassung.

Es scheint mir deshalb nicht unwichtig, genauer die Gründe darzulegen.

Einen willkommenen Anhalt erfuhren jene Vorstellungen, die in dem Sauerstoff den »Lebenserreger« sahen, durch die Untersuchungen von Alexander Schmidt, aus denen hervorzugehen schien, dass das Blut Ozon enthalte.

Der wichtigste Versuch ist bekanntlich der, dass man einige Tropfen guter Quajaktinctur auf schwedisches Filtrirpapier fliessen lässt und abwartet, bis der entstandene braune Fleck durch Verdunstung des Alkohols nahezu, aber nicht ganz getrocknet ist. In diesem Moment bringt man auf diesen Fleck einen Tropfen gewässertes Blut. Es entsteht allmählig ein blauer Hof rings um den Tropfen¹⁾. Wenn das Blut sehr stark gewässert worden war und man eine »möglichst dünne Schicht auf den Quajakpapierstreifen« gestrichen hat, so bläut sich auch, was gewöhnlich nicht geschieht, nach Schmidt der unmittelbar benetzte Theil des braunen Fleckens²⁾.

Die Ursache dieser Reaction ist nach meiner Ansicht, die ich seit vielen Jahren in meinen Vorlesungen vorgetragen habe, folgende:

Wo eine sehr dünne Blutschicht auf dem porösen Papiere sich befindet, vollzieht sich unter gleichzeitiger chemischer Zersetzung des Blutfarbstoffes die Bildung einer Sauerstoff fest bindenden Sub-

1) Alex. Schmidt. Ueber Ozon im Blut 1862. Dorpat. p. 5.

2) Alex. Schmidt. Ebend. p. 6.

stanz. Ich sowohl, als Hoppe-Seyler in seinen berühmten Untersuchungen über den Blutfarbstoff, haben gezeigt, dass bei dieser Zersetzung ein mit Begierde sich oxydirender Körper, das Haemochromogen Hoppe's, auftritt. Hoppe-Seyler aber hat bewiesen, dass Lösungen von Blutroth beim Verdunsten über 0° sich immer partiell zersetzen, also oxydiren. Ein Molekul, welches sich oxydirt auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffs, muss dessen Molekul der Regel nach spalten und so erklärt sich die Bildung des Ozons durch die langsame Oxydation des Phosphors und vieler anderer leicht oxydirbarer Substanzen.

In einem Aufsätze gegen Pokrowsky, welcher ebenfalls gegen die Beweiskraft der Schmidt'schen Versuche aufgetreten ist, liefert nun Schmidt merkwürdigerweise selber den Beweis, dass bei seinem bekannten Versuche das Blut sich stärker und energischer zersetzt, als man glauben sollte.

Er sagt, es sei nothwendig gewesen zu versuchen, ob das Blut nicht etwa durch blosse Berührung mit porösem Papier die Fähigkeit erlangt, eine Quajaktinctur, gegen welche es sich auf glatten Oberflächen ursprünglich unwirksam verhielt, nun doch auf einer solchen Oberfläche zu bläuen. »Dieses ist in der That der Fall«¹⁾ (!!!).

»Wenn man Fliesspapier mit Blut tränkt, sich dann, sobald das Eintrocknen beginnt, einen peripherischen Streifen abschneidet, denselben zerkleinert und mit Wasser extrahirt, so erhält man eine Blutlösung, welche mit vollkommener Sicherheit das Quajakharz auf gläsernen Oberflächen bläut, auch wenn die Reaction mit dem ursprünglichen Blute misslang. So lange die angewendete Tinctur noch empfindlich genug ist, um auf dem Papierstreifen zu reagiren, so lange gelingt bei dieser Behandlung des Blutes auch die Reaction auf einer Glasplatte«²⁾.

Was giebt es für einen evidenteren Beweis, dass die Berührung mit dem Papier eine Veränderung des Blutes vollzogen hat, in Folge deren die Reaction energisch auftritt?

Ferner meldet A. Schmidt, dass beim Eintrocknen normalen Blutes auf Fliesspapier nur der äusserste peripherische Theil des Blutfleckes ein zur eben beschriebenen Reaction taugliches Wasser-

1) Alex. Schmidt. Nochmals über Ozon im Blute. Virch. Archiv. Bd. 42, Separatabdruck (Erwiderung auf Pokrowsky's Abhandlung), p. 28.

2) Alex. Schmidt. Nochmals über Ozon etc., p. 28.

extract giebt¹⁾. Man erinnert sich aber, dass eben meist nur der Rand des Blutstropfens bläuend wirkt. Hierzu bemerke ich ferner, dass ja bekanntlich eingetrocknete Blutstropfen in der Mitte oft noch schön roth, an den Rändern aber fast immer wegen Zersetzung des Hämoglobins braun sind. Auch P o k r o w s k y hat hierauf aufmerksam gemacht.

Das Merkwürdigste aber ist, dass A l. S c h m i d t das mit dem Fliesspapier behandelte Blut mit dem Spectroscope untersuchte und sah, dass es den Haematinstreifen zeigte; »derselbe ist um so deutlicher entwickelt und die Oxyhaemoglobinstreifen treten um so mehr zurück, je längere Zeit das Trocknen im Papier gedauert hat und je verdünnter (!!!) das Blut war. Nach H o p p e - S e y l e r haben wir es hier neben noch unzersetztem Hämoglobin mit Methämoglobin zu thun, welches optisch mit dem Hämatin in saurer Lösung identisch ist.«

»Dass mit dieser im Papier eintretenden Zersetzung des Blutfarbestoffs«, sagt S c h m i d t selbst, »eine Steigerung seiner oxydierenden Eigenschaften Hand in Hand geht, ersieht man daraus, dass die Reaction auf dem Glase um so besser gelingt, je deutlicher der Hämatinstreifen hervortritt; hiermit stimmt auch meine frühere Erfahrung, dass das Hämatin das Quajakharz ungleich kräftiger bläut, als das Hämoglobin, überein. Andererseits genügt schon der geringste (!) Grad der Zersetzung, um dem Blute die Fähigkeit zu ertheilen, eine relativ unempfindliche Quajaktinctur auf glatter Oberfläche zu bläuen²⁾.«

Gleichwohl behauptet S c h m i d t, dass sein Versuch für das Hämoglobin beweisend sei. Denn er sagt: »Frisches Blut auf einer Glastafel bei gewöhnlicher Temperatur stundenlang eingetrocknet, erleidet keine Zersetzung des Farbstoffes; da nun trotzdem die Reaction auf einer Glastafel mit frischem unzersetztem Blute gelingt, so besitzt schon das normale Oxyhämoglobin die Fähigkeit, das Quajakharz zu bläuen, den Zersetzungsproducten kommt diese Eigenschaft aber in erhöhtem Maasse zu. Die Bläuung des Quajakharzes auf porösem Papier ist also eine directe Wirkung des Blutes und nicht des Papiers, aber letzteres befördert diese Wirkung, indem es die Zersetzung des Blutfarbstoffes einleitet³⁾.«

1) A l. S c h m i d t. Nochmals über Ozon etc. p. 29.

2) A l. S c h m i d t. Nochmals über Ozon etc. p. 29.

3) A l. S c h m i d t. Nochmals über Ozon etc. p. 30.

Da nun offenbar sehr geringe Spuren von Ozon zur Bläuung genügen, und da beim Verdunsten sich immer eine kleine Menge Blutfarbstoff auch auf einer Glastafel bei mittlerer Temperatur zersetzen wird, so kann man nicht zugeben, dass Schmidt den Beweis erbracht hat. Denn sein Beweis beruht auf der Behauptung, dass Hämoglobinlösung auf Glas beim Abdunsten sich nicht zersetzt, während nach allen Erfahrungen diese Zersetzung über 0° beim Verdunsten immer eintritt und natürlich in jedem Gefässe sich vollzieht. Wer kann denn sagen, wie klein die zersetzte Menge sein darf, ohne aufzuhören, die Quajakreaction zu geben?

Al. Schmidt hat, was zur Klärung der Frage wesentlich beiträgt, auch selbst bewiesen, dass diese Blutlösungen, welche die Quajakreaction geben, fortwährend »ausserordentlich grosse« Mengen von Sauerstoff verschlucken; d. h. sich oxydiren, was ja auch die continuirlich ablaufende Zersetzung beweist¹⁾. Schmidt zeigte, dass, während »unzersetztes« Blut bei Zimmertemperatur etwa 15—18 Vol. pCt. in etwa 2 Tagen verzehrt, ein Extract aus auf Fliesspapier getrocknetem Blute (20 pCt. feste Bestandtheile der Lösung vorausgesetzt) in derselben Zeit 87 Vol. pCt., d. h. in 8 Tagen 348 Vol. pCt. Sauerstoff verbrauchen kann²⁾.

Daraus geht doch ganz klar hervor, dass man es bei diesen Versuchen über Ozonreaction mit Körpern zu thun hat, die normal im Blute nicht enthalten sind.

Ganz ähnliche Verhältnisse lieferte Kohlenoxydblut³⁾, wie das nach unseren jetzigen Kenntnissen selbstverständlich ist, weil das Kohlenoxydhämoglobin ja bei gewöhnlicher Temperatur in Dissociation ist, also die fortwährende Neubildung von Oxyhämoglobin ermöglicht.

Die höchst wesentliche Frage aber, ob nicht auch das Quajakharz selbst eine Zersetzung des Blutes veranlasst, hat Schmidt nicht berührt, wohl aber Thatsachen gemeldet, die das in hohem Grade wahrscheinlich machen.

Wenn man die Quajakinctur zu einem dünnen Syrup zur Verjagung des Alkohols abdunstet auf circa $\frac{1}{4}$ Volum und zu 1 bis $1\frac{1}{2}$ CC. 1 Tropfen Blut bringt, so scheiden sich erst Flocken aus,

1) Al. Schmidt. Nochmals über Ozon. p. 30.

2) A. Schmidt. Nochmals über Ozon. p. 30.

3) Al. Schmidt. l. c. p. 31.

die sich dann wieder lösen, wobei der Syrup sehr dickflüssig wird. Schmidt sagt, dass, wenn man zu 30 Tropfen dickflüssiger Quajak-tinctur mehr als 2 bis 3 Tropfen Blut setzt, so „wird dadurch die Harzlösung so dickflüssig, dass sie sich nicht mehr schütteln lässt¹⁾.“

Dass man diese Harze nicht als indifferent gegen Blut betrachten kann, zeigt z. B. das Terpentinöl, welches nach Schmidt mit Blut eine harte Masse bildet²⁾.

Da also das Hämoglobin unter den genannten Bedingungen sich fortwährend zersetzt und die Zersetzung durch unberechenbare Momente begünstigt oder verzögert wird; da die Zersetzung mit Entstehung von Körperneinhergeht, die in statu nascenti sich mit dem atmosphärischen Sauerstoff verbinden, und da Oxydationen oft Ozon oder Oxygenium nascens bedingen, so ist der Quajakversuch nicht beweisend für die Fähigkeit des Hämoglobins, den neutralen Sauerstoff zu ozonisieren.

Hiermit in Uebereinstimmung ist, dass, je älter das Blut ist, d. h., je mehr die Zersetzungen bereits abgelaufen und die Oxydationen vollzogen sind, um so schwächer die Wirkung auf Quajak wird. Aber „selbst ganz faules, 4 Wochen altes Blut war nicht unwirksam geworden³⁾.“ Denn es enthält immer noch unzersetztes Hämoglobin oder dessen nächste Abkömmlinge.

Al. Schmidt hat allerdings noch mehr Gründe für seine Ansicht beigebracht. Es ist ihm gelungen, mit Blut Jodkaliumstärkekleister zu bläuen, was ja bekanntlich durch Oxydation des Kaliums und Bildung von Jodstärke bedingt ist. Er war aber gezwungen, den Kleister vor dem Blutzusatz anzusäuern, um, wie er meinte, die Probe durch Bildung von Jodwasserstoff empfindlicher zu machen. Er bediente sich der Chlorwasserstoffsäure, der Schwefelsäure, der Weinsäure und der Oxalsäure⁴⁾. Die Ansäuerung war „jedesmal“ so stark, dass die Lösung nach Beimengung von Blut oder Blutserum noch deutlich sauer reagierte (a. a. O. p. 17). In einer späteren Abhandlung⁵⁾ hebt Schmidt richtig hervor, dass bei dieser Be-

1) Al. Schmidt. Ueber Ozon im Blut. p. 8 u. 9.

2) Al. Schmidt. Hämatol. Studien. p. 46.

3) Al. Schmidt. Ueber Ozon im Blut. p. 30.

4) Al. Schmidt. Ueber Ozon etc. p. 15 u. 16.

5) Hämatol. Studien. p. 61.

handlung das Blutroth sich zersetze, so dass der Versuch also nicht für das Oxyhämoglobin verwerthet werden kann. Al. Schmidt hat ferner neutrale Indigolösung durch das Blutozon zu entfärben gesucht. Die Farbenänderung zeigte sich „in den ersten Tagen“ nicht (!), „dann aber wurde die bluthaltige Flüssigkeit missfarbig, wobei sich bald ein deutliches Grün entwickelte, das von Tag zu Tag heller wurde; die Farbe der unvermischten Indigolösung verlor während dessen höchstens etwas von ihrer Dunkelheit. Nach Verlauf von 12 (!) Tagen war erstere ganz lichtgrün geworden¹⁾.“ Später fährt er über denselben Versuch fort: „Es war also jedenfalls in dem Indigoblutgemische Blau geschwunden und Gelb aufgetreten, das dem Blute angehörige Roth wurde theils von diesen Farben verdeckt, theils hatte es sich durch Zersetzung (!) des Blutes soweit geändert, dass es zur Entstehung von Grün beitrug, wie sich daraus ergab, dass die zweite Portion der reinen Indigolösung mit dem vor 12 Tagen benutzten und jetzt schon faulenden (!) Blute in dem angegebenen Verhältnisse versetzt keine violette, sondern eine dunkelgrüne Farbe mit einem äusserst schwachen Stiche ins Violette (nur bei durchfallendem Licht bemerkbar) zeigte²⁾.“

Bei den Indigoversuchen handelt es sich also ebenfalls um eine fortlaufende Kette von Zersetzungsprocessen, die natürlich mit Oxydationen verknüpft sind.

Al. Schmidt bezieht sich nun auch noch auf Versuche von Pokrowsky mit Kohlenoxydblut, die er bestätigte, aber ohne genauere Daten anzugeben. Hierbei soll das Kohlenoxyd bei 30—42° C. in 24 Stunden in Kohlensäure übergehen³⁾.

Bei den Analysen Pokrowsky's handelt es sich um kleine Kohlensäuredifferenzen in demselben Blute, je nachdem es mit CO versetzt war oder nicht. Die Oxydation von Kohlenoxyd zu Kohlensäure durch normales Blut ist durch diese Versuche nicht als erwiesen anzusehen, weil einmal in 24 Stunden bei 32—42° sicher schon Fäulniss eintritt, so dass durch abnorme Zersetzung bedingte Oxydation eine Ozonisation erzeugen kann, die nicht physiologisch ist. Pokrowsky giebt in einem Falle selbst an, dass die Gase Schwefelwasserstoff enthielten, was sich wohl durch den Geruch

1) Al. Schmidt. Ueber Ozon im Blut. p. 21.

2) Al. Schmidt. Ueber Ozon im Blute etc. p. 22.

3) Pokrowsky. Zur Frage über Ozon im Blute etc., in Virchow's Archiv. Bd. 36. p. 496.

verrieth. Er hätte deshalb bei Absorption der Kohlensäure aus dem Gasgemische immer erst den Schwefelwasserstoff entfernen und bestimmen müssen. Ferner entwickelt ja solches Blut mit und ohne Sauerstoff bei der Digestion Kohlensäure und die Gegenwart des Kohlenoxydes kann diese Entwicklung beeinflussen. Diese Untersuchung beweist also keineswegs die Oxydation des Kohlenoxydes zu Kohlensäure in normalem Blute.

Ein anderer öfters angezogener Grund für die Ozonbildung im Blute ist die Oxydation des Schwefelwasserstoffes in demselben¹⁾. Aber dieses Gas oxydirt sich doch sehr schnell in destillirtem Wasser, in dem so wenig Sauerstoff aufgelöst ist, während im Blute verdichteter Sauerstoff vorkommt, weshalb auch diese Thatsache nicht beweisend ist.

Allgemein kann man sagen, dass, abgesehen von einigen winzigen Wirkungen, alle leicht verbrennbaren Stoffe, die in alkalischem Wasser an der Luft stehend nicht verbrannt werden, auch im Blute fast unverändert bleiben, wie z. B. sogar Natriumlactat²⁾ und Traubenzucker (Hoppe-Seyler).

Alexander Schmidt hat endlich noch eine Reihe von Thatsachen von grosser Merkwürdigkeit, die er selbst entdeckt hat, in dem Sinne verwerthet, dass der Sauerstoff, um die thierische Oxydation zu vollziehen, erst erregt werden müsse.

Alexander Schmidt stellte bekanntlich fest, dass die Körperchen ganz frischen Blutes das Wasserstoffsuperoxyd mit einer Energie katalysiren, wie keine andere bekannte Substanz. Ein Tropfen Blut ruft, wenn er in eine möglichst gesättigte Lösung von Wasserstoffsuperoxyd gebracht wird, unter heftigem „explosionsartig“ erfolgenden Aufschäumen die sofortige Zersetzung unter Entwicklung neutralen Sauerstoffs hervor, ohne dass eine Oxydation des Hämoglobines stattfindet. An sehr vielen Stellen seiner zahlreichen Abhandlungen kommt der genannte Forscher immer wieder mit demselben Nachdruck auf diese Thatsache zurück³⁾.

Alexander Schmidt ist der Ansicht, dass diese mächtige

1) L. Lewisson. Zur Frage über Ozon im Blute. Virch. Arch. Bd. 36. p. 15.

2) Scheremetjewsky. Ludwig's Arbeiten 1868. p. 139.

3) S. Al. Schmidt. Hämatologische Studien. p. 7, 39, 41, 66, 107. Derselbe. Ueber Blutgerinnung im Archiv für die gesammte Physiologie. Bd. 6. p. 508, 513.

Katalyse durch eine Modification des Hämoglobines bedingt sei, welche als „genuine“ bezeichnet wird, weil sie die des lebendigen Blutes sei.

Nachdem Schmidt dann gefunden hatte, dass der krystallisierte Farbstoff nur eine äusserst schwache katalytische Kraft besitzt, aber vom Wasserstoffsperoxyd unter Entfärbung verbrannt wird, unterscheidet er zwei Modificationen des Hämoglobines, nämlich einmal das „genuine“ oder amorphe, dem die mächtige katalytische Kraft zukommt, und zweitens das krystallinische. Gleichzeitig fand er, dass, wenn man zu einer Lösung von krystallinischem Hämoglobin etwas „genuines“ hinzufügt, so schützt dieses das krystallinische vor der Oxydation durch den Sauerstoff, den das „genuine“ mit Energie aus Wasserstoffsperoxyd austreibt. Bei diesem Versuche tritt nur das Bedenken auf, dass man „genuines“ zwar in krystallinisches Hämoglobin, letzteres aber nicht in „genuines“ zurückverwandeln kann. Da nun das krystallinische Hämoglobin wirklich ein chemisch reiner Körper ist, so liegt der Verdacht nahe, dass das Hämoglobin überhaupt keine Wirkung auf Wasserstoffsperoxyd habe, und dass das „genuine Hämoglobin“ nur darum katalysire, weil es ein Gemenge von krystallinischem mit irgend einer die Katalyse bewirkenden Substanz sei. Schmidt verschaffte sich das „genuine“ Hämoglobin ziemlich rein, durch Auswaschen möglichst vom Serum befreiter Pferdeblutkörperchen. Dass er es hier mit einer höchst zersetzbaren, stark katalysirenden Substanz neben Hämoglobin zu thun hatte, beweist Schmidt eigentlich meines Erachtens selbst, indem er zeigt, dass wenn Blutfarbstoff aus Blut durch Pergamentpapier im Dialysator diffundirt ist, er auch keine oder nur schwache Wirkung auf Wasserstoffsperoxyd mehr besitzt. Die natürlichste Deutung dieses Versuches ist doch, dass die katalysirende Substanz das Pergamentpapier schwieriger noch als Hämoglobin oder auch gar nicht durchdringen kann. Schmidt deutet dies aber anders. Weil das Hämoglobin, nachdem es diffundirt ist, nicht mehr katalysirt, nimmt er an, es habe sich vor der Diffusion in die andere, die „krystallinische“ Modification, umgewandelt. Um zu erklären, warum das immer geschieht, nimmt er an, dass katalysirendes, d. h. „genuines“ Hämoglobin überhaupt nicht diffundiren könne. Schmidt bringt aber für diese Behauptungen keine Beweise bei.

Schmidt hebt allerdings einen Grund hervor zur Rechtfertigung

tigung seiner Anschauung. Er macht darauf aufmerksam, dass in der Mutterlauge, aus welcher der Blutfarbstoff auskrystallisirt, denn doch die mächtig katalysirende Substanz enthalten sein müsse. Es verliere aber die Flüssigkeit immer mehr ihre katalytische Kraft, je mehr »genuines« Haemoglobin in krystallinisches übergehe¹⁾. Nun sagt Schmidt in demselben Aufsatz (pag. 525), dass Zimmerwärme, atmosphärische Luft und Wasser das »genuine« Haemoglobin in krystallinisches überführen. Wenn also die Blutlösung solchen verändernden Einflüssen ausgesetzt ist, so ist es ja sehr möglich, dass die das Wasserstoffsuperoxyd katalysirende Substanz noch viel zersetzbarer und modificirbarer als Haemoglobin ist. Was dies für ein merkwürdiger Körper sein muss, will ich etwas später erörtern.

Aus diesen Thatsachen folgt, dass bis jetzt kein Grund vorliegt, zwei Modificationen des Haemoglobins zu unterscheiden.

Es giebt indessen noch einige Thatsachen, die in dem Sinne von Schmidt verwerthet werden könnten. Hoppe-Seyler hat das Cyanwasserstoff-Oxyhaemoglobin entdeckt und gezeigt, dass, wenn man Blut mit Blausäure versetzt, jene Verbindung nicht entsteht. Das kann nun sehr wohl seinen Grund darin haben, dass neben dem Haemoglobin im Blut noch andere Stoffe existiren, die zum Cyanwasserstoff eine noch grössere Anziehung ausüben, sodass vielleicht bei Zusatz grösserer Mengen der Hoppe-Seyler'sche Körper doch erhalten wird. Hoppe-Seyler hat indessen auf den Versuch kein Gewicht gelegt und wohl selbst dieses Verhältniss in ähnlicher Weise aufgefasst, wie ich es eben dargestellt habe.

Auch die Einwirkung der Kohlensäure könnte man heranziehen, die das Haemoglobin des Blutes erst zersetzt, wenn das Blut gewässert worden ist. Hier sind aber offenbar sehr viele Möglichkeiten denkbar, sodass man zur Annahme einer besonderen Modification des Haemoglobins nicht gezwungen ist.

Das Haemoglobin könnte in den Blutkörperchen in einer durch Wasser zersetzbaren lockeren Verbindung sein, die es gegen die Kohlensäure schützt; dieser Schutz könnte durch die Dichte des Haemoglobins im Blutkörperchen, durch den Reichthum des letzteren an stark alkalischen Salzen geboten sein u. s. w.

Der wichtigste Punkt bleibt uns aber noch zu besprechen. Denn es handelt sich um einen der merkwürdigsten Versuche, der

1) Schmidt l. c. Arch. 6, p. 522.

jemals angestellt worden ist und den Al. Schmidt selbst erdacht hat. Er veranlasste Dr. Asmuth, Wasserstoffsuperoxyd in das Blut lebendiger Thiere zu injiciren. Bei vorsichtiger Anstellung des Versuches konnte Dr. Asmuth Hunden 23 CC. einer Lösung von Wasserstoffsuperoxyd, die 115 CC. Sauerstoff in Berührung mit Blut sofort entwickeln musste, einspritzen, ohne dass die Thiere einen Schaden nahmen¹⁾. Kaninchen injicirte Dr. Asmuth Lösungen, die 30—40 CC. Sauerstoff entsprachen, ohne Gefährdung der Gesundheit.

Wenn das Wasserstoffsuperoxyd bei der Einführung der Canüle in die Vene nicht sorgfältig vor Beginn der Injection vor dem Contact mit Blut bewahrt wird, so findet Gasentwicklung statt und das Thier geht zu Grunde in Folge der Luftbläschen im Blute²⁾.

Es stellt sich demnach die wunderbare Thatsache heraus, dass Wasserstoffsuperoxyd im lebendigen Blute ruhig kreist und dass auch hier also das Haemoglobin, das doch gewiss »genuines« ist, sich ganz indifferent verhält.

Schmidt erklärt die Erscheinung allerdings anders. Er meint, dass im lebendigen Blute eine so gewaltige Erregung des Sauerstoffs stattfindet, dass der aus dem Wasserstoffsuperoxyd freier werdende Sauerstoff sofort zu physiologischer Oxydation verwandelt werde³⁾. Ich glaube kaum, dass das Blut »explosionsartig« Wasserstoffsuperoxyd zersetzen kann und dass 115 CC. Sauerstoff, die im Moment im rechten Herzen und den grossen Venen entstehen müssten, nachdem die Lösung dem Hunde in die Vena jugularis eingespritzt worden, etwas anderes bedingen würden, als augenblicklichen Tod. Ebenso wenig dürfen in einem Blutgefäss des Kaninchens plötzlich 30—40 CC. Sauerstoff ohne sofortigen Tod sich entwickeln, ja noch nicht ein viel kleinerer Theil. Dass das Wasserstoffsuperoxyd sich im Blute nur sehr langsam umsetzt, zeigt auch die allmählig eintretende, von Dr. Asmuth nachgewiesene Temperatursteigerung und Vermehrung des Harnes.

Der Versuch von Dr. Asmuth beweist also, dass das lebendige Blut auf Wasserstoffsuperoxyd keine stärkere katalytische Wirkung ausübt, als sehr viele andere Stoffe. Mithin hat das genuine Haemoglobin ebenso wenig als das krystallinische eine eminent

1) Al. Schmidt Haematol. Studien p. 7.

2) Haematol. Studien p. 8.

3) Haematol. Studien p. 11.

mächtige katalytische Wirkung auf Wasserstoffsuperoxyd. Der Versuch beweist uns aber, dass sofort mit der Entleerung des Blutes aus der Ader ein Zersetzungsproduct auftritt, welches mit ganz ungeheurer Gewalt die Katalyse vollzieht. Da jeder fremde Körper, welcher das Blut berührt, dessen Gerinnung, also Zersetzung anregt, so ist es erklärlich, dass, wenn die Canüle mit Wasserstoffsuperoxyd und Blut gleichzeitig in Berührung kommt, ein Schäumen des Blutes auftritt, welches nicht bemerkt wird, wenn einmal das Wasserstoffsuperoxyd im lebendigen Blute ist. Ein schönerer Versuch zur Demonstration der fast wunderbaren Empfindlichkeit des Blutes und seiner Veränderung nach dem Verlassen der Ader oder beim Contact mit heterogenen Stoffen lässt sich kaum denken.

Es ist deshalb recht auffallend, dass Alexander Schmidt in seiner letzten grossen Arbeit über Blutgerinnung in diesem Archive Bd. 6 so häufig es als besonders charakteristisch für das »genuine« Haemoglobin angiebt, dass es energischer als irgend eine andere Substanz Wasserstoffsuperoxyd katalysire (p. 508), gleichwohl aber an keiner Stelle mehr des Versuches von Dr. Asmuth Erwähnung thut, der doch ein so energisches Veto einlegt.

Nachdem somit alle Thatfachen, welche für die Ozonisation des Sauerstoffs im Blute ins Feld geführt worden sind, als ungenügend zum Beweise erkannt wurden, ist es wichtig, dass ein Forscher wie Alex. Schmidt, der in der Respiration des Blutes so grosse und wichtige Erfahrungen gesammelt hat, sich zu dem Geständniss gedrungen sieht, dass die ozonisirende Wirkung der Blutkörperchen bei Weitem nicht hinreiche, um alle Wirkungen, die der Sauerstoff im Thierleibe entfaltet und die ganze Grösse des thierischen Verbrennungsprocesses zu erklären¹⁾. Schmidt findet gleich mir, dass im gelassenen Blute keine Oxydationen vorkommen, die an Intensität entfernt den »im circulirenden Blute sich abwickelnden Processen« gleichkommen. Er denkt sich, dass die Processe mit dem Moment der Entleerung des Blutes aus der Ader zum Stillstande kommen²⁾. Er sieht sich deshalb, da das Haemoglobin eine zu winzige Erregung des Sauerstoffs bedingt³⁾, nach einem andern Erreger um, der energischer wirkt (p. 21. 24), muss aber hier zu im Blute kreisenden ganz

1) Haematol. Studien p. 21.

2) Haematol. Studien p. 22.

3) Schmidt. Haematol. Studien p. 23.

hypothetischen electrischen Strömen greifen, deren Kleinheit sie sicher als bedeutungsvoll erweisen dürfte.

Alle Thatsachen weisen darauf hin, dass der Blutsauerstoff neutraler ist, damit ihm jene Beweglichkeit zukomme, mit Hülfe deren er bei Körpertemperatur von den Blutkörpern nach allen Richtungen ausgesprüht werde, wie uns dies die denkwürdigen Untersuchungen von F. C. Donders¹⁾ gelehrt haben.

Alles weist auf die Herstellung von Bedingungen hin, durch welche im Blute die Diffusion, also die Bewegung des Sauerstoffs erleichtert wird, welche dem Ozone, wie ich sogleich zeigen will, absolut abgeht. Denn die Scheibe, als welche das Blutkörperchen uns entgegentritt, ist eine Gestalt, deren Oberfläche gegen den Inhalt unendlich gross gemacht werden kann, im Gegensatz zur Kugel, bei welcher das Verhältniss der Oberfläche zum Inhalt ein Minimum ist. Auch die Delle des Säugethierblutkörperchens bezeugt uns das Bestreben, möglichst dünne Schichten des Haemoglobins herzustellen. Nur bei den träge respirirenden Thieren, sowie also auch den Säugethierembryonen finden wir runde Blutzellen. Ganz in demselben Sinne muss die Thatsache betrachtet werden, dass die Thiere mit dem lebhaftesten Stoffwechsel die kleinsten Blutkörperchen haben und dass die grössten bei den Amphibien vorkommen. Denn eine bestimmte Menge Blutkörpersubstanz wird um so mehr Oberfläche haben, je zahlreichere Theilchen daraus geformt sind. Schon Milne-Edwards hat diese Beziehungen erkannt²⁾. In anziehender Weise sind dieselben auch ferner von H. Welker³⁾ studirt worden.

Wenn in dem Blute eine Ozonisation des Sauerstoffes stattfände, so würde die Beweglichkeit des Sauerstoffes, die zur Diffusion nöthig ist, sofort eliminirt. Jedenfalls könnte ozonisirter Sauerstoff nicht den Geweben zu gute kommen.

Dies geht besonders klar aus Thatsachen hervor, die Alex. Schmidt ermittelt hat. Er zeigte, dass Serum und Plasma ozonisirter Luft sehr schnell das Ozon entziehen und dass Blut noch viel energischer wirkt⁴⁾. Pokrowsky macht darauf aufmerksam, dass

1) F. C. Donders: Der Chemismus der Athmung, ein Dissociationsprocess. Arch. f. d. ges. Phys. Bd. V. p. 20.

2) Leçons sur la physiologie I. 53.

3) Zeitschr. f. rat. Med. 3. Reihe. Bd. 20, p. 293.

4) Haematol. Studien pag. 28.

der Sauerstoff des Blutes, der ausgepumpt werden kann, also der durch Dissociation das Haemoglobin verlassende, keine Ozonreaction giebt. Schmidt bestätigt diess und zeigt, dass, wenn man stundenlang durch Blut oder Globulinlösungen ¹⁾ ozonirte Luft leitet, das Ozon vom Blute vollständig verschluckt wird, sodass die aus demselben austretenden Gasblasen keine Ozonreactionen geben. Das Ozon wird also sofort fixirt zur Oxydation der Blutbestandtheile, welche dadurch geändert und zersetzt werden.

Die Fibringeneratoren sollen erst ihre specifische Eigenschaft ²⁾, der liquor pericardii seine Gerinnbarkeit (pag. 28), das Plasma seine gelbe Farbe (pag. 28) verlieren. Allmählig werden die Eiweisstoffe, wie auch v. Gorup-Besanez ³⁾ fand, total oxydirt, was Schmidt für verschiedene Eiweissmodificationen bestätigt. Der letztere Forscher hebt hervor, dass Ozon in allen Proteinverbindungen erst Coagulate erzeugt, die dem Faserstoff aber nicht identisch sein sollen ⁴⁾; ferner werden die Blutkörperchen aufgelöst und auch der Farbstoff allmählig gänzlich zerstört (p. 45) ⁵⁾.

Wenn also Al. Schmidt dennoch behaupten will, dass der Sauerstoff nur als erregter im Organismus ⁶⁾ enthalten ist, so ist die nothwendige Consequenz, dass er erst überall da erregt werde, wo er verschwindet. Denn sobald er in den erregten Zustand übertritt, ist er auch sofort gebunden, weil er überall oxydirbare Molecüle im Körper findet.

Ich habe bei allen Erörterungen die von Nasse ⁷⁾ angeregte Frage, ob es sich um Ozon oder Sauerstoff in statu nascenti handle, unberührt gelassen, weil sie einmal für uns von keiner wesentlichen Bedeutung und zweitens wenigstens für jetzt nicht zu entscheiden ist.

Mancher wird vielleicht geneigt sein, in den Versuchen von Scheremetjewsky eine Stütze für die Ansicht zu gewinnen,

1) Haematol. Studien pag. 36.

2) Haematol. Studien pag. 28, 29, 32.

3) v. Gorup-Besanez: Ueber die Einwirkung des Ozons auf organische Verbindungen. Annalen d. Chemie u. Pharmacie. Bd. 110, pag. 86.

4) Haematol. Studien pag. 42 u. 43.

5) S. auch Huizinga: Ueber Ozon im Blute und die Einwirkung desselben auf das Blut. Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. Bd. 42, p. 359.

6) Haematol. Studien pag. 87.

7) Otto Nasse: Die sogenannten Ozonreactionen und der Sauerstoff im thierischen Organismus. Arch. f. d. ges. Physiol. 1870. p. 204.

dass wenigstens in den Geweben der Sauerstoff ozonisirt werde, was ich principiell nicht für undenkbar, aber doch auch für ganz unerwiesen ansehe. Die Arbeit des genannten Forschers muss demgemäss von uns einer genaueren Würdigung unterzogen werden.

§ 3. Kritik der Untersuchungen Scheremetjewsky's¹⁾.

Scheremetjewsky, der bekanntlich in Ludwig's Laboratorium über Fragen der Respiration arbeitete, behauptet, dass milchsaures Natron, das mit Blut digerirt werde, absolut keine Aenderung erleide, wohl aber doch sich oxydire (oder doch einen Sauerstoffverbrauch und Kohlensäurebildung bedinge), wenn dasselbe, in Blut gelöst, durch eine ausgeschnittene »überlebende« Niere getrieben werde.

Was diese Untersuchungen sogleich von vornherein verdächtig macht, ist der ganz merkwürdige Umstand, dass »ein anderes verbrennliches Molecül«, nämlich Zucker, sich geradezu umgekehrt verhalten soll. Denn mit Blut allein digerirt, soll es sich oxydiren (während Hoppe-Seyler²⁾ gezeigt hat, dass das nicht der Fall ist), und in Blut gelöst durch die Niere getrieben, soll es sich nicht oxydiren; ja es soll sogar keine Oxydation eintreten, wenn der Zucker in das Blut eines lebendigen Thieres eingespritzt wird, so dass also nach diesen Versuchen die einzige Art, wie die Verbrennung des Zuckers erzielt werden kann, Digestion mit defibrinirtem Blute ist.

Diese Behauptungen Scheremetjewsky's, die bereits in Lehrbüchern als Wahrheiten der Wissenschaft stehen, sind vollkommen unbegründet und zum Theil sogar durch gewöhnliche Rechenfehler bedingt.

Bei Serie I³⁾, die aus 4 Durchströmungsversuchen besteht, wird erst unvermisches, defibrinirtes Blut durch die Niere geleitet. Dieselbe verbraucht 0.107 Sauerstoff in einer Minute (pag. 139). Darauf wird dasselbe, aber mit milchsaurem Natron versetzte Blut durch dieselbe Niere getrieben. Der Sauerstoffverbrauch beträgt jetzt 0.134 in einer Minute. Also ist die Differenz = $0.134 - 0.107 = 0.027$. Nun betrachte man Serie II (pag. 239), auch 4 Durch-

1) Ueber die Aenderung des respiratorischen Gasaustausches in C. Ludwig's Arbeiten 1869, pag. 114.

2) Hoppe-Seyler: Medicinisch-chemische Untersuchungen. 1866, pag. 136.

3) Scheremetjewsky l. c. p. 139.

strömungen darbietend. Bei zwei unmittelbar aufeinander folgenden Durchströmungen (2 und 3) wird ein und dasselbe Blut, welches mit milchsaurem Natron versetzt ist, durch die Niere geleitet. Das erste Mal verbraucht die Niere 0,106, das zweite Mal 0,154 Sauerstoff in der Minute, also unter ganz denselben Verhältnissen. Der Beobachtungsfehler ist also $0,154 - 0,106 = 0,048$, d. h. fast doppelt so gross als obige Differenz, auf die ein Gewicht gelegt wird.

Vergleichen wir aber ferner in Serie I Durchströmung 3 und 4. Die dritte ist mit milchsaurem Natron-Blut angestellt, die vierte mit unvermischem Blute. Hier ist nun ein Rechenfehler, wie Jeder aus den Daten des Autors leicht finden wird. Denn der Sauerstoffverbrauch in der vierten Durchströmung ist nicht 0,111, sondern 0,132 und das ändert, da ja nur ein paar Zahlen als Stützen der Behauptung vorliegen, die Sache sehr wesentlich.

