

# Naturkräfte.

26. und 27. Band.

---



Die  
**menschliche Arbeitskraft.**

---

Von

**Dr. Gustav Jäger,**

Professor der Zoologie, Physiologie und Anthropologie in Stuttgart.

---

Mit 12 Holzschnitten.

---

**München.**

Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

1878.

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

# I n h a l t.

---

	Seite
1. Vorbemerkung . . . . .	1
2. Stoffwechsel der lebendigen Substanz . . . . .	4
3. Allgemeines über den Kräfterwechsel . . . . .	27
4. Quelle der Lebenskräfte . . . . .	49
5. Die Reizung . . . . .	57
6. Der Erregungsvorgang . . . . .	73
7. Der elementare Arbeitsmechanismus . . . . .	85
8. Der Gesamtmechanismus . . . . .	99
9. Der Ernährungsmechanismus . . . . .	105
10. Speise und Trank . . . . .	117
11. Die Athmungsluft . . . . .	142
12. Der Athnungsmechanismus . . . . .	148
13. Blut und Lymphe . . . . .	167
14. Der Kreislaufmechanismus . . . . .	181
15. Absonderung und Ausscheidung . . . . .	205
16. Allgemeines über den Arbeitsmechanismus . . . . .	223
17. Die Bewegungsmechanismen . . . . .	227
18. Der Seelenmechanismus . . . . .	236
19. Die Sinnesmechanismen . . . . .	251
20. Die willkürliche Thätigkeit . . . . .	259
21. Ermüdung und Erholung . . . . .	274
22. Erkältung . . . . .	292
23. Erhitzung . . . . .	303
24. Wuchs und Haltung . . . . .	315
25. Uebung und Gewöhnung . . . . .	324

## VI

## Inhalt.

	Seite
26. Abhärtung . . . . .	348
27. Abwechslung . . . . .	364
a) Beschäftigungswechsel . . . . .	367
b) Nahrungswechsel . . . . .	379
c) Luftwechsel . . . . .	386
d) Blutwechsel . . . . .	399
28. Berufsarbeit . . . . .	406
29. Das Turnen . . . . .	424
30. Das Militärwesen . . . . .	467
a) Die Kaserne . . . . .	470
b) Die militärische Erziehung . . . . .	482
31. Die äußeren Schädlichkeiten . . . . .	514

---

## I. Vorbemerkung.

Man war früher der Ansicht, daß die chemischen und physikalischen Vorgänge, auf welchen der Wechsel von Stoffen und Kräften in lebendigen Körpern besteht, wesentlich anderer Natur seien als die in den leblosen Körpern, namentlich daß sie unter dem Einfluß einer eigentlichen sogenannten „Lebenskraft“ vor sich gehen. Die Forschung hat diese Annahme von Schritt zu Schritt eingengt, indem sie einen Vorgang um den andern als die Wirkung der auch in der unorganischen Natur thätigen Kräfte erkannte. Nur für die spezifische Formung des Körpers und die spezifischen Triebe der Organismen muß sie sich gegenwärtig mit der sogenannten „Vererbungskraft“ begnügen, für welche bis jetzt noch kaum eine solide Fühlung mit den bekannten Naturkräften gefunden worden ist. Ein ähnlicher Rest unaufgelöster und somit unverständlicher Kräfte ist auf dem Gebiet der Seelenthätigkeiten übrig geblieben, obwohl ein großer Theil derselben ohne Zwang auf die bekannten Naturkräfte zurückgeführt werden kann.

Bei unserer Schilderung lassen wir die eben genannten dunkeln Gebiete bei Seite liegen und beschränken uns auf das, was sicher ermittelt ist, indem schon aus diesem allein sich ein hinreichendes Verständniß für das Wesen und die Bedingungen der menschlichen Arbeitskräfte gewinnen läßt.

Man hat den Leib des Menschen mit Rücksicht darauf, daß von ihm Kraftleistungen ausgehen, vielfach mit einer Maschine verglichen und ihn eine Kraftmaschine genannt. Dieser Vergleich ist ein sehr nützlicher, das Verständniß erleichternder und wir werden im Folgenden gleichfalls von ihm Gebrauch machen, allein wir müssen gleich von vornherein auch auf die wesentlichen Umstände aufmerksam machen, durch welche sich der Menschenleib von einer Maschine unterscheidet.