Damit sich Jeder überzeugen könne, will ich die Rechnung ausführen:

Das unvermischte Blut enthielt	15.95 Vol. pCt. Sauerstoff,
Dasselbe nach Leitung durch die Niere	3.71 „ „ „
Also Verlust:	12.24 Vol. pCt. Sauerstoff.
In der Minute floss durch die Niere	1.08 CC. dieses unvermischten
Blutes.	

Also:

CC. Blut. Sauerstoffverlust.	CC. Blut. Sauerstoffverlust.
100 : 12.24 =	1.08 : 0.132

Somit folgt:

	Durchströmung der Niere mit Blut + milchsaurem Natron.	Durchströmung der Niere mit Blut ohne milchsaures Natron.
Sauerstoffverbrauch	0.136	0.132! nicht 0.111
Kohlensäurebildung	0.078	0.078.

Nun kommt zur Beurtheilung der grossen Fehlerquellen dieser Versuche aus Serie I noch folgende lehrreiche Thatsache, wenn man die erste und vierte Durchströmung mit einander vergleicht, die mit unvermischem Blut geschehen.

Obwohl bei Durchströmung 4 ein und dasselbe Blut schneller die Niere durchheilt als bei Durchströmung 1, wird es bei 1 reducirt bis zu einem Sauerstoffgehalt von 5.05 Vol. pCt., bei 4 aber bis zu 3.71 pCt., also unter nahe denselben Verhältnissen. Es verhielten sich die Geschwindigkeiten, mit denen in beiden Fällen das Blut

die Niere durchströmte, wie 98 : 108. Man kann zwar sagen, es wäre von Durchströmung 3 noch ein Rest milchsaures Natron in der Niere zurückgeblieben. Aber es ist ja gar kein Unterschied zu sehen, ob das Blut milchsaures Natron enthält oder nicht, wie wir soeben oben zeigten.

Bei Serie I ist ferner immer in den drei ersten Durchströmungen, wo der kleinere Sauerstoffverbrauch notirt ist, auch die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes kleiner gewesen. Ludwig behauptet ja aber doch immer, worüber später genauer gehandelt werden soll, dass der Sauerstoffverbrauch der Strömungsgeschwindigkeit nahezu proportional sei. Nun verhalten sich die Geschwindigkeiten in der ersten, zweiten und dritten Durchströmung (s. p. 139) wie

98 : 103 : 122,

Der entsprechende O-Verbrauch wie 107 : 134 : 136.

Was soll dies also für milchsaures Natron beweisen, da die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit zur Erklärung allein ausreicht?

Durchströmung 4 ist, wie oben besprochen, aus anderen Gründen bedeutungslos.

Gegen Serie I habe ich aber noch zu erinnern, dass die Daten für den Sauerstoffverbrauch sich stützen auf Differenzen im Gasgehalte des aus der Niere gewonnenen Blutes, wie 2.98 Vol. pCt., 3.17 pCt., 3.71 pCt. Auf diese in die Beobachtungsfehler fallenden Differenzen werden die Resultate aufgebaut. Man braucht sich nur bei jeder Analyse um 0.2 pCt. Sauerstoff zu irren und zwar in entgegengesetzter Richtung, so hat man gleich eine Differenz von 0.4 Vol. pCt. O. Dagegen schützt die grösste Sorgfalt nicht. Da liefert gleich dieselbe Seite (p. 139), auf der diese auf das milchsaure Natron bezüglichen Zahlen stehen, einen guten Beleg, wie gross bei einer solchen Bestimmung der Beobachtungsfehler sein kann. Er digerirt Blut, das mit milchsaurem Natron versetzt ist, und anfänglich 15.93 Vol. pCt. Sauerstoff enthält; dann ebenso dasselbe Blut, das nicht versetzt ist und anfänglich 15.95 Vol. pCt. Sauerstoff enthält. Nach gleichlanger Digestion hat das erstere abgenommen auf 14.28, das zweite auf 13.98, das heisst das Blut, das mit milchsaurem Natron digerirt wurde, hat weniger Sauerstoff verbraucht. Das ist natürlich ein Beobachtungsfehler — er bedingt hier eine Differenz von gerade 0.3 Vol. pCt.! — Wenn auf eine Differenz von

0.3 Vol. pCt. also Nichts zu geben ist, so hat auch eine von 0.6 noch wenig Werth, solange man nicht **viele** Versuche hat.

Serie II ist in der Anlage schon verfehlt. Denn Scheremetjewski schüttelt das Blut, das mit milchsaurem Natron versetzt ist mit Luft, das Blut aber, welches nicht versetzt ist, schüttelt er nicht; es behält also seinen niederen Sauerstoffgehalt. Nun behauptet doch Ludwig selbst, dass, wenn das Blut sauerstoffreicher durch ein Organ fliesse, so werde auch mehr Sauerstoff verbraucht. Es ist nicht zu vergessen, dass Schütteln von Arterienblut mit Luft zwar eine nicht grosse weitere Aufnahme von Sauerstoff zur Folge hat, wohl aber eine colossale Steigerung der Tension dieses Gases — und diese könnte Veränderungen ungewöhnlicher Art in der absterbenden Niere hervorrufen, weil während des Lebens solche Spannungen niemals vorkommen.

Diese Untersuchungen von Scheremetjewsky haben aber noch eine höchst bedenkliche Seite. Er hat nämlich auf Grund eines einzigen Versuches, der allerdings 4 Blutgasanalysen einschliesst, gefunden, dass Stehen von arteriellem Blut mit oder ohne milchsaurem Natron absolut dieselbe Veränderung des Gasgehaltes zur Folge hat, woraus dann geschlossen wird, dass milchsaures Natron im Blute gar nicht oxydirt werde. Nun erleidet dieses Blut, obwohl es in der Kälte steht, eine ungewöhnlich grosse Veränderung im Gasgehalt, indem 2 Vol. pCt. Sauerstoff verschwinden und etwas über 1 Vol. pCt. Kohlensäure sich bildet (p. 134). Auf Seite 146 beschreibt er dann einen Versuch, wo arterielles Blut 5½ Stunde ebenso steht, ohne dass eine Spur von Aenderung im Gasgehalte auftritt. Muss man da nicht auf die Idee kommen, dass er bei der vergleichenden Digestion von unvermischem und mit milchsaurem Natron versetzten Blute sich vergriffen habe und jedesmal zwei Blutarten analysirte, die milchsaures Natron enthielten und darum so absolut gleiche Aenderungen ergaben? Das ist die Folge davon, wenn man sein Urtheil auf einen einzigen Versuch stellt.

Aber ferner: Wenn die Niere oxydirend auf verbrennliche Molecüle wirken soll, die im Blute selbst gar nicht angegriffen werden, was hat es dann für einen Sinn, wenn Scheremetjewsky für den Zucker findet, dass er im Blute allein sich auf Kosten des Sauerstoffes oxydire, obwohl er mit dem Blute durch die Niere geleitet sich nicht oxydirt und ebensowenig, wenn er einem lebendigen Thiere in die Venen injicirt wird. Hier steht denn wieder die

Oxydation des Zuckers bei Digestion mit Blut, obwohl sie mit den Angaben eines so bewährten Forschers wie Hoppe-Seyler¹⁾ im Widerspruch ist, auf der Gültigkeit einer einzigen Analyse. Ich muss bekennen, dass alle diese Ergebnisse mir den Eindruck machen, dass einige capitale Beobachtungs-Täuschungen vorliegen. Denn die Resultate haben zusammengenommen, wie der Schreiber des Aufsatzes von Scheremetjewsky selbst gesteht, eigentlich keinen Sinn²⁾ und verlangten gebieterisch eine Wiederholung der paradoxen Ergebnisse, anstatt Häufung neuer Versuche mit Natriumcapronat, Acetat, Glycerin u. s. w., die nichts Wesentliches gelehrt haben.

§ 4. Thatsachen der vergleichenden Physiologie,
welche für die Beziehung der Zelle zum Sauerstoff
bedeutungsvoll sind.

Die absolute Nothwendigkeit der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäurebildung durch die lebendige Materie, resp. die Zelle, ist eine Fundamentealeigenschaft der gesamten organischen Reiche.

Nicht bloss den Thieren, sondern eben so wesentlich kommt sie den Pflanzen zu. Keine Zelle kann ohne Sauerstoff wachsen. Alle Theile der Pflanzen, wahrscheinlich sowohl die grüngefärbten bei Tage, als die Wurzeln, Stämme, Blüthen nehmen Sauerstoff auf und hauchen Kohlensäure aus. Bei der Bestrahlung durch Tageslicht wird in den grünen Theilen der Oxydationsprocess wohl durch die gleichzeitige viel stärkere Reduction der Kohlensäure verdeckt. Die Pflanze athmet fortwährend wie das Thier, nimmt aber ihre organische Speise, die Kohlensäure, wie das Thier nur zu Zeiten in sich assimilatorisch bei der Bestrahlung durch die Sonne auf.

Pflanzen, die im Vacuum oder in Stickstoff gehalten werden, gehen schnell zu Grunde. Die Blatt- und Blütenknospen bleiben in ihrer Entwicklung stehen und sterben ab, die Blätter und Stengel bewegen sich nicht mehr dem Lichte zu; die Erscheinungen des Schlafens und Wachens schwinden, die Reizbarkeit verliert sich³⁾. Sogar sonst sehr lebenszähe Pflanzen, wie den Cactus, sah Saussure in sauerstofffreier Luft in Zeit von fünf Tagen zu Grunde gehen⁴⁾.

1) Hoppe-Seyler. Chem. Untersuchungen, I. Heft 136.

2) Scheremetjewsky l. c. p. 148.

3) Dutrochet. Mémoires I, 361. 483.

4) Recherches 87.

Wenn man also einem abgeschlossenen Raume, in dem Pflanzen sind, durch Eisenfeile den Sauerstoff entzieht, den sie selbst durch Zersetzung der Kohlensäure bilden und mit Hilfe dessen sie eine Zeit lang ihr Leben fristen, so sterben sie rasch ab. Ja merkwürdig genug verhält sich der wachsende Keim dem Thiere so ähnlich, dass er bereits zu Grunde geht, wenn der Partiardruck des Sauerstoffs ein sehr niedriger wird. In Bestätigung der wichtigen Untersuchungen von Huber und Senebier ermittelte P. Bert¹⁾, dass Getreidekörner um so langsamer keimen, je geringer die Tension des Sauerstoffs ist, mit dem sie in Berührung sind.

Bei einer Spannung von 4 bis 10 Cm. steht schon die Entwicklung vollkommen still. P. Bert zeigt in seinen höchst interessanten Untersuchungen, in Uebereinstimmung mit älteren Beobachtungen, dass der Pflanze sogar auch eine Kohlensäure-Dyspnoë zukommt, indem ein Kohlensäuregehalt von 20 Volumprocent, also eine Tension von etwa $\frac{1}{4}$ Atmosphäre trotz hinreichender Sauerstoffmenge die Entwicklung des Keimes aufhebt und ein Gehalt von $\frac{3}{4}$ denselben tödtet²⁾.

Wie energisch die Oxydationsprocesse der Pflanzen sein können, zeigen die unter Sauerstoffabsorption und Kohlensäurebildung beobachteten bedeutenden Temperatursteigerungen, z. B. zur Zeit der Befruchtung am Blütenkolben der Aroideen, der um mehr als 10° C. wärmer als die Umgebung sein kann. Die Blüten der *Victoria regia*, des Kürbisses u. s. w. zeigen ähnliche, wenn auch minder auffallende Temperatursteigerungen.

Die Pflanzenzelle lebt und athmet also principiell wie das Thier, bereitet aber in sich ihre Nahrung aus anorganischer Substanz und Kohlensäure. Sie bekundet hierdurch ihre gemeinsame Abstammung mit den Thieren aus einer Wurzel.

Für alle Thiere gelten offenbar, was die Unternehmungen von V. Regnault und Reiset gezeigt haben, dieselben Principien der Respiration, wie man an den Beziehungen des Sauerstoffverbrauches zur Kohlensäurebildung sieht. Jene Forscher sind bei ihren klassischen Arbeiten mit einer für die heutige Zeit nachahmungswürdigen

1) *Recherches expérimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie.* Par M. P. Bert. *Compt. rend.* 1873. p. 1496.

2) P. Bert l. c. pag. 1495.

Ausdauer und Gründlichkeit nicht bloss durch das Reich der Wirbelthiere geschritten, sondern bis zu den Würmern hinab gestiegen. Sie haben hierbei gefunden, dass gewisse Insecten, wie z. B. der Seidenspinner als Schmetterling oder der Maikäfer den Menschen an Intensität der Oxydationsprocesse nicht unbedeutend übertreffen (p. 481), während der Regenwurm etwa auf einer Stufe mit dem Frosche steht (p. 490)¹⁾.

Bei den niedersten Geschöpfen, die entweder nur aus undifferenzirtem Protoplasma bestehen oder bei den organlosen aber bereits zelligen Potozoen athmet die nackte Leibessubstanz offenbar überall, wo sie mit Wasser in Berührung kommt, für dessen Zuführung desshalb oft ins Innere des Körpers führende mannigfache Canalsysteme angelegt sind. Wo noch kein Blut vorhanden ist, da der Körper nur aus Zellsubstanz besteht, kann die Athmung natürlich nur durch diese bedingt sein.

Keine Gruppe im Thierreiche giebt aber den Zweiflern an der vorwiegenden Bedeutung der Zelle für die Oxydationsprocesse ein lehrreicherer Beispiel, als die Tracheaten, und zwar die Insecten. Die Entwicklung des Circulationsapparates steht hier auf einer sehr niederen Stufe, denn es existirt noch kein Capillarsystem und keine Vene, sondern nur ein mit Einlassöffnungen versehenes contractiles, in eine Arterie sich fortsetzendes Herz, sodass das oft farblose Blut die Leibeshöhle durchfließt, die Organe nur umspült und entweder gar nicht in sie eindringt, oder doch in so spärlichen Strassen mit ihnen in Berührung kommt, dass auch nicht entfernt an einen so innigen und lebhaften Verkehr zwischen Blut und Geweben zu denken ist wie bei den Vertebraten. Bei diesen mit intensiver Oxydation begabten Thieren begiebt sich deshalb die Luft nicht zum Blut, sondern direct in das Innere des Organes mit Hülfe der sich immer feiner verästelnden und dicht an die Zelle herantretenden Luftgänge oder Tracheen. Hier sieht man deutlich, wie das Blut wegen seiner zu langsamen Bewegung durch den Körper und wegen seiner zu wenig innigen Berührung mit dem Innern der Organe umgangen wird, damit die Luft, d. h. der Sauerstoff der Zelle direct

1) Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes; par MM. V. Regnault et J. Reiset.

Gay-Lussac. Annales de Chimie et de Physique 3. Serie. T. XXVI. 1849. pag. 299.

und ohne Vermittlung des Blutes zugeführt werde. In ganz exquisiter Weise tritt uns dies ja nach den Untersuchungen von Max Schultze¹⁾ an den Leuchtorganen entgegen, wo die Tracheenendigung unmittelbar der Zelle aufsitzt, wie die Knospe auf dem Stiele. Hier leitet das Luftrohr also den Sauerstoff direct auf die Substanz der Zelle. Auch an anderen Orten sind directe Beziehungen der Endigung der Tracheen mit Zellen von Schultze nachgewiesen²⁾. Dr. Finkler theilt mir mit, dass er bei Untersuchungen, die er in meinem Laboratorium über die Structur der Speicheldrüsen von *Blatta orientalis* gemacht hat, eine sehr innige Verknüpfung des Tracheenendes mit den Epithelzellen erkannt habe. Wie ich soeben sehe, ist Kupffer³⁾ zu ganz demselben Resultate gelangt, und glaubt die Luftcanäle sogar bis in das Innere der Drüsenalveolen verfolgt zu haben, wie mir das auch Dr. Finkler versichert.

Da es Articulaten mit rudimentären Tracheen giebt, so deutet dies auf eine Verminderung des Sauerstoffbedürfnisses und deshalb erklärt sich leicht, dass bei einigen das Blut wieder ausreicht zur Uebermittlung des Sauerstoffs an die Gewebe; ich denke hier an die Fälle, wo die rudimentären Tracheen eine lungenartig vom Leibes-saft umspülte Entwicklung erfahren haben, wie das z. B. bei den Araneen und Scorpionen vorkommt.

Die Insecten sind also ein unschätzbares Experiment der Natur, dessen Bedeutung Niemand verkennen kann, der nicht für jede Thierart besondere allgemeine Principien der Lebensprocesse für denkbar hält.

Was die vergleichende Physiologie uns in deutlicher Weise kund thut, beim Aufsteigen von den einfachsten Formen des Thier-

1) M. Schultze. Zur Kenntniss der Leuchtorgane von *Lampyrus splendidula*. Arch. f. mikr. Anat. Bd. I. 1865, pag. 124 und

Ders. Verhandl. des naturhist. Vereins d. preuss. Rheinl. u. Westph. 21. Jahrg. Bonn 1864. Sitzungsber. p. 61.

2) S. auch Leydig, Lehrb. d. Histol. 1857, pag. 343.

3) Kupffer. »Beiträge zur Anatomie und Physiologie«, als Festgabe Carl Ludwig gewidmet von seinen Schülern. 1875, pag. 67. — **Gar grosse Freude empfinde ich über diese Arbeit, als Bestätigung meiner angezweifelte[n] Entdeckungen, als Exempel für diejenigen, die Alles für Schwindel ausgeben möchten, das sie wieder zu construiren selbst dann unfähig sind, nachdem ich es ihnen schon vorgemacht habe.**

reiches zu den höheren Geschöpfen, das lehrt uns demgemäss nothwendig ebenso das Studium der foetalen Respiration.

Hier sind besonders die Untersuchungen über die Respiration der Vogeleier hervorzuheben, welche Baumgärtner in einem vorzüglichen und höchst wichtigen Büchlein niedergelegt hat. Wenn sie auch experimentell bestätigen, wie ich das seiner Zeit aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft abgeleitet habe, dass der Sauerstoffverbrauch des Embryo im Verhältniss zu dem des Geborenen sehr klein ist (s. die Anmerkung), sodass mit dem Beginn der Lungenathmung eine mächtige Zunahme der gesammten Oxydation eintritt, so lehren diese wichtigen Analysen doch auch, dass mit dem ersten Moment der Entwicklung des Embryo die Sauerstoffabsorption und Kohlensäurebildung anhebt, zu einer Zeit also, wo es weder Blut noch Blutgefässe giebt, wo also nur Zellen den Sauerstoff verbrauchen und die Kohlensäure bilden können. Dass das Hühnereiweiss oder der Nahrungsdotter hier eine wesentliche Rolle spiele, erwarte ich als Einwand nicht.

Wenn sonach im Pflanzenreich wie bei den niederen Thieren und den Embryonen der höhern offenbar die lebendige organische Leibessubstanz, d. h. die Zelle der Sauerstoffconsument und Kohlensäurebildner ist, wenn dies noch für so hoch organische Geschöpfe wie die Insecten wahr bleibt, wie wäre es denkbar, dass bei den Wirbelthieren das Blut, das bei manchen Wirbellosen, z. B. niederen Crustaceen, nicht einmal Zellen enthält, die Hauptarbeitsstätte des Lebens sein sollte.

Bei den höheren Thieren, ich meine den Wirbelthieren, hat sich mit vorschreitender Differentiation auch der Respirationsapparat

Anm. Das Studium des Werkohens von Baumgärtner würde besonders für meine Gegner in dieser Frage von Nutzen sein, da es auf ganz fester thatsächlicher Grundlage die Richtigkeit meiner Ansicht über die foetale Respiration beweist. Ich habe in der früheren Arbeit*) gezeigt, dass der Embryo sauerstoffhaltiges Blut hat, dass Sauerstoff consummirt wird und konnte es deshalb nicht in meinem Sinne liegen, dem Embryo die Respiration abzusprechen, was Einige als meine Ansicht anzunehmen scheinen, weil ich diese Respiration »verschwindend klein« gegen die der Erwachsenen genannt habe. Jeder sieht, dass dies nicht ein mathematischer Ausdruck, sondern eine starke Hervorhebung der Kleinheit der Respiration im Verhältniss zu der des Erwachsenen bedeutete.

*) E. Pflüger. Ueber die Ursache der Athembewegungen, sowie der Dyspnoë und Apnoë, im Archiv für d. ges. Physiol. Bd. I, pag. 61 u. flgde.

localisirt. Um den Organen die grossen Sauerstoffmassen zuführen zu können, war bei der Kleinheit des Absorptionscoefficienten des Sauerstoffs in wässrigen Eiweisslösungen eine Substanz nöthig, die die Eigenschaften des Haemoglobins besitzt, welche der genialste Kopf nicht zweckmässiger hätte ersinnen können.

Das Haemoglobin ist somit für den Körper der lebhaft respirirenden Vertebraten nur ein bequemer Lastwagen von grosser Capacität.

Die vergleichende Physiologie liefert uns für die Frage, wo wir den Heerd der thierischen Verbrennung zu suchen haben, noch einige der glänzendsten und interessantesten Belege in der thierischen und pflanzlichen Phosphorescenz.

§ 5. Die Phosphorescenz der lebendigen Organismen und ihre Bedeutung für die Prinzipien der Respiration.

Die Phosphorescenz der lebendigen Organismen ist seit langer Zeit von keinem Physiologen in allgemeinerer Weise behandelt, weshalb es vielleicht für Viele von Interesse ist, eine Zusammenstellung und Beurtheilung des Wichtigsten unter Benutzung der neueren Erfahrungen der Naturwissenschaften hier zu finden.

Es ist unläugbar, dass, wie Phosphor und Schwefelkies in finstrier sauerstoffhaltiger Luft leuchten, so auch durch Zersetzung abgestorbener Organismen Licht erzeugt werden könnte. Geläugnet wird, dass bei der Verwesung organischer Substanz flüssiger Phosphorwasserstoff¹⁾ (P_2H_4), der selbstentzündlich, entstehen kann und demnach ein Leuchten verwesender organischer Reste erklärbar schwer wäre. Wirklich dürfte fast allgemein das Leuchten auch todter Organismen nur durch lebendige bedingt sein, welche auf todten schmarotzen.

Nachdem schon Vianelli²⁾ und Grisellini³⁾ erkannt hatten, dass das Meeresleuchten durch Thiere resp. lebendige Organismen bedingt sei, zeigte C. H. Pfaff in seiner Schrift über das Kieler Seebad (Kiel 1823), dass das Leuchten ganz unabhängig von

1) Graham-Otto. Anorganische Chemie I. pag. 890.

2) Nuove scoperte intorno de luci notturne dell' aequa marina. Venezia 1749. 8.

3) Observations sur la scolopendre marine luisante. Venise 1750.

gleichzeitiger Fäulniss, also der Gegenwart von Schwefelwasserstoff sei und wies leuchtende Infusorien nach¹⁾. Artaud²⁾ filtrirte leuchtendes Meerwasser bei St. Pierre de la Martinique durch Josephspapier. Die leuchtenden Körperchen blieben auf dem Filter zurück und das filtrirte Wasser leuchtete gar nicht³⁾. Dieser wichtige Versuch, welcher beweist, dass das Leuchtende eine im Meerwasser unlösliche Substanz ist, ist von verschiedenen Seiten mit gleichem Erfolge angestellt worden. Macartney⁴⁾ filtrirte leuchtendes Meerwasser in Herne Bay (Nordküste der Grafschaft Kent) und fand, dass das Leuchtende auf dem Filter bleibt. Tilesius⁵⁾, dem wegen seiner langjährigen Seereisen eine ausserordentliche Erfahrung bei guter zoologischer Bildung zur Seite steht, überzeugte sich auch, dass leuchtendes Meerwasser, welches durch ein Milchflorsieb gegossen war, sein Licht total verlor, während sich auf dem Flor die phosphorescirende Substanz befand. Er besonders, nachdem er lange gezweifelt, sprach endlich mit voller Bestimmtheit den Satz aus, dass alles Leuchten des Meeres von lebendigen Geschöpfen erzeugt werde⁶⁾.

Die mikroskopische sowohl als makroskopische Untersuchung des auf dem Filter Bleibenden hat dann den Beweis geliefert, dass es eine Legion von leuchtenden Geschöpfen aus allen Reichen der Wirbellosen im Meere giebt. Zahllos sind die bezüglichlichen Beobachtungen, die in einer sehr umfassenden Literatur niedergelegt sind⁷⁾.

Durch zuverlässige Forscher ist der Beweis geliefert, dass das

1) C. H. Pfaff. Ueber das sogenannte färbende Wesen des Ostseewassers und des Meerwassers überhaupt und die wahre Ursache der Farbenveränderung, welche die Dämpfe desselben in einigen Metallaufösungen hervorbringen, nebst einigen Bemerkungen über das Leuchten des Meeres. In Schweigger's Journ. d. Chem. u. Phys. 1828. Bd. 52, pag. 317 u. 319.

2) Annal. maritimes et coloniales. Avril 1825, p. 364 und Bulletin des sciences mathém. T. VI. 1826. pag. 129.

3) Zusatz zu Pfaff's Abhandlung von Schweigger-Seydel in des Letzteren Journ. für Chemie u. Physik. Bd. 52, pag. 319. 320.

4) Mittheilungen an die Kgl. Ges. d. Wissenschaften zu London (1810), referirt von Tilesius u. Gilbert in Gilbert's Annalen Bd. 61, pag. 16.

5) Nach mitgetheilten Beobachtungen des Tilesius referirt von Gilbert in Gilbert's Ann. d. Physik. Bd. 61, pag. 173.

6) Gilb. Annalen Bd. 61, p. 175. 176.

7) Schweigger's Journ. Bd. 52, p. 321.

Leuchten auf keiner Insolation beruht, sondern dass auch solche Thiere, welche lange Zeit in absoluter Finsterniss verweilen, ebenso gut leuchten wie die, welche am Tage von der Sonne beschienen worden sind. Todd und Murray, sowie Peters¹⁾ bestätigten dies bei der *Lampyris*. Diese Versuche sind darum wesentlich, weil besonders trockene organische Stoffe durch Insolation leuchtend werden, wie Placidus Heinrich gezeigt hat, z. B. getrocknete Pflanzen, Samen, Körner, Mehl, Stärke, Holz von Baumstämmen, besonders an den Ecken, die Rinde, der Splint, altes Zuckerrohr, die Dattel, das an der inneren harten Schale haftende Mark der Cocosnüsse, gebleichtes Wachs, der Hutzucker, arabisches Gummi, gebleichte Leinwand aus Flachs, gebleichtes Garn aus Baumwolle, besonders weisses Schreibpapier, gebleichtes Garn aus Brennesseln, aus der Aloë americana, aus den Fasern der Cocosnüsse, das chinesische Papier schwach. Ungebleichte Stoffe leuchten durch Insolation kaum. Auch thierische Substanzen sind zu nennen: Eischalen, Korallen, Schnecken, Muscheln, Perlen, Knochen, Zähne, Elfenbein, Leder, Häute. Sogar die menschliche Hand fand Pl. Heinrich durch Insolation phosphorescirend, aber nur minimal²⁾.

Fast alle Forscher stimmen auf Grund zahlloser Experimente darin überein, dass die Phosphorescenz der lebendigen Organismen ein Oxydationsprocess sei. Denn kein lebendiger Körper setzt das Leuchten in nicht athembaren Gasen fort³⁾. Das Licht erlischt in Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure, sowie im Vacuum, um alsbald wieder zu erscheinen, wenn auf's Neue atmosphärische Luft zugelassen wird⁴⁾. Besonders Macaire⁵⁾ hat diese Verhältnisse eingehend bei der *Lampyris splendidula* untersucht. Grotthuss⁶⁾ fand sogar, dass, wenn das Leuchtorgan in den letzten Stadien des Absterbens kein Licht mehr selbst in Sauerstoff gab, bei Einwirkung

1) Dr. Wilhelm Peters. Ueber das Leuchten der *Lampyris italica* in J. Müller's Archiv für Anat. u. Phys. u. vergl. Anat. 1841. p. 231.

2) Pl. Heinrich, Phosphorescenz. p. 28.

3) Spallanzani. Reisen in beide Sicilien aus dem Italien. Leipzig 1796. — Grotthuss. Annales d. chimie 1870. T. 64. p. 19.

Joh. Placidus Heinrich, Die Phosphorescenz. p. 388.

4) Pl. Heinrich a. a. O. — Treviranus Biol. V. p. 112.

5) J. Macaire. Ueber die Phosphorescenz der Leuchtkäfer. Uebers. von Dr. G. Kunze in Gilbert's Annal. 1822. Bd. X. p. 276.

6) Grotthuss. Annal. de chimie 1870. T. 64. p. 19—48.

der Dämpfe der intensiv oxydirenden rauchenden Salpetersäure sofort ein lebhaft glänzendes Licht auftrat, das aber nach kurzer Zeit erlosch und nun selbstverständlich, nachdem der letzte Rest verbrennlicher Substanz zerstört war, auf keine Weise mehr wieder hervorgebracht werden konnte¹⁾.

Eine weitere Bestätigung der Ansicht, dass das Leuchten ein Oxydationsprocess sei, erhellt aus der ausserordentlichen Reichlichkeit der Luftkanäle (Tracheen), welche sich in dem Leuchtorgan verzweigen, wie Peters²⁾ genauer erforscht hat, dem sich die später zu betrachtenden Untersuchungen von M. Schultze³⁾ anreihen, aus denen die innigste Berührung der Athemluft mit der Leuchtsubstanz hervorgeht, sowie dass die lebendige Leuchtsubstanz die Ueberosmiumsäure intensiv sofort reducirt.

Es erklärt sich also leicht, dass nach Perault's⁴⁾ Beobachtungen an Leuchtkäfern der Glanz beim Einathmen zu- und beim Ausathmen abnimmt. Durch Hemmung der Athmung sollen die Kiefer das Leuchten unterdrücken können. Auch bei *Pyrosoma atlanticum* Péron hat man die periodischen Variationen des Leuchtens mit der Respiration in Beziehung gebracht. Das Thier zeigt in regelmässigen Zwischenräumen eine abwechselnde Zusammenziehung und Erweiterung. Bei der Zusammenziehung erlangt der Körper die Röthe des geschmolzenen Eisens, bei der Ausdehnung verändert er seine Farbe in Aurora, Orange, Grün⁵⁾. Treviranus⁶⁾ sagt, die abwechselnde Zusammenziehung und Ausdehnung der Medusen und Pyrosomen sei ohne Zweifel eine dem Athemholen ähnliche Bewegung und der Einfluss derselben auf das Leuchten könne wohl nur in der Aufnahme von Sauerstoff bestehen.

Einen Schritt weiter in der Erkenntniss der Natur dieser leuchtend respirirenden Substanz führt nun eine Reihe von That-sachen, welche beweiset, dass diese Materie lebendig und reizbar, ja wohl oft unter den Einfluss des Nervensystemes gestellt ist.

1) Gilbert's Annalen. 1822. Bd. X. pg. 274.

2) Müller's Archiv 1841. pg. 232.

3) Max Schultze. Zur Kenntniss der Leuchtorgane von *Lampyrus splendiduli*, Archiv f. mikrosk. Anat. I. 1865. p. 125 u. Sitzungsab. der Niederrheinischen Gesellsch. f. Natur- u. Heilkunde zu Bonn am 7. Juli u. 4. Aug. 1864.

4) Oeuvres de Physique et de Mécanique. p. 472.

5) Péron. Annales du Mus. d'Hist. nat. T. IV. p. 443.

6) Treviranus. Biologie V. p. 92.

Nervenfäden zum Leuchtorgane der *Lampyrus* hat bereits J. Macaire¹⁾ aufgefunden. Was zunächst die Reizbarkeit betrifft, so zeigte Macaire, dass Einschaltung des Leuchtorganes in den Kreis einer Volta'schen Säule sofortiges Leuchten zur Folge hat, welches so lange dauert, als der Strom fliesst²⁾. Besonders schön ist dies zu sehen, wenn das abgetrennte Organ bereits aufgehört hatte, von selbst zu leuchten. Sehr wichtig ist Macaire's Beobachtung, dass der electriche Strom im Vacuum kein Leuchten des Organs erzeugt³⁾. Sowie man aber Luft zulässt, erregt der Strom das Leuchten wieder⁴⁾. Macaire bemerkte auch, dass die Leuchtorgane, so lange sie reizbar sind, durchsichtig erscheinen, aber beim Absterben undurchsichtig und weisslich werden; ist die weissliche Farbe eingetreten, so wirkt der electriche Strom nicht mehr⁵⁾. Das ist offenbar die der Muskelstarre analoge Erscheinung. Auch Peters⁶⁾ bezeugt, dass das Leuchtorgan der *Lampyrus* seine gelbliche Farbe bei dem Absterben verliert; denn sobald diese geschwunden, ist auch die Fähigkeit der Phosphorescenz erloschen. Nach den Untersuchungen von Macartney⁷⁾ existirt eine Art Stadium der latenten Reizung, was bei Anwendung von Entladungsschlägen durch *Medusen* bemerkt wurde. Nicht mit dem Schlag, sondern merkbar einen Moment später findet ein Aufleuchten statt, das einige Secunden dauert. Diese Versuche wurden in Gegenwart einer grossen Gesellschaft angestellt. Humboldt fand im atlantischen Ocean unter 34° 33' Breite drei leuchtende Medusen, die *Medusa aurita* Bast., *Medusa pelagica* Bosc. und eine dritte, die sich der *M. hyso-cella* Vandelli näherte. Beim Durchleiten des Volta'schen Stromes bemerkte man im Augenblick des Schliessens der Kette das Aufleuchten⁸⁾. Pfaff⁹⁾ hat durch einen ausserordentlich wichtigen Versuch gezeigt, dass Seewasser, welches die Fähigkeit zu leuchten

1) Gilbert's Annalen. 1822. Bd. 10. p. 265.

2) Macaire. Gilbert's Annal. 1822. Bd. X. p. 276.

3) Macaire a. a. O. p. 277.

4) Ebendas.

5) Ebendas. 278.

6) Müller's Arch. f. Anat. etc. 1841. p. 229.

7) Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 131.

8) Al. v. Humboldt. Reisen in die Aequinoctialgegenden des neuen Continent. Th. 1, p. 109.

9) Pfaff in Schweigger's Journ. 52. p. 311.

hat, sofort von Licht erhellt scheint, wenn man den Volta'schen Strom durchleitet. Er überzeugte sich, dass das Licht von winzigen Körperchen ausgeht, die sich hin und her bewegen. Angesichts dieser Zeugnisse muss die Reizbarkeit der Leuchtmaterie durch den electrischen Strom als bewiesen betrachtet werden und sogar für diejenigen Thiere, die nur durch den »Schleim« ihrer Körperoberfläche leuchten sollen. Auch die Analogie mit Muskeln niederer Thiere, welche Macaire ¹⁾ bei dem Leuchtorgan von *Lampyrus* bestätigt fand, ist sehr interessant. Denn dies soll durch momentane electrische Schläge nicht, sondern nur durch den dauernden Strom erregt werden. Aber die Analogie mit der Reizbarkeit von Nerv und Muskel geht noch weiter.

Spallanzani ²⁾ berichtete, dass der Druck oder Stich einer Nadel in das Organ das verschwundene Leuchten wieder hervorruft. Alle Beobachter ³⁾ sind einstimmig in der Hervorhebung der bedeutenden Einflüsse, die selbst sehr leise Erschütterungen auf das Leuchten ausüben, und welche wohl schwierig anders, als durch Innervation zu erklären sind.

Aber auch der chemische Reiz wirkt, gewöhnlich ähnlich wie beim Nerven, heftig erregend und zugleich vernichtend. Quoy und Gainard ⁴⁾ gossen in durch Infusorien leuchtendes Meerwasser verdünnte Schwefelsäure. Es entstand ein heller Glanz, der schnell verschwand. Pfaff ⁵⁾ sah durch »Reizung« das Meerwasser aufleuchten, wenn er es mit Ammoniak, Säuren, Aether, Alkohol versetzte. Artaud ⁶⁾ berichtet ganz dasselbe auf Zusatz von Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, Alkohol, Ammoniak und kohlensaurem Kali, und machte gleichzeitig den wichtigen Versuch, dass das Filtrat von leuchtendem Meerwasser keine Spur von Leuchten zeigt, wenn man jene Reagentien hinzufügt. Ehrenberg ⁷⁾ stellte ähnliche Versuche mit einem zur Klasse der Anneliden gehörenden Thiere an, welches er mit dem Namen *Polynoë fulgurans* belegt, und von dem er glaubt, dass es eigene Leuchtorgane besitze. Wenn er Salzsäure

1) Macaire in Gilbert's Annalen. Bd. X. p. 276.

2) Tiedemann. Physiol. I. p. 501.

3) Pl. Heinrich. Phosphorescenz. p. 376.

4) Tiedemann. Physiol. I. 493.

5) Pfaff. Schweigger's Journ. Bd. 52. p. 311.

6) Artaud. Annales marit. et coloniales 1825. p. 364 u. Schweigger's Journal Bd. 52, pag. 331.

7) Ehrenberg in Poggendorff's Annal. Bd. 23, p. 150.

in das Wasser goss, worin sich das Thier aufhielt, so wurde noch ein Lichtfunke erregt. Dann war aber Alles todt.

Demnach ist die Reizbarkeit der leuchtenden Materie ganz unzweifelhaft und ihre Abhängigkeit von der Innervation von vorne herein sehr wahrscheinlich.

Unendlich bedeutungsvoll würde der sichere Nachweis sein, da daraus hervorginge, dass der Nerv die Oxydation der Gewebe in wunderbarer Weise unter seiner Herrschaft hat.

Alle Beobachter stimmen wenigstens für viele Thiere darin überein, dass das Leuchten vom Willen des Thieres regulirt wird, ja plötzlich aufgehoben werden kann.

Macaire¹⁾ sagt, dass Geräusche den Leuchtkäfer zur Verdunkelung seines Lichtes vermögen. Ebenso wirkt ein plötzlicher Schlag. Bei diesem freiwilligen Verdunkeln des Lichtes beginne das Abnehmen von dem vordersten, dem Kopfe nächsten Ring und von hier aus schreite die Verdunkelung nach hinten weiter. Alle Beobachter, die genauer die Verhältnisse der Lampyris untersucht haben, stimmen auch darin überein, dass das Leuchtorgan der Lampyris dicht hinter durchsichtigen Theilen liege und die Verdunkelung nicht etwa durch das Verschieben eines undurchsichtigen Schirmes bedingt sei. Macaire²⁾ hat dies genauer untersucht. Auch Macartney³⁾ spricht auf Grund seiner Forschungen an Lampyris sich bestimmt dahin aus, dass kein sichtbarer Mechanismus die Intensität des Leuchtens regulire. Uebrigens kommen bei Leuchthieren, die durchsichtig wie Wasser sind, ganz dieselben, auf äussere Eindrücke erfolgenden plötzlichen Verdunkelungen vor. So berichtet Meyen⁴⁾ nach eigener Beobachtung von dem zu den Crustaceen gehörigen, von ihm Carcinium genannten und abgebildeten Thiere, das fast ganz durchsichtig ist und zwei gelbliche, auf dem Rücken liegende Leuchtorgane besitzt, dass das Leuchten unter dem Einfluss des Willens stehe.

1) Macaire in Gilbert's Annal. Bd. X. p. 269.

2) Macaire a. a. O. p. 270.

3) Gilbert's Annal. Bd. 61. p. 120.

4) Dr. F. J. F. Meyen. Beiträge zur Zoologie, gesammelt auf einer Reise um die Erde. Abhandlung V.

Ueber das Leuchten des Meeres und Beschreibung einiger Polypen und anderer niederer Thiere (7. Jan. 1834) in Nova acta Acad. Caes. Leop. Car. naturae curios. T. XVI. Supplement. p. 155.

Allgemein wird ferner angegeben, dass, wenn man der *Lam-pyris* den Kopf abschneidet, das Leuchten erlischt¹⁾, um nach einiger Zeit, wenn die Bewegungen des Rumpfes wieder von selbst anfangen, auch wieder, aber schwächer zu beginnen. Ganz in Uebereinstimmung hiermit sind die Beobachtungen von *Peters*²⁾ und *Tiedemann*³⁾.

Auch der eigenthümliche Wechsel der Intensität des Leuchtens, welches nur so lange beobachtet wird, als die leuchtende Materie nicht aus ihrem normalen Zusammenhange getrennt ist, wie dieses *Macartney*⁴⁾ besonders hervorhebt, spricht sehr für eine Abhängigkeit von dem Nervensystem, besonders da die Erscheinung auch bei durchsichtigen Wasserthieren so plötzlich auftritt, dass man doch schwerlich eine grössere Zufuhr von sauerstoffhaltigem Wasser dafür verantwortlich machen kann.

Die auffallendsten Thatsachen zur weiteren Erhärtung der Abhängigkeit des Leuchtens vom Nervensystem, oder doch der ausserordentlichen Reizbarkeit der Leuchtsubstanz sind folgende:

*Alexander von Humboldt*⁵⁾ beschreibt, wie er eine Meduse auf einen zinnernen Teller gelegt habe und wie das Thier jedesmal aufleuchtete, wenn er mit einem Metall gegen den Teller schlug. Selbst die kleinsten Schwingungen des Tellers, die auf diese Weise erregt wurden, sagt *v. Humboldt*, waren ausreichend, um das Leuchten hervorzurufen. Ebenso interessant sind die Versuche von *Meyen*⁶⁾ an *Pyrosoma*. »Fast in einem Augenblick« nach einer Berührung entsteht ein Aufleuchten aller 30—40 rothen Punkte des ganzen Thieres. Diese bilden nämlich den leuchtenden Theil des Leuchtapparates. Allmählig soll dann der ganze Körper leuchtend werden, meint *Meyen*. Wahrscheinlich steigt die Intensität des Lichtes so, dass das Thier innerlich überall zu leuchten scheint, aber nur durch diffuse Reflexion. Die *Pyrosomen* gehören nämlich zu den grössten und glänzendsten Meer-

1) *Macaire* a. a. O. p. 272.

2) *Peters*. *Müller's Archiv*. p. 231.

3) *Tiedemann*. *Physiol*. I. p. 506.

4) *Gilbert's Ann*. Bd. 61. p. 137.

5) *Al. v. Humboldt*. *Ansichten der Natur* II. p. 70 u. *Meyen* a. a. O. p. 135.

6) *Meyen* a. a. O. p. 152.

lichtern, und ihr Licht beschreibt Tilesius¹⁾ als bald feurig und flammend wie das einer glühenden Kanonenkugel, bald wie brennendes blaugrünes Schwefelfeuer. Jene Versuche Meyen's sind noch darum so werthvoll, weil die Pyrosomen fast wasserhell sind und ihre Oberfläche frei von Schleim ist. Auch scheint ihr Leuchtorgan höchst abhängig von dem Gesammtleben. Denn wenn Meyen das knorpelartig harte Thier mitten durch brach, so war alles Leuchten in zwei bis drei Secunden vollkommen erloschen²⁾. Auch das blitzartige plötzliche Aufleuchten bei Wasserthieren, mit plötzlichen Muskelbewegungen, deutet auf die Abhängigkeit von der Innervation. So beschreibt Tilesius³⁾ nach seiner reichen, auf wissenschaftlichen Seereisen gewonnenen Erfahrung das Licht der mikroskopischen Krebse im Unterschied zu dem anderer Leuchtthiere als sprühend wie die Funken aus einer Schmiedeesse. Tilesius⁴⁾ hat diese Thierchen unter dem Mikroskope einzeln beobachtet und bemerkt, dass die Dauer der Erscheinung genau übereinstimmt und in Verbindung steht mit den Bewegungen, die ihnen eigenthümlich sind. So erscheint der Lichtfunke des mikroskopischen Seekrebschens »im Meere geradeso stossweise und in derselben Dauer wie die zuckende oder convulsische Bewegung seines Schwanzes und wie mir der Stoss seiner Schwimmfüsschen gegen den Wassertropfen, in welchem ich das kleine Thierchen unter das Mikroskop gebracht hatte, erschien«⁵⁾. Ungemein empfindlich gegen mechanische Erschütterungen sind nach Spallanzani auch die Seefedern, deren Fahne dadurch leuchtend wird.

Todd⁶⁾ gelangt auf Grund seiner an Leuchtkäfern angestellten Untersuchungen zu dem Ausspruch, dass alle mechanischen und chemischen Erregungen, die Schmerz erzeugen, auch das Leuchtorgan zum Leuchten bringen.

Diese Auseinandersetzungen erklären nun, warum mechanische Erschütterung des Meerwassers ein Aufleuchten erzeugt. Artaud⁷⁾

1) Tilesius in Gilbert's Annal. Bd. 61. p. 37. 38 u. 157.

2) Meyen a. a. O. p. 153.

3) Tilesius in Gilbert's Annal. Bd. 61. p. 38.

4) Ebendas. p. 176.

5) Ebendas.

6) Tiedemann. Physiol. I. p. 506.

7) Artaud. Annales marit. etc. 1825. p. 364, und Schweigger's Journ. 52. p. 320.

zeigte, dass das ruhende Meerwasser sofort durch und durch leuchtete, wenn er es umrührte, und dass dies nicht mehr der Fall war, wenn er es vorher filtrirt hatte.

Das ist der Grund, weshalb der Weg eines Schiffes durch das Meer eine leuchtende Bahn beschreibt, warum sogar dasselbe für grosse Seefische und Delphine gilt, die Einige, z. B. v. Humboldt, darum für selbstleuchtend angesehen haben. Meyen besonders hat durch seine auf Seereisen gesammelten Erfahrungen diese Verhältnisse aufgeklärt. »Zu den interessantesten Erscheinungen auf offener See gehört das Leuchten der grossen Seefische und der fischartigen Säugethiere. Mit Blitzesschnelle fahren sie an dem Schiffe vorüber und erleuchten die ganze Umgegend, indem sie selbst wie mit Feuer bedeckt erscheinen. Ganze Herden von Delphinen und selbst von Wallfischen scheinen zu leuchten. Schon Alex. v. Humboldt sah leuchtende Delphine im Golfe von Mexico. Gleich im Voraus bemerken wir hier, dass dieses Leuchten der Fische nicht mit dem Phosphoresciren todter Fische zu vergleichen ist, worüber Risso, Hulme und neuerlich Herr Rapp so interessante Untersuchungen bekannt gemacht haben. Als wir die ersten Delphine und Doraden in der Gegend des Aequators leuchten sahen, glaubten wir, dieses Licht gehe von dem Schleime aus, welcher diese Fische in einer sehr dicken Lage bekleidet. Erst auf der Westküste von Südamerika wurden wir überzeugt, dass die lebenden Fische gar nicht leuchten und dass das Licht derselben nur vermöge der schnellen Bewegung des Wassers von den kleinen leuchtenden Thieren ausging, die sich in dem von den Fischen durchschnittenen Wasser befanden. Im Hafen von Manila sahen wir bei sehr dunkler Nacht und ruhigem Wetter den Boden eines ganzen Schiffes auf diese Weise erleuchtet. Zu demselben Resultate ist auch Michaelis gekommen: er sah Boote, Schiffe und selbst sich badende Menschen über und über mit einer leuchtenden Atmosphäre umgeben, so dass also gegenwärtig über diese Erscheinung keine Zweifel mehr obwalten können«¹⁾. Doch kommen auf Fischen, so z. B. nach Bajon²⁾ auf Dorado (Meergoldfisch) leuchtende Punkte vor, die als schmarotzende Medusen angesprochen werden. Dies ist gewiss ebenso glaublich, als dass das Leuchten der im Meer liegenden Schiffstau, wie Hablitzl³⁾

1) Meyen. Nova acta acad. Caes. Leop. Car. 16. Suppl. p. 147.

2) Gilbert's Annalen 61. p. 6.

3) Journal de physique. T. 28 und Gilbert's Annalen 61. p. 8.

festgestellt hat, durch darauf sitzende kleine Seekrebsechen bedingt ist, die er für *Cancer pulex* erklärte.

Zu den Thatsachen, welche ich gesammelt habe zur Begründung der Ansicht, dass die leuchtende Materie reizbar sei, gehört aber noch die ausserordentlich wichtige, von allen Beobachtern übereinstimmend gemachte Erfahrung, dass die Leuchtkraft durch wiederholte Reizungen erschöpft werde. So hebt Tilesius¹⁾ hervor, dass oft durch Reizung erzeugtes Leuchten Erschöpfung hervorrufe. Meyen²⁾ sagt, dass oft wiederholte Reizung der *Pyrosoma* die Leuchtkraft erschöpfe. Aehnlich sprechen sich andere Beobachter aus.

Da somit die Reizbarkeit bewiesen ist, so ist auch gezeigt, dass die leuchtende Substanz lebendige Materie ist. Denn die Reizbarkeit ist die erste und wichtigste Function der lebendigen Materie.

Dem widerspricht keineswegs, dass vom lebendigen Körper abgeschnittene oder irgendwie entnommene Theile zu leuchten fortfahren. Denn selbst ein ausgeschnittenes Herz schlägt lange weiter und das abgeschnittene Bein eines Frosches behält sein Leben in kühler Temperatur für viele Tage. Ja die lange sich erhaltende Reizbarkeit ausgeschnittener Stücke von Nerven, die nur Zellenfragmenten gleichwerthig sind, zeigen uns, dass auch Partikeln von Zellen noch eine Zeit lang zu leben fortfahren, wenn sie auch die natürliche Verbindung mit dem zugehörigen Organismus aufgegeben haben. So ist es also wohl verständlich, dass bei den Pholaden die Leuchtsubstanz einige Tage nach der Entfernung vom Thiere, also auch nach der Tödtung des Thieres, die ja gewöhnlich nichts weiter als Tödtung des Nervencentrums bedeutet, fort dauert, aber mit eintretender Fäulniss erlischt). Von dem Gesichtspunkte des Ueberlebens der Substanz nach der Zerstörung des Zusammenhanges der Organisation müssen auch die Versuche von Spallanzani beurtheilt werden, bei denen er Medusen zerquetschte und Wasser damit auf 22 Minuten leuchtend machte; es ist aber recht bezeichnend, dass das Licht schon nach 1½ Stunde erlosch und später wieder durch Schütteln hervorgerufen werden konnte. Wirkte auch die Erschütterung nicht mehr, dann half noch Erwärmen auf 30° R.,

1) Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 136.

2) Meyen. Nova acta acad. Caes. Leop. Car. 16. p. 152.

wie bei dem lebendigen Thier. Je nach der Empfindlichkeit des Gewebes richtet sich die Andauer des Lebens in dem abgetrennten Theile.

Sehr gross muss diese Empfindlichkeit nach Meyen ¹⁾ z. B. bei *Pyrosoma* sein, da das Leuchtorgan mit dem Zerschneiden des Thieres sofort erlischt. Mehr oder weniger gilt dies für viele Thiere. Herr v. Flaugergues jun. ²⁾ beobachtete wiederholt das Leuchten der Erdwürmer und berichtet, dass es mit dem Absterben des Thieres verschwand. Die von Einigen bezweifelte Richtigkeit der Beobachtungen Flaugergues' kann nicht geleugnet werden, weil sie von verschiedenen Seiten bestätigt ist ³⁾. Mac Culloch ⁴⁾ hebt hervor, dass das Licht der leuchtenden Meeresinfusorien mit dem Tode verschwand. Der erfahrene Tilesius sagt: »Es leuchten blos lebendige Thiere: Mollusken, Crustaceen und Infusorien, aber es giebt eine zahllose Menge dieser leuchtenden Seethiere: Salpen — —, Medusen, Beroen, Physalien, Physophoren, Rhizophysen, Stephanomien, kleine mikroskopische Krebschen und Entomostraca, ferner Onisci, Monoculi und deren Larven, auch Seefedern, Nereiden, Zoo-phyten und Infusionsthierchen.« — — »Die mehrsten dieser Thiere habe ich leuchten sehen und ihren Bau untersucht, wie man in meiner Abhandlung über die verschiedenen der Seelichter — — finden wird ⁵⁾.« Alle Beobachter, wie Tilesius, Macartney, de Servièrès und Andere melden, dass das Leuchten um so kräftiger sei, je lebensvoller die Thiere erschienen und um so mehr abnehme, je matter sie würden ⁶⁾. Es spricht auch nicht gegen meine Ansicht von der Lebendigkeit der leuchtenden Substanz, dass sie

1) Meyen. *Nova acta acad. Caes. Leop. Car.* Taf. 16. Suppl. p. 136 und 153.

2) Flaugergues in *Lichtenberg's Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte* 1781. Bd. I. Stück I. p. 47.

3) Bruguière in *Journal d'histoire nat.* I. 2. und in *Gilbert's Annalen.* Bd. 61. p. 7.

4) Mac Culloch in *Tiedemann's Physiol.* I. p. 493.

5) Des Hofrath Tilesius Resultate seiner während der drei Jahre der Krusenstern'schen Entdeckungsreise angestellten Untersuchungen über das Leuchten des Meeres in *Gilbert's Annalen* 61. p. 36. 39. 173.

6) Tilesius in *Gilbert.* 61. p. 39. — Macartney in *Gilbert.* 61. p. 157. — de Servièrès in *Magaz. für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte von Lichtenberg.* 1781. Bd. I. Stück 1. p. 50.

eingetrocknet werden kann und aufgeweicht wieder leuchtet. Denn der Versuch gelingt nur, wenn die frische Leuchtsubstanz bei niedriger Temperatur getrocknet wird und das Leuchten beim Wiederbefeuchten dauert nur sehr kurz (Spallanzani). Wenn eingetrocknete Räderthierchen, mit Wasser befeuchtet, quellen und wieder lebendig werden, wenn ein gefrorener Muskel nach dem Aufthauen wieder zuckt, warum sollte die getrocknete Leuchtsubstanz beim Befeuchten nicht wieder leuchten? Der Versuch gelingt indessen nicht blos mit dem Leuchtorgan des Leuchtkäfers, sondern auch mit der allerdings sehr lebenszähnen Leuchtsubstanz der Pholaden¹⁾.

Michaelis²⁾ hat mit dem specifischen Thiergift, der Blausäure, leuchtendes Meerwasser versetzt. Nach 10 Minuten war das Licht nur noch schwach und nach 30 Minuten vollkommen erloschen.

Da das Leben der organischen Materie noch wesentlich von der Temperatur abhängt, so ist es von grosser Bedeutung, auch die hierauf bezüglichen Thatsachen kennen zu lernen.

Die Kälte, welche die Erstarrung erzeugt und das Stillstehen aller Lebensprocesse, hebt mit ihnen auch das Leuchten auf. Das gilt sogar für die Leuchtsubstanz der Pholaden, die sich sonst durch eine ausserordentliche Lebenszähigkeit auszeichnet, worüber Beccaria, Monti, Galeati und Balbi Untersuchungen angestellt haben³⁾. Am meisten sind die Leuchtkäfer untersucht mit Rücksicht auf die Wirkung der Temperatur. Nach Hulme, Spallanzani und Placid. Heinrich hört das Leuchten mit dem Eintritt der Erstarrung auf, um beim Aufthauen wieder zu erscheinen⁴⁾. Nach den höchst wichtigen Untersuchungen von Macaire⁵⁾ erlischt bei *Lampyrus* das Leuchten schon bei 10° R. Derselbe Forscher setzte dann das Thier einer steigenden Temperatur aus; bei 22° R. begann es wieder zu leuchten; das Licht war bei 33° am stärksten. Bei

1) Commentar. Acad. Bonon. 1745. T. 2. P. 2. p. 248 und Tiedemann's Physiologie. I. p. 496. — Peters in Müller's Archiv f. Anat. etc. 1841. p. 229.

2) Michaelis. Ueber das Leuchten der Ostsee. 1830 und auch Meyen in den Acta Leopold. 16. Suppl. p. 142.

3) De luce dactylorum in Commentar. Acad. Bonon. 1745. T. 2. P. 1. p. 248.

4) Tiedemann. Physiol. I. p. 504.

5) Macaire. Ueber die Phosphorescenz des Leuchtkäfers, übersetzt in Gilbert's Annal. 1822. Bd. X. p. 272.

46° hörte es auf. Nichts ist im Stande, das Licht, welches durch eine Temperatur zwischen 47—50° ausgelöscht ist, wieder herzustellen¹⁾. Auch am freipräparirten Leuchtorgan fand Macaire den höchsten Glanz bei 33° R.; 42° vernichtete das Licht und machte das Organ weiss wie geronnenes Eiweiss²⁾. Macaire zeigte auch, dass Wärme kein Leuchten hervorbringt, wenn das Leuchtorgan im Vacuum sich befindet, dass aber das Leuchten sofort eintritt, wenn man atmosphärische Luft wieder zulässt³⁾.

Diese Abhängigkeit von der Temperatur scheint eine allgemeine Eigenschaft der thierischen Leuchtmaterie. Auch bei den Mollusken (Pholaden) begünstigt mässige Wärme das Leuchten, während es durch Siedehitze (wahrscheinlich genügt eine viel niedrigere Temperatur) vernichtet wird⁴⁾. Artaud⁵⁾ fand, dass sein leuchtendes Meerwasser bei 35° am stärksten leuchtete, bei 43° völlig erlosch. Das filtrirte Wasser wurde durch Steigerung der Temperatur nicht zum Leuchten gebracht. Nach Michaelis⁶⁾ darf die Temperatur des Ostseewassers nicht über 24° R. erhöht werden, ohne das Leuchten zu vernichten.

Alle genannten Thatsachen weisen also mit Bestimmtheit auf lebendige Substanz hin und dies wird weiter bestätigt durch diejenigen chemischen Reagentien, welche die leuchtende Materie vernichten. Denn es sind diejenigen, welche Eiweiss coaguliren oder energisch umwandeln und zersetzen.

Macaire zeigte für das Leuchtorgan des Leuchtkäfers, dass es durch Schwefelwasserstoff, Mineralsäuren, sowie concentrirte organische Säure sofort total seiner Leuchtfähigkeit beraubt werde⁷⁾. Neutralisiren stellte die verlorene Eigenschaft nicht wieder her. Auch die ätzenden Alkalien zerstören und Neutralisation bringt die Leuchtfähigkeit nicht wieder. Dann kommen die Salze der schweren Metalle, besonders Kupfersalze und Quecksilberchlorid, welche ener-

1) Macaire a. a. O. p. 270, 271.

2) Ebendas. 278.

3) Ebendas. 274.

4) De luce Dactylorum in Comment. Acad. Bonon. 1745. T. 2. P. I, p. 248.

5) Artaud. Annal. marit. etc. 1825. p. 364 und in Schweigger's Journ. 52. p. 322.

6) Michaelis in Meyen. Nova acta acad. Leop. T. 16. p. 142.

7) Macaire in Gilbert's Annalen. Bd. X. p. 379, 273.

gisch vernichten; endlich Alkohol, Aether und die Hitze, die weit unter dem Siedepunkt des Wassers liegt¹⁾. Man sieht: das ist eine Aufzählung von Eiweissreagentien. Pfaff²⁾, Ehrenberg³⁾, Artaud⁴⁾, Tilesius⁵⁾ (für Alkohol), Beccaria, Monti, Galeati, Balbi⁶⁾ und Andere bringen ganz dieselben Angaben, theilweise einer den andern ergänzend. Die zuletzt Genannten zeigten auch noch die Unschädlichkeit der Lösungen der neutralen Alkalisalze, wenn sie nicht zu concentrirt sind.

Von jeher haben auch deshalb die specieller mit dem Gegenstand Vertrauten die leuchtende Materie als dem Eiweiss nahe verwandt angesehen, wie es z. B. Macaire⁷⁾ und Artaud⁸⁾ direct aussprechen und worin man ihnen nur beipflichten kann.

Da es sich aber um reizbares Eiweiss handelt, um lebendiges Eiweiss, so werden wir nicht fehlgehen, wenn wir die Leuchtmaterie für Protoplasma halten, was ja für einzelne Fälle sicher bewiesen ist.

Wenn ältere Forscher das klebrige leuchtende Protoplasma der Zellen von der Oberfläche einer Meduse abwischten und die Substanz Schleim nennen, so wissen wir, dass sie mit dem Worte keinen andern Begriff als den der eigenthümlichen Consistenz verbanden.

Wenn Spallanzani⁹⁾ ferner die voll Wasser gesogene Fahne der Seefeder ausdrückte, so leuchtete das ausgepresste Wasser. Man muss aber die ganz ausserordentliche Zartheit dieser Wesen in Betracht ziehen, um einzusehen, dass solch ein Versuch dem Wasser eine Masse zerquetschter Leibessubstanz mittheilt, die noch eine Zeit lang fortlebt. Das so schnell nach dem Tode eintretende vollkommene Zerfliessen im Seewasser¹⁰⁾ zeigt ihre aussergewöhnliche

1) Macaire a. a. O.

2) Pfaff in Schweigger's Journ. 52. p. 317.

3) Ehrenberg in Poggendorff's Annal. Bd. 23. p. 150.

4) Artaud. Annales maritimes et coloniales. 1825. p. 364 und in Schweigger's Journ. Bd. 52. p. 321.

5) Tilesius in Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 130.

6) De luce dactylorum in Commentar. Acad. Bonon. 1745. T. 2. P. I. p. 248.

7) Macaire in Gilbert's Annalen. Bd. X. p. 280.

8) Artaud a. a. O. und Schweigger's Journ. Bd. 52. p. 322.

9) Gilbert's Annalen. Bd. 61, p. 146.

10) Macartney in Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 146.

Zartheit an. Auch die Medusen müssen nach Spallanzani¹⁾ gedrückt werden, um dem Wasser, in dem sie sind, leuchtende Eigenschaften zu ertheilen.

Ich muss nun bekennen, dass ich auch das Leuchten todter Fische und anderer Seethiere²⁾, sowie das Leuchten des Holzes höchst wahrscheinlich durch lebendige Organismen bedingt halte. Wenn ich z. B. die Bedingungen erwäge, von denen das Leuchten des Holzes abhängt, wie sie Placidus Heinrich in seinem grossen Werke³⁾ zusammengestellt hat, so kann ich mich der Ueberzeugung nicht entziehen, dass es sich auch hier um Licht lebendiger Materie handelt. Es liegen auch hierüber viele gute Versuche zahlreicher Forscher (Canton⁴⁾, Martin⁵⁾, Spallanzani⁶⁾, Hulme⁷⁾, Heinrich⁸⁾, Dessaignes⁹⁾) vor, die sich besonders auf das Leuchten todter Fische beziehen. Die Lichtentwicklung beginnt ein bis zwei Tage nach dem Tode.

Charakteristisch für die Natur dieses Leuchtens sind folgende Thatsachen: Kälte unter 0° hebt das Leuchten auf, beim Erwärmen erscheint es wieder und wird durch die Siedhitze für immer vernichtet.

Das Leuchten findet nur in athembarem Gase statt unter Absorption von Sauerstoff und Production von Kohlensäure. Es erlischt also im Vacuum, Wasserstoff, Stickstoff; erscheint wieder bei Zulassung von Luft. In sauerstoffhaltigem Wasser leuchtet der Fisch, in ausgekochtem nicht und beginnt bei Zulassung von Luft wieder zu phosphoresciren. Das Leuchten verschwindet, wenn die stinkende Fäulniss beginnt.

Ebenso wie die leuchtende Materie der unzweifelhaft lebendigen Organismen verhält sich auch diese auf abgestorbenen erscheinende.

1) Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 122.

2) Macartney in Gilbert's Annalen. Bd. 61. p. 146.

3) Joseph Placidus Heinrich. Die Phosphorescenz der Körper in fünf Abhandlungen. Nürnberg 1820. p. 315.

4) Canton. Philosophical. Transaction. T. 59. p. 446.

5) Martin. Schwed. Abhandl. 1761. Nr. 7.

6) Chimico esame degli esperimenti del Sign. Götting. Modena. 1796.

7) Hulme. Philosoph. Transact. 1800. P. 1. p. 161. 1801, 483.

8) Jos. Pl. Heinrich. Die Phosphorescenz. p. 364.

9) Dessaignes. Sur les phosphorescences Journ. de Physique. T. 68. p. 444 u. T. 69. p. 5. T. 73. p. 41. T. 74. p. 101.

In Wasser vertheilt bewirkt sie, wie Canton¹⁾ gezeigt hat, ein Aufleuchten beim Umrühren mit einem Stabe. Die Bahn, welche dieser beschreibt, phosphorescirt. Ja die blossе Berührung der Leuchtmaterie, die sich auf abgestorbenen Polypen bildet, bedingt eine Lichtentwicklung²⁾.

Höchst bezeichnend ist auch das Verhalten der Leuchtsubstanz gegen Chemikalien. Zerstört wird das Leuchten durch die mineralischen und vegetabilischen Säuren³⁾, durch Wasser, das mit Kohlensäure oder Schwefelwasserstoff gesättigt ist, sowie durch Lösungen ätzender alkalischer Erden und concentrirte Lösungen neutraler Alkalisalze⁴⁾. Auch verdorbene und in Verwesung begriffene thierische Materie zerstört das Leuchten, wie alter Urin (NH_3), saure Milch u. s. w.

Vortheilhaft wirkten aber verdünnte Lösungen neutraler Alkalisalze, Zucker, Honig, phosphorsaures Natron, auch Salpeter in verdünnter Auflösung⁴⁾.

Was aber noch recht charakteristisch für den Beweis ist, dass die Leuchtsubstanz aus Keimen sich entwickelnder lebendiger Materie besteht, geht aus folgenden Thatsachen hervor.

Wenn man bei einem leuchtenden Fisch einen frischen Schnitt anlegt, so dauert es immer eine Reihe von Stunden, bis auch dieser zu leuchten beginnt, weil die Sporen Zeit brauchen, sich zu entwickeln.

Wird ein Seefisch gut gesalzen und das Leuchten dadurch unterdrückt, weil sich in dem Salz kein Keim bilden kann, und hebt man auf dem Continent den Fisch lange auf, so kann er auch beim Auswässern des Fleisches und Entfernung des überschüssigen Salzes nicht zum Leuchten gebracht werden⁵⁾; denn die aus der See stammenden Keime sind vernichtet.

Sehr charakteristisch ist auch, dass Pl. Heinrich eine grosse Zahl von Versuchen mit Flussfischen anstellte, die mit schwachen

1) Philosoph. Transact. Vol. 59. p. 446. und Joh. Heinr. Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde. 1797. Bd. I. Stück IV. pag. 1.

2) Gilbert's Annalen. Bd. 61. pag. 146.

3) Martin. Gilbert's Annalen XII. 129. 292. und Pl. Heinrich a. a. O. pag. 367.

4) Martin a. a. O.

5) Pl. Heinrich a. a. O. pag. 378 u. flgde.

Kochsalzlösungen bestrichen und frei an der Luft aufgehangen wurden. Nur ein einziges Mal gelang es ihm einen Hecht und zwar zu der prachtvollsten Phosphorescenz zu bringen. Wer kann sich denken, dass nur dieser Hecht eine besondere, bei der Zersetzung leuchtende Materie besessen habe? Offenbar hat dieser Hecht zufällig an einer Stelle im Keller gelegen, wo auch die Seefische aufbewahrt wurden, an denen Heinrich seine Versuche machte, sodass Sporen an ihm hängen blieben. Vielleicht hatte ihn auch die Köchin mit Seefischen in demselben Gefäss mit Wasser übergossen und gewaschen.

Ein höchst lehrreicher Fall, der beweist, dass ein leuchtendes Stück Fleisch ein anderes »ansteckt«, wenn auch beide absolut gar keine Neigung zur Phosphorescenz haben, ist folgender.

Zur Osterzeit 1592 bemerkte man zu Nacht, dass Stücke eines aus der Fleischbank zu Padua gekauften Lammes leuchteten. Der damals zu Padua als Anatom berühmte Hieron. Fabricius ab Aquapendente untersuchte diese Erscheinung etwas genauer und gab hiervon in seinem Werke de Oculo visus organo cap. IV. folgende Auskunft: das Licht muss sich ohngefähr anderthalb Tage nach dem Schlachten eingestellt und wenigstens vier Tage erhalten haben: **ein damit in Berührung stehendes Stück Bockfleisch leuchtete gleichfalls; das Licht zeigte sich auf dem muscülösen Fleische und auf dem Fette; der Glanz war silberweiss, man konnte damit die Finger und jeden andern Körper leuchtend machen, indem sich eine klebrichte Feuchtigkeit ausschied** ¹⁾.

Man sieht also, auf jeder eiweisshaltigen Substanz kann sich das Leuchten entwickeln und von einem Stück Fleisch auf irgend ein anderes fortsetzen. Es ist also klar, dass es sich hier gar nicht um einen besonderen in den Fischen allein vorkommenden Stoff handelt, sondern todte Seefische leuchten nur deshalb leicht, weil im Meere leuchtende Organismen sind, deren Sporen den Oberflächen der Fische anhängen und sich allmählig auf Kosten des Eiweisses wie Schmarotzer entwickeln. Das die Haut durchtränkende Salz spielt bei der Entwicklung der Leuchtsubstanz eine wichtige Rolle.

Auch das spricht sehr für meine Auffassung, dass in Seestädten, z. B. in Montpellier oder in England ²⁾, wo der Seefisch eine so ge-

1) Pl. Heinrich a. a. O. pag. 382.

2) Pl. Heinrich a. a. O. pag. 387.

wöhnliche Nahrung ist, das Leuchten alles Fleisches keine seltene Erscheinung ist, während sie im Innern des Continentes fast nie beobachtet wird.

Nach Erörterung der Phosphorescenz abgestorbener Thiere möge die Bemerkung genügen, dass die Bedingungen dieselben sind, von denen die analoge Erscheinung bei dem Leuchten des Holzes abhängt, das auch aufhört, wenn das Holz wirklich faul ist, weil dann das Eiweiss, welches dem Schmarotzer zur Nahrung dient, zersetzt ist, dass also diese Bedingungen ganz übereinstimmen mit denjenigen, welche für das Phänomen bei lebendigen Organismen massgebend sind. Es würde uns zu weit führen, auch diese Einzelheiten zu behandeln. Wer sich dafür interessirt, findet eine auf umfassende, sehr umsichtige Untersuchungen gestützte Behandlung des Gegenstandes in Placidus Heinrich's grossem Werke¹⁾.

Von obigen Erwägungen ausgehend untersuchte ich dieser Tage den leuchtenden Schleim vom Kopfe eines grossen Kabliau, der eine silberweisse Phosphorescenz zeigte. Das Licht ist aber zu schwach, um dasselbe bei Beleuchtung des Mikroskopes erkennen zu können. Es genügt auch nicht, um bei der durch die Vergrösserung bedingten Lichtschwächung die leuchtenden einzelnen Theile zu erkennen. Wohl aber konnte ich grössere Massen unter dem Mikroskope leuchten sehen. Diese bestanden abgesehen von ziemlich vielen prismatischen Krystallen verschiedenster Grösse, deren Untersuchung ich mir vorbehalte, aus einer ganz eigenthümlichen feinkörnigen Masse, die auf den ersten Blick wie Protoplasma aussieht. Beim Vertheilen dieser Masse in Wasser sah ich, dass sie aus zahllosen ziemlich stark glänzenden Kügelchen bestand, die bis zu dem Auge entwindender Kleinheit verfolgt werden konnten. Viele dieser Kügelchen bildeten zierliche Perlschnüre von 2, 3 und längeren Ketten, so dass, besonders nachdem ich durch zwölfstündige Züchtung diese Kügelchen bis fast zur halben Grösse von Säugethierblutkörperchen habe heranwachsen sehen, für mich kein Zweifel besteht, dass hier im Schleime des Fisches Milliarden feinsten Sporen in dichten Schaaren wachsen. Vielleicht sind diese Zellchen auch beweglich; doch konnte ich das nicht sicher entscheiden, weil zahlreiche Infusorien von verschwindender Kleinheit, die an der Grenze

1) Pl. Heinrich a. a. O. pag. 315.

der Sichtbarkeit selbst bei meiner stärksten Vergrößerung (Zeiss F.) stehen, mit grosser Behendigkeit hin und her sich tummeln. Da nun die leuchtende Schicht auf dem Kopf des Fisches aus Nichts als Krystallen, einem spärlichen glasigen Schleim und diesen ungeheuren Massen lebendiger Kügelchen besteht, so zweifle ich nicht einen Augenblick, dass diese Organismen die Phosphoreszenz bedingen.

Sollten sie sich bei fernerer Untersuchung als Pilze herausstellen, so würde das mit dem Leuchten nicht unverträglich sein. Dass nicht bloss die Blüten einzelner Phanerogamen (*Tropaeolum majus*¹⁾, *Calendula officinalis*²⁾, *Lilium bulbiferum*³⁾, *Tagetes patula*³⁾, *Helianthus*⁴⁾, *Polyanthes*⁴⁾, *Phytolacca decandra*⁵⁾, sondern auch kryptogamische Gewächse leuchten, ist unzweifelhaft sicher gestellt. Schon Aristoteles⁶⁾ erwähnt einige Schwämme und Plinius⁷⁾ eines Eichenschwammes als leuchtender Körper. Hier sind ferner die Beobachtungen von Ducluzeau⁸⁾ über leuchtende Conferven, von Funk und Brandenburg⁹⁾ über *Schistotega osmundacea*, von Brewster¹⁰⁾ über *Chara vulgaris* und *hispida*, von Derschau und Nöggerath¹¹⁾ über leuchtende Rhizomorphen anzuführen, Bischoff¹²⁾ zeigte, dass das Leuchten der Rhizomorphen im Vacuum

1) Linne's Tochter in Abhandlungen der schwedischen Akademie 1762. Bd. 24, pag. 291, bezweifelt von Ingenhous (Versuche mit Pflanzen, Bd. 2, p. 273), ebenso von Senebier (Physiologie végétale T. 2, p. 21) und auch von Saussure jun. (Recherches chim. sur la vegetation p. 129.

2) Haggren. Neue Abhandlungen der schwedischen Akad. 1777. Bd. 9, pag. 59. — Johnson. Edinb. philos. Journal T. 6, pag. 415.

3) Haggren a. a. O. — Johnson a. a. O.

4) Johnson a. a. O.

5) Szuets. Trommsdorff's Journal d. Pharmacie. Bd. 8, pag. 54.

6) Aristoteles. De anim. L. II. c. 7.

7) Plinius. Hist. nat. L. XVI. c. 8.

8) Ducluzeau. Essai sur l'histoire nat. des Conferves des environs de Montpellier. pag. 18.

9) Funk u. Brandenburg in Gilbert's Annalen. Bd. 30. pag. 242.

10) Brewster. Edinburgh. philosoph. Journ. Juli 1823. pag. 194.

11) Derschau u. Nöggerath. Verhandlungen der Leop. Corol. Akad. d. Naturf. Bd. 11, Abth. 2.

12) Bischoff. Schweigger's neues Journal für Chemie und Physik. Bd. 9, pag. 259.

und sauerstofffreien Gasen verschwindet, bei Zulassung von Sauerstoff wiedererscheint, dass ferner Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure gebildet wird.

Somit glaube ich durch Zusammenstellung aller bekannten wichtigsten Thatsachen den Satz aufstellen zu dürfen, dass die lebendige Materie in dem Zustande, wie sie den Zellen zukommt, das Leuchten in sauerstoffhaltigen Räumen veranlasst.

Für die Leuchtkäfer hat Max Schultze in einer höchst wichtigen Untersuchung bestimmt festgestellt, dass die leuchtende Materie eine Zelle sei, die am Ende des Luftrohrs, d. h. der sogenannten Tracheen sitzt, dass die Luft mit ihr in unmittelbare Berührung kommt. Er hat ferner dargethan, dass es das Protoplasma der lebendigen Zelle ist, welches die intensive Verwandtschaft zum Sauerstoffe hat, wie daraus hervorgeht, dass die Leuchtorgane sich im Protoplasma tief schwärzen, wenn sie noch lebendig in eine Lösung von Osmiumsäure gelegt werden. Bekanntlich ist die Schwärzung dadurch bedingt, dass der Osmiumsäure Sauerstoff entzogen wird. Legte Schultze das abgestorbene Organ in die Säure, so trat jene Schwärzung nicht ein¹⁾. Max Schultze sah ferner unter dem Mikroskope die Zellen leuchten. Auch andere Beobachter²⁾ sprechen von Punkten, die beim Beginn der Phosphorescenz in den Leuchtorganen aufblitzen, was auf die Entstehung des Lichtes in kleinen circumscribten Zellenherden hinweist. Auch Macartney³⁾ beschreibt das Licht bei den Pyrosomen als aus kleinen feurigen Punkten bestehend.