Beide, Menschenleib und Maschine, haben das gemein, daß sie aus einer großen Zahl einzelner Theile zusammengesetzt sind, welche ihre Bewegungen auf einander übertragen und welche im Verhältniß der Leistung und Gegenleistung zu einander stehen. Aber der wesentliche Unterschied besteht darin :

Die einzelnen Stücke einer Maschine sind todtte Gebilde, welche nichts anderes zu leisten vermögen, als eine ihnen von außen zugeführte Bewegung fortzuleiten und auf andere Theile zu übertragen, und in der ganzen Maschine gibt es nur einen einzigen Theil, der wirklich Kräfte erzeugt d. h. freie Bewegungen entbindet: z. B. bei einer Dampfmaschine der Dampfkessel mit seiner Feuerung.

Beim Thierkörper gehen nun wohl in den Aufbau der Maschine auch todtte oder wenigstens solche Theile ein, welche als todt betrachtet werden können, aber das sind nur sehr wenige und untergeordnete, die meisten Bestandtheile der Körpermaschine sind lebendig d. h. erzeugen in sich neue lebendige freie Bewegungen, so daß wir zu einem andern Vergleich hingedrängt werden, nämlich zu dem mit einem Staatswesen, in welchem ja auch jeder einzelne Theil für sich selbst lebendig ist und Kräfte erzeugt und wo die Gesamtarbeit nur das Resultat der Einzelthätigkeiten ist, die nach den Prinzipien der Arbeitstheilung und Cooperation zusammenwirken. Der Körper eines höheren Geschöpfes, wie

es der Mensch ist, ist nicht eine Maschine sondern ein Staatswesen aus Maschinen, ein Maschinenstaat.

Daraus folgt, daß die Grundlage eines richtigen Einblicks in das Getriebe des Menschenleibs eine Kenntniß derjenigen Lebensvorgänge ist, welche sich in jedem einzelnen Theil des großen Maschinencomplexes abwickeln. Bei dem Wort Theil darf man aber nicht an die groben mit bloßem Auge sichtbaren Stücke, wie Muskeln, Gefäße, Drüsen zc. denken, sondern an die sogenannten Elementarorganismen oder Elementarmaschinen, die so klein sind, daß die meisten derselben dem bloßen Auge gar nicht oder nur als Pünktchen oder feinste Fäserchen sichtbar sind. Denn erst aus diesen werden die größeren Formbestandtheile aufgebaut und ihrer persönlichen Lebensthätigkeit verdanken die letzteren, daß sie einer Leistung fähig sind.

Diese Elementarorganismen sind nicht alle einander gleich, die einen haben die Form von Kugeln, Scheibchen, vielseitigen Körpern, Cylindern zc., die andern die Form von langen Fasern und Bändern, und auch in dem innern Bau und der chemischen Zusammensetzung sind sie sehr mannigfach verschieden; gemeinschaftlich ist ihnen aber allen, daß sie aus einer Substanz bestehen, die wir „lebendig“ nennen müssen.

Ueber den Bau der lebendigen Substanz läßt sich das Folgende sagen: So verschieden sie bei den verschiedenartigen Elementarorganismen aussieht, immer besteht sie mehr oder weniger deutlich aus einer festweichen zusammenhängenden Grundmasse und feinen unzusammenhängenden Körnchen, die bald regelmäßig bald unregelmäßig gelagert, bald größer bald kleiner, bald kuglich bald eckig geformt sind. Diese Substanz, die man auch Protoplasma nennt, ist der Träger des Lebens, und der Versuch das Leben mit seinen Kräften, Erscheinungen und Bedingungen zu erklären, hat sich zu allererst an sie zu halten.

Fassen wir die an jeder lebendigen Substanz zu beobachtenden Erscheinungen kurz zusammen.

Während die todten Naturkörper in chemischer und physikalischer Beziehung ein stabiles Gleichgewicht haben, d. h. den chemischen und physikalischen Existenzbedingungen sich zwar anbequemen, allein nach gewonnener Unbequemung im Gleichgewicht verharren, zeigt die lebendige Substanz ein auffallend labiles, rhythmischen Störungen unterworfenen Gleichgewicht in chemischer und physikalischer Beziehung, d. h. sie ändert bei gleichbleibenden äußeren Umständen ihre chemische Zusammensetzung durch rhythmische Aufnahme, Umwandlung und Absonderung von Stoffen (Stoffwechsel), und ihren physikalischen Zustand durch rhythmische Aufnahme, Umwandlung und Absonderung von Bewegungen und Spannkraften (Kraftwechsel).