Nirgends in der Literatur — und dies ist für diese Untersuchung sehr wichtig — findet man eine Beobachtung über phosphorescirendes Blut; nur Organe phosphoresciren.

Placidus Heinrich⁴⁾ hebt mit grosser Bestimmtheit hervor, dass das Leuchten lebendiger Thiere immer einen bestimmten Herd im Körper habe, von dem es ausgehe, was mit der Annahme phosphorescirender Säfte unverträglich ist.

1) M. Schultze. Zur Kenntniss der Leuchtorgane von *Lampyrus splendidula*. Arch. f. mikrok. Anat. Bd. I pag. 125 und Sitzung der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Bonn am 7. Juli und 4. Aug. 1864.

2) Meyen a. a. O., pag. 152.

3) Gilbert's Annalen Bd. 61, pag. 157.

4) J. Placidus Heinrich. Ueber die Phosphorescenz, pag. 377.

Ich habe in der Literatur nur eine Behauptung von phosphorescirendem lebendigen Blute gefunden.

Mitchill in Newyork berichtet, dass am 13. Nov. 1800, einem sehr heissen Tage, wo das Thermometer im Schatten um 2 Uhr Nachm. auf 89° F. und 7 Uhr Ab. auf 76 stand, das ganze Ufer wie mit glühenden Kohlen bedeckt war, die beständig Funken sprühten, die Wellen der Fluth waren flammend und das Wasser einige Ruthen tief ausserordentlich hell. Mitchill fand den Strand mit Mollusken bedeckt, vorzüglich mit der »Medusa simplex« und der Nereis noctiluca. Durch Bewegung vom Wasser, von der Luft nahm ihr Licht zu. Einige der Thiere nahm er mit nach Hause. Die Thiere waren beinahe ganz durchsichtig und nur bei starker Beleuchtung vom Wasser zu unterscheiden. Das zu Nacht bemerkbare Leuchten war aussetzend und auf gewisse Linien beschränkt: »es ging in den Arterien und nicht in den Venen vor«, war schön blau und verschwand manchmal, ohngeachtet »das Blut schnell fortströmte«¹⁾.

Mitchill hat sich indessen getäuscht, indem er die Rippen der Meduse für Gefässe gehalten hat. Macartney fand, dass das vermeinte Blut zarte Härchen sind, die sich auf den Rippen befinden und beim Schwimmen der Meduse eine so schnelle rotatorische Bewegung machen, dass es aussieht, als ob eine Flüssigkeit durch die Rippen strömte²⁾.

Hier in dem wunderbaren Schauspiel der thierischen Phosphorescenz hat die Natur uns ein Beispiel gegeben, welches uns zeigt, wo die Fackel brennt, die wir Leben nennen. Sie lehrt uns, dass die Organe, also die Zellen und nicht das Blut leuchten. Es ist das gewiss kein seltsamer Ausnahmefall, sondern nur die specielle Aeusserung des allgemeineren Gesetzes, dass alle Zellen fortwährend im Brande stehen, wenn wir das Licht auch nicht mit unserem leiblichen Auge sehen.

Das wird meines Erachtens noch sehr wesentlich dadurch gestützt, dass die Leuchtorgane nicht morphologisch analoge Bildungen sind, indem sie an den verschiedensten Stellen des Körpers:

1) Placidus Heinrich. Die Phosphorescenz etc. Nürnberg 1820, pag. 362. — Treviranus Biologie V. pag. 88.

2) Macartney. Philosophical Transactions Y. 1810. p. 264 und Treviranus Biologie V. p. 88.

dem Kopf, der Brust, dem Bauch, auf der Bauch- sowie der Rückenseite, sowohl aussen als innen vorkommen.

Auch mit Rücksicht auf die Leuchtapparate gilt durchaus, was Carl Gegenbaur¹⁾ der Descendenztheorie gemäss von den electrischen Organen der Fische sagt. Er hebt hervor, dass die letzteren trotz ihrer histologischen und physiologischen Uebereinstimmung morphologisch differente sind. »Sie können nicht von einander oder von einem gemeinsamen Stammorgane abgeleitet werden, sondern stellen ganz selbstständige Differenzirungen dar. Dafür spricht auch die Beziehung zu sehr verschiedenen Nerven, sowie nicht minder ihr Vorkommen in weit von einander stehenden Abtheilungen der Fische«.

Im Kopfe liegt der Leuchtapparat z. B. unter den Hemipteren bei den Laternenträgern (*Fulgora laternaria*²⁾, *serrata* in Südamerika, *Fulgora pyrrhorhynchus* in Ost-Indien und *Fulgora candelaria*³⁾ in China). Der lichtausströmende Theil ist der blasenartig aufgetriebene Vordertheil des Kopfes⁴⁾.

Bei dem Hakenkäfer (*Paussus spheroceros*) leuchten sogar die hohlen kugelförmig aufgetriebenen Antennen, wie Afzelius⁵⁾ entdeckt hat.

Auch bei den Crustaceen kommen im Kopfe gelegene Leuchtorgane vor, die wohl irrthümlich für das Gehirn gehalten worden sind⁶⁾. Mit Rücksicht hierauf sagt Tilesius⁷⁾, dass er gleichfalls ein leuchtendes Organ in dem Kopfe des *Erythrocephalus macrophthalmus* gesehen habe, es aber nicht für das Gehirn bestimmen wolle.

Auch in dem Brustabschnitt sind Leuchtorgane beobachtet. Beim Cucujo (*Elatér noctilucus*), der auf allen westindischen Inseln und in Südamerika sich aufhält und über dessen starkglänzendes

1) Carl Gegenbaur. Grundzüge der vergleichenden Anatomie. 1870. pag. 719.

2) Merian *Insecta Surinam*. pag. 49.

3) Donovan. An epitome of the natural history of the Insects of China. London 1798.

4) Tiedemann. Physiologie I. pag. 498.

5) Afzelius. Linnean Transact. T. 4, pag. 261.

6) Bericht über Tuckey's Reise nach dem Congostrome in Gilbert's Annalen 1819. pag. 317.

7) Tilesius in Gilbert's Annalen 1819, pag. 318. Atlas XXII. Fig. 5.

Smaragd-Licht Sloane¹⁾, P. Browne²⁾ und Fougereux³⁾ berichten, verbreitet sich das Licht nach den Untersuchungen von Curtis⁴⁾ von zwei augenartigen Erhabenheiten des Brustschildes und der Basis des Hinterleibes.

Sehr gross ist die Gruppe der am Hinterleibe leuchtenden Thiere, verschieden die Zahl und Lage der Ringe, zu dem die leuchtende Masse gehört.

Für die Thatsache, dass bald die Bauch- bald die Rückenseite des Thieres der Sitz des Leuchtapparates ist, erinnere ich, da der erstere Fall durch so zahlreiche Beispiele vertreten ist, an *Carcinium* Meyen, das Meyen genauer zergliedert und mit schönen Abbildungen versehen, beschrieben hat⁵⁾. Fig. VI enthält die Abbildung der auf einem, wie Meyen meint, vielleicht nervösen Stiele sitzenden eiförmigen Leuchtorgane. Meyen hat das Thier auf der Reise lebendig mit seinen Collegen beobachtet. »Des Nachts leuchtete das Thier mit einem glänzenden blassgrünen Lichte, welches dem der Pyrosomen sehr ähnlich war; und dieses Licht ging von zwei besonderen Organen aus, die auf dem Rücken zu jeder Seite des Thieres befindlich und gelblich gefärbt sind. Gleich den Pyrosomen konnten auch diese Thiere das Licht willkürlich hervorbringen und es wieder verlöschen lassen. Es kann sein, dass diese Theile zugleich die Ovarien sind; die markige Substanz schien uns aber in unmittelbarem Zusammenhange mit dem Nervensysteme zu stehen, was jedoch bei der schaukelnden Bewegung des Schiffes nicht auszumachen war«⁶⁾.

Diese zahlreichen Variationen der Lage der Leuchtapparate und ihre wechselnde Beziehung zu den verschiedensten Abschnitten des Nervensystems, welche also diese Organe als morphologisch durchaus ungleichwerthig erscheinen lässt, erklärt sich aber von dem allgemeinen Gesichtspunkte, dass jede Zelle dieselbe Eigenschaft in geringem Grade besitzt, sodass unter günstigen Verhältnissen

1) Sloane. a voyage to Jamaica. London 1707. T. 2. pag. 206.

2) P. Browne. Natural History of Jamaica. London 1756. pag. 432.

3) Fougereux. Memoire de l'academie de Paris 1766. pag. 340.

4) Zoological Journal 1827. Nr. 11. pag. 379.

5) Meyen. Nova acta acad. Leopold. T. 16. Supplem. pag. 155.

Tafel XXVII.

6) Meyen a. a. O.

bald an dieser, bald an jener Stelle durch besondere Leuchtkraft ausgezeichnete Zellen sich hervorheben. Dass sehr verschiedenwerthige Zellen leuchten können, zeigen uns Pflanzen und Thiere, sehen wir in auffallender Weise daran, dass sogar Eier leuchten, wie die der *Lampyrus*¹⁾, und dass selbst bei einem Wirbelthier, nämlich bei der Eidechse (*Lacerta agilis*) das Ei Phosphorescenz in seinem Innern besitzen soll, wie von verschiedenen Seiten bezeugt worden ist²⁾.

Schliesslich möge noch mit einem Worte der Frage nach der Natur der brennbaren Substanz gedacht werden. Da alle Menschen in dem Phosphor den Prototyp der Leuchtmaterie erblicken, so hat man von jeher den Phosphorwasserstoff als den sich oxydirenden Körper angesehen.

Nun leuchten aber in sauerstoffhaltigen Räumen gar viele organische Stoffe im Dunkeln, indem sie sich langsam oxydiren.

Bei Einwirkung der Wärme phosphoresciren nach Pelletier³⁾ Wachs, flüchtige und fette Oele, Zucker und Holz, und nach Calland⁴⁾ auch schwefelsaures Chinin. Dessaigne⁵⁾ zeigte, dass dieses Leuchten nur in der Luft stattfindet und in Sauerstoffgas zunimmt.

Es ist also keine Nöthigung vorhanden, in den Leuchtorganen an die Entstehung von Phosphorwasserstoff zu glauben, der für den thierischen Organismus so giftig ist. Abgesehen von einer Bemerkung Mitschill's spricht Keiner von den Beobachtern, die ihre Hände mit Leuchtmaterie illuminirten, von dem abscheulichen Gestank, durch den sich der Phosphorwasserstoff verräth. Wenn wirklich Phosphorwasserstoff bei der electricischen Reizung des Leuchtorganes producirt würde, dann hätte davon doch wohl ein Theil im Vacuum oder Stickstoff bei den Versuchen Macaire's sich irgendwo ausserhalb des Thieres verbreitet und dann bei Wiedermischung der Luft gelehuchtet, was dieser feine Beobachter sicher bemerkt hätte. Aber

1) Tiedemann. Physiologie I. pag. 500.

2) Gründler. Von dem Leuchten des Eidechseneies im Finstern, im Naturforscher Stück 3. pag. 218 und

Sturm in Deutschlands Flora, Abth. 3, H. 2.

3) Journal de Pharmacie T. 7. p. 579.

4) Journal de Pharmacie T. 7.

5) Sur les phosphorescences. Journal de Physique. T. 68, p. 444. T. 69, p. 5. T. 73, p. 41. T. 74, pag. 101.

Niemand hat jemals das Licht wo anders als in dem Leuchtorgane gesehen. Ich beziehe mich hier allerdings auf die Leuchtorgane, deren Physiologie am meisten untersucht und am besten gekannt ist.

Wiewohl also die chemische Natur des Leuchtstoffs unbekannt bleibt, ist doch so viel gewiss, dass die Annahme des Phosphorwasserstoffs aller Begründung entbehrt.

§ 6. Thatsachen und Hypothesen zu den hier in Frage kommenden Principien.

Die Schwierigkeit, an der man sich von jeher gestossen hat, ist, wie schon früher hervorgehoben, die Indifferenz der meisten uns als Nahrung dienenden und ebenso im Blute enthaltenen Nährstoffe gegen den neutralen Sauerstoff bei mittlerer Temperatur. Unter den Eiweissstoffen macht nur der im Körper nicht vorkommende Faserstoff, der aber nach A. L. Schmidt¹⁾ den Zellen entstammt, eine Ausnahme und unter den Fetten das Olein, das ja ein nicht gesättigtes Molecül ist. Beides aber ist unwesentlich.

Ich schliesse nun aus diesen Thatsachen nicht, dass der Sauerstoff, sondern dass das Eiweiss sich verändere, wenn sie integrirende Bestandtheile des Organismus geworden sind. Denn dieses bleibt ja wirklich nicht, was es ist, sondern wird Bestandtheil der lebendigen Zelle.

Ein Eiweissmolecül, das in der grauen Rinde des Gehirnes mitwirkt bei der Gedankenbildung, das im Rückenmark das Gefühl, in dem Gehirn die verschiedenen anderen Sinnesenergieen vermittelt, das im Muskel mechanische Arbeit leistet (s. Anmerkung), in der Drüsenzelle die Auswurfstoffe und das Wasser bewegt, ist zwar aus immer demselben Eiweiss hervorgegangen, aber in der Zelle zu etwas Anderem geworden. Dass das Eiweiss im Hoden zu Samen, im Gehirn zu Denksubstanz, im Muskel zu contractiler Materie wird, das liegt an der Zelle, welche das Nahrungseiweiss in ihre Organisation einfügt.

Sobald diese Einfügung stattgefunden hat, hat es seine In-

1) Alex. Schmidt. Ueber die Beziehungen des Faserstoffs zu den farblosen und den rothen Blutkörperchen und über die Entstehung der letzteren im Archiv für die ges. Physiol. Bd. 9. pag. 353.

Anmerkung. Ich bitte zu bemerken, dass das Eiweiss im Allgemeinen nahe die Zusammensetzung des Amids eines Kohlenhydrates hat.

differenz gegen Sauerstoff verloren, das heisst beginnt zu athmen, zu leben.

Denn alle specifische Lebensleistung: Zeugung, Assimilation, Wachstum, Vermehrung, Empfindung, Gedanke, Wille, Bewegung u. s. w. ist Arbeit der Zellsubstanz, nicht der Säfte.

Nur die Zelle giebt die specifischen Zeichen des Lebens; nur sie ist lebendig im wahren Sinne des Wortes. Das Eiweiss des Blutes, so möchte ich sagen, ist im lebendigen Körper todt, solange es nicht Zellsubstanz geworden ist.

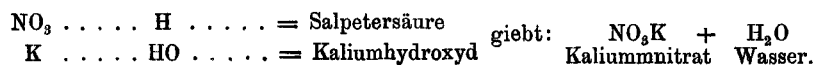
Um nun zu begreifen, wodurch die Affinität zum Sauerstoffe erweckt wird, nach Einfügung des Eiweissmolecüles in die Organisation der Zelle, müssen wir auf Fragen eingehen, die, wie man bald bemerkt, bis an die letzten Geheimnisse reichen.

Kein wahrer Naturforscher verkennt, dass in einer den That- sachen gerecht werdenden Hypothese das wesentlichste Motiv des Fortschritts liege. Von diesem Gesichtspunkte bitte ich die folgen- den Gedanken zu betrachten.

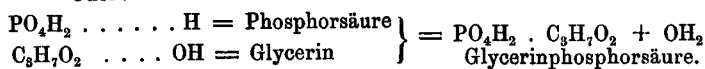
Es wird zweckmässig sein, zunächst nur den thierischen Stoff- wechsel in das Auge zu fassen, weil er von dem der Pflanzen nicht principiell verschieden ist, aber viel einfacher abläuft.

Die erste Frage, die uns entgegentritt, ist die nach dem chemi- schen Princip, welches bei der Bindung des Nahrungseiweisses und seiner Umwandlung in Zellsubstanz thätig ist.

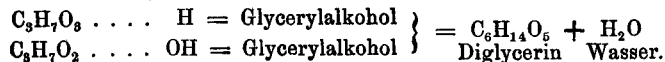
Wenn man die bekannten That- sachen über Synthese im thie- rischen Organismus vergleicht, so gelangt man zu der Ueberzeugung, dass es sich hier im Grossen und Ganzen um einfache Vorgänge handelt. Ein sehr allgemeines Princip, nach welchem zwei und mehr Molecüle zusammentreten, basirt auf der relativ lockeren Bindung des Hydroxyles, welches desshalb, wenn ihm dazu Gelegen- heit geboten wird, mit dem Wasserstoff eines anderen Molecüles zu Wasser zusammentritt. Das aus dem einen Molecül austretende Hydroxyl hinterlässt eine freie Affinität in dem einen Molecül, ebenso der austretende Wasserstoff in dem anderen; so ist die Be- dingung für die Verankerung der beiden Molecüle gegeben. Das einfachste Beispiel ist die gewöhnliche Salz- bildung:



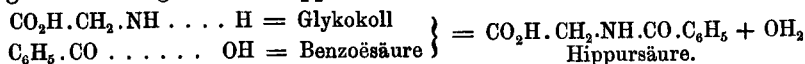
Oder:



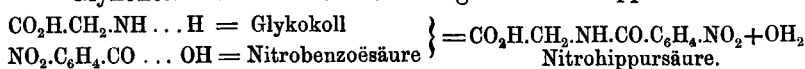
Es können auch die gleichartigen Hydroxyle zweier identischer Molecüle — und dies ist biologisch sehr wichtig — in ähnlicher Weise sich gegen einander umsetzen, z. B.



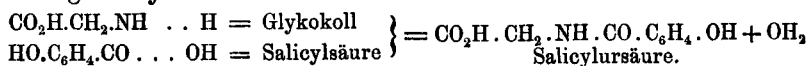
Betrachtet man so die Synthese des Glykokolls mit verschiedenen aromatischen Säuren, so hat man: Glykokoll und Benzoësäure geben im Organismus Hippursäure:



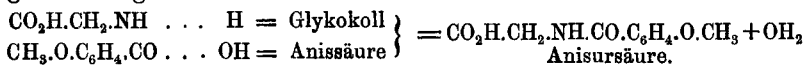
Glykokoll und Nitrobenzoësäure geben Nitrohippursäure:



Glykokoll und Orthooxybenzoësäure (Salicylsäure) geben ganz analog Salicylursäure:



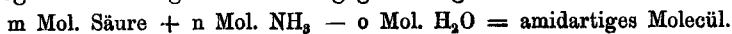
Glykokoll und Methylparaoxybenzoësäure (Anissäure) geben ganz analog Anisursäure:



In Wirklichkeit handelt es sich in diesen Fällen, deren viel mehr ganz analoge, vor Allem die Gruppe der wirklichen Gallensäuren (Glyko- und Taurocholsäure u. s. w.) existiren, um immer absolut denselben Vorgang, bei dem das Hydroxyl im Carboxyl der einfachen oder substituirten Benzoësäure auf einen H des Ammoniakrestes wirkt, welcher im Glykokoll u. s. w. sich befindet.

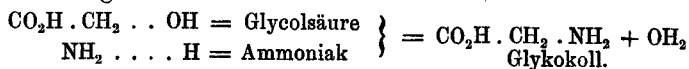
Dieser Vorgang ist also eine Amidirung. Er zeigt, dass im thierischen Organismus ächte Amidbildung stattfinden kann und dass man nicht alle amidartigen Körper als durch einfache Spaltung des Eiweisses ansehen muss oder darf, in welchem sie alle vorgebildet wären.

Es findet demnach unzweifelhaft das allgemeine Princip der Synthese amidartiger Stoffe auch hier Geltung, wie es Kekulé¹⁾ dargelegt und in folgender Bildungsgleichung verdeutlicht hat:



1) Kekulé. Organische Chemie § 1009.

Principiell könnte also das Glykokoll selbst so wie die Hippursäure im Organismus entstehen aus Glycolsäure und Ammoniak nach folgendem Schema:



Ganz analog verhalten sich viele andere Aminsäuren des thierischen Organismus, bei denen es sich um die Synthese aus Ammoniak mit Moleculen handelt, die wie die Glycolsäure ein alkoholisches und ein saures Hydroxyl besitzen, während die Amidirung am alkoholischen Hydroxyl abläuft.

So verhält es sich für Alanin, das Ammoniak und Gährungsmilchsäure, für Butalanin, das Ammoniak und Valerolactinsäure, für Leucin, das Ammoniak und Leucinsäure, für Serin, das Ammoniak und Glycerinsäure entspricht u. s. w.

In allen diesen Fällen handelt es sich in der That um die Einwirkung von Ammoniak resp. eines Ammoniakrestes auf alkoholische oder saure Hydroxyle.

Nach dieser Analogie dürfen wir uns also auch die Synthese des Taurines vorstellen, wenn es, wie viele Chemiker thun, gestattet ist, es als Amidoaethylsulfonsäure zu betrachten. Wie bei der Bildung der Hippursäure: Glycolsäure (halb Alkohol), Benzoösäure und Ammoniak als Componenten zu betrachten sind, so analog bei dem Taurin: Aethylenalkohol, schwefelige Säure und Ammoniak. Es findet meiner Ansicht nach eine Metamerie bei der Bildung des Taurins statt, das offenbar keinen metallischen Wasserstoff enthält, also auch keine Sulfonsäure ist. Ich bezweifle sehr, dass der Schwefelsäure- und der Ammoniakrest sich damit zufrieden geben, dass man sie hier so entfernt von einander im Molecul halten will. — Doch diese Auffassung ändert nichts am Princip der Bildung, und darauf kommt es an.

Analog ist wahrscheinlich die Synthese des Tyrosins, welches als Aethylamidoparaoxybenzoesäure angesehen wird; doch ist das Tyrosin im Wesentlichen im Eiweissmolecul der Nahrung schon enthalten.

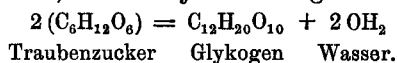
Hierher gehört ferner die Synthese des Bilineurins, dessen Componenten methylirtes Ammoniumhydroxyd und Aethylenalkohol sind, wie es ja als Trimethyloxaethylammoniumhydroxyd aufgefasst wird.

Dies führt uns zu einem der schönsten Beispiele aetherartiger

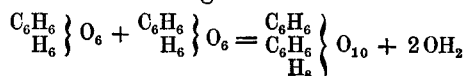
Verknüpfungen, die sich nicht bloss in der Pflanze, sondern auch wohl im Thierkörper vollzieht, ich meine das Lecithin, dessen Constitution von Hoppe-Seyler und Diakonow erkannt worden ist.

Hier treten 2 Molecüle Stearinsäure oder andere Glieder der homologen Reihe, ferner 1 Molecül Phosphorsäure, ferner 1 Molecül Glycerin, und endlich 1 Molecül des selbst so complicirten Bilineurines ätherartig zu einem ungeheuren Molecüle zusammen.

Die Umwandlung von Traubenzucker in Glykogen, welche sich in thierischen Zellen vollzieht, ist wahrscheinlich analog und nicht, wie einige annehmen, eine Anhydridbildung:

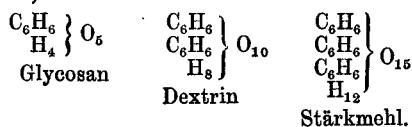


Dies vollzieht sich nach folgendem Schema:



Glucose + Glucose = Glycogen + Wasser.

Kekulé¹⁾ stellt z. B. folgende wahrscheinliche Beziehungen zwischen Glycosan, Dextrin und Stärkmehl auf:



Auch die Bildungsgleichung der Repräsentanten der Harnsäuregruppe gehört selbstverständlich, wie Kekulé bestimmt hervorgehoben hat, hierher.

Denn er sagt, dass alle solche Körper wie Harnsäure mit ihren Abkömmlingen, sodann einige stickstoffhaltige und im thierischen Organismus erzeugte Substanzen wie Allantoin, Sarkin, Sarkosin, Kreatin, Kreatinin, Xanthin, Guanin u. s. w., so wie auch zwei in der Pflanze vorkommende Stoffe: Theobromin und Thëin als amidartige Verbindungen verhältnissmässig einfacher Säuren betrachtet werden können²⁾.

Es ist gewiss richtig, dass manche von den im thierischen Organismus vorkommenden amidartigen Körpern gar nicht in demselben durch Synthese entstanden, sondern einfache Trümmer der Eiweissmolecüle darstellen, wie das z. B. für das Tyrosin und alle

1) August Kekulé. Organische Chemie. Bd. II. p. 334.

2) August Kekulé. Organische Chemie. Bd. II. p. 57.

aromatischen Bestandtheile unzweifelhaft scheint. Ich glaube aber nicht, dass dies für den Zoophysiologen von besonderem Belange ist. Denn so lange es sich nicht um chemische Synthesen handelt, bei denen der Reductionsprozess eine wesentliche Rolle spielt, werden die Vorgänge in Thier und Pflanze nicht sehr verschieden sein und es fällt uns deshalb auch nicht auf, dass Theobromin und Thëin zur Harnsäuregruppe gehören. Denn die Pflanze ist gleichsam ein Thier, welches besondere Organe für Reductionssynthese in ausgezeichneter Weise entwickelt hat.

Um den Gang unserer Betrachtung nicht zu unterbrechen, will ich diesen vielleicht bei Vielen Anstoss erregenden Satz am Schluss dieses Paragraphen mit einigen Worten begründen.

Nach den gegebenen Erörterungen ist also die eine Möglichkeit vorhanden, dass auch die Eiweissbindung in den Geweben bei der Assimilation auf einer aetherartigen Verknüpfung der Molecüle beruhe.

Ehe wir diesen Process weiter analysiren, erinnere ich an das Laienwort: »Fleisch wird wieder Fleisch«, und dehne es aus zu dem Princip, dass irgend ein eiweisshaltiges Gewebe als Nahrung genügt, um Leibessubstanz für alle und die verschiedensten Zellen zu liefern. Noch allgemeiner kann man sagen, dass irgend ein Eiweissmolecül als Nahrung gleich gut ist, gleichgültig ob dieses Molecül sich im Gehirn umwandeln soll in Denksubstanz oder in Muskel zu contractiler Faser. Wie Maly in einer bedeutungsvollen Arbeit gezeigt hat, genügt sogar das Pepton aus Faserstoff, dem bekannten Zersetzungsprodukt des absterbenden Blutes, weil es Eiweiss ist, zur Regeneration aller Organe. Wenn also das Eiweissmolecül aus einer beliebigen Zelle, wo es die specifischen Eigenschaften dieser Zelle hatte, übergeführt werden kann — selbstverständlich durch Vermittlung des Verdauungsprocesses — in irgend eine andere Zelle, wo es also die ganz verschiedenen Leistungen dieser anderen Zelle wieder übernimmt, so ergibt sich, dass die Eiweissmolecüle aller Zellen und aller Flüssigkeiten im Grossen und Ganzen isomere Körper sein müssen.

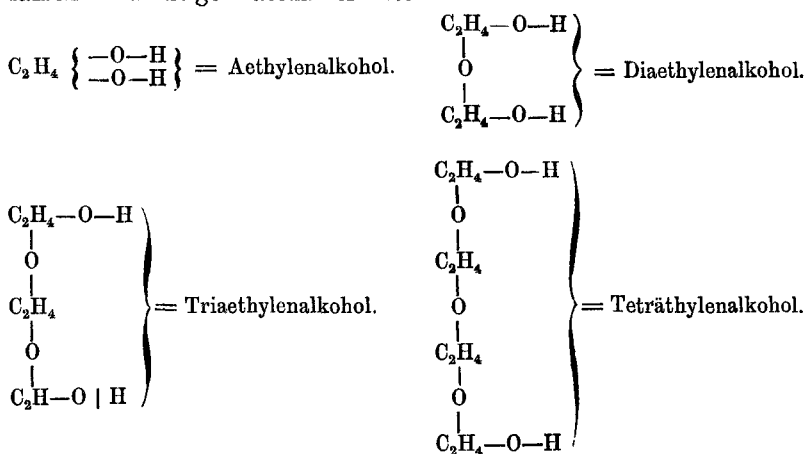
Sie stellen also alle Modificationen desselben Grundstoffes dar und ihre Unterschiede müssen einmal vielleicht in Metamerie, sicher in einer physicalischen später genau zu betrachtenden Modification des einfachsten Molecüles, dann in Polymerieen gesucht werden, deren Elemente entweder gleichartige oder schon metamere Gruppen

sind. Dann können endlich noch zwischen polymeren Molecülen die verschiedenartigsten Verknüpfungen stattfinden, sodass man zu jeder beliebigen Complication gelangt.

Die Assimilation des Eiweissmolecüles durch die Zelle ist also Verbindung isomerer Molecüle und wir haben aus Gründen der Analogie auf die eine Möglichkeit hingewiesen, dass es sich um eine Aetherbildung handle. Dieser Vorgang würde das Wachsen erklären und steht ja nicht ohne vielfache Analogieen da, die sich sogar der anorganischen Chemie z. B. bei den Polysilicaten entnehmen lassen.

Es ist deshalb sicherlich biologisch von Wichtigkeit, zu sehen, wie ein chemisches Molecül in dem Reagenzglas des Chemikers durch ätherartige Polymerisirung in infinitum gleichsam „wachsen“ kann.

Ein Beispiel statt vieler möge dieses für die Physiologie fundamental wichtige Factum erläutern.



Es giebt viele verschiedene auf diese Art aetherartig verknüpfte Molecüle, z. B. die Polyphosphorsäuren, die Polylactylsäuren, die Polyglycolsäuren, die Polyglycerylalkohole u. s. w.

Ich will später zeigen, dass noch eine Möglichkeit zur Erklärung der Polymerisirung der Eiweissmolecüle vorliegt, die vielleicht noch wahrscheinlicher ist.

Mit Rücksicht auf die im Thierreiche entstehenden Polymerisirungen möchte ich noch folgende chemischen Gesichtspunkte als biologisch bedeutungsvoll hervorheben.

Es giebt in der Natur kein Element, welches die Neigung zur kettenartigen Verknüpfung gleichartiger Atome in solchem hervor-

ragenden Maasse besässe wie der Kohlenstoff, was z. B. die Fettsäuren von hohem Moleculargewicht evident demonstrieren. Das Wachsen des organischen Molecüles ist bereits hierdurch wesentlich begünstigt.

Ferner weiss man, dass die Kohlenstoffketten des Molecüles sich baumartig verästeln können, was z. B. die vielbasischen organischen Carboxylsäuren beweisen.

Ausserdem ist gewiss, dass bei sehr vielen polymerisirenden Verknüpfungen von Molecülen der allgemeine Kuppler: der Sauerstoff als Atom eine ganz fundamentale Rolle spielt, wie dies die oben gegebenen Schemata Jedem klar erläutern.

Es hat also gar keine principielle Schwierigkeit sich zu denken, dass im lebendigen Organismus die Polymerisirung in infinitum vorschreitet, sodass grosse schwere Massen entstehen, die — abgesehen von den in wässriger Lösung befindlichen nicht organisirten nährenden Molecülen — factisch nur ein einziges chemisches Eiweissmolecül enthalten. Vielleicht besteht das ganze Nervensystem mit allen wirksamen Theilen aus einem einzigen solchen chemischen Riesenmolecüle. Ich habe mir immer die Nichtflüchtigkeit des Kohlenstoffs aus der fast unendlichen Grösse seines Moleculargewichtes im festem Zustande erklärt, wobei natürlich das Moleculargewicht des Wasserstoffes = 2 gesetzt ist.

Das Kohlenstoffmolecül verhält sich bei der Erhitzung wie ein Riesenschiff, dessen Dimensionen viele Male die Längen und Höhen der Wellen des Oceans übertreffen, sodass es bei heftigstem Sturme ohne Schaukeln seine Bahn verfolgt.

Wenn man sich so die Kohlenstoffketten oder Eiweissmolecüle mit Polymerisirung wachsend denkt, so begreift man, wie eine beliebig lange Fibrille, z. B. im Axencylinder oder dem Muskel, oder durch Nebeneinanderlagerung eine beliebig grosse Scheibe von faseriger Structurart; durch Aneinanderknüpfung in allen Richtungen ein solider Körper entsteht. Die Ramificationen erzeugen netzförmige Verbindungen und erklären die grosse Leichtigkeit, mit welcher sich die Schwingungen von einem Theile des Nervensystemes nach fast jedem andern fortpflanzen und den innigen Wechselverkehr, in dem sehr viele lebendige Zellen unter einander stehen.

Es ist ausserdem nicht unverständlich, dass die Art der Lagerung der einzelnen Radicale in den Riesenmolecülen, also die Lagerung der chemischen Angriffspunkte für die sich vollziehende Assi-

milation, wie für den Ort, wo der Sauerstoff eintritt, von Belang sein wird, sodass man begreift, wie die Art des Wachstumes und die Zersetzung eine Folge verschiedener primitiver Anordnung ist. Das wirft theilweise ein Licht auf die Ursache, warum das Eiweiss verschiedene Leistungen zeigt, jenachdem es von der einen oder anderen Zelle in die Organisation eingefügt worden ist.

Bei jeder Hypothese wird man diese fundamentale Thatsache nicht aus dem Auge verlieren dürfen, dass zwar nicht im Laufe der ersten Entwicklung, wohl aber bald ein Zustand im lebendigen Organismus eintritt, in Folge dessen die Gruppierung der neu assimilirten Molecüle identisch ist derjenigen der assimilirenden. Hierin liegt der Ausgangspunkt für die Erklärung der Vererbung, d. h. für den Satz: Gleiches bildet Gleiches.

Einen Schritt weiter gelangen wir, wenn wir den Unterschied des bereits assimilirten zu Zellsubstanz gewordenen Eiweisses mit Nahrungseiweiss vergleichen. Ein gewöhnliches Hühnerei zeigt nun, dass das Eiweiss, trotz des Zutrittes des Sauerstoffes der Luft, wenn nur für die Abhaltung von Fermenten gesorgt ist, ausserordentlich lange, und wie Manche behaupten, auf Jahre sich absolut unzersetzt erhält. Organeiweiss, d. h. Zellsu b s t a n z, zersetzt sich immer »von selbst«. Bei der Gewebsbildung wird also eine Arbeit geleistet, durch welche die Cohäsion des Eiweissmolecüles ausserordentlich gelockert erscheint. Das ist eine Thatsache! Ein berühmter Physiologe hat einmal in seinen Schriften die »Selbstzersetzung« als etwas Undenkbares bezeichnet. Sie ist nur undenkbar, wenn man sich ein chemisches Molecül im Zustande statischen Gleichgewichtes oder gar wie eine Mosaikarbeit vorstellt.

Die mechanische Wärmetheorie hat gezeigt, dass ein chemisches Molecül ein System gegen einander unter dem Einflusse ihrer gegenseitigen Kräfte bewegter Massenpunkte darstellt, deren lebendige Kräfte wenigstens im gasförmigen Zustande der absoluten Temperatur proportional sind¹⁾.

Denn Clausius hat in seinen Untersuchungen über die mechanische Wärmetheorie auf mathematischem Wege bewiesen, dass die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung allein noch nicht die ganze vorhandene Wärme darstellt und dass der Unterschied

1) R. Clausius. Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie. Bd. II. 1867. p. 254 u. flgde. u. p. 235.

um so grösser ist, aus je mehr Atomen die einzelnen Molecüle der Verbindung bestehen. Clausius schliesst daraus mit Recht, dass ausser der fortschreitenden Bewegung der ganzen Molecüle noch andere Bewegungen der Bestandtheile der Molecüle stattfinden, deren lebendige Kraft ebenfalls einen Theil der Wärme ausmacht¹⁾. Es ist nothwendig, sogleich zu bemerken, dass auch für den flüssigen und festen Aggregatzustand die intramolecular Bewegung der Materie selbstverständlich ist. Ein wichtiges Argument bilden hier ausserdem die Thatsachen, welche sich auf die specifische Wärme beziehen und die freie Bewegung der Atome auch im festen Körper beweisen.

Um aber einzusehen, wie ein System von Punkten sich zersetzen könne, braucht man nur an das Sonnensystem zu denken, in dem das bis zu einem gewissen Grade vorhandene dynamische Gleichgewicht seine zufällige Ursache in den Anfangsgeschwindigkeiten der Planeten und dem Newton'schen Gesetze hat, welches das umgekehrte Quadrat der Entfernung enthält. — Wäre die Anziehung z. B. der dritten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional, so könnte zwar auch in einem theoretisch möglichen Falle eine kreisförmige Trajectorie vorkommen; in Wirklichkeit aber würden die Bahnen Spiralen sein. — Hierbei stellt sich gleichzeitig heraus, dass das Bewegliche sich bald dem Attractionspole nähert, bald sich von ihm in infinitum entfernt. Das dynamische Gleichgewicht ist also schon durch das Attractionsgesetz ausgeschlossen.

Bleiben wir aber bei dem Newton'schen Gesetze, so wissen wir, dass auf Grund der Kepler'schen Thatsachen die Planeten nur in Kegelschnittslinien sich bewegen können, d. h. in Graden, Kreisen, Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln. In Wirklichkeit laufen die Planeten in Ellipsen. Sobald aber eine Bedingung auftritt, welche die Bahn parabolisch oder hyperbolisch macht, verlassen die Planeten die Sonne auf ewig, das heisst, das System zersetzt sich. Nennt man r den Radiusvector von der Sonne zum Planeten und die Kraft, welche den Planeten nach dem Attractionscentrum zieht $\frac{K}{r^2}$, wo K die Kraft für $r=1$, v die Geschwindigkeit, nachdem der Himmelskörper einen Stoss erfahren hat, so ist die neue Trajectorie eine Ellipse, Parabel

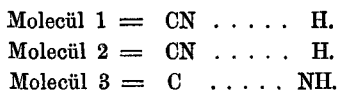
1) R. Clausius. Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie. Bd. II. 1867. p. 259.

oder Hyperbel, je nachdem $v^2 - \frac{2K}{r}$ negativ, Null oder positiv ist.

Ich habe hierbei von einem theoretisch, aber kaum in Wirklichkeit vorkommenden Ausnahmefalle abgesehen. Die Natur der Curve hängt also nicht von der Richtung, sondern nur von der Grösse der Anfangsgeschwindigkeit ab, sowie von dem Abstände des Beweglichen von dem Attractionscentrum.

Man sieht beispielsweise also auch, wie Erschütterungen oder irgend welche die bewegten Atome eines Molecüles treffende Kräfte zur Zersetzung desselben führen können. Ich werde in der Folge von diesem Satze Gebrauch machen.

Man braucht ferner nur die chemischen Thatsachen zu betrachten, um sofort einzusehen, dass bei der Bildung vieler Molecüle Systeme entstehen, welche allmählig naturgemäss nach anderer Lagerung streben, d. h. solche, die in keinem dynamischen Gleichgewichte sind und sollte die Störung desselben auch nur durch die gleichzeitige Gegenwart mehrerer sogar gleichartiger Molecüle veranlasst sein. So habe ich vor längerer Zeit¹⁾ die »Selbstzersetzung« der Blausäure erklärt, indem ich schematisch nur die hauptsächlichsten Zersetzungsproducte hervorhob. Ich stelle mir deshalb vor, dass in dem Cyanwasserstoff eine starke intramoleculare Bewegung ist, sodass das Stickstoffatom bald in die nächste Activitätssphäre des Kohlenstoffs geräth, während Wasserstoff sich weit von CN entfernt. In einem anderen Falle wird der Stickstoff und Wasserstoff in äusserste Nähe gerathen und der Kohlenstoff verlassen sein. Da sich nun immer Ammoniak bildet, wenn dem Stickstoff hierzu Gelegenheit geboten wird, so erklärt sich, dass bei den fortwährenden Oscillationen der Blausäuremolecüle auch einmal 3 in folgenden Gruppierungen zusammentreffen:



Die Gruppe rechts bleibt als Ammoniak = NH_3 zusammen, die Gruppen links bilden ein Molecül Cyan = C_2N_2 und sich abscheidende Kohle.

Hierher gehören ferner die langsam von selbst ablaufenden

1) E. Pflüger. Ueber das Werthigkeitsgesetz der Radicale in dem Archiv für die ges. Physiologie. Bd. VI. 1872. p. 394.

Polymerisirungen z. B. des gasförmigen Chlorcyans (CN.Cl) in flüssiges Chlorcyan ($\text{C}_2\text{N}_2\text{Cl}_2$), dann der Uebergang von flüssigem Chlorcyan in festes Cyanurchlorid ($\text{C}_3\text{N}_3\text{Cl}_3$); ferner der von selbst erfolgende Uebergang von Cyansäure (CNOH) in Cyamelid ($\text{C}_n\text{N}_n\text{O}_n\text{H}_n$); in gewissem Sinne lässt sich auch hierher zählen die durch Spuren von Chlorwasserstoffsäure oder anderer fremder Molecüle vermittelte Verwandlung von Aethylaldehyd ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) in Paraldehyd ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)₃ und Metaldehyd ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)_n u. s. w.

Das aber haben die gegebenen Erklärungen der Selbstumsetzungen gemein, dass sie Bewegungen der Atome voraussetzen, gross genug, um sie aus der Activitätssphäre der sie unmittelbar im Molecül bindenden mehr oder weniger zu entfernen. Da diese Bewegungen aber nichts als ein Theil der Wärme sind, so darf man sagen, dass die intramoleculare Wärme die Ursache der Selbstzersetzung sei.

Wenden wir diese Betrachtungen einmal auf die lebendige Materie an.

Eine Wahrheit, die allen Biologen auf Schritt und Tritt entgegen kommt, ist die ganz erstaunliche Zersetzbarkeit fast aller lebendigen Materie, wobei ich die Einwirkung von Fermenten gar nicht in Betracht ziehe. Diese Zersetzbarkeit ist die Ursache der Reizbarkeit. Sind es nicht wahrhaft verschwindend kleine lebendige Kräfte, die in einem Lichtstrahle wirkend, die gewaltigsten Wirkungen in der Retina und dem Gehirn hervorrufen? Ist nicht die leise Erschütterung, welche eine über einen bloss liegenden Muskel fahrende Nadelspitze erzeugt, hinreichend, eine sofortige Zuckung mit gleichzeitiger Bildung von Kohlensäure und Milchsäure zu veranlassen? Wie ganz minimal sind die lebendigen Kräfte der Nerven, mit Hülfe deren sie die Vorgänge, also auch den Chemismus in den Organen in der mächtigsten Weise zu steigern vermögen; wie ganz wunderbar klein die Mengen gewisser Gifte, die ein grosses lebendiges Thier total vernichten.

Ich glaube also nicht, dass ich einen Widerspruch erfahre, wenn ich die lebendige Materie als nicht bloss erstaunlich zersetzbar, sondern als sich immerfort zersetzend ansehe. Ich spreche eigentlich nur eine Thatsache aus, da es kein Mittel in der Welt giebt, diese Zersetzung aufzuhalten, sodass wir sie als eine nothwendige Eigenschaft der lebendigen Materie ansehen müssen, die in ihrer molecularen Anordnung den letzten Grund hat. So wenig es mög-

lich ist, die Blausäure zu zwingen, sich nicht zu zersetzen, ebenso wenig ist lebendige Substanz denkbar, ohne fortlaufende Zersetzung. Ich unterscheide hier zwischen lebendiger und lebensfähiger, aber nicht lebendiger Substanz. Denn ein Weizenkorn oder ein gelegtes Vogelei oder ein eingetrocknetes Räderthierchen sind nicht lebendig, sondern nur fähig, durch Zufuhr von Wärme und Wasser lebendig zu werden.

Es ist bekannt genug, dass es kein Mittel giebt, ein Stück lebendiger Körpersubstanz unzersetzt zu erhalten. Ich habe specielle Versuche angestellt mit dem Gehirn, der Retina, der Wand der Aorta und einigen Drüsen.

Um zu ermitteln, mit welcher Geschwindigkeit die Zersetzungen ablaufen, prüfte ich die Reaction des lebendigen Gehirnes und der Retina und verfuhr folgendermassen. Ich füllte eine grosse Flasche mit einer eiskalten verdünnten Lösung von absolut reinem, also neutralem Natriumsulfat, stellte sie sehr hoch an die Decke des Laboratoriums und leitete einen Schlauch aus der Flüssigkeit nach abwärts, sodass diese unter hohem Drucke mit grosser Geschwindigkeit abfliessen konnte. Dann befestigte ich eine Canüle an das Ende des Schlauches und klemmte denselben mit einer Compressionspinzette zu. Diese Canüle wurde in die Aorta abdominalis eines Kaninchens eingebunden, die Thoraxhöhle nach Einleitung der künstlichen Respiration geöffnet und in einem gegebenen Moment die eiskalte Lösung gegen das Gehirn injicirt und gleichzeitig das rechte Herz durchschnitten. Schnell schoss die aus dem Gehirn und den anderen Theilen rückkehrende Flüssigkeit aus dem Herzen hervor. Ich liess sie einige Minuten fliessen, bis sie farblos abfloss. Nun wurde in Zeit von einer Minute das ganze Gehirn herausgenommen, zerschnitten und auf empfindliches Reagenspapier gedrückt. Die Reaction war in der weissen Substanz oft schwach alkalisch, in der grauen selten ebenso, zuweilen neutral, meist schwach sauer, und diese saure Reaction nahm mit erstaunlicher Geschwindigkeit zu; viel weniger geschah dies mit der weissen Substanz. Ein Gyrus zeichnete deshalb durch ein rothes geschlängeltes Band immer genau die Lage der grauen Schicht auf dem blauen Reagenspapier ab. Fast ebenso schnell säuert die Retina. Es giebt kaum ein Gewebe, bei dem selbst in der Kälte von wenig über 0° die Zersetzung mit solcher Geschwindigkeit abläuft, als in der grauen Substanz des Gehirns. Auch die nicht aus der Rinde der Hemisphären entnom-

mene graue Substanz verhielt sich ungefähr ebenso. Dieser Versuch ist wiederholt von mir mit gleichem Resultate angestellt worden.

Es schien mir nun zunächst nothwendig, die Beziehung des Sauerstoffs zu diesen Zersetzungen kennen zu lernen. Da die Principien des Lebens bei allen Thieren dieselben sind und bei den Amphibien wegen der grossen Langsamkeit aller Stadien der verschiedenen Stoffmetamorphosen das Studium sehr erleichtert ist, so stellte ich Versuche an Fröschen an, um den Einfluss der Sauerstoffentziehung auf die Lebensfunctionen und die Abgabe der Kohlensäure zu erforschen.

Als bekannt setze ich die Thatsache voraus, dass die Erregbarkeit von sogar ausgeschnittenen Nerven und Muskeln sich sehr viele Stunden auch ohne eine Spur freien Sauerstoffs erhält, ja dass die kräftigsten Muskelzuckungen mit Kohlensäurebildung, ebenso die Nervenreizung in vollkommener Weise auch bei Abwesenheit des Sauerstoffs hervorgerufen werden können.

Ich brachte also zwei *Ranae temporariae* von 84,58 Gr. Gewicht bei einer Lufttemperatur von 14° C., nachdem ich ihre Lungen unter Quecksilber gut ausgedrückt hatte, in reinen Stickstoff unter eine ebenfalls durch Quecksilber vollkommen abgeschlossene Glasglocke. Der Stickstoff war durch langsames Leiten von atmosphärischer Luft über glühendes Kupfer dargestellt und hatte viele Tage über einer recht concentrirten alkalischen Lösung von pyrogallussaurem Kali gestanden. Durch einen besonderen Versuch hatte ich mich von der kräftigen Wirkung des Pyrogallates auf Sauerstoff überzeugt. Unmittelbar nach dem Einbringen entnahm ich unter geeigneten Vorsichtsmassregeln eine Probe Luft aus dem Raume unter der Glocke und füllte sie in einen Eudiometer.

Nach Zusatz von Wasserstoff und vor Zusatz von Knallgas war das auf 0° C. und 1 Mtr. Quecksilberdruck bezogene

Volum = 18,843 CC.

Nach Explosion und Abkühlung = 18,775 CC.

Es war also keine mit Sicherheit nachweisbare Menge von Sauerstoff in dem Gase. Berechnet man aber die kleine Contraction auf Sauerstoff, so ergibt sich, dass den beiden Fröschen in dem Gasraume in toto 1,5 CC. Sauerstoff zur Disposition stand.

Nach Regnault's und Reiset's¹⁾ classischen Untersuchungen gebrauchten Frösche pro Kilo und Stunde:

bei 15° C. :	0,063 Gr. Sauerstoff	(pag. 474).
» 16° C. :	0,098 » »	(» 475).
» ? :	0,103 » »	(» 475).
» 19° C. :	0,105 » »	(» 476).
» 17° C. :	0,063 » »	(» 477).

Das Verhältniss des Gewichtes des in der Kohlensäure enthaltenen Sauerstoffs zu dem Gewichte des verbrauchten Sauerstoffs betrug nach Regnault und Reiset: 0,7 bis 0,8. Das ist natürlich auch das Verhältniss der Volumina der Kohlensäure und des Sauerstoffs.

Nimmt man, da unsere Frösche auf niedrigerer Temperatur waren, als die von V. Regnault und Reiset, den niedrigsten Werth für den Sauerstoffverbrauch (0,06), so hätten unsere Frösche 41,9 CC. pro Kilo und Stunde und wirklich pro Stunde 3,5 CC. O (0° und 0,76 Mtr.) bedurft, also in 5 Stunden 17,5 CC. Sie hatten aber höchstens 1,5 CC. (auch auf 0° und 0,76 Mtr. bezogen). Diese Zahlen zu wissen ist für die Beurtheilung der folgenden Versuche nöthig. Was in dem Körper der Frösche beim Einbringen enthalten war, kommt bei der verhältnissmässig hohen Temperatur von 14° C. nicht in Betracht; denn Sauerstoff ist nur in dem Blut und nicht in den Geweben und das Venenblut sieht auch bei Fröschen dunkler als Arterienblut aus; folglich muss bei Athmung in Stickstoff der Sauerstoff in ihrem Körper im Laufe von höchstens ein paar Minuten ebenso gut wie bei Warmblütern in einigen Secunden total verschwunden sein. (Wird später streng besonders bewiesen.)

Nach Regnault's Quotient (0,7 angenommen) würden sich auf das Gewicht unserer Frösche bezogen 12,2 CC. Kohlensäure für 5 Stunden ergeben.

Nach dieser Orientirung bemerke ich nun, dass, nachdem die Frösche 5¼ Stunde im Stickstoff gesessen hatten, ich eine zweite Gasprobe entnahm, aus welcher sich ergab, dass die Luft, in der die Thiere sich befanden, jetzt 0,7 Vol. pCt. CO₂ enthielt. Da nun

1) V. Regnault et J. Reiset. Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes;

Gay-Lussac. Annales de Chimie et de Physique. 3. Serie. T. XXVI.

2) Regnault und Reiset a. a. O. p. 479.

der Gesammtraum 1279 CC. Luft enthielt, so hatten die Frösche 8,9 CC. Kohlensäure (0° und 0,76 Mtr.) abgegeben. Sie sassen aber in etwas Wasser über dem Quecksilber. Die Rechnung ergibt, dass dies bei dem bemerkten Procentgehalt der darüberstehenden Luft 1,4 CC. Kohlensäure enthalten musste. Also hatten die Frösche 10,3 CC. ausgehaucht, d. h. kaum weniger, als nach Regnault's Versuchen zu erwarten gewesen wäre, wenn sie selbst in reinem Sauerstoff gesessen hätten. — Nach Regnault hatten wir circa 12,2 CC. Kohlensäure erwartet. Diese auffallende Uebereinstimmung mit Regnault's Zahl ist gewiss nur Zufall, da Regnault selbst sagt, dass sehr beträchtliche Schwankungen in dem Sauerstoffverbrauche und der Kohlensäurebildung vorkommen.

Bedenkt man, dass die Frösche beim Beginne des Versuches eine Temperatur von 14° C., bei Entnahme der zweiten Probe nach 5¼ Stunden aber wenig über 0° temperirt waren, dass die Luft jetzt bereits 0,7 pCt. Kohlensäure enthielt, so muss eine Stauung von Kohlensäure in den Thieren angenommen werden. Man darf also wohl kaum annehmen, dass weniger Kohlensäure als normal producirt worden ist.

Man muss wissen, dass dieselben Versuche vor mir von Spallanzani, Edwards¹⁾, Collard de Martigny²⁾, von Prof. Bergemann und Joh. Müller³⁾ u. Anderen mit ganz denselben Resultaten, sogar bei Fröschen mit ausgeschnittenen Lungen (Bischoff), die also gewiss keine Luft mehr in derselben enthalten konnten, angestellt worden sind. Ich wollte mich nur von der Wahrheit der Thatsache überzeugen, abgesehen von einem viel wichtigeren Grunde, den Niemand vor mir für der Mühe werth gehalten hat, zu berücksichtigen, obwohl es sich um die tiefsten und bedeutungsvollsten Verhältnisse handelt.

Nachdem meine Frösche 17¼ Stunde in dem Stickstoff gewesen waren, entnahm ich wieder eine Probe der Luft, in der sie sich befanden. Sie enthielt jetzt 1,0 pCt. Kohlensäure. In den letzten elf Stunden hatten sie also nur noch 3,24 CC. Kohlensäure ausgehaucht.

1) Edwards. Influence des agens physiques p. 445.

2) Collard de Martigny in Magendie's Journal de physiologie. 1830. p. 121.

3) Joh. Müller. Physiologie des Menschen I. p. 256.

Wie verhielten sich nun diese Frösche? Ich hatte Eis rings um die Glocke auf das Quecksilber gelegt, damit die Selbstzersetzung möglichst langsam bei Abwesenheit des Sauerstoffs von Statten gehen solle. Um 2 Uhr 44 Minuten gelangten die Thiere in den Stickstoff. Sofort sah ich, dass sie sich unbehaglich fühlten und ängstlich betrugten. Um 3 Uhr zeigen sie die entschiedenste Athemnoth; sie sitzen mit weit aufgerissenen Mäulern da und stellen sich von Zeit zu Zeit in die Höhe, als ob sie einen Ausweg nach der Luft suchten. Keine Krämpfe oder sonstige Reizungserscheinungen wie bei Warmblütern wurden bemerkt. Anfänglich athmen sie sehr schnell; dann hören sie ganz auf, beginnen wieder, um wieder aufzuhören.

Sie sitzen alsbald absolut bewegungslos, aber mit aufrechtem Kopf und offenem Auge, aber so still, als wollten sie durch Vermeiden jeder Bewegung das Sauerstoffbedürfniss nicht vermehren. Ich wartete nun auf ihren Tod. Aber es verging eine Stunde nach der andern; sie wanderten nach längerer Ruhe von Zeit zu Zeit, stellten sich auf und öffneten so weit als möglich die Mäuler, sodass auch gar kein Zweifel bestehen konnte, dass alle Functionen ihren ungestörten Gang nahmen. Abends 8 Uhr sind die Frösche noch ruhiger geworden und sichtlich sehr matt, besonders der eine, geben aber, als ein Draht um 9 Uhr durch das Quecksilber eingeführt wird, um sie zu irritiren, die unzweideutigsten Zeichen der Integrität. Sie werden nun in Eis verpackt und die Nacht sich überlassen. Am folgenden Morgen 9 Uhr, als ich nach dem Laboratorium kam, lagen beide Frösche wie Leichen bewegungslos in ihrem Gefängniss. Nach Entnehmung einer letzten — der dritten Gasprobe — werden die Thiere herausgezogen. Selbst die heftigsten Hautreize brachten nicht die Spur einer Reaction hervor, sogar die stärksten electricen Schläge wirkten nur auf die Muskeln, wo sie diese unmittelbar mit grösster Dichte trafen. Denn dass die Muskeln noch erregbar waren, ist ja nach allen anderen Erfahrungen selbstverständlich. Fest stand also, dass die Thiere absolut paralytisch waren, sodass die Erregbarkeit des centralen Nervensystemes erloschen sein musste. Es war also auch keine Spur einer Athembewegung vorhanden.

Da nun diese Frösche von dem Moment ihres Todes an auf beinahe 0° C. abgekühlt gewesen waren, so konnte an eine Fäulniss nicht wohl gedacht werden. Ich hoffte die Thiere also wieder lebendig zu erhalten. Um demnach ferner alle Zersetzung zu

hemmen, legte ich sie auf grosse Eisschollen und liess ihnen Luft einblasen; aber es schien Alles umsonst. Um 10 Uhr hatten die Frösche nach 17stündiger Entbehrung des Sauerstoffs ihr Gefängniss verlassen. Als nach 2 Stunden Aufenthalt in atmosphärischer Luft und oft wiederholtem Lufteinblasen noch immer kein Lebenszeichen zurückkehren will, öffne ich bei dem einen Frosche vorsichtig die Brusthöhle und sehe, wie das Herz mit grosser Energie schlägt und wie die Arterien wundervoll hellrothes Blut enthalten. Trotzdem ist es überall still. Erst gegen 3 Uhr, also nach 5stündigem Aufenthalt in atmosphärischer Luft, nachdem wieder stundenlang arterielles Blut die Organe durchflossen hatte, zieht plötzlich der eine Frosch — es war der kräftigere von beiden — das Bein an. Allmählich kehren auch bei beiden Thieren die »Reflexbewegungen« zurück. Den nächsten Morgen zeigen beide Frösche sehr kräftige Reaction auf Reize. Die irritirte Conjunctiva wirkt wieder reflexerregend. Die spontanen Athembewegungen sind zurückgekehrt. Aber trotz Allem stehen die Frösche nicht auf, wenn sie auf den Rücken gelegt werden, das heisst, verhalten sich wie geköpfte Thiere. Das verlängerte Mark hatte sich also theilweise, das Rückenmark ganz, das Gehirn gar nicht wieder erholt. Das Charakteristische bei der Ausschaltung des Gehirns besteht bekanntlich darin, dass ein Thier ohne Gehirn sich auf Reize so verhält, als ob es alle Eingriffe empfände und sich ihnen widersetze, aber seine ganze Muskulatur nicht mehr, wie es zur Locomotion nothwendig ist, gleichzeitig in allen Gliedern zu beherrschen vermöge. Die Combinationen für die gleichzeitige Gesamtbewegung aller Muskeln liegen in der Medulla oblongata.

Der eine Frosch starb bald, der andere erhielt sich länger.

Dieser einfachste aller Versuche ist, wie ich die Sache ansehe, von fundamentaler Wichtigkeit. Denn er lehrt erstens, dass die höchsten Lebensfunctionen normal von Statten gehen, ohne dass eine Spur von Sauerstoff in dem Körper des Thieres vorhanden ist und dass lange Zeit gleichzeitig die Kohlensäurebildung ungeschwächt weiter geht. Wir haben ferner gesehen, dass mit eintretendem Scheintod auch die Kohlensäurebildung aufhört, wenn für Abhaltung abnormer Zersetzung gesorgt ist. Die Uhr war abgelaufen. Wir fanden weiter, dass die Lebensprocesse viele Stunden lang beim ausgewachsenen Thiere bei absolutem Sauerstoffmangel und stillstehender Kohlensäurebildung zu Stillstande kommen können,

ohne dass die Möglichkeit des Wiederauflebens ausgeschlossen war. Ebenso interessant ist deshalb das Wiederaufziehen der Uhr gewesen. Denn wir haben gesehen, dass erst, nachdem viele Stunden lang das centrale Nervensystem wieder Sauerstoff absorbiert hatte, die Reizbarkeit der Moleküle sich herstellte. Eine Reihe von Stunden ist also nöthig, um die reizbare Substanz zu regeneriren — richtiger: um die Reizbarkeit der Substanz wieder herzustellen.

Ich glaube, Jedermann wird die Wichtigkeit der Thatsache zugeben, dass alle Lebensprocesse lange Zeit ohne die Gegenwart freien Sauerstoffs mit scheinbar ungeschwächter Kraft ablaufen können.

Dies erschien mir aber so fundamental, dass ich es durch einen noch viel überzeugenderen Versuch sicher stellen wollte. Dieser Versuch, der in hohem Grade lehrreich gewesen ist, soll von mir eingehend nunmehr behandelt werden.

Abermals wollen wir uns auf den Versuch genau vorbereiten.

Es soll, um die Ansammlung zu vieler Kohlensäure im Stickstoff zu vermeiden, nur 1 Frosch (*Rana temporaria*) gebraucht werden, der 31,6 Grm. wiegt.

Nach Welcker's vertrauenswürdigen Bestimmungen beträgt die Blutmenge von 100 Grm. *Rana temporaria* 4,71 bis 6,27 CC. 1); im Mittel also 5,5 CC. Da unser Frosch 31,6 Grm. wiegt, so enthält er 1,74 CC. Blut. Die Sauerstoffmenge, welche das Blut bei Atmosphärendruck aufnehmen kann, ist abhängig von seinem Gehalt an Blutfarbstoff.

Nun verhält sich nach den Bestimmungen H. Welcker's der Farbstoffgehalt gleicher Volumina des Blutes vom Hunde und der *Rana temporaria* wie 47 : 25²⁾. 100 CC. Blut vom Hunde, der am genauesten untersucht ist und deshalb als Ausgangspunct genommen wird, enthalten im Mittel gesättigt 16 CC. Sauerstoff (bezogen auf 0° und 1 Meter Hg), oft viel weniger, fast niemals mehr als 19—20 CC.

Demnach würden die 1,74 CC. Blut der *Rana temporaria* in Anbetracht der von Welcker bestimmten geringen Menge des den Sauerstoff chemisch bindenden Farbstoffs in Maximo 0,14 CC. (bez. auf 0° und 1 Meter) Sauerstoff enthalten. Das macht 0,18 CC. bei 0° und dem Atmosphärendruck von 0,76 M. Diese Zahl ist

1) H. Welcker. Grösse, Zahl, Volum, Oberfläche und Farbe der Blutkörperchen bei Menschen und bei Thieren in Zeitschr. für rationelle Medicin. 3. Reihe. Bd. XX. p. 291.

2) H. Welcker a. a. O. p. 301.

aber viel zu gross, weil ja das arterielle Blut nicht ganz mit Sauerstoff gesättigt ist und weil der grösste Theil des Blutes im Thiere Venenblut ist, das also noch viel weniger enthält.

In den Organen des Thieres ausserhalb des Blutes befinden sich nur Spuren von Sauerstoff und zwar aus folgendem Grunde.

Erstens haben alle Beobachter in zahllosen Versuchen übereinstimmend bezeugt, dass in allen Geweben und thierischen Flüssigkeiten ausser dem Blute immer so kleine Spuren von Sauerstoff gefunden werden, dass sie zum grössten Theile wohl nur durch Verunreinigung mit atmosphärischer Luft bedingt sind.

Zweitens ist das Venenblut der Frösche auch dunkeler, als Arterienblut und also nicht mit Sauerstoff gesättigt. Wenn das Blut mit Sauerstoff gesättigt ist, hat es in minimo eine Sauerstoffspannung von 30—40 Mm. Quecksilber; das kalte Froschvenenblut hat also sicher noch keine Spannung von 15 Mm., ich will aber 30 Mm., was viel zu hoch, annehmen. Nun weiss man, dass der Absorptionscoefficient für thierische Flüssigkeiten nahezu gleich dem für Wasser ist, d. h. um etwas kleiner.

Der Absorptionscoefficient des Wassers für Sauerstoff bei 3° C. — unserer Beobachtungstemperatur — ist 0,039¹⁾. Da nun das specifische Gewicht des Frosches, ohne hier in Betracht kommenden Fehler gleich dem des Wassers gesetzt werden kann, so dürfen wir statt 31,6 Grm. 31,6 CC. lesen, wodurch wir wieder einen kleinen Fehler zu unserem Schaden begehen. Von diesen 31,6 CC. geht aber das Blut ab, dessen Sauerstoff schon verrechnet ist, bleibt also:

Frosch	Blut
31.6 CC.	— 1.74 CC.

= 29.86 CC.

Aber 29,86 CC. Wasser bei 3° C. absorbiren bei einer Sauerstofftension von 30 Mm., gemäss des oben notirten Absorptionscoefficienten:

0.04 CC. Sauerstoff

gemessen bei 0° und 760 Mm. Hg Druck. Da der Frosch nun in seinem Blut 0,18 CC. Sauerstoff enthält, so würde sein ganzer Körper enthalten:

0.18 CC. Sauerstoff im Blute,

0.04 „ in den Organen ausserhalb des Blutes.

0.22 CC. Sauerstoffgehalt in dem Körper eines Frosches ohne den in den Lungenräumen befindlichen Sauerstoff.

1) R. Bunsen. Gasometrische Methoden. 1857. p. 298.

Nach Regnault und Reiset's niedrigster Zahl verbraucht 1 Kilo Frosch pro Stunde 41.9 CC. Sauerstoff, also unser Frosch von 31,6 Grm. Gewicht nur 1,32 CC. und in 11 Stunden 14,3 CC. Sauerstoff.

Wenn man also absieht von dem in den Lungen enthaltenen Sauerstoff, hat der Froschkörper so viel freien Sauerstoff, um damit in Stickstoff gerade auf 10 Minuten aushalten zu können. Da aber alle Werthe von uns zu gross angenommen wurden, kann er damit nicht so lange auskommen.

Zu einem analogen Resultate kommt man in anschaulicherer Weise durch folgende Betrachtung.

Bei jedem Frosche ist das Venenblut beträchtlich dunkler als das Arterienblut; auch wenn das Thier kalt ist. Diese Verschiedenheit in der Farbe ist, wie physiologisch durch zahllose Versuche sicher gestellt ist, nicht durch die Differenz im Kohlensäuregehalte bedingt, der auf die Farbe gar keinen Einfluss hat, sondern nur durch den Sauerstoffgehalt. Bei den Säugethieren beträgt diese Differenz etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des gesammten Sauerstoffgehaltes, d. h. das Venenblut enthält 4—6 CC. Sauerstoff auf 100 CC. Blut weniger. In 3 Kreisläufen würde also aller Sauerstoff bei dem Warmblüter consumirt sein, wenn man voraussetzt, dass nicht neuer von den Lungen zugeführt werde. Da nun der Kreislauf des Menschen ca. 20 Secunden dauert, so folgt, dass er in nicht länger als 1 Minute gar keinen Sauerstoff mehr im Körper hat. Das stimmt auch mit der Erfahrung, da man kaum so lange den Athem anhalten kann und das Blut eher durch vollkommene Reduction schwarz geworden ist. Bei Hunden wird, wie ich wiederholt gesehen, nach Verschluss der Luftröhre das Blut schon in 30 Secunden fast sauerstofffrei und ist in 1 Minute bis zu Spuren von Sauerstoff reducirt. Nimmt man nun an, dass der Kreislauf des Frosches 1 Minute dauere, obwohl sein Blut in den Capillaren bei mikroskopischer Beobachtung nicht viel langsamer als bei den Warmblütern fliesst, und obwohl bei kleinen Thieren der Kreislauf schneller ist und beim Kaninchen z. B. nur etwa 7 Secunden beträgt, nimmt man ferner an, dass das Venenblut nicht 4—6 Volumprocent weniger als das Arterienblut wie beim Säugethier, sondern nur 1 Volumprocent weniger enthalte, so würde der Sauerstoff des Froschkörpers für etwa 8—10 Minuten ausreichen. Eine Differenz von 1 pCt. wird man wohl annehmen

müssen, worauf die evidente Farbenverschiedenheit des arteriellen und venösen Blutes beim Frosche hinweist.

Schreiten wir jetzt zu dem Versuche.

Zu dem Ende brachte ich in einen geräumigen eisernen neuen sogenannten Kohlenkasten zuerst Quecksilber und darüber gut ausgekochtes Wasser. Das Quecksilber stand etwa 4 Zoll hoch. Dann wurden zwei grosse Bechergläser von je circa $1\frac{1}{2}$ Liter Inhalt in das Wasser versenkt und so umgestülpt, dass sie kein Luftbläschen, sondern nur Wasser enthielten. Atmosphärische Luft wurde darauf über glühendes Kupfer in einer Verbrennungsröhre möglichst langsam geleitet und in geeigneter Weise der Stickstoff über dem Wasser in den Bechergläsern aufgefangen. Ein kleines Quantum Wasser liess ich in jedem Becherglase und schloss den Binnenraum derselben dann hermetisch ab, indem ich die Bechergläser senkte, so dass sie in das Quecksilber mit ihren unteren Abschnitten eintauchten. Abends wurde je eine Phosphorkugel in jedes Gefäss eingeführt. Das Leuchten des Phosphors zeigte, dass die Luft nicht vollkommen ihren Sauerstoff durch die Berührung mit dem glühenden Kupfer verloren hatte. Deshalb blieben die Phosphorkugeln über Nacht in den abgeschlossenen Räumen. Am andern Morgen wurden sie herausgezogen und ein kleines Kryställchen von Soda in das Wasser über dem Quecksilber in dem Becherglase gebracht, um die gebildete phosphorige Säure zu absorbiren.

Am Abend wurden gute Phosphorkugeln abermals eingeführt. Sie blieben dunkel; das Gas war also jetzt sauerstofffrei. Es wurde sorgfältigster Verschluss mit dem Quecksilber hergestellt, da am andern Morgen der Versuch ausgeführt werden sollte.

Während der Nacht hatte der zu demselben bestimmte Frosch im Eiskasten gesessen, war aber am Morgen sehr munter. Das Wasser in einem grossen Becherglase, das auch über Nacht in dem Eiskasten gestanden hatte, zeigte eine Temperatur von $2,7^{\circ}$ C. Demselben Frosche war mit einer Nadel ein seidener Faden durch die Fusswurzel gezogen und festgebunden, um ihn später bequem aus dem Stickstoffraume ohne Einführung der Hand herausziehen zu können. Nun waren auch Eisstücke um die Bechergläser auf das Quecksilber gelegt worden, um die Räume, in welche der Frosch kommen sollte, möglichst abzukühlen. Es standen also zwei mit Stickstoff gefüllte Bechergläser (A und B) nebeneinander in der

Wanne, unten in Quecksilber tauchend, darüber aussen von Wasser mit schmelzenden Eisstücken bespült.

Ich nahm nun den Frosch und führte ihn nach Abspülung der Luft, die etwa an ihm hängen möchte, unter Wasser, dann unter Quecksilber in den Raum A, der also mit Phosphordampf geschwängerten Stickstoff enthielt. Hier bot sich uns — Prof. Zuntz, Dr. Finkler und Dr. Nussbaum, die mir bei diesen Versuchen freundlichst assistirten, waren gegenwärtig — nun ein merkwürdiger Anblick dar. Ueber dem Kopfe des Frosches erhoben sich dichte weisse Nebel, die bald den ganzen, fast 1 Liter betragenden Raum erfüllten, aber wesentlich in den unteren Theilen sich vorfanden. Die Phosphorkugel hatte natürlich Phosphordampf im Stickstoff zurückgelassen und als der Frosch wieder zu athmen anfang und die Reste atmosphärischer Luft aus seinen Respiationsorganen ausathmete, oxydirte der Sauerstoff den Phosphordampf zu phosphoriger Säure, oder bildete auch Ammoniumnitrit. Ein besserer Beweis für die absolute Abwesenheit des Sauerstoffs in diesem Stickstoff ist also nicht denkbar. Nun wäre es möglich gewesen, dass der dampfförmige Phosphor doch nicht ausgereicht hätte, um allen von dem Frosche abgegebenen Sauerstoff zu binden. Darum liess ich zwar das lebhaft athmende und so seine Lungen ganz vom Sauerstoff befreiende Thier 5 Minuten im Raume A.

Hierauf aber zog ich ihn an dem Seidenfaden herab in das Quecksilber und führte ihn durch dieses in den Raum B, so dass er also hierbei mit der atmosphärischen Luft in keine Berührung mehr kam. Wir gaben gut Acht. Diesmal war keine Spur von Nebelbildung zu sehen. Der Frosch befand sich also in einem absolut sauerstofffreien Raume, in dem Phosphordampf war, der natürlich die kleinen Spuren von Sauerstoff, die aus seinem durch die Lungen strömenden Blute abdunsten mussten, sofort in Beschlag genommen haben würde. Als das Thier in den Stickstoff kam, war es 10 Uhr 30 Minuten. Eine Stunde nach der andern verging, ohne dass sich in der Kräftigkeit seiner Haltung und in den von Zeit zu Zeit auftretenden spontanen Bewegungen etwas merkbar änderte. Da auch um 2 Uhr 30 Minuten noch gar keine Abnahme der Lebensenergie constatirt werden konnte, wollte ich mich nochmals überzeugen, ob denn wirklich der Raum absolut sauerstofffrei sei. Ich nahm also eine gute, an einem Platindraht befestigte Phosphorkugel, erwärmte sie in Wasser von etwa 35° C. längere Zeit

und führte sie dann so schnell als möglich durch das kalte Quecksilber in den Raum hoch empor, wo sie gegen die Glaswand angelehnt und mit der Hand erwärmt wurde. Aber auch nicht die leiseste Spur eines Nebels war zu sehen. Als das festgestellt war, zog ich die Kugel wieder heraus. So blieb der Zustand; gegen 5 und 6 Uhr war der Frosch vielleicht etwas träger und ruhiger geworden; aber er bewegte sich noch immer im Laufe einiger Minuten hin und her, richtete sich auf und zeigte, dass eine auffallende Veränderung in seiner Leistungsfähigkeit noch nicht eingetreten sei, d. h. nachdem dem Thiere seit $7\frac{1}{2}$ Stunden kein Atom Sauerstoff mehr zugeführt worden war.

Was die Temperatur betrifft, die das Thier hatte, so habe ich dafür folgende Anhaltspunkte. Die Luft des Laboratoriums zeigte eine Temperatur von $10,5^{\circ}$ C. Das Quecksilber in der eisernen Wanne, auf welchem der Frosch sass, hatte eine Temperatur von 3° C., das Wasser darüber, in dem viele faustgrosse Eisklumpen lagen, selbstverständlich alle möglichen Temperaturen zwischen 0° und 3° C. Das Wasser zwischen den Eisklumpen zeigte etwa 2 Cm. über dem Quecksilber, im Niveau des Frosches $1,7^{\circ}$ C. Da nun die obere Hälfte des Becherglases mit der wärmeren Luft des Laboratoriums in Berührung stand und die Amphibien immer etwas wärmer als ihre Umgebung sind, so wird man die Temperatur des Thieres auf $3-4^{\circ}$ C. richtig schätzen können.

Um 6 Uhr Abends verliess ich das Laboratorium und Prof. Zuntz und Dr. Finkler übernahmen von da ab die weitere Beobachtung, da ich weit vor der Stadt wohne, während das Bonner physiologische Institut in der Stadt liegt.

Professor Zuntz constatirte, dass der Frosch noch um 8 Uhr lebhaft sprang; um 9 Uhr 40 Minuten war er noch immer lebendig. Im Wasser um die Glocke schwammen noch Eisstückchen. Von jetzt ab wurde die Beobachtung abgebrochen, nachdem alle Vorrichtungen nochmals sicher befunden.

Am andern Morgen fand sich kein Eis mehr in der Wanne und der Frosch war scheinodt. Er hatte also mindestens $11\frac{1}{2}$ Stunden ohne allen Sauerstoff vollkommen gelebt, vielleicht aber auch noch viel länger.

Abermals stiegen in uns Zweifel auf, ob nicht doch Sauerstoff in dem Raume unter der Glocke sei und desshalb wurde nun der eigentliche Beweis angetreten. Nachdem fast alles Wasser um die

Glocke entfernt, diese wohl gereinigt worden, constatirten wir um 11 Uhr 30 Minuten die absolute Durchsichtigkeit des Raumes, in dem der Frosch nunmehr also **25 Stunden** verweilt hatte; darauf nahm ich ein Reagensglas, füllte es mit destillirtem Wasser zur Hälfte, drehte es um und tauchte es mit seiner unteren Mündung in das Quecksilber der Wanne, in der die Glocke stand, führte es, wie bei Ueberfüllung von Gasen, unter die Glocke und liess einige CC. atmosphärischer Luft in den Stickstoff eintreten. Sehr bald entstanden die weissen Nebel der phosphorigen Säure und des Ammoniumnitrites, die sich allmählig wie Rauch von den unteren Theilen der Glocke gegen die oberen fortsetzten.

Es war also bewiesen mit aller überzeugenden Sicherheit, die erreichbar ist, dass der Frosch in Phosphordampf, der die Gegenwart freien Sauerstoffs absolut ausschliesst, mindestens 11½ Stunden vollkommen gelebt hatte, bei vollster Integrität aller wesentlichen Functionen.

Der Frosch wurde nun aus dem Raume gezogen. Er war ganz paralytisch, matsch und schien mir todt. Er wurde gewogen. Sein Gewicht war = 31.6 Gramm. Darauf, d. h. nach etwa ¼ Stunde, schnitten wir die Brusthöhle auf und waren nicht wenig erstaunt, das Herz wieder, wenn auch schwach, 8 mal in der Minute schlagen und mit hellrothem Blute schon wieder gefüllt zu sehen. Aber noch nach 2 Tagen paralytisch, erholte er sich am 3. (nach 75 Stunden) so weit als die früheren (!).

Dass dieser Frosch so sehr viel länger ausgehalten als die anderen Frösche bei dem vorhergehenden Versuche, liegt wahrscheinlich daran, dass hier nur 31.6 Gr. lebendiger Froschmasse, dort fast dreimal so viel in einem Stickstoff-Raume von ungefähr derselben Grösse sich befanden, wesshalb die Tension der giftig wirkenden Kohlensäure keinen so hohen Werth in diesem Falle erreichen konnte. Ausserdem war der Frosch beim Einbringen in den Stickstoff diesmal auf circa 3° C. abgekühlt.

Eine andere Erklärung würde annehmen müssen, dass die Gegenwart des Phosphors die Intensität des Ablaufes der Lebensprocesse herabgesetzt habe.

Wie das auch sei, es ist zunächst eine für uns hier gleichgültige Frage.

Das aber glaube ich schliessen zu dürfen, dass, wenn man Frösche wirklich auf 0° C. abkühlt, was ja hier bei Weitem nicht

der Fall war, unter günstigen Verhältnissen das Leben ohne Sauerstoff sich wahrscheinlich noch sehr viel länger erhalten kann.

Ich legte mir nun endlich noch die Frage vor, ob die Amphibien vielleicht die Fähigkeit besäßen, in Fällen der Noth ihren Lebensmechanismus gleichsam still zu stellen.

Dagegen sprach nun freilich die von mir und allen meinen Vorgängern bewiesene fast ungeschwächte Weiterentwicklung von Kohlensäure in Stickstoff, sowie die evidente Fortdauer aller Lebensfunctionen. Es müsste also, wenn etwas Derartiges existiren könnte, das Thier die Macht haben, die Affinitäten seines Körpers zum Sauerstoff aufzuheben, obwohl sichtlich nichts geändert ist.

Gleichwohl wollte ich mit meinem Auge mich überzeugen, dass das Blut des Frosches nach Unterbrechung der Sauerstoffzufuhr in kurzer Zeit vollkommen reducirt wird. Der Versuch ist darum nicht so leicht, weil der Frosch mit der Haut so energisch athmet, so dass derselbe sofort sein Blut wieder arterialisirt, wenn man ihn unmittelbar, nachdem er im Stickstoff war, untersuchen will.

Ich nahm also einen gleich beschaffenen Gefährten des oben genannten Frosches — es war auch eine *Rana temporaria* — und kühlte sie wie jenen im Eiskasten ab. Gleichzeitig wurde neutral reagirendes Olivenöl auf dem Wasserbade 4 Stunden ausgekocht, um die Luftbläschen zu vertreiben, dann in den Eiskasten gestellt, und später in Eiswasser bis auf 3° C. abgekühlt, wobei das Oel ganz klar blieb. Dem abgekühlten Frosche zog ich durch zwei kleine, kaum blutende Einschnitte die Lungen hervor und drückte nach Anbringung von ein paar Schnittchen die Luft aus. Dann band ich ein Gewicht von 200 Gramm an sein Bein und versenkte ihn in das eiskalte in Eiswasser gestellte, in einem grossen Becherglas befindliche Oel. Hierbei muss man erwägen, dass er in seinem geräumigen Rachen immer Luft hat und dass beim Einbringen ihm etwas Luft anhing, auch einige Bläschen wieder hierdurch in das Oel gebracht waren. Dennoch wagte ich es, nach einer halben Stunde ihm unter Oel die vordere Brustwand zu öffnen. Ich sah, dass das Blut im Herzen ganz schwarz war. Ich nahm den Frosch nun schnell heraus und durchschnitt das Herz, aus dem das schwarze, also sauerstofffreie Blut ausfloss. Auch die anderen Organe hatten die Farbe wie bei asphyktischen Thieren. Sehr schnell röthete sich aber Alles wieder an der Luft und das Anfangs kaum schlagende Herz fing deutlicher zu pulsiren an. Der Frosch selbst

hatte selbstverständlich durch spontane Bewegungen im Oele bis zuletzt das Vorhandensein der Integrität des gesammten Nervensystemes bewiesen.

Es bleibt also kein Zweifel. Das Blut des Thieres ist längst vollkommen reducirt, aller freie Sauerstoff im Körper total aufgebraucht, ohne dass der Lebensprocess still steht, der vielmehr noch eine sehr lange Reihe von Stunden weiter läuft, wenn man nur für niedrigere Temperatur sorgt, die aber nicht einmal bis 0° herabzugehen braucht.

Aus diesem Versuche folgt mit Gewissheit, dass es der intramoleculare Sauerstoff ist, welcher die Reizbarkeit wesentlich mitbedingt und dass ferner im Wesentlichen die Kohlensäure durch Dissociation entsteht.

Es ist ebenfalls durch Versuche festgestellt, dass die Kohlensäurebildung innerhalb gewisser Grenzen mit der Temperatur der Organe wächst.

Nach Moleschott ¹⁾ producirt ein Frosch auf 100 Gramm Körpergewicht in 24 Stunden

bei 6° C.	0,475 Gr. Kohlensäure.
„ 28° C.	0,752 „ „
„ 38,7° C.	1,330 „ „

Schon Treviranus ²⁾ fand, dass die Honigbiene bei 22° beinahe 3mal so viel Kohlensäure producirt als bei 11°.

Auch dass ich meine Frösche so viele Stunden in Stickstoff lebendig erhalten konnte, da ich sie so stark abgekühlt hatte, während z. B. Johannes Müller, der offenbar bei mittlerer Temperatur experimentirte, die Asphyxie der Frösche schon vor Ablauf von 3 Stunden eintreten sah, zeigt, dass die Dissociationsprocesse bei höherer Temperatur schneller zum Verbrache der reizbaren d. h. lebendigen Molecüle führen.

Dass die Zersetzungen aber auch bei den Warmblütern mit wachsender Temperatur zunehmen, ist unzweifelhaft. Dies hat Adolf Fick und Goldstein z. B. für das verlängerte Mark mit Hülfe eines sinnreichen Versuches bewiesen. Diese Forscher umgaben die nach dem Kopfe führende Schlagader eines Hundes mit einem Gefässe, durch welches man einen raschen Strom heissen

1) Moleschott. Ueber den Einfluss der Wärme auf die Kohlensäureausscheidung der Frösche. Unters. zur Naturlehre, Bd. II. pag. 315.

2) Treviranus, Zeitschrift für Physiologie. 4. 1.

oder kalten Wassers führen konnte, so dass das Blut, welches zum Gehirne floss, bald erhitzt, bald abgekühlt wurde. Mit steigender Temperatur fängt die Respiration sofort an zu jagen, mit abnehmender ausserordentlich zu sinken. Dort also Steigerung, hier Abnahme der Reizbarkeit der Nervencentren. Die Grösse der Reizbarkeit ist aber — *ceteris paribus* — nur der Ausdruck für die Stärke der Umsetzung.

Ganz allgemein folgt die Abhängigkeit der Dissociation der lebendigen Materie von der Temperatur daraus, dass bei den Warmblütern eine Steigerung der Blutwärme um 7° C. den Tod zur Folge hat und dass die Normaltemperatur des Säugethierblutes das Leben der meisten Amphibien vernichtet. Diese geringe Zunahme der lebendigen Kraft der Schwingungen der Molecüle führt also zur vollständigen Sprengung und Zersetzung der lebendigen Substanz.

Wohin man blickt in das Reich der lebendigen Organismen sieht man, wie die Intensität der Lebensvorgänge also die Zersetzung der Temperatur proportional wächst. Betrachte ich die lebhafteste, bewegliche, flinke Eidechse im Sommer und wie sie, wenn man sie einer Temperatur unter 0° aussetzt, allmählig ruhig wird, und in Torpor versunken einem Scheintodten gleicht und frage ich mich, was die Ursache sei, dass das Thier in der Wärme wieder so activ wird, so sagt mir der Augenschein: weil ihren Organen Wärme zugeführt worden ist, die die Atome der Molekeln in Schwingungen versetzt und die Dissociation erzeugt. Ich wage desshalb den Ausspruch: die intramoleculare Wärme der Zelle ist ihr Leben.

Die Chemie gibt uns noch bis zu einem gewissen Grade Auskunft, warum die Aufsaugung von Sauerstoff den lebendigen Molecülen den hohen Grad der Zersetzbarkeit ertheilt, der bei der Erwärmung zur Abspaltung von Kohlensäure und Wasser führt.

Es gibt, wie Kekulé ¹⁾ hervorhebt, unter den zahlreichen Molecülen der organischen Chemie kein einziges, welches in sich so viel Sauerstoff enthielte, dass er genügte, um allen Kohlenstoff zu Kohlensäure und allen Wasserstoff zu Wasser zu oxydiren. Das beweist also, dass, wenn die lebendigen Molecüle trotzdem fortwährend Sauerstoff anziehen, er nothwendig bald auch wieder aus-

¹⁾ A. Kekulé. Organische Chemie 1867. Bd. I. pag. 13.

treten muss, sobald die Bedingungen zur Bildung von Kohlensäure und Wasser gegeben sind. Wie also die Blausäure zum grossen Theil durch Dissociation sich zersetzt, weil der Stickstoff sofort Ammoniak bildet, wenn ihm dazu Gelegenheit geboten wird, so zersetzt sich die lebendige Substanz zum Theil desshalb, weil der intramoleculare Sauerstoff, sobald er Gelegenheit findet, Kohlensäure und Wasser zu bilden, sofort in diese Combination eingeht.

Wo desshalb der Lebensprocess energisch ablaufen soll, ist wie bei den Warmblüthern eine hohe Temperatur nothwendig, welcher die Zersetzungen proportional sind. Die Wärme ist also die Ursache des Lebens und nicht, wie man gewöhnlich die Sache ansieht, nur die Folge. Es ist ganz vergleichbar der brennenden Kohle, deren Wärme durch den Brand zwar erzeugt wird, ihn aber auch erst ermöglicht. Meine Auffassung erklärt die Proportionalität aller Lebensvorgänge mit der Temperatur innerhalb gewisser Grenzen und wirft ein Licht auf den tieferen Sinn der grossen Constanz der inneren Körpertemperatur bei den höchststehenden Geschöpfen.

Bei der thierischen Oxydation tritt uns nun die bemerkenswerthe Thatsache entgegen, dass die Zersetzungen im Grossen und Ganzen sich so gestalten, dass nur ein Kohlenstoffatom nach dem anderen aus dem lebendigen Molecüle austritt.

Man könnte daran denken, dass die Kohlenatome an den freien Spitzen der Alkoholradicale, wo der Kohlenstoff nur von einer Seite mit $\frac{1}{4}$ seiner Affinität an das Molecül gebunden ist, am leichtesten durch die Wärmestösse eine Ablösung erfährt. Hierbei ist allerdings nicht zu übersehen, dass die Fettsäuren einen beträchtlichen Theil der Zersetzungsproducte der Albuminate sogar bei der Oxydation ausmachen. Die Kohlenstoffketten, welche also vom Eiweissmolecüle bei der künstlichen Oxydation abgerissen werden, sind überall mit Wasserstoff, resp. Hydroxylen besetzt und an der Bruchstelle legt sich der Sauerstoff an. Die einbasische Säure spricht also in diesem Falle nicht für obige Auffassung. Die durch einfache chemische Behandlung indessen gleichzeitig auftretenden zweibasischen Säuren, wie Zuckersäure, Glutaminsäure, Asparaginsäure, Fumarsäure, Oxalsäure u. s. w., würden möglicher Weise sich für die Auffassung verwerthen lassen. Man muss ferner die Möglichkeit im Auge behalten, dass das Eiweiss nach der Assimilation nur langsam in den beweglichen Zustand übergeht, so dass vielleicht immer nur ein kleiner Theil desselben bei den specifischen

Lebensprocessen des Thieres theilhaftig ist, während der andere allmählig zu seiner Bestimmung heranreift. Ich komme auf die Kohlensäurebildung noch einmal zurück.

Da die intramoleculare Schwingung die Anziehungen verändert, indem Atome mit einander in Beziehung kommen, die sonst nicht aufeinander gewirkt hätten, so begreift man die plötzliche Entstehung mächtiger Zugkräfte, da diese Atome sich anziehen. Liegen solche sich anziehende Theile in geordneten Reihen und entsteht auf der ganzen Reihe in demselben Moment die Anziehung, so können dadurch wie bei der Muskelzuckung bedeutende Kräfte erzeugt werden. Diese Kräfte müssen, wenn sie durch Kohlensäurebildung bedingt sind, schnell verschwinden, weil der Zug in dem Momente erlöschen muss, wo die Kohlen- und Sauerstoffatome ihren Zusammenhang mit dem contractilen Molecüle aufgegeben haben.

Selbstverständlich liefern unsere Erörterungen auch eine wie mir scheint befriedigende Erklärung der Reizbarkeit und Auslösung von Kräften, weil eben die intramoleculare Bewegung bereits so gross ist, dass die Atome periodisch nahezu in statu nascenti sich befinden, so dass Minimalimpulse ausreichen, um sie in diesen Zustand wirklich überzuführen, der wahrscheinlich aber bei der Structur des lebendigen Molecüles ganz vorzugsweise zur Kohlensäurebildung führt, was mit der Umsetzung einer bedeutenden Menge von chemischer Spannkraft gleichbedeutend ist.

Wenn wir uns somit klar gemacht haben, wie die Kohlensäure und das Wasser in aller lebendigen Materie fortwährend durch Dissociation aus den lebendigen Molecülen abtreten, so ergibt sich, dass dieser Process nur unter Zurücklassung freier Affinitäten denkbar ist. Denn die Kohlensäure kann als geschlossenes Molecül niemals in einem anderen enthalten sein, sondern nur bei einer Zersetzung entstehen, wobei die Affinitäten, welche der abtretende Kohlenstoff resp. Wasserstoff und Sauerstoff vorher sättigte, nunmehr frei geworden sind. Je zahlreicher aber die durch Dissociation sich bildenden Kohlensäuremolecüle sind, um so zahlreicher sind auch die in der Zeiteinheit in der Zelle entstehenden freien Verwandtschaften.

Die meisten dieser frei werdenden Verwandtschaften sind es nun, welche das Sauerstoffmolecül zersetzen, da fast aller Kohlenstoff den Körper als Kohlensäure verlässt und die überwiegende

Menge des Sauerstoffs sich zuletzt nur mit dem Kohlenstoff verbindet.

Unsere Betrachtungen haben uns dahin geführt, bei der Erklärung der Lebenserscheinungen das Hauptgewicht auf Kohlenstoff, resp. Kohlenwasserstoff und Sauerstoff zu legen. Das ist desshalb auch naturgemäss, weil die Lebensvorgänge nothwendig an das organische Molecül gebunden sind, das durch den Kohlenstoff charakterisirt ist und weil sie zweitens im Wesentlichen Oxydationsprocesse darstellen.

Wir sind aber ferner von der Voraussetzung ausgegangen, die von jeher alle Biologen instinctiv und richtig gemacht haben, dass der Lebensprocess durch die Metamorphose eines stickstoffhaltigen Molecüles, namentlich des Eiweisses, wesentlich bedingt sei.

Wenn man die Zersetzungsproducte dieses merkwürdigsten aller Körper untersucht, wie sie durch einfache chemische Behandlung erhalten werden, so folgt daraus mit absoluter Gewissheit, dass in ihnen der bei Weitem grösste Theil des Kohlenstoffs in einfacher, also nicht sehr fester Bindung enthalten ist. Es gehören fast alle Radicale ganz sicher zur Fettgruppe.

Die Bruchstücke, die bei der Zersetzung des Eiweisses auftreten, sind ferner zum sehr grossen Theil ganz sicher Bruchstücke von Fett- oder Kohlenhydratmolecülen, wie dies durch alle Forscher übereinstimmend bezeugt wird und noch in der neuesten Zeit durch die ausgezeichneten Arbeiten von Ritthausen ¹⁾ sowie von Hlasiwetz und Habermann ²⁾ erhärtet worden ist. Die durch einfache chemische Behandlung und Oxydation erhaltenen Zersetzungsproducte, welche hier zu erwähnen wären, sind einmal die einbasischen homologen Säuren wie Capronsäure, Valeriansäure, Buttersäure, Propionsäure und Essigsäure, ferner die zweibasischen wie Fumarsäure, Oxalsäure und nach Berzelius auch die Zucker-

1) H. Ritthausen, Die Eiweisskörper der Getreidearten, Hülsenfrüchte und Oelsamen. Bonn 1872, pg. 212 u. folgte.

2) H. Hlasiwetz und J. Habermann, Ueber die Proteinstoffe. — Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 159, pg. 304. 1871. — Ueber die Proteinstoffe im Anzeiger der Wiener Academie. 1872, pp. 114. — Ueber die Proteinstoffe. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. 169, p. 150. — Wiener Anzeiger 1873 Nr. 15.

säure, ferner die stickstoffhaltigen Säuren, wie Asparaginsäure, und Amine, wie Caprylamin u. s. w., die ich später betrachten will.

Daraus folgt aber, dass, da der thierische Körper die Mittel zur Spaltung der Fette, wie man am pancreatischen Saft sieht, besitzt, und auch Synthesen vollzieht, was z. B. das Haemoglobin evident beweist, ein Eiweissmolecül sich in dem thierischen Organismus auf Kosten von Fetten und Kohlenhydraten regeneriren kann. Das ist wahrscheinlich die wesentliche Bedeutung dieser Satelliten des Eiweissmolecüles. Das macht auch verständlich, dass alles lebendige, besonders das wachsende Protoplasma Fette consumirt. Da die Processe der Oxydation des lebendigen Eiweissmolecüles hauptsächlich im Bereich der Kohlenwasserstoffradicale ablaufen, so kann bei Gegenwart von Fett und Kohlenhydraten das Eiweissmolecül sich regeneriren. So erklärt sich die Ersparniss an Umsetzung des Stickstoffs und die Fettansammlung bei abnehmender Muskelarbeit. So versöhnen sich auch die entgegenstehenden Ansichten über die Quelle der Muskelkraft.

Nur vermöge der nicht so festen Bindung des Kohlenstoffes, wie sie den Radicalen der Fettgruppe zukommt, waren die Phänomene des Lebens möglich.

Worauf ich nun ein schweres Gewicht legen möchte, ist, dass die **stickstofffreien** Oxydationsproducte, welche der Chemiker auf künstliche Weise erhält, im Wesentlichen mit denjenigen übereinstimmen, welche sich durch die Lebensprocesse im thierischen Organismus erzeugen. Diese Producte entstehen im Wesentlichen in gleicher Art, welches auch die specielle Methode ist, nach welcher die Proteinsubstanz oxydirt wird. Es wird sich alsbald zeigen, wesshalb dies besonders wichtig ist. Daraus folgt zunächst, dass das lebendige Eiweiss in dem Bereiche seiner Kohlenwasserstoffradicale nicht wesentlich verschieden vom Nahrungseiweisse ist.

Wir sehen ferner, dass der kleine Theil des Kohlenstoffes, der im Eiweiss in fester Bindung ist, d. h. der die aromatischen Radicale bildende, im thierischen Organismus weder zersetzt noch oxydirt wird. Diese nur in den Pflanzen entstehende Gruppe durchheilt desshalb ungeändert den thierischen Körper. Denn seine oxydirenden und zersetzenden Kräfte sind zu schwach, um diese in doppelter Bindung befindlichen Atome des Kohlenstoffes sich nutzbar zu

machen. Auch hier verhält sich die auf einfache Art vollzogene künstliche Oxydation wesentlich ebenso, wie die im lebendigen Körper; es wird Tyrosin, resp. Benzoësäure, Paraoxybenzoësäure u. s. w. erhalten.

Nach Erörterung der Functionen der betrachteten Atome des lebendigen Eiweissmolecûles bleibt uns noch ein Element, das sicher eine hochwichtige Rolle spielt: das ist der Stickstoff.

Nach den Untersuchungen von Hlasiwetz und Habermann ¹⁾ haben wir unter den durch einfache chemische Behandlung erhaltenen Spaltungsproducten einmal Amine: wie

Caprylamin ($C_8H_{17}.NH_2$),
 Amylamin ($C_5H_{11}.NH_2$),
 Butylamin ($C_4H_9.NH_2$),
 Propylamin ($C_3H_7.NH_2$),
 Aethylamin ($C_2H_5.NH_2$),
 Methylamin ($CH_3.NH_2$).

Das sind also lauter Ammoniake mit zur Fettgruppe gehörenden Alkoholradicalen.

Ausser diesen werden erhalten Aminsäuren ²⁾ wie Leucin $C_6H_{10}\left\{\begin{smallmatrix} NH_2 \\ CO_2H \end{smallmatrix}\right.$, Glycocoll $CH_2\left\{\begin{smallmatrix} NH_2 \\ CO_2H \end{smallmatrix}\right.$, Glutaminsäure $C_5H_9.NH_2\left\{\begin{smallmatrix} CO_2H \\ CO_2H \end{smallmatrix}\right.$ und Asparaginsäure $C_4H_7.NH_2\left\{\begin{smallmatrix} CO_2H \\ CO_2H \end{smallmatrix}\right.$, alle mit zur Fettgruppe gehörigen Radicalen, endlich aber auch eine zur aromatischen Gruppe zu zählende Aminsäure, nämlich Tyrosin $C_9H_9\left\{\begin{smallmatrix} NH.C_6H_5 \\ OH \\ CO_2H \end{smallmatrix}\right.$

Hieraus folgt nun im Gegensatz zu dem, was wir früher mit Rücksicht auf die stickstofffreien Zersetzungsproducte sagen konnten, dass die stickstoffhaltigen in ihrer überwiegenden Menge gar keine entfernte Aehnlichkeit mit der Hauptmasse der im lebendigen Körper entstehenden haben.

Die beiden tiefsten Kenner der Eiweissstoffe, Hlasiwetz und Habermann, sagen, dass Harnsäure und Harnstoff, die im Wesentlichen die stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte des im leben-

1) Hlasiwetz und Habermann a. a. O. Bd. 159, p. 332.

2) Hlasiwetz und Habermann a. a. O. p. 332 und 333.

digen Körper oxydirten Eiweissmoleculen sind, noch nicht hergestellt werden konnten, wesshalb diese Forscher Thatsachen aufzufinden versuchen wollen, die für die Erklärung auch dieser Art von Umsetzung verwerthet werden könnten ¹⁾).

Den Keim der wahren Lösung dieses schwierigen Problems finde ich in einer Arbeit von Justus v. Liebig ²⁾ über die Gährung, über die Quelle der Muskelkraft und über Ernährung. Mit wahrhaft prophetischer Genialität deutet er hier die Grundzüge des thierischen Stoffwechsels an, indem er hervorhebt, dass die Bildung der Kohlensäure kein gewöhnlicher Oxydationsprocess sei und die Erzeugung der Harnsäure und des Harnstoffes wohl ebenso wenig in diese Kategorie gehöre (p. 76, 78, 86 und 87). Ihm scheint plausibler, diese Körper durch Spaltung entstehen zu lassen, wie auch ich oben die Kohlensäurebildung als einen Dissociationsprocess bewiesen habe.

Die merkwürdigste Aeusserung Liebigs ist aber die über den Muskel, also über organisirtes Eiweiss (l. c. p. 75).

„Es könnte sein, dass die Maschine, die wir Organismus nennen, eine viel vollkommenere Einrichtung — — vielleicht so vollkommen wie ein menschliches Werk, eine Uhr besässe, die wir z. B. durch Aufziehen jeden Tag mit Kraft, ähnlich wie den Körper mit Speise versehen und die so eingerichtet ist, dass sie drei oder mehr Tage Arbeit verrichten kann, ohne weitere Zufuhr von Kraft, in Folge von angesammelter Kraft; für die Erhaltung des Ganges ist es in beiden Fällen nothwendig, nach Verlauf einer gewissen Zeit die zur Bewegung verbrauchte Kraft wieder zu ersetzen; aber einmal vollständig aufgezo-gen, ist bis zu einer gewissen Grenze der Ersatz nicht nothwendig.“ Ich erinnere zur Illustration an meine Frösche, bei denen lange Zeit ohne freien Sauerstoff alle Lebensfunctionen ihren ungestörten Fortgang nahmen.

Die andere merkwürdige Aeusserung Liebigs, in der er darlegt, wie er sich diese Aufsammlung von Kraft denken würde, weist darauf hin, dass es eine Menge von Fällen gäbe, in denen mecha-

1) Hlasiwetz und Hermann, Ueber die Proteinstoffe in den Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. 159, pag. 333.

2) Justus v. Liebig, Ueber die Gährung, über die Quelle der Muskelkraft und über Ernährung. Sitzungsberichte der königlich baierischen Akad. d. Wissensch. 1869, II. 4.

nische oder Bewegungseffecte hervorgebracht werden durch eine innere oder Molecularbewegung (p. 85).

Indem er desshalb mit vollem Rechte läugnet, dass gewöhnliches Eiweiss in der von ihm erzeugten Verbrennungswärme ein Maass liefere, für die in dem Muskeleiweisse, dem organisirten, enthaltene Kraft, sieht man, wie er sich darüber klar ist, dass das nicht lebendige Eiweiss beim Uebergange in den lebendigen Zustand eine Veränderung seines Molecüles erfährt. Ich glaube fest, das muss so sein; — die Thatsachen, welche mir dies zu beweisen scheinen, sind folgende.

Wenn sich der Chemiker gestattet — und mit Recht thut er es unter gewissen nothwendigen Cautelen — aus den Zersetzungsproducten, resp. den Radicalen, die in denselben enthalten sind, auf die Constitution eines Molecüles zu schliessen, so sehen wir, dass bei Vögeln, Schlangen und vielen anderen Thieren fast aller. aus dem lebendigen Körper, also den Zellen stammende Stickstoff in der Harnsäure enthalten ist. In der Harnsäure ist aber ebenso sicher ein sehr grosser Theil des Stickstoffs in Cyan gebunden, d. h. mehrere stickstoffhaltigen Radicale sind Cyan. Wer kann denn die Bedeutung der Thatsache verkennen, dass nicht bloss die Harnsäure, sondern viele andere stickstoffhaltige Producte der regressiven Metamorphose, wie z. B. Kreatin, Kreatinin, Guanin, und doch auch Hypoxanthin, Xanthin u. s. w. das Radical Cyan enthalten? Ich behaupte desshalb, dass das lebendige Eiweiss den Stickstoff grossentheils nicht in der Form des Ammoniaks, sondern des Cyans enthält. Auch die im Speichel vorkommende Sulfoacyanensäure weist uns auf das Cyan des lebendigen Eiweisses hin und gibt einen Wink über die Art der Bindung des Schwefels in dem Eiweissmolecüle. Keines dieser Zersetzungsproducte des lebendigen Eiweissmolecüles, die zum Theil aus **Cyanverbindungen** künstlich wirklich dargestellt wurden, ist jemals aus todttem Eiweiss erhalten worden. Die Ahnung Liebigs heisst also specialisirt: bei der Bildung von Zellsubstanz, d. h. von lebendigem Eiweiss aus Nahrungseiweiss findet eine Veränderung desselben, wahrscheinlich mit gleichzeitiger bedeutender Wärmebindung statt, indem die Stickstoffatome mit den Kohlenstoffatomen in cyanartige Beziehungen treten, um beim Absterben wieder in den stabileren Zustand der Amide zurückzukehren. Weil man das stabile Nahrungseiweiss bis jetzt nicht künstlich lebendig machen

kann, erhält man auch unter den Zersetzungsproducten weder Harnsäure noch die zu dieser Gruppe wesentlich gehörenden Körper, es sei denn, dass sie wie das Glycocoll den Stickstoff in der Form des Ammoniaks enthalten. Ich meine, das müsste doch für jeden Chemiker sonnenklar sein, dass lebendiges Eiweiss in seinen stickstoffhaltigen Radicalen eine andere Structur als Nahrungseiweiss haben muss, welches nur Object der chemischen Analyse sein kann.

Bei den Säugethieren und dem Menschen bildet die Harnsäure und die ihr nahestehenden Körper wenigstens im Harne nur einen sehr kleinen Theil der stickstoffhaltigen Spaltungsproducte des lebendigen Eiweisses, die fast ganz im Harnstoffe enthalten sind, der in der That ein Amid ist.

Aber die Physiologie lehrt uns, dass die analogen Organe der Vögel, Amphibien und Säugethiere in ihrer Zusammensetzung und in ihren Leistungen keine wesentlichen Unterschiede darbieten, weshalb es nicht denkbar ist, dass das lebendige Eiweiss z. B. im Muskel des Vogels wesentlich anders gebaut wäre, als in dem des Säugethieres oder des Menschen. Das Wichtigste aber ist, dass der Harnstoff, wie heutigen Tages wohl mit aller Sicherheit behauptet werden kann, durch Oxydation von nicht lebendigem Eiweiss, mit dem es ja der Chemiker zu thun hat, nicht erhalten werden kann, wohl aber auch durch Spaltung und Metamerie aus Cyanverbindungen, wie aus Harnsäure, Kreatin, Kreatinin, cyansaurem Ammonium u. s. w. — Das cyansaure Ammonium repräsentirt uns ein Stück Lebensprocess, den letzten Ablauf der aufgezogenen Uhr, denn es geht von selbst in die stabilere Verbindung des Harnstoffes über. Ich glaube sonach: es kann kein Zweifel bestehen, dass das lebendige Eiweiss aus demselben Grunde Harnsäure bilden kann, aus welchem es Harnstoff erzeugt, weil es **Cyan** als Radical enthält. Dass direct Harnstoff vom Eiweissmolecul sich ablöst, ist unwahrscheinlich. Ich habe indirecte Beziehung im Auge.

Betrachtet man also die stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte, so erkennt man, dass im lebendigen Organismus die Körper der regressiven Metamorphose ihren Stickstoff aus dem cyanartigen in den Ammoniakzustand überzuführen bestrebt sind.

Diese Erkenntniss, die mir als kaum bezweifelbar erscheint, eröffnet uns weitere Gesichtspunkte.

Die Chemie zeigt, dass der Stickstoff, wenn er mit 2- oder 4werthigen Atomen in chemische Beziehung tritt, wie das ja beim

Eiweissmoleküle des 4werthigen Kohlenstoffs halber der Fall ist, eine ausgesprochene Neigung zur Bildung von Polymerisirungen darbietet.

Gerade das Cyan gibt uns ein lehrreiches Beispiel, ganz ebenso die Cyansäure. Zur Verkuppelung der assimilirten, d. h. zu Zellsubstanz verwandelten, also lebendigen Eiweissmoleküle; kann man wohl an das Cyan denken, wenn man nicht vorzieht, diejenigen Atomgruppen des Eiweissmoleküles, welche den Kohlenhydraten entsprechen, diese Condensation vermitteln zu lassen.

Eine andere Folgerung von noch viel grösserem Gewichte, die Liebig ebenfalls, wie wir sahen, im Princip vorahnte, ist die, dass durch Einführung des Cyans in das Eiweissmolekül ein mit grosser Kraft ausgerüstetes Radical auftritt. Dies wird wesentlich gestützt dadurch, dass 1 Gramm Kohle im Cyan 43 % mehr Verbrennungswärme entwickelt, als 1 Gramm freier Kohlenstoff. Abermals aus diesem Grunde muss angenommen werden, dass bei der Verwandlung von Nahrungseiweiss in lebendiges Eiweiss, d. h. in Zellsubstanz, Arbeit geleistet wird.

Da ein Eiweissmolekül selbst dann, wenn man den Schwefel = 1 setzt, viele Stickstoffatome enthält, so ergiebt sich, dass durch die vielen Cyanradicale ein Moment innerer starker Bewegung in die lebendige Materie eingeführt worden ist.

Wenn nach eingetretenem Tode die lebendigen Moleküle in den stabileren Zustand übergehen, d. h. Amidbildung eintritt, dann muss die intramoleculare Bewegung vermindert werden. So erkläre ich mir die stets mit der Starre eintretende Erhitzung des Muskels, obwohl bekanntlich gar keine Spur von freiem Sauerstoff in dem abgestorbenen Körper sich befindet. Man könnte sagen, es wandle sich der letzte Rest des Lebens in gemeine Wärme um.

Hlasiwetz und Habermann haben in neuerer Zeit die ausserordentliche und vielfache Aehnlichkeit, welche zwischen den Kohlenhydraten und Proteinkörpern existirt, in anziehender Weise mit Recht hervorgehoben ¹⁾. Diese Uebereinstimmung ist wohl keine zufällige und hat ihren Grund in den im Eiweissmolekül enthaltenen Fragmenten von Kohlenhydraten.

1) Hlasiwetz und Habermann. Ueber die Proteinstoffe in Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 159, pag. 306 u. flgde.

Ich möchte nun zu dieser bedeutsamen Analogie noch aufmerksam machen auf die ganz **merkwürdige** Aehnlichkeit der Cyansäure mit dem lebendigen Eiweiss, d. h. der Zellsubstanz. Diese Aehnlichkeit ist so gross, dass ich die Cyansäure für ein halblebendiges Molecül bezeichnen möchte. Einmal hat auch die Cyansäure wie die Kohlenhydrate ausgesprochene Neigung, condensirte Molecüle durch Polymerisirung zu bilden, analog wie das Eiweiss. Das Molecül wächst z. B. zu Cyamelid heran. In Berührung mit Wasser zersetzt sich die Cyansäure analog wie die lebendige Materie in Kohlensäure und Ammoniak. Es ist ja sehr möglich, dass auch im lebendigen Organismus das Wasser bei der Oxydation eine wesentliche Rolle spielt. (Es scheint ja für die Betrachtung ganz gleichgültig, ob die gebildete Kohlensäure ein Atom eingeathmeten und ein zweites Atom Sauerstoff enthält, welches aus dem Wasser stammt wenn nur ein drittes Atom Sauerstoff wieder mit den durch die Wasserzersetzung freigewordenen Wasserstoffatomen sich verbindet.) — Cyansaures Ammonium liefert wie die lebendige Materie nicht durch Oxydation, sondern durch intramoleculare Dissociation, welche Metamerie vermittelt, Harnstoff. — Wie lebendiges Eiweiss ist die Cyansäure bei niederer Temperatur durchsichtig, beweglich und klar und wird besonders wie lebendiges Eiweiss bei mässiger Erwärmung undurchsichtig und fest. Diese Temperaturen liegen allerdings bei der Cyansäure etwas tiefer als bei lebendigem Eiweiss. Die durchsichtigen Muskeln und eiweisshaltigen Gewebe der Kaltblüter werden indessen schon bei Temperaturen trübe und fest d. h. coaguliren, die noch unter der des Blutes der Warmblüter liegen. Es gibt noch mehr Uebereinstimmungen.

Mit Rücksicht auf die Frage, wie im Eiweisse bei der Gewebebildung die Cyanbildung sich vollzieht, möchte ich an die vielfach bei dem thierischen Stoffwechsel constatirten Veränderungen im Wassergehalt der Molecüle erinnern. Da sich nun die Nitrile durch Austritt von Wasser aus Ammoniaksalzen und Amiden bilden, so liegt die Annahme nahe, dass es sich um Nitrilirung oder einen analogen Vorgang handele. Diess wird noch gestützt dadurch, dass bei Behandlung von Eiweiss mit Braunstein und Schwefelsäure wirklich Nitrile erhalten worden sind, wie Acetonitril, Propionitril und Valeronitril ¹⁾. Dieses hat seinen Grund in der wasserent-

1) Hlasiwetz und Habermann. Ueber die Proteinstoffe in den Annal. d. Chemie u. Pharmacie. Bd. 159, pag. 309.

ziehenden Kraft der Schwefelsäure. Die Nitrile sind bekanntlich die Cyanide von Alkoholradicalen. Auf einem analogen Wege wären vielleicht Harnstoff und Repräsentanten der Harnsäuregruppe aus Eiweiss zu gewinnen.

Der Uebergang des lebendigen in das gewöhnliche Eiweiss würde demnach in einer Aufnahme von Wasser bestehen.

Es ist nun noch ein Punkt, der mir von der Voraussetzung aus, dass in dem lebendigen Eiweiss Cyanradicale enthalten sind, erwähnenswerth scheint. Eigenthümlich ist bei dem thierischen Stoffwechsel, wie ich bereits oben hervorhob, dass bei der Oxydation im Grossen und Ganzen immer ein Kohlenstoffatom nach dem anderen abtritt, was bei aller künstlichen bekanntlich sehr viel weniger der Fall ist.

Da von uns als wesentlicher Unterschied zwischen lebendigem Eiweiss und demjenigen in der Retorte des Chemikers der Cyangehalt des ersteren erkannt wurde, so suche ich die Ursache der Kohlensäurebildung im Cyan, sei es primär, sei es secundär.

Wenn Atome in einem Molecule in heftige Oscillationen gerathen, so nähern sie sich denjenigen Lagen, die sie in den Status nascens bringen. Worauf kann die begünstigende Wirkung, welche die Wärme auf die chemischen Umsetzungen ausübt, naturgemässer zurückgeführt werden, als auf diesen Umstand? Aber auch bei gleicher Temperatur der Substanz oxydirt sich diejenige mit starker intramolecularer Bewegung leichter als eine solche mit schwächerer. Ein schönes Beispiel gibt uns das Cyan selbst.

Denn das Cyan ist sehr leicht verbrennlich. Geht es nun in das polymere Paracyan über, so wird es schwer verbrennlich. Warum? Beim Uebergang von Cyansilber in Paracyansilber wird eine so grosse Menge Wärme frei, dass die Masse in ein sichtbares Glühen geräth. Man sieht also, wie ungeheuer viel Kraft in dem Cyane als intramolecular Bewegung steckt. Ist diese ausgetreten, so haben die Paracyanmolecüle nun viel leisere Schwingungen und gerathen nicht mehr in einen dem status nascens nahen Zustand.

Sobald also in dem lebendigen Eiweiss ein Radical wie das Cyan gebunden ist, dessen Atome in den mächtigsten Oscillationen sich befinden, wird dasjenige Kohlenatom, das dem Stickstoff am nächsten ist, oder vielleicht dasjenige, das überhaupt dem Cyanradicale am meisten benachbart, sich auch periodisch dem status nascens

nähern und bei günstiger Gelegenheit und Annäherung zweier Sauerstoffatome mit ihnen austreten als Kohlensäure, wobei ich mir denke, dass die Kette sich sofort wieder schliesst, so dass ein neues Kohlenatom an den Stickstoff oder das Cyan heranrückt. Die Bewegungen der Atome des lebendigen Eiweissmolecüles werden aber wesentlich durch noch einen Umstand vermittelt, dessen Kraft die Kohlensäurebildung liefert.

Da die Kohlensäure intramolecular entsteht, so ist es klar, dass in dem Momente, wo in dem Eiweissmolecül diejenige chemische Spannkraft verbraucht ist, welche die Kohlensäurebildung ermöglicht, eine bedeutende Steigerung der Temperatur in dem neugebildeten Kohlensäuremolecül eintritt. Das heisst: die dieses Molecül zusammensetzenden Atome gerathen in ungeheure Schwingungen, als ob gleichsam das Kohlensäuremolecül im Moment seiner Entstehung explodirte. So muss sich im lebendigen Eiweissmolecüle eine fortlaufende Kette von kleinen Explosionen vollziehen, deren Stösse die intramolecularen Schwingungen verstärken, so etwa wie es im Grossen bei den singenden Flammen der Fall ist.

Die Ansichten, zu denen wir über die Constitution des lebendigen Eiweissmolecüles geführt worden sind, werfen, wie ich glaube, ein Licht auf die Art, wie die lebendige Materie wohl entstanden sein mag.

Wenn man an den Anfang des organischen Lebens denkt, muss man nicht Kohlensäure und Ammoniak primär in das Auge fassen. Denn beide sind das Ende des Lebens, nicht der Anfang, weil sie höchst stabile Molecüle darstellen, soweit man bei dynamischem Gleichgewicht von Stabilität reden kann. Da der Lebensprocess wesentlich die Möglichkeit der Kohlensäurebildung voraussetzt, so kann Leben von der Kohlensäure keinen Ausgang nehmen.

Der Anfang liegt vielmehr im Cyan. — Wie entsteht Cyan?

Der frische Stickstoff der Luft ist fähig, wenn er mit einem stark glühenden Gemenge von Kalium und Kohle oder mit einem bis zur Weissgluth erhitzten Gemenge von Kali oder kohlen saurem Kali und Kohle zusammenkommt, Cyan-Kalium zu bilden. — Die Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs — Salpetersäure bildet sich z. B. ja bei Gewittern — liefern ferner unter ähnlichen Bedingungen weit leichter Cyanverbindungen. — Ferner: Ammoniak über glühende Kohle geleitet bildet Cyanammonium; ebenso ein Gemenge von

Kohlenoxyd und Ammoniak in Berührung mit glühendem Platinschwamm. — Ferner: Wird Ammoniak über ein glühendes Gemenge von kohlensaurem Kali und Kohle geleitet, oder wird Salmiak mit kohlensaurem Kali und Kali geglüht, so erhält man Cyankalium. — Ferner: Wenn Kohlenoxydgas mit Kalihydrat längere Zeit erhitzt wird, bildet sich ameisensaures Kali, welches sich mit einem Ammoniumsalz in ameisensaures Ammonium umsetzen kann. Ameisensaures Ammonium liefert beim Erhitzen für sich oder mit wasserentziehenden Substanzen unter Verlust von Wasser: Cyanwasserstoff, Cyan oder Cyansäure¹⁾.

Es ist sonach nichts klarer, als die Möglichkeit der Bildung von Cyanverbindungen, als die Erde noch ganz oder partiell in feurigem oder erhitztem Zustande war. Ich stelle mir vor, man müsse daran denken, dass die Abkühlung auf der Erdoberfläche nicht gleichförmig geschah und dass einzelne Distrikte, die sich abgekühlt hatten, auch wieder erhitzt werden konnten u. s. w.

Ebenso ist principiell zu begreifen, was kein Chemiker leugnen wird, die Entstehung der anderen wesentlichen Constituenten des Eiweissmoleküles, nämlich zahlloser Kohlenwasserstoffe, resp. Alkoholradicale ohne irgend welche Vermittelung lebendiger Materie durch synthetische Bildungen. Nachdem wir die Bedingungen der Synthese des Cyans kennen gelernt, fragen wir nach denen der Kohlenwasserstoffe.

Wenn Schwefelkohlenstoffdampf mit Schwefelwasserstoff über glühende Metalle geleitet wird, so entsteht Aethylen. Wenn Schwefelkohlenstoff mit Schwefelwasserstoff oder auch mit Wasserdampf auf glühende Metalle geleitet wird, entsteht auch, wie Berthelot²⁾ fand, Methylwasserstoff. Kohlenstoff und Wasserstoff vereinigen sich unter Mitwirkung electrischer Entladungen zu Acetylen, und dieses giebt mit Sauerstoff Oxalsäure. Beim Durchleiten einer Mischung von Methylwasserstoff und Kohlenoxydgas durch eine glühende Röhre erhält man Propylen. Bei Destillation von ameisensaurem Baryt wird nach Berthelot³⁾ Sumpfgas, Aethylen und Propylen gebildet. Bei Destillation von ameisensaurem Natron, das

1) S. August Kekulé. Organische Chemie. 1867. Bd. I. p. 309.

2) M. Berthelot. Annales de Chimie et Phys. L. III. [3].

3) Marcellin Berthelot. Chimie organique fondée sur la synthèse. Paris 1860. T. I. p. 83.

sich leicht aus den Elementen erzeugt, mit Natronkalk, entstehen Methylwasserstoff, Aethylen, Butylen, Amylen u. s. w.¹⁾

Da das Eiweiss sicher den Benzolkohlenkern enthält, weil durch einfache chemische Behandlung aus Eiweiss immer Benzoësäure und Derivate derselben gewonnen werden können, so hat für uns die Synthese der aromatischen Kohlenwasserstoffe noch besonderes Interesse.

Bei der zerstörenden Wirkung der Hitze aus einer grossen Zahl selbst der allereinfachsten Körper der kohlenstoffärmeren Classe von Verbindungen, entstehen Substanzen, welche der durch höheren Kohlenstoffgehalt ausgezeichneten Körperklasse angehören. Kekulé¹⁾ sagt, dass die Hitze den Kohlenstoff zu solch dichter Aneinanderlagerung geneigt macht.

Bei den hohen Hitzegraden entstehen die einfachsten aromatischen Verbindungen, wie Benzol, Homologe etc., und bei noch höheren Hitzegraden das an Kohlenstoff noch reichere Naphthalin²⁾. Diese Thatsachen sind besonders durch Berthelot begründet³⁾.

Man sieht, wie ganz ausserordentlich und merkwürdig uns alle Thatsachen der Chemie auf das Feuer hinweisen, als die Kraft, welche die Constituenten des Eiweisses durch Synthese erzeugt hat. Das Leben entstammt also dem Feuer und ist in seinen Grundbedingungen angelegt zu einer Zeit, wo die Erde noch ein glühender Feuerball war.

Erwägt man nun die unermesslich langen Zeiträume, in denen sich die Abkühlung der Erdoberfläche unendlich langsam vollzog, so hatten das Cyan und die Verbindungen, die Cyan- und Kohlenwasserstoffe enthielten, alle Zeit und Gelegenheit, ihrer grossen Neigung zur Umsetzung und Bildung von Polymerieen in ausgedehntester und verschiedenster Weise zu folgen und unter Mitwirkung des Sauerstoffs und später des Wassers und der Salze in jenes selbstzersetzliche Eiweiss übergehen, das lebendige Materie ist.

Ich glaube also, dass von der leblosen zur lebendigen Natur ein Zwischenstadium führt.

Auch heute noch ist es ein glühender Himmelskörper, die

1) August Kekulé. Organische Chemie. Bd. I. p. 630.

2) August Kekulé. Organische Chemie. Bd. II. p. 527 u. fgd.

3) Berthelot. Annal. Chem. Pharm. LXXXI. 109; CVIII. 201 und Chimie organique fondée sur la synthèse. I. p. 73 u. fgd.

Sonne, die in weite Fernen den Pflanzen der Erde in dem Lichte die Kraft sendet, welche die Constituenten des Eiweisses in ihr erzeugt.

Es scheint mir, dass dies nicht unverständlich ist, wenn man, wofür Vieles spricht, annimmt, dass das Eiweiss in der Pflanze nicht anders als dadurch entsteht, dass das bereits vorhandene lebendige Eiweissmolecül auf Kosten bestimmter ihm gebotener Radicale oder Molecüle sich vergrössert, d. h. „wächst“; denn die Eiweissbildung in der Pflanze ist da, wo sie wächst, wo lebendiges Eiweiss ist.

Das „Wachsen“ der organischen Materie sieht man ja überzeugend an den fast endlosen Kohlenstoffketten mit ihren verschiedenartigsten Anordnungen, wie sie sich im Körper der Pflanze bilden. Diese Ketten sind aus ganz getrennten Kohlenatomen entstanden, die früher in der Kohlensäure enthalten waren. Der Kohlenstoff hat also in den lebendigen Molecülen eine grosse Neigung durch Kettenbildung ein Wachsen zu bedingen. Das Cyan besitzt diese Neigung aber auch in hohem Grade und zwar besonders wieder gegen Cyan. Aber auch dem Ammoniak geht sie eventuell nicht ab. Also haben die wesentlichen Elemente des lebendigen Eiweisses die ausgesprochenste Neigung, gleichartige Radicale anzuziehen und auf diese Weise immer grössere Molecüle zu erzeugen, d. h. zu wachsen.

Dass nun das lebendige Eiweiss in einer besonders bevorzugten Bedingung ist, um fortwährend neue gleichartige Elemente in sein Molecül einzufügen, geht aus meiner Theorie hervor, da die Kohlen- und Cyanradicale bei ihren Schwingungen immer in Phasen treten müssen, wo sie sich dem Zustand nähern, den wir in der Chemie als *status nascens* bezeichnen.

Demnach würde ich sagen, dass das erste Eiweiss, welches entstand, sogleich lebendige Materie war, begabt mit der Eigenschaft, in allen seinen Radicalen mit grosser Kraft und Vorliebe besonders gleichartige Bestandtheile anzuziehen, um sie dem Molecül chemisch einzufügen und so in infinitum zu wachsen. Nach dieser Vorstellung braucht also das lebendige Eiweiss gar kein constantes Moleculargewicht zu haben, weil es eben ein in fortwährender, nie endender Bildung begriffenes und sich wieder zersetzendes ungeheures Molecül ist, das sich wahrscheinlich zu den gewöhnlichen chemischen Molecülen wie die Sonne gegen ein kleinstes Meteor verhält.

Wenn man flüssiges Eiweiss untersucht, hat man es meist mit

abgerissenen Fetzen jener ungeheuren Molecüle zu thun, die wohl oft so gross wie ein ganzes Geschöpf sind. Diese Fetzen brauchen keine constante Zusammensetzung zu haben, es sei denn, dass man vorher durch chemische Eingriffe, d. h. Bildung von Zersetzungsproducten von endlichem Moleculargewicht gleich grosse Molecüle hervorruft.

In der Pflanze fährt also das lebendige Eiweiss nur fort zu thun, was es immer seit seinem ersten Entstehen that, d. h. sich fortwährend in allen seinen Theilen durch Anziehung von Gleichartigem zu regeneriren oder zu wachsen, weshalb ich glaube, dass alles heute in der Welt vorhandene Eiweiss direct von jenem ersten abstammt. Deshalb zweifle ich an der *Generatio spontanea* in der gegenwärtigen Zeit; auch die vergleichende Biologie deutet unverkennbar darauf hin, dass alles Lebendige aus nur einer einzigen Wurzel seinen Ursprung genommen hat.

Wenn ich somit zum Schlusse meine Hypothese zusammenfassen soll, so sage ich: »Der Lebensprocess ist die intramoleculare Wärme höchst zersetzbarer und durch Dissociation — wesentlich unter Bildung von Kohlensäure, Wasser und amidartigen Körpern — sich zersetzender, in Zellsubstanz gebildeter Eiweissmolecüle, welche sich fortwährend regeneriren und auch durch Polymerisirung wachsen.«

Sollte ich aber in einem Bilde, das allerdings sehr unvollkommen ist, meinen Gedanken erläutern, so würde ich mir eine unermesslich grosse Zahl kleiner verschieden abgestimmter Harfen denken. Ich würde annehmen, dass alle diese Instrumente zu einer grossen Masse fest zusammengeschraubt wären, so aber, dass alle Saiten dadurch im freien Schwingen nicht behindert werden. Dann dächte ich mir mit einem Hämmerchen fortwährende Schläge gegen das ganze System ausgeübt, so dass alle Saiten in Schwingungen gerathen und alle Harfen ihren Klang angeben. Die Harfen repräsentiren die lebendigen Eiweissmolecüle, die Schwingungen das Leben, d. h. die intramoleculare Wärme, die Stösse des Hammers die Wärme, welche die Schwingungen dauernd erhält, richtiger, ihren Verlust an lebendiger Kraft ausgleicht. Im Körper existirt nun, wie an einem Klavier für jede Saite ein Hämmerchen, für jedes Molecül auch eines oder mehrere. Die Kraft des Stosses, durch

welche im Körper die Schwingungen erzeugt und erhalten werden, ist wesentlich durch die Kohlensäurebildung bedingt.

Wie ich oben zeigte, erzeugt die Kohlensäurebildung kleine Explosionen, deren Stösse das Molecül in stärkere Vibration versetzen, wie das ähnlich im Grossen bei den singenden Flammen geschieht.

Deshalb erlischt der specifische Lebensprocess, was unsere Versuche mit den Fröschen gelehrt haben, mit dem Moment, wo die Kohlensäurebildung aufhört, weil aller, oder doch der hierzu bestimmte Sauerstoff verbraucht ist. Die Kohlensäurebildung liefert uns also die Kraft, welche das Instrument spielt. Deshalb findet sich immer in allen Zellen die Bildung derselben Kohlensäure, obwohl doch die Leistung so verschieden ist, weil die Leistung die Musik ist, welche von der Stimmung des Instrumentes abhängt.

Ich betone aber endlich nochmals, dass obiges Bild sehr unvollkommen ist und nur eine Seite der Verhältnisse darstellt.

Das Bild giebt keine klare Vorstellung von meiner Ansicht, dass die verschiedenen Molecüle mit Hülfe chemischer Verknüpfung zu Netzen verbunden sind, durch deren Stränge Oscillationen sich leicht von einer Stelle zu der anderen fortpflanzen.

Es ignorirt das Bild ferner die Massenbewegungen, wie sie in Folge der Contractilität und Secretion beobachtet werden. Hierbei setze ich voraus, dass in Dissociation begriffene, einer Faser jenes Netzes zugehörige Atome, welche also noch festgehalten werden von den Kräften des zugehörigen Molecüles, eine Anziehung äussern zu ebenfalls in Dissociation begriffenen, aber ebenfalls noch festgehaltenen Atomen eines anderen Molecüles, welches zu einer benachbarten Faser desselben Netzes gehört. Nachdem die chemische Verbindung der beiden Fasern angehörigen Atomen zu einem geschlossenen Molecül sich vollzogen hat, erlischt natürlich die Anziehung, welche durch diese Atome erzeugt war. Die feinen Maschen des Netzes hat man sich mit wässrigen Lösungen getränkt vorzustellen.

Ich habe oben, um den Gang der Darstellung nicht zu unterbrechen, einen Punkt unerörtert gelassen, der sich auf die tiefe Verwandtschaft des pflanzlichen und thierischen Lebens bezieht. Hierbei muss man ganz von der Form absehen, die absolut unwesentlich ist.

Erscheinen doch Medusen und Polypen äusserlich viel eher wie Pflanzen, denn wie Thiere.

Thier und Pflanzen bestehen aus denselben Elementarorganen: Zellen oder zellenartiger Substanz, die, so lange sie activ ist, bei beiden dieselbe Zusammensetzung aus Protoplasma und gewöhnlich auch Zellkernen darbietet. Diese Elementarorgane wachsen und vermehren sich in beiden Reichen auf ganz dieselbe Art. Der Act der Zeugung ist bei Pflanzen und Thieren durchaus analog. — Der Lebensprocess in beiden Reichen setzt eine fortwährende Respiration mit Einathmung von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure voraus. Ja, die Zersetzungsproducte des Eiweisses, welche zur Harnsäuregruppe gehören, treten auch bei den Pflanzen auf.

Der früher — in Folge der Anschauungen Liebig's — besonders betonte Unterschied ist kein principieller. Die Pflanze besitzt — wie das Thier — auch die Fähigkeit, in ihrem Körper Reductionsprozesse zu vermitteln. Es kommt aber ihrem eigentlichen Lebensprocess diese Fähigkeit wahrscheinlich in nicht höherem Maasse als dem Thiere zu. Denn nur das Sonnenlicht vermag in den grünen Organen der Pflanze Kohlensäure etc. zu zerlegen; am Tage wird die thierische Respiration der Pflanze durch die Arbeit der Sonne verdeckt.

Man kann also nur sagen, dass Reductionsprozesse in beiden Reichen vorkommen, und dass bei der Pflanze besonders starke derartige Arbeit in bestimmten Organen durch die Sonne geleistet wird.

Chemische Synthesen kommen im Körper des Thieres ebenso gut als in dem der Pflanzen vor. In Folge der vielen durch die Arbeit der Sonne erzeugten, in statu nascenti befindlichen Radicalen muss aber die Synthese im Pflanzenkörper in viel ausgedehnter Weise begünstigt sein.

Was endlich die Bewegung betrifft, so giebt es Thiere, die kaum beweglich sind, und Pflanzen, die sich lebhaft bewegen und auf äussere Einwirkungen zweckmässig reagiren. Fast alle Pflanzen sind aber mehr oder weniger beweglich.

§ 7. Widerlegung der Untersuchungen und Theorien von C. Ludwig und Al. Schmidt.

Es handelt sich jetzt darum, diejenigen Thatsachen zu würdigen, welche mit meinen Ansichten von der Respiration unverträglich erscheinen. Sie sind es besonders, auf welche C. Ludwig's Vorstellungen und Theorien beruhen. Die bezüglichlichen Untersuchungen

wurden von C. Ludwig und Alexander Schmidt im Leipziger Laboratorium gemeinsam angestellt und 1869 veröffentlicht.

In diesen Untersuchungen¹⁾ gelangen diese Forscher zu dem Ergebniss, dass der Sauerstoffverbrauch im Muskel nahezu proportional mit der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes wachse. Ich habe bereits früher²⁾ mich gegen diesen Satz ausgesprochen und vielmehr als richtig die Unabhängigkeit des Sauerstoffverbrauches von der Geschwindigkeit des Blutstromes hervorgehoben. Verschiedener können zwei Ansichten kaum gedacht werden. Eine muss falsch sein und es handelt sich hier um eine principielle Frage, um die Entscheidung, ob mehr organische lebendige Substanz eines Organes verbrannt wird, wenn man mehr Sauerstoff zuführt. Die Entscheidung gegen mich würde die Berechtigung meiner Deductionen widerlegen.

In Wahrheit aber ist es nicht schwer, theoretisch und experimentell zu zeigen, dass die Versuche C. Ludwig's und Alex. Schmidt's eine ganz andere Erklärung verlangen, als sie von diesen Forschern gegeben ist.

Die Art, wie sie die Versuche angestellt haben, bestand darin, dass sie durch die ausgeschnittenen Musculi biceps und semitendinosus eines soeben getödteten Hundes einen Strom defibrinirten Blutes leiteten und das aus den Venen hervorquellende Blut in geeigneter Weise unter Luftabschluss auffingen, seine Menge bestimmten und auf seinen Gasgehalt untersuchten. Da ihnen der Sauerstoffgehalt des durch die Arterie zugeleiteten Blutes bekannt war, so ergab sich leicht der Sauerstoffverlust, den das Blut beim Durchströmen der Muskeln erlitten hatte. Sie stellten nun verschiedene Strömungsgeschwindigkeit her, indem sie den Quecksilberdruck, mit dem sie das Blut durch den Muskel trieben, grösser machten, wenn mehr Blut durch denselben getrieben werden sollte. Wenn mehr Blut durch den Muskel in Folge des stärkeren Druckes floss, nahmen sie an, dass es eine entsprechend grössere Geschwindigkeit im

1) Das Verhalten der Gase, welche mit dem Blute durch den reizbaren Säugethiermuskel strömen. Von C. Ludwig und Alex. Schmidt. Ludwig's »Arbeiten« 1869. pag. 1 oder Bd. XX der Sitzungsberichte der math.-phys. Classe der k. s. Gesellsch. f. Wissensch. p. 12.

2) E. Pflüger. Ueber die Diffusion des Sauerstoffs, den Ort und die Gesetze der Oxydationsprocesse im thierischen Organismus im Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. VI. pag. 48.

Muskel gehabt habe. Nun finden sie die merkwürdige Thatsache, dass das Blut, wenn es schnell floss, nicht viel weniger stark reducirt war, als wenn es langsam durch den Muskel strömte.

Sie leiteten also z. B.¹⁾ durch einen Muskel von 211 Gr. arterielles defibrinirtes Blut von 13,2 pCt. Sauerstoffgehalt und zwar das erste Mal mit einer Geschwindigkeit, sodass in einer Minute 2,25 CC. den Muskel passirten, wobei sich ein Sauerstoffverbrauch von 0,19 CC. in der Minute herausstellte. Darauf wurde der Druck gemindert und das Blut mit etwa der halben Geschwindigkeit von 1,03 CC. (pro Minute) durch den Muskel getrieben, und es fand ein Sauerstoffverbrauch von 0,09 CC. statt, was ungefähr halb so viel als vorher war. Das schneller durchleitete Blut wurde bis 5,58 pCt. Sauerstoff, das langsamer durchleitete bis zu 4,02 pCt. reducirt. Es ist indessen wohl zu bemerken, dass eine strenge Proportionalität nicht aus den Zahlen resultirt. Es kommen auch Fälle vor, wo trotz Verdoppelung der Strömungsgeschwindigkeit der Sauerstoffverbrauch kaum wächst. So verhalten sich in Versuch IV. (l. c. p. 32) die Geschwindigkeiten wie 1 : 2, der Sauerstoffverbrauch wie 5 : 6, d. h. nahe wie 1 : 1.

Zwischen diesem extremen Falle und dem obigen liegen vermittelnde, so zwar, dass, wenn man alle betrachtet, der Schluss mit Ludwig und Schmidt gezogen werden darf, dass mit wachsender durch den Muskel fliessender Blutmenge der Sauerstoffverbrauch auch wachse, aber langsamer als die Geschwindigkeit.

C. Ludwig und Al. Schmidt erlauben sich diese Thatsache auf die allgemeinen Verhältnisse des im Körper befindlichen Muskels zu übertragen und dies ist nicht richtig.

Die beiden Forscher arbeiten mit kaltem Blute von circa 20° C.²⁾ und ebenso mit kalten Muskeln und beschreiben uns zunächst ein Phänomen, welches für die Beweiskraft ihrer Versuche von verhängnissvoller Bedeutung ist, ohne dass sie darauf aufmerksam geworden sind.

Am Zweckmässigsten lasse ich die Forscher das Phänomen selbst beschreiben:

»Am besten lässt sich der Strom handhaben, wenn arterielles Blut durch den ruhenden horizontal gelagerten Muskel fliesst; unter

1) S. a. a. O. p. 32. (43.)

2) C. Ludwig und Al. Schmidt l. c. p. 15.

»ruhend« wird hier auch der Muskel verstanden, welcher während einer Beobachtungsdauer von mehreren Stunden nur zu einigen wenigen Zuckungen veranlasst wird. Die Widerstände (!), welche der Muskel unter diesen Bedingungen dem Strom entgegensetzt, sind Anfangs (!) am Geringsten. Sie wachsen (!), wenn die Zeit zunimmt, während welcher er aus seiner natürlichen Verbindung gelöst war. Ein Druck, der in den ersten 30—60 Minuten ein bestimmtes Volum Blut in der Zeiteinheit durch den Muskel treibt, muss in der dritten und vierten Stunde oft verdoppelt werden, wenn er auch jetzt wieder die ursprüngliche Menge von Blut durchführen sollte. — Daraus ist die Regel zu entnehmen, dass durch einen M. biceps von 150 bis 200 Gr. Gew. der Strom im Anfang nur mit einem Druck von 40 bis 60 mm. Hg. zu beginnen hat. Dieser Druck lieferte uns in der Minute zwischen 2,5 und 3,0 CC. Blut; man kann dann sicher sein, dass bei dem Druck von 100 bis 150 mm. Hg. auch noch nach 4 Stunden diese Menge durchzutreiben ist. Die Anwendung niederer Drücke gewährt nächst dem den Vortheil, Blutungen aus feinen schwer oder gar nicht zu unterbindenden Nebenwegen hintanzuhalten. — Insbesondere glauben wir auch vor vorübergehenden, einige Minuten andauernden Druckerhöhungen warnen zu müssen. Ein hoher Druck pflegt in der Regel den Widerstand im Muskel dauernd zu erhöhen.« (!)

»Die soeben gemachte Mittheilung über das allmähliche Anwachsen des Widerstandes darf jedoch nicht so verstanden werden, als ob dies gleichmässig mit der wachsenden Zeit geschähe; dieses ist keineswegs der Fall. Der Widerstand wächst zwar im Allgemeinen, aber er thut dies in sehr unregelmässiger (!) Weise, indem er, ohne dass sich ein Grund dafür angeben liesse, bald auf-, bald absteigt. Diese Eigenschaft zwingt den Beobachter zu einer stetigen Aufmerksamkeit, wenn er auch nur annähernd selbst während der Zeit von wenigen Minuten (!) die Geschwindigkeit gleichmässig erhalten will«.

»Aehnlich wie ein Muskel, der fortwährend vom arteriellen Blut durchströmt wird, verhält sich auch ein solcher, dessen Strom, nachdem er durch Zeiträume von 1 bis 1½ Stunde unterbrochen war, wieder eingeleitet wird. Nach der Strompause findet man den Muskel mit ungefähr denselben Widerständen behaftet, die er vor dem Beginn derselben darbot, zuweilen aber scheint sich auch in Folge der Pause der Widerstand erniedrigt zu haben, sodass er dem

bei Beginn der ersten Durchleitung vorhandenen gleichkommt. Die soeben ausgesprochene Bemerkung gilt jedoch nur dann, wenn der Muskel durch den wieder eintretenden Strom zu seiner frühern Reizbarkeit zurückgeführt wird.«

»Besondere Widerstände werden eingeführt, wenn der Muskel zu tetanischen oder zuckenden Zusammenziehungen veranlasst wird. Mit jeder Zuckung entleert sich allerdings das Blut, welches in den Venen angehäuft war, aber zugleich mehrt sich der Widerstand, der dem Eindringen arteriellen Blutes entgegentritt. Daraus wird es verständlich, dass man den Druck erhöhen muss, wenn man durch einen intermittirend zuckenden Muskel gerade so viel Blut führen will, wie durch den ruhenden in derselben Zeit abfloss. Schwerer verständlich ist der Umstand, dass hinter einer abgelaufenen Zuckung ein vergrößerter Widerstand zurückbleibt. (!) Zuweilen ist derselbe so gross, dass man geneigt ist, an eine die Zuckung überdauernde Zusammenziehung der Gefässe zu denken. — Die Hemmungen, welche in dem Blutstrom angebracht werden durch einen Muskel, den man mehrere Minuten hindurch in raschem Wechsel bald zucken bald ruhen lässt, sind um so grösser, je reizbarer der Muskel, beziehungsweise je kräftiger und allgemeiner seine Zusammenziehungen ausfallen.«

»Viel grössere Widerstände als durch die bisher berührten Umstände werden eingeführt, wenn man O-armes Blut (!!!) in den Muskel schickt. Uns hat es geschehen, als ob das durch Erstickung entsauerstoffte in dieser Richtung nicht merklich anders wirkte, als das mit Eisen reducirte. Die Hemmung könnte man als eine Folge der Veränderung ansehen, welche die Blutkörperchen erlitten haben; wenn sich, wie oben erwähnt, ein Theil derselben aufgelöst hat, so dürften auch andere, die nicht vollständig zerflossen sind, aufgequollen sein und damit ihre Glätte und Elasticität eingebüsst haben. (? Ref.) Wir möchten jedoch nicht behaupten, dass diese Erklärung für alle Fälle ausreiche. Auffallend war es wenigstens, dass wiederholt der Strom unter relativ niederem Druck rasch floss, wenn das O-arme Blut unmittelbar auf das arterielle folgte, so dass sich erst sehr allmählich der langsame Strom des schwarzen Blutes einstellte. Wir können zudem nicht leugnen, dass uns die Annahme einer Selbststeuerung des Stromes innerhalb der Muskeln eine ansprechende ist. Jedenfalls scheint es nach den vorliegenden Andeutungen wünschenswerth, Versuche darüber anzustellen, ob nicht etwa die

contractilen Ringe (!) der kleinen Arterie unmittelbar von dem durch ihre Lichtung strömenden Blute angeregt werden. Eine solche Einrichtung könnte möglicherweise dazu führen, dass die Gefässe des Muskels je nach den Bedürfnissen dieses letzteren das Blut mehr oder weniger rasch zufließen liessen.«

Zu diesen Darlegungen der beiden Forscher gehört nun noch das von ihnen bezeugte Factum, dass, wenn man auch den Strom arteriellen Blutes dauernd durch den ausgeschnittenen Muskel leitet, »trotz stetiger und sorgfältiger Ueberwachung« derselbe »nach etwa zwanzig Stunden abgestorben und ungeachtet des dauernden Stromes auch alsbald starr« war. (l. c. p. 19.)

Es ist in der That merkwürdig, dass die genannten Forscher nicht sofort die Ursache des wachsenden Widerstandes in der Zusammenziehung der kleinen Arterien erkannten, da ja absterbende Muskeln sich verkürzen. Die Muskeln der Arterien haben aber, wie der nach der Durchschneidung der vasomotorischen Nerven noch vor der Zusammenheilung wiederkehrende Gefässstonus zeigt, höchst wahrscheinlich periphere Ganglien wie der Darm, und reagieren wie alle Ganglienzellen auf Sauerstoffmangel und Reize. Darum ziehen sich die Gefässe stärker zusammen bei Durchleitung von sauerstofffreiem Blute. Mit vorschreitender Starre werden immer mehr Gefässe von der Contraction ergriffen und immer mehr wächst der Widerstand. Die Variation des Widerstandes leitet sich aus der verschiedenen starken Innervation wie auch dem directen Druck auf die Arterie durch den während des Erstarrens sich zusammenziehenden Muskel ab. — Wahrscheinlich bedingt aber auch die veränderte Gestalt des ausgeschnittenen Muskels, die eine Verdickung der Muskelcylinder zur Folge hat, eine partielle Zerrung von Capillargebieten und das Gewicht des Muskels selbst übt einen Druck auf diese aus oder comprimirt sie ganz.

Was folgt nun daraus? Eine gewisse grosse Zahl von kleinen Arterien waren in dem kalten Muskel total contrahirt, oder comprimirt, sodass der **schwache** Druck, mit welchem das Blut durch den Muskel getrieben wurde, die Lichtungen dieser contrahirten Arterien **gar nicht** öffnete. — Wenn dann der Druck **viel stärker** genommen wurde, genügte er, um Blut **durch viele Arterien** zu treiben, **die bis dahin verschlossen waren**. — Also bei langsamer Strömungsgeschwindigkeit hat nur ein kleinerer Theil des

Muskels Einfluss auf das Blut, bei grösserer Strömungsgeschwindigkeit ein grösserer Theil. Es ist mithin sehr klar, warum bei grösserem Druck mehr Sauerstoff verbraucht wird. Dieser Einwand ist in der Untersuchung nicht in Rechnung gebracht.

C. Ludwig und Al. Schmidt schliessen aus ihren Untersuchungen, »dass der Muskel den Sauerstoff aus dem Blute um so rascher entfernt, je reichlicher er in dem letzteren vertreten ist«¹⁾.

Es ist nothwendig, noch eine zweite Methode zu besprechen, mit welcher diese Forscher dieselbe These zu stützen suchten. Diese Methode ist viel correcter erdacht als die bisher behandelte, aber die Ausführung derselben macht wieder die erlangten Resultate illusorisch.

Lassen wir die genannten Forscher selbst reden (p. 36):

»Wir kehren zu unseren Versuchen zurück. Der Annahme, dass die Stromgeschwindigkeit desshalb maassgebend für den O-Verbrauch sei, weil sie den procentigen O-Gehalt des Muskelblutes regele, erwächst eine Bestätigung durch die folgenden Versuche, in welchen das mit ungleichem O-Gehalt begabte, im Uebrigen aber gleichartige Blut mit derselben Geschwindigkeit durch den Muskel floss.

Nr. d. V.	Muskelgewicht.	Zeit (in Min. vom Beginn des Versuch. ab).	Blutvolum für 1 Min. d. d. Muskel fliessend.	O-verbrauch in 1 Min.	O-gehalt des venösen Blutes.	O-gehalt d. arteriellen Blutes.
I.	?	0—104	0,28	0,001	0,00	0,47
		104—199	0,30	0,046	3,45	16,30
II.	194 Gr.	85—154	0,42	0,001	0,43	0,62
		198—260	0,43	0,038	7,11	} 15,04
		270—315	0,58	0,036	9,08	

»Diese beiden Versuche halten wir ausser dem schon angeführten Grunde noch darum der Erwähnung werth, weil sie sich gegenseitig beleuchtend zeigen, dass der ausgeschnittene Muskel dem Blute zwar die letzten Spuren von O entziehen kann (I), dass aber dieses ganz ungemein langsam geschieht, da in II das venöse Blut trotz seiner geringen Stromgeschwindigkeit noch einen merklichen Antheil von O enthielt«.

Meine Ansicht lautet ganz anders. Obige zwei Versuche sind

1) Ludwig und Al. Schmidt l. c. p. 34.

die mit der guten Methode ausgeführten. Sie beweisen für die vorliegende Frage aber auch gar Nichts. Denn bei Versuch I ist in dem Blut, welches aus dem Muskel hervorkommt (s. Colonne 6), kein Atom Sauerstoff mehr enthalten. Der Muskel hätte also, wenn man ihm nur mehr Sauerstoff geboten hätte, vielleicht auch viel mehr gebraucht. Was hat es denn für einen Sinn, von einem verringerten Sauerstoffverbrauch des Muskels zu reden, wenn man Blut durchleitet, welches kein Atom von Sauerstoff enthält?

Folglich stützt sich der Beweis, da I ganz bedeutungslos, auf Versuch II.

Hier muss ich denn auf Grund vieler eigener Erfahrungen in diesem Gebiete sagen, dass unsere analytischen Methoden dermassen complicirt sind, dass auch der sorgfältigste und beste Beobachter sich bei einer Analyse — vielleicht nur durch einen Ablesungsfehler oder eine undeutlich geschriebene Zahl im Protokoll — irren kann. Auf einen einzigen Versuch hin sollte man niemals einen Ausspruch wagen.

Wie steht es aber hier? Das aus dem Muskel fliessende Blut enthielt 0,43 Vol. pCt. Sauerstoff. Zur Untersuchung aber hat man wahrscheinlich nicht mehr als 25 bis 30 CC. Blut gebraucht. Diese enthielten also circa ein Zehntel CC. Sauerstoff, d. h. einen Werth, der für die quantitative Analyse nicht weit von den Beobachtungsfehlern entfernt ist.

Die ganze Untersuchung ruht also darauf, ob in den vorliegenden zu entgasenden 25 CC. Blut $\frac{1}{10}$ CC. Sauerstoff enthalten war oder nicht. Ich finde allerdings keine bestimmte Angabe über die absolute Blutmenge, mit der diese Analyse gemacht ist, wohl aber p. 48 die Bemerkung »30 CC.«, welches aus der Vene ausfliesst, sei so viel, als zur sicheren Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Blute nothwendig war. Es bleibt also die Möglichkeit, dass auch dieses Blut gar keinen Sauerstoff enthielt. Damit sind die Versuche erledigt.

Wenn man aber annehmen wollte, dass diese Zahl von 0,43 Sauerstoff richtig wäre und dass eine hinreichende Zahl von Versuchen dasselbe Resultat geliefert hätte, so würde ich diesen Versuchen doch keine Beweiskraft zuerkennen und zwar aus folgendem Grunde.

C. Ludwig und A. Schmidt wollten sehen, welchen Ein-

fluss der absolute Sauerstoffgehalt des Arterienblutes auf die Oxydationsprocesse ausübe und leiten deshalb einmal sauerstoffreiches, einmal sauerstoffarmes Blut mit immer derselben Geschwindigkeit durch den Muskel.

Solche Versuche haben nun doch offenbar nur dann einen höheren Werth, wenn man unter Verhältnissen arbeitet, die sich einigermassen den physiologischen annähern. Genannte Forscher nehmen aber einmal mit Sauerstoff gesättigtes Blut (»arterielles«), um es durch den Muskel zu leiten, und das andere Mal solches Blut, das fast gar keinen Sauerstoff enthält, d. h. Blut von 0,4 pCt. bis 0,62 pCt. Sauerstoffgehalt, wie es niemals in einer Arterie ausser nach Erstickung vorkommt und auch dieses Blut wird, weil es durch den Muskel geleitet werden soll, »arterielles« genannt.

Es ist ja gerade von Alex. Schmidt die Thatsache gefunden worden, dass Erstickungsblut gewöhnlich noch Sauerstoff sogar neben reducirenden Substanzen enthält, welche erst sich oxydiren, wenn man dem Erstickungsblut mehr Sauerstoff zuführt. Alex. Schmidt hat selbst daraus den Schluss gezogen, dass ein Theil des Sauerstoffs von dem Haemoglobine fester gebunden sei, der deshalb bei Reduction schwerer ihm entzogen werde. Dieser Schluss ist zwar nicht absolut nothwendig, aber möglicherweise richtig. Man braucht nur daran zu denken, dass das Moleculargewicht des Haemoglobins unbekannt ist, da die aufgestellte bekannte Formel nur eine stöchiometrische Bedeutung hat. Die wahre Formel des Haemoglobins kann ebenso gut der kleinstmöglichen polymer sein und ein so condensirtes Molecül wird sich dem Grade seiner Condensation entsprechend mit mehreren Sauerstoffmoleculen verbinden, die mit verschiedener Kraft angezogen werden können.

Aus diesem Grunde muss der Versuch mit arteriellem Blute angestellt werden, dessen Differenzen nicht viel grösser sind, als sie innerhalb der physiologischen Schwankungen wirklich vorkommen und hier disponirt man ja in der That über hinreichend grosse Differenzen.

Somit ist auch diese Versuchsreihe widerlegt.

Nunmehr erübrigt es mir, den ernstesten Punkt der ganzen Untersuchung darzulegen, indem ich zeige, warum selbst dann, wenn alle gerügten Uebelstände nicht vorhanden wären, wenn bewiesen wäre, dass wirklich in den Versuchen von C. Ludwig und Al. Schmidt der Sauerstoffverbrauch mit der Strömungsgeschwindig-

keit wüchse, ja fast proportional wäre, daraus gar Nichts für die Physiologie des Muskels folgte.

C. Ludwig und Al. Schmidt haben nämlich nicht bedacht, dass der **Sauerstoffverbrauch in den Geweben von dem Verhältniss zweier Geschwindigkeiten abhängt**. Wie viel Sauerstoff verbraucht werden kann, das hängt einmal davon ab, wie viel Sauerstoff bindende Affinitäten in der Zeiteinheit in dem Muskel erzeugt werden, allgemeiner gesagt, wie viel Sauerstoff ein Quantum Körpersubstanz in der Zeiteinheit binden kann. Das wird oder kann doch eine bestimmte Grenze haben. Wenn, was als wenigstens im höchsten Maasse wahrscheinlich angesehen werden darf, eine solche Grenze existirt, so wird von dem Moment ab, wo der verbrennenden Substanz soviel Sauerstoff zugeführt wird, als sie in Maximo in der Zeiteinheit fest binden kann, jede weitere Vermehrung des Sauerstoffs von gar keiner Bedeutung mehr für die Intensität der Oxydation sein. Dies würde also auf die thierischen Gewebe angewandt heissen, dass wenn durch die Diffusion ihnen eine Spur Sauerstoff mehr zugeführt wird als unerlässlich nöthig ist, um eben so viele Affinitäten zu sättigen, als in der Zeiteinheit in Freiheit gesetzt werden, eine Beschleunigung der Diffusion keinen Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch ausüben kann.

Vom Standpunkte einer berechtigten Teleologie scheint es nun offenbar a priori wahrscheinlich, ja nothwendig, dass diejenigen Bedingungen im Körper hergestellt sind, welche ausreichen, um das Sauerstoffbedürfniss wirklich zu befriedigen. Es ist also a priori anzunehmen, dass den Geweben immer etwas mehr Sauerstoff geboten ist, als sie in der Zeiteinheit brauchen. Es scheint dies sogar dadurch bewiesen zu werden, dass, wenn plötzlich wie bei einer Muskelzuckung ein höheres Bedürfniss auftritt, auch diesem durch Vermehrung des Verbrauches an Sauerstoff genügt werden kann.

Ganz anders stellt sich das Gesetz, wenn in der Zeiteinheit durch den Diffusionsstrom den Geweben weniger Sauerstoff geliefert wird, als zur Befriedigung der in der Zeiteinheit sich bildenden Affinitäten nothwendig ist.

Wenn man in einem solchen Fall Verhältnisse herstellt, welche den Diffusionsstrom des Sauerstoffs zu den Geweben steigern, dann muss auch der Sauerstoffverbrauch wachsen.

Es ist also sonnenklar, dass der **physiologische** Sauerstoff-

verbrauch von **dem Verhältniss zweier Variabelen abhängt, nämlich**

- 1. von der Geschwindigkeit der Sauerstoffdiffusion;**
- 2. von der Geschwindigkeit der Sauerstoffbindung.**

Nun operirt C. Ludwig und Al. Schmidt an **kalten** Muskeln des Hundes, durch die sie **kalt**es Blut leiten.

Die Kälte aber verringert unzweifelhaft die **Geschwindigkeit des Sauerstoffdiffusionsstromes und die Geschwindigkeit der Dissociation des Oxyhaemoglobines**. Wenn ich nach meinen Erfahrungen über die Evacuation kalten Blutes urtheilen soll — und auch das von 20° C. nicht ausgenommen — so ist die Dissociation und Diffusionsgeschwindigkeit bei dieser Temperatur ganz bedeutend herabgesetzt.

Die Kälte aber verringert unzweifelhaft ebenso die Erzeugung sauerstoffbindender Substanz im Muskel, da sie den Stoffwechsel besonders beim Warmblüter sehr beeinträchtigt. **Die Menge des in der Zeiteinheit zu verbrauchenden Sauerstoffs ist also herabgesetzt.**

Bei der Methode der genannten Forscher werden also die Werthe beider Variabelen bedeutend verkleinert, und Niemand weiss um wie viel. Es kann deshalb sein und Alles spricht gerade bei den Versuchen von C. Ludwig und Al. Schmidt¹⁾ für diese Auffassung, dass der Sauerstoffdiffusionsstrom in rascherem Maasse sinke als das Sauerstoffbedürfniss.

Denn einmal liegt nach der Angabe von jenen Forschern der aus dem getödteten Thiere entfernte Muskel wenigstens $\frac{1}{2}$ Stunde, bis die Durchleitung sauerstoffhaltigen Blutes beginnt, sodass das Sauerstoffbedürfniss einen maximalen Werth vor Beginn des Versuches erreicht. Zweitens deutet der colossale Widerstand, der dem Strome erwächst, auf abnorme, in Folge der beginnenden Starre und Reizungstetanus bedingte Verengerung der kleinen Arterien. Drittens aber sind die Blutmengen, welche in diesen Versuchen durch die Muskeln getrieben werden konnten, unzweifelhaft eben wegen der abnormen Widerstände ganz unnatürlich kleine. Wir sehen, dass durch einen Muskel von 200 Gr. in einer Minute nur 1 bis 2 CC. Blut gehen, ja noch viel weniger.

Nun erwäge man, dass die Kreislaufdauer eines Hundes circa

1) C. Ludwig und Al. Schmidt l. c. p. 32.

15 Secunden beträgt, und dass also, wenn man 8% Blut auf das Körpergewicht rechnet, durch 100 Gr. Körpersubstanz in 15 Secunden ungefähr 8 Gramm Blut fliessen, also durch 200 Gramm 16 Gramm; folglich in einer Minute 64 Gramme. Wenn dieser Werth auch nur annähernd ist, so zeigt er doch, dass jene Beobachter in einer ganz colossalen Weise sich von den physiologischen Verhältnissen entfernen und gerade solche Momente einführen, welche die Geschwindigkeit des Sauerstoff-Diffusionsstromes möglichst herabzudrücken geeignet sind.

C. Ludwig wird mir erwidern, dass Dr. W. Sadler unter seiner Leitung die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in den lebendigen nicht ausgeschnittenen Muskeln, die in natürlicher Lage befindlich waren, bestimmt und auch sehr klein gefunden habe.

§. 8. Kritik der Untersuchungen von Dr. W. Sadler.

„Vor Durchschneidung der Muskelnerven“, sagt W. Sadler, „fliesst in der Regel aus der Vene nur sehr wenig Blut, auffallend wenig im Verhältniss zu dem Durchmesser der Arterien und der Venen, welche dem beobachteten Muskelgebiet zugehören. Venen der Haut von entsprechender Weite liefern eine um das Vielfache grössere Blutmenge. Nach dem, was ich beiläufig gesehen, halte ich eine eingehendere Vergleichung des Stromquantums entsprechend weiter Haut- und Muskelvenen für eine lohnende Arbeit. Auf den sehr schwachen Strom innerhalb der ruhenden Muskeln weisen auch die geringen Blutungen der Muskelwunden hin, vorausgesetzt, dass man keine Arterienstämmchen verletzt hat.“¹⁾

Letztere Angabe W. Sadler's habe ich oft bei Anstellung des Speichelversuches am lebendigen Hunde so sehr bestätigt gefunden, dass ich nach totaler Querdurchschneidung des mächtigen Musculus digastricus fast gar keine Blutung erhielt. Da ich nun sah, wie gewaltig die Muskelwunde klaffte, wie stark also die durch Elasticität bedingte Verkürzung, also Verdickung des Muskels war, die ja auch eine entsprechende Verdickung der Muskelfasern voraussetzt, so war ich der Meinung, dass die gestillte Blutung in dem durch die Schwellung der Muskelcylinder erzeugten stärkeren

1) S. W. Sadler. Ueber den Blutstrom in den ruhenden, verkürzten und ermüdeten Muskeln des lebenden Thieres. In „Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig 1870, pag. 77, oder Bd. XXI des Sitzungsber. der math. phys. Classe der K. S. Gesellsch. der Wissenschaften.“

Druck auf die Umgebung, also durch Compression der Blutgefässe bedingt sei. Bei jeder künstlich herbeigeführten sehr bedeutenden Gestaltveränderung des Muskels dürfte ein Schluss gewagt sein, der nicht in Betracht zieht, dass hierdurch eine grosse Veränderung der Widerstände für den Blutstrom eingeführt werden könne.

Die Thatsachen, welche in der Arbeit Sadlers über die Geschwindigkeit des Blutstromes in ruhenden und verkürzten Muskeln mitgetheilt werden, erklärt der Schreiber dieser Abhandlung in einer Weise, die meiner Ansicht nach falsch ist.

Wenn man nämlich die von Sadler gewonnenen Curven betrachtet, deren Ordinaten die Stromgeschwindigkeit, d. h. die in der Zeiteinheit aus der Vene des *Musculus biceps* hervorströmenden Blutmengen messen, dann muss sofort die ganz colossal in Zeit einiger Secunden oder doch Minuten wechselnde Geschwindigkeit auffallen ¹⁾. Da fliesst z. B. das Blut durch den ruhenden Muskel im 25. Zeitabschnitt (= 15 Sec.) mit einer Geschwindigkeit von circa 0,8 CC. in 15 Secunden im 30., 31., also nach einem Intervall von nur 1 Minute mit einer Geschwindigkeit von circa 8,5 CC. in 15 Secunden abermals durch den ruhenden Muskel; das sind Aenderungen um 1000 Procent, von denen, was die Hauptsache ist, W. Sadler nicht die Ursache anzugeben vermag. Obiges Beispiel habe ich, ohne zu suchen, gerade herausgegriffen; es sind deren viele vorhanden.

Nun zeigen die mitgetheilten Curven, dass während des von dem Nerven angeregten Tetanus die Strömungsgeschwindigkeit bald steigt, bald abnimmt.

Die Abnahme ist leicht verständlich; denn wenn der Muskel sich hinreichend kräftig contrahirt, wird er die Gefässe in sich unter günstigen Verhältnissen so stark drücken können, dass der Kreislauf unterbrochen wird. Ich habe oft bei Erzeugung von Tetanus in den hinteren Gliedmassen des Frosches von den motorischen Wurzeln des Rückenmarks aus bei mikroskopischer Beobachtung des Kreislaufs in der Schwimnhaut den rückläufigen Strom in den kleinen Venen gesehen.

Wie erklärt sich aber die Stromvermehrung? —

Wenn man die Curven dieser Arbeit durchsieht, dann muss Jedem auffallen, dass fast ganz regelmässig der Tetanus den Strom

1) A. a. O. pag. 90.

nicht sehr viel beschleunigt, die dem Tetanus folgende Ruhe eine ganz colossale Strombeschleunigung zur Folge hat, die eine Reihe von Minuten anhält und dann wieder absinkt.

An diese Thatsachen schliesst sich noch die von Sadler gemachte Angabe, dass der Blutstrom aus dem ruhenden Muskel auffallend schnell und mit Schwankungen an Geschwindigkeit abnimmt. Es versteht sich von selbst, dass der bei dem Versuch eintretende Blutverlust so geringfügig war im Verhältniss zur Grösse des Thieres ¹⁾, dass nicht die Grösse dieses Blutverlustes die schnelle und unmotivirte Abnahme des in natürlicher Lage befindlichen und unnatürlich mit geronnenem Blute ernährten Muskel erklären kann.

Die richtige Erklärung dieser Versuche ist meiner Ansicht nach im Wesentlichen folgende:

W. Sadler hat in die Muskelvene eine Metallcanüle eingebunden. Diese besass ²⁾ eine Erweiterung an demjenigen einen Ende, welches nicht in das Lumen der Vene zu liegen kam und in diese Erweiterung war ein Schenkel eines metallenen T-förmigen Rohres eingeschliffen, d. h. es sollte sich die Venencanüle in zwei Rohre hierdurch theilen; die eine Leitung sollte das Blut abführen, die andere Leitung zur zeitweiligen Durchspülung mit einer Sodalösung dienen, um etwaige Gerinnsel zu entfernen.

Aus diesem Verfahren folgt also, dass ein für alle Mal ein Stück der Canüle in der Vene fest eingebunden blieb und dass das Venenende selbst mit Sodalösung natürlich ebenso wenig wie das fixe Canülenstück hinreichend ausgespült werden konnte. Doch ist dies nicht wesentlich.

Wesentlich ist, dass, wenn das lebendige Blut aus dem flüssigen in den coagulirten Zustand übergeht, ein Zwischenzustand existirt, in dem es immer noch fliesst, aber schwieriger.

Wer sich hiervon überzeugen will, der nehme eine Ludwigsche Stromuhr mit der von mir angebrachten Modification, die weiter bei Dr. Finkler in dem folgenden Aufsatz beschrieben ist. Diese Stromuhr gestattet es, da sie aus zwei cylindrischen graduirten Röhren statt der gebräuchlichen Glaskugeln besteht, genau die Zeiten zu messen, in denen gleiche kleinere Blutquanta aus-

1) S. Sadler a. a. O. p. 79.

2) S. Sadler a. a. O.

fließen. Sehr bald fängt der Strom an langsamer zu fließen, aber er fiesst, die Flüssigkeit steigt, aber immer langsamer und endlich steht sie still. Es ist jetzt compacte Gerinnung eingetreten. — Man braucht indessen nur die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes bei demselben Thier in einer grösseren Zahl von Beobachtungen zu betrachten, wie sie Dogiel ausgeführt hat. Obwohl bei dieser Methode kein Blutverlust stattfindet, ist es doch ziemlich Regel, dass im Anfange grosse Geschwindigkeiten gesehen werden, die immer mehr abnehmen. Dogiel sagt aber ausdrücklich, dass das Blut bei Abbrechung des Versuches noch flüssig gewesen sei. Es war aber sicher dicklicher.

Ich gebe einige Beispiele Dogiels aus den Zahlen in „Ludwigs Arbeiten“ über die Geschwindigkeit in demselben Gefäss am Anfang und Ende des Versuches :

Geschwindigkeit im Anfang	Geschwindigkeit am Ende	
186 mm.	103 mm.	(p. 232.)
226 „	94 „	(p. 235.)
520 „	243 „	(p. 236.)

Dies ist der gewöhnliche Fall, in kürzeren Zeiträumen kommen selbstverständlich auch wohl Steigungen der Zahl vor, die aber meist unbedeutend sind.

Wie ich das tausendmal gesehen habe, lagern sich bald auf jede Canüle, die in ein lebendiges Gefäss eingebunden wird, Gerinnungen ab und setzen sich dann von hier langsam in das Lumen des Gefässes weiter fort, besonders in einer Vene, wo der Druck so schwach ist. Aber es kommt oft lange nicht zur Verstopfung, wenn der Strom doch schnell genug ist, um das am Ende der Vene in der Nähe der Canüle befindliche Blut, welches soeben zu gelatiniren anfängt und noch nicht ganz steif zu werden Zeit hatte, auszutreiben. Verstopft sich aber mit der Zeit die Canüle, dann kann man oft ein langes wurmförmiges Gerinnsel aus der Canüle und dem Blutgefäss herausziehen, zum Beweise, wie weit von der Ausmündungsstelle aus der Gerinnungsprocess in einer Vene sich ausbreiten kann. Mir begegnete es einmal, dass ich bei einem Schaaf eine Canüle in die Vena jugularis eingelegt hatte. Es bildete sich sehr schnell in der Vene eine ganz compacte Gerinnung, die bis in das Gehirn hinaufreichte und den schnellen Tod des Thieres zur Folge hatte.

Denken wir uns also das in die grösseren Aeste der mit

Canüle versehenen Muskelvene eintretende Blut gerathe unter dem Einflusse der inficirten Wände der Vene in den Process der Coagulation, werde dicklich, fliesse langsamer und begünstige nun durch längeres Verweilen in dem Venenende noch weiter das Dickwerden. Der Strom nimmt an Geschwindigkeit nun stetig ab. Es haben sich vielleicht auch Abscheidungen auf die innere Venenwand gebildet, die das Lumen verengern. Nun reizen wir die Nerven; die mächtige Kraft des Muskels drückt jetzt auf die Venen, treibt das Blut mit äusserster Gewalt aus und reinigt die Vene von dem dicklichen Blute und Gerinnseln. Sobald der Muskel erschläfft, schiesst nun das Blut mit grosser Geschwindigkeit durch die wieder freige-wordene Bahn. Aber das dauert nur einige Minuten; denn alsbald bilden sich wieder Gerinnungen; der Strom wird wieder langsamer, eine neue Zuckung schleudert mit Kraft das Hinderniss fort und nun geht der Strom wieder mit grosser Geschwindigkeit aus der Canüle der Vene während der Muskelruhe hervor. Man betrachte die Curven Sadler's — und wird sich nicht weiter den Kopf zu zerbrechen brauchen.

Offenbar aber kann es vorkommen, dass auch einmal ein compacteres Gerinnsel in der Vene entsteht, das ventilartig die Canüle schliesst, wenn der Muskel das Blut mit stärkerer Gewalt gegen sie antreibt. In diesem Falle kann der Tetanus auch ein dauerndes Aufhören des Stromes bewirken. Dies scheint aber selten vorzukommen.

In dem Aufsätze von W. Sadler finden sich Discussionen über die denkbaren Möglichkeiten, warum nach Durchschneidung der Muskelnerven der Blutstrom unmittelbar beschleunigt werde, um dann allmählig zu sinken. Es werden die gefässverengernden und gefässerweiternden Nerven besprochen, obwohl der Nerv bei dem curarisirten Thier gar keinen Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit zeigte. Die Sache ist einfach die, dass die durch die Nervendurchschneidung bedingte Muskelzuckung die Bahn der Muskelvene frei macht.

Diese Betrachtungen erklären nun auch, warum zuweilen der Tetanus den Blutstrom etwas in dem Muskel beschleunigt. Der Tetanus an sich behindert den Blutstrom (abgesehen von der ersten Blutausspressung); aber dadurch, dass er das steife Blut aus der Vene austreibt und freie Bahn macht, beschleunigt er ihn. Es wird also darauf ankommen, welche der beiden entgegengesetzten

Wirkungen des Tetanus die Oberhand behauptet und wie stark der Tetanus ist.

Hieraus folgt also, dass man nur diejenigen grossen Werthe der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes durch die Muskeln, welche Sadler unmittelbar nach dem Tetanus beobachtete, und das sind seine Maximalwerthe, als wahren Ausdruck für die physiologischen Verhältnisse betrachten kann. Hier finde ich denn Werthe bis 11,5 CC. Blut, die in 15 Secunden aus nur einem Theile des Biceps femoris abfliessen. Denn Sadler fing dasselbe nur aus einer Vene auf; der Muskel besitzt aber noch eine grössere. Man sieht also, dass schon durch einen Theil des Biceps des Hundes in 1 Minute 46 CC. Blut bei freier Circulation strömen können.

Nun hatten C. Ludwig und Al. Schmidt bei den Versuchen Biceps und Semitendinosus und beide Venen und schickten durch diese Muskeln $\frac{1}{2}$ —2 CC. in der Minute, selten aber wenig mehr.

Ich will nun noch einige mögliche Einwände gegen meine Erklärung beleuchten. Sadler hatte den Beweis zu liefern geglaubt, dass die Formveränderung des Muskels beim Tetanus keinen unmittelbaren Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit habe. Sie fixirten nämlich die Ansatzpunkte des Muskels, indem »die Beugung der Hand und des Vorderarms« durchaus unmöglich gemacht wurde und nichts desto weniger sahen sie die Geschwindigkeit des Blutstromes zu einer bedeutenden Höhe ansteigen. Dieser Versuch ist nämlich an den Armmuskeln angestellt. „Jedenfalls“, liest man bei Sadler ¹⁾, „lehrt dieser Versuch, dem ich ähnliche zur Seite stellen kann, dass die Vermehrung der muskulären Stromgeschwindigkeit hier in bedeutendem Maasse eintrat, wenn die Formveränderung nicht gestattet wurde, während sie in anderen zahlreichen Fällen sehr mächtig zum Vorschein kam, wenn der Muskel seinem Contractionsbestreben ungehindert folgen konnte. Daraus erfliesst unmittelbar, dass die Ursache der starken Strömung, die beim Tetanisiren der Muskelnerven auftritt, nicht in einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Formveränderung des Muskels zu bringen ist. Nach der Ausschliessung dieser Möglichkeit kann der Grund, nach dem wir suchen, nur in einer Erweiterung der kleinen Muskelarterien gefunden werden und es kann desshalb nur die Frage sein, ob die Erschlaffung der Muskelwand von einer Einwirkung der

1) A. a. O. p. 95.

Nerven oder von irgend einer anderen die Gefäßmuskeln unmittelbar betreffenden herrührte.“

Sehr merkwürdig ist, was dann zwei Seiten weiter in demselben Aufsatz auseinandergesetzt wird, wie das Verhalten des Blutstromes in einem curarisirten Muskel sei, dessen Nerven durchschnitten sind. „In einem so beschaffenen Muskel“, liest man bei Sadler¹⁾, „bringt, wie beispielsweise Fig. 9 darlegt, die Reizung der Nerven keine (!) Veränderung des Stromes hervor.“

Da nun Curare die Gefässnerven sehr wenig afficirt, so ist die gegebene Erklärung wohl nicht befriedigend, um so weniger als die natürlichste und einfachste von der Welt ausreicht. In Sadler (p. 97) steht sogar bestimmt gesagt, dass „bekanntlich die Gefässnerven durch das Curare nicht angegriffen werden.“

Wenn in der Abhandlung von Sadler behauptet wird, dass die Beugung der Glieder durch Fixation derselben unmöglich gemacht und dadurch eine Formveränderung der gereizten Beuger eliminirt worden sei, so ist es doch sonnenklar, dass die einzelne Muskelfaser immerfort das Vermögen besitzt, sich wegen der Elasticität der Sehne um Etwas zu verkürzen, also zu verdicken, so dass sicher eine bedeutende Steigerung des Seitendrucks der Muskeln auf ihre Umgebung, also auf die kleinen Venen stattfindet, wie sich das in der Zunahme des Blutstromes aus der Vene zu erkennen gibt. Es scheint sogar diese intramusculäre Drucksteigerung während der Behinderung zur Vollziehung einer ausgiebigen Formveränderung in dem Versuche Sadlers²⁾ bedeutender zu sein, als wenn der Muskel seine Gestaltveränderung frei vollzieht.

Es bleibt uns endlich noch ein Punkt der Arbeit Sadler's zu besprechen, welcher hier in Betracht kommt. Mit Rücksicht auf curarisirte Thiere sagt er³⁾, ändere sich der Blutstrom überhaupt nicht, so lange die künstliche Respiration hinreicht, um dem Blute eine kräftige arterielle Färbung zu bewahren.

Wenn man nun aber die Curve betrachtet, die er zum Beleg mittheilt, so sehe ich da auch Schwankungen von 100% in einer ganz kleinen Zahl von Beobachtungen und nach Unterbrechung der

1) A. a. O. p. 97.

2) A. a. O. p. 45.

3) A. a. O. p. 97.

künstlichen Respiration werden sie ganz colossal. Offenbar hat Sadler an curarisirten Thieren, da er ja den Einfluss der Muskelbewegung auf den Strom untersuchen wollte, nur wenige Untersuchungen angestellt, so dass ich auf diese Erfahrungen kein Gewicht legen kann. Wenn es sich aber bei erneuter Untersuchung ergeben sollte, dass man bei curarisirten Thieren und Anstellung des Experimentes von W. Sadler weniger leicht durch Blutgerinnung in der canülisirten Vene gestört wird, so müssten weitere Experimente angestellt werden, um zu entscheiden, ob das Venenblut eines curarisirten Muskels etwa weniger leicht als anderes gerinne. Ich denke daran, weil ich ausgehend von der Idee, dass die Blutcoagulation durch Fermente bedingt ist, und dass Chinin die Säurebildung im frisch gelassenen Blute hemmt (Zuntz), vor einigen Wochen meinen ersten Assistenten Herrn Prof. Zuntz bat zuzusehen, ob Chininzusatz zu frisch entleertem Blute die Gerinnung behindere. Er stellte den Versuch wiederholt mit Kaninchenblut an, das in der That $\frac{3}{4}$ Stunden vollkommen flüssig blieb und erst dann gerann. Ich habe mich durch einen besonderen Versuch überzeugt, dass das Herzblut eines curarisirten Kaninchens, was allerdings für Muskelvenenblut keinen Beweis liefert, seine Gerinnbarkeit nicht verloren hatte. Am Blutserum bemerkte ich dann eine auffallend starke weisse ins Bläuliche spielende Fluorescenz.

Es steht somit unzweifelhaft fest, dass die Curareversuche Sadler's keine Stütze für die anderen Versuche sind, bei denen an mit Morphinum betäubten, also nicht muskellahmen Hunden experimentirt wurde.

Die Curven Sadler's bedeuten nur, wie der Blutstrom durch grössere oder geringere Widerstände an der Ausflussöffnung der Vene in Folge von Gerinnungsproducten des Blutes modificirt worden ist.

Eine nicht unwichtige Einsicht in die Geschwindigkeit des normalen Blutstromes durch die Muskeln scheint mir noch die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in der Arteria oder Vena femoralis des Hundes zu liefern, da doch immerhin die Hauptmasse der Hinterbeine Muskeln sind und Bindegewebe, Sehnen, Fascien und die Haut des Hundes sich durch Blutarmuth auszeichnen.

Man betrachte zu dem Ende die Werthe, welche der erfahrenste Forscher auf diesem Gebiete, Prof. J. Dogiel¹⁾ erst vor

1) J. Dogiel, Ueber den Einfluss des N. Ischiadicus u. N. cruralis auf die Circulation des Blutes in den unteren Extremitäten. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. V. p. 130.

Kurzem wieder mitgetheilt hat. Da findet man die hohen Werthe von 300 bis 600 mm. in der Secunde für die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes.

Vergleicht man ferner die Zahlen, welche Dogiel ¹⁾ in seiner früheren Arbeit über die Geschwindigkeit in der Carotis und A. Femoralis aufgestellt hat, so ergibt sich, dass die Carotis auch keine grösseren Maxima giebt. Da nun das Blut, welches durch die Femoralis mit so grosser Geschwindigkeit fliesst, doch unzweifelhaft überwiegend den Muskeln zugeführt wird, so kann die Strömungsgeschwindigkeit in denselben schwerlich als eine geringe betrachtet werden.

§ 9. Ueber die Grenzen des Partiardrucks des Sauerstoffs, welche für die thierische Verbrennung bestehen.

Nachdem ich somit Alles hinweggeräumt habe, was der Anerkennung des von mir erkannten Gesetzes noch im Wege steht, muss ich noch einer Reihe von Untersuchungen gedenken, die der Unabhängigkeit der thierischen Oxydation vom Partiardruck des Sauerstoffs eine obere Grenze zu ziehen scheinen.

P. Bert ²⁾ hat in den *Comptes rendus* Thatsachen bekannt gemacht, welche, wenn sie sich bestätigen, zu den wichtigsten gehören, die für die Physiologie der Respiration in dem letzten Decennium gefunden sind.

Wenn Thiere in einer Atmosphäre von hoher Dichte des Sauerstoffs athmen, so bekommen sie Convulsionen, sobald ihr arterielles Blut einen Sauerstoffgehalt von 28—30 Vol. pCt. (0,76 m. Druck) enthält und werden bei einem Gehalt von 35 Vol. pCt. getödtet ³⁾. Auf den Druck von 1 Meter berechnet würden diese merkwürdigen Werthe für den Sauerstoffgehalt des Blutes 22,8 pCt. und 26,6 pCt. ausmachen. Es handelt sich also um eine sehr kleine Steigerung des Sauerstoffgehaltes über die Norm. Aber dieser kleinen absoluten Zunahme des Procentgehaltes entspricht eine ganz ungeheure Zu-

1) J. Dogiel. Die Ausmessung der strömenden Blutvolumina in Ludwig's Arbeiten 1867, p. 249 u. flgde.

2) Recherches experimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie. De M. P. Bert. *Compt. rend.* 1873. Bd. LXXVII. p. 531 und Bd. LXXVI. p. 443. p. 578. p. 1276. p. 1493.

3) Bert. l. c. Bd. LXXVII. p. 531.

nahme der Spannung des Sauerstoffs. Die Spannungen des Sauerstoffs im arteriellen Blute verhalten sich zu der Spannung bei Sättigung des Blutes mit Sauerstoff von 3 'Atmosphärendruck, was nach Bert die tödtliche Dichte ist ¹⁾, etwa wie 35 : 2280.

Es ist gewiss in hohem Grade interessant, dass nach den in meinem Laboratorium ausgeführten Untersuchungen von Dr. August Ewald aus Darmstadt der Organismus sich in so erfolgreicher Weise gegen die Apnoë wehrt.

Bert zeigt, dass die Thiere in dem Maasse entschiedener vom dichten Sauerstoff getödtet werden, je energischer ihre Respiration ist. In comprimirter Luft sterben Insecten rascher als die Arachniden und Myriapoden; letztere wieder rascher als Molusken und Würmer ²⁾. Aber auch die Fische werden getödtet, wenn das Wasser mehr als 10 Volumprocent enthält ³⁾.

Bert ermittelte ferner, dass auch die Pflanzen sich ähnlich verhalten und fügte hierdurch einen neuen Zug bedeutsamer Verwandtschaft für das Leben der thierischen und pflanzlichen Zelle bei. Die reizbaren Pflanzen starben rasch in atmosphärischer Luft bei einem Drucke von 6 und in reinem Sauerstoff bei einem Drucke von nur 2 Atmosphären ⁴⁾.

Bert hat auch über die Ursache der »giftigen« Wirkung experimentirt und ist zu Resultaten gelangt, die mir wohl richtig zu sein scheinen.

Er zeigt, dass die Sauerstoffvergiftung keine Convulsionen nach Zerstörung des Rückenmarks erzeugt, allgemein nicht in denjenigen Gliedern, deren Nerven durchschnitten sind. Er überzeugt sich, dass Blut eines mit Sauerstoff vergifteten Thieres einem andern in grossen Massen injicirt werden kann, ohne dass eine Störung der Gesundheit eintritt, wodurch er beweist, dass unter dem Einfluss der hohen Dichte des Sauerstoffs nicht etwa giftige Substanzen im Blute entstanden sind ⁵⁾.

Das Wichtigste aber, was er ermittelt hat, ist, dass bei hoher Dichte des Sauerstoffs die Oxydationsprocesse **abnehmen**, dass also Sauerstoffverbrauch und Kohlensäurebildung sinkt, der Harnstoff

1) Bert. Compt. rend. Bd. LXXVI. p. 1493.

2) Bert. l. c. Bd. LXXVII. p. 533.

3) Bert. Bd. LXXVII. p. 533.

4) Bert. l. c. p. 533.

5) Bert. l. c. p. 533.

vermindert erscheint, die Temperatur herabgeht, während das Thier von Convulsionen heimgesucht wird.

Ja sogar ausgeschnittene Muskeln nehmen aus comprimierter Luft weniger Sauerstoff auf und die Fäulniss wird verzögert oder aufgehoben. Es werden deshalb auch die Gährungsprocesse behindert oder unmöglich gemacht. Er bezieht sich auf die Milchsäuregährung in der Milch, auf die Ammoniakgährung des Harns, auf die Essigsäuregährung, ja sogar auf die Umwandlung des Amylens in Traubenzucker durch Speichel¹⁾.

Ganz analog verhalten sich nach Bert kleinere Pflanzen, deren Sauerstoffabsorption immer schwächer wird, je mehr die Dichte dieses Gases zunimmt.

Bert hat nun merkwürdigerweise doch nicht den allgemeinen chemischen Charakter dieses Phänomens erkannt, wegen dessen für mich seine Untersuchungen von so eminentem Interesse sind.

Im Eingange meiner Abhandlung sagte ich, dass die lebendige Zelle sich den Sauerstoff nimmt, wie es activer Phosphor thut. Activer Phosphor leuchtet in verdünntem Sauerstoff, nicht in dichtem.

Das Nichtleuchten in reinem Sauerstoff bei Atmosphärendruck soll nach der Angabe einiger Chemiker dadurch bedingt sein, dass der Phosphor sich gar nicht oxydire²⁾.

Da aber in einigen Punkten differente Angaben der Chemiker vorliegen, so wollte ich mich selbst von dieser merkwürdigen Thatsache überzeugen.

Ich füllte zwei Absorptionsrohre (A und B) mit einem aus chlorsaurem Kali bereiteten Sauerstoff, und zwar entnahm ich das Gas für beide Rohre aus demselben Quecksilbergasometer, so dass in beiden absolut dasselbe Gas war. Beide Rohre waren feucht.

In dem einen Rohre (A) stellte ich, indem ich das Quecksilberniveau aussen und innen ungefähr gleich hoch machte, Atmosphärendruck her. Temperatur = 6,1° C., schwankt im Gaslaboratorium um diese Jahreszeit nur um ein paar Zehntel Grade in 24 Stunden. Die Sauerstoffmenge betrug 56,497 CC. bezogen auf 0° und 1 Meter Hg.

1) Bert l. c. p. 534.

2) Artikel: Phosphor in Gmelin-Kraut's Handbuch der Chemie. Anorganische Chemie. B. I. 1871. p. 112. — Graham-Otto. Anorganische Chemie. 1873. Bd. I. p. 820.

Siehe auch: Boussingault. Agronomie, Chimie agricole etc. Bd. IV. pag. 302.

Nun führte ich eine Phosphorkugel ein, entfernte sie nach 24 Stunden, nahm phosphorige Säure und Wasser mit einer Aetzkalikugel fort. Die Temperatur war in dieser Zeit im Gaslaboratorium auf $6,5^{\circ}$ gestiegen. Der übrig gebliebene Sauerstoff betrug 56,519 CC. Es war also keine Spur Sauerstoff absorbiert worden. Während in dem ersten Rohr (A) die Phosphorkugel sich in reinem Sauerstoff befand, war eine zweite zu derselben Zeit aus demselben Phosphor gegossene Kugel in eine dritte Röhre (C) gebracht, die unmittelbar neben der Sauerstoffröhre (A) stand und atmosphärische feuchte Luft enthielt. Der Phosphor umgab sich sofort, obwohl die Temperatur noch nicht 7° C. war, mit dicken weissen Nebeln, die nach abwärts continuirlich sich auf das Quecksilber niedersenkten und die Absorption des atmosphärischen Sauerstoffs zur Folge hatten. Der Druck war 37,99 Cm., also der Partiardruck des Sauerstoffs = 7,6 Cm. Die Kugel, welche nach 24 Stunden in dem reinen Sauerstoff von 75,208 Cm. Druck absolut nichts absorbiert hatte (Rohr A), brachte ich nun sofort in das oben erwähnte Rohr (B) von 1 Meter Höhe, in dem derselbe Sauerstoff war. Dieser Sauerstoff stand unter einem Druck von 7,27 Cm., hatte also nahezu dieselbe Dichte wie in der analysirten atmosphärischen Luft (Rohr C).

Dieselbe Kugel fing jetzt sofort mit demselben Sauerstoff sogar bei noch niedrigerer Temperatur von $5,8^{\circ}$ zu dampfen an, während sie vorher bei höherem Drucke in Rohr A sich ganz gleichgültig verhalten hatte. Auffallend war mir, dass die Dämpfe nicht so dicht wie in atmosphärischer Luft waren, was also vielleicht durch die Bildung von Ammoniumnitrit in letzterem Falle bedingt war. Nach 24 Stunden nahm ich die Phosphorkugel aus dem verdünnten Sauerstoff (Rohr B) fort und neigte das Rohr, um zu sehen, ob es Toricelli'sche Leere wäre. Das Quecksilber schlug oben an. Hier erkannte ich noch ein Bläschen, das noch nicht so gross wie der vierte Theil einer Linse war. Der verdünnte Sauerstoff war also vollkommen von derselben Kugel absorbiert worden, die denselben Sauerstoff bei Atmosphärendruck in 24 Stunden auch nicht spurweise absorbiert hatte.