Das ist wie der Leser sieht eine ganze Reihenfolge ziemlich verwickelter Vorgänge, und es ist unerlässlich, jeden derselben zunächst für sich allein der Betrachtung zu unterwerfen und dann zu sehen, in welchen Beziehungen sie zu einander stehen.

## 2. Der Stoffwechsel der lebendigen Substanz.

Wie schon angedeutet, besteht derselbe darin, daß in die lebendige Substanz Stoffe eindringen, dort chemisch umgewandelt werden und nun in veränderter Zusammensetzung wieder austreten. Dieser Vorgang setzt gewisse Beschaffenheiten und Fähigkeiten der lebendigen Substanz und gewisse äußere Umstände voraus, ohne die derselbe nicht möglich ist: wir nennen das erstere die Stoffwechselfähigkeit, und das letztere die Stoffwechselbedingungen.

Um mit letzteren zu beginnen, so bestehen dieselben der Hauptsache nach darin, daß die lebendige Substanz von einer tropfbaren Flüssigkeit umgeben ist, an welche folgende Anforderungen zu stellen sind.

Die Flüssigkeit muß eine wässrige sein, denn in keiner andern tropfbaren Flüssigkeit (Alkohol, Aether, Oelen etc.) kann die lebendige Substanz arbeiten. Andererseits aber darf dieselbe auch kein chemisch reines, destillirtes Wasser sein und zwar aus mehrfachen Gründen:

1. entzieht chemisch reines Wasser der lebendigen Substanz gewisse für ihre Thätigkeit unentbehrliche Bestandtheile z. B. ihre Salze;

2. ruft es eine so hochgradige Quellung hervor, daß die Regulationsverrichtungen, von denen der Rhythmus der Lebensthätigkeit abhängig ist, schon mechanisch zerstört werden und Lösungen fester Theile erfolgen, die nothwendig zur Funktion sind;

3. fehlen dem chemisch reinen Wasser die unten zu erwähnenden Stoffe, die das Protoplasma unausgesetzt haben muß, wenn es funktionieren soll.

Das destillirte Wasser ist demgemäß als Gift und zwar als ein sehr heftiges zu bezeichnen.

Unter den Stoffen, welche das Wasser enthalten muß, wenn es das Leben ermöglichen soll, muß in erster Linie als absolut unerläßlich freier d. h. auspumpbarer Sauerstoff genannt werden. In jedem sauerstofflosen Wasser erlischt das Leben des Protoplasma's in verhältnißmäßig kurzer Zeit, wie begreiflich ist, wenn wir wissen, daß die Lebenserscheinungen auf Oxydationen im Innern des Protoplasma's beruhen. So sicher das Feuer erstickt, wenn ihm nicht stets freier Sauerstoff zugeführt wird, erlischt auch das Leben ohne steten Nachschub dieses Elementes.

In zweiter Linie stehen gelöste feste Stoffe, über die etwas ausführlicher gesprochen werden muß. Wie wir später sehen werden, ist einer der wichtigsten Faktoren nicht bloß für das Leben überhaupt, sondern für die Eigenartigkeit des Lebens verschiedener Gewebe und die Energie dieses Lebens ein für jede Protoplasma-Art bestimmter Quellungsgrad. Jedes Stückchen Protoplasma hat einen eigenen Mechanismus, von dessen Umkehrtheit seine rhythmischen Funktionen abhängig sind und dieser Mechanismus ist einem bestimmten Volumen des Protoplasma's angepaßt (wovon später). Sobald durch höhere Quellung das Volumen über ein gewisses Maß hinaus vergrößert wird, zerreißt dieser Mechanismus. Wir müssen uns das Protoplasma dabei etwa vorstellen wie ein Uhrwerk, das in eine Hülle von Gummi festgemacht ist; blasen wir die Hülle über ein gewisses Volumen auf oder pressen wir sie zusammen, so wird der Mechanismus zerstört. Die umspülende Flüssigkeit muß also so zusammengesetzt sein, daß sie diese Quellung nicht hervorbringt, eine Eigenschaft, welche der Physiologe als Indifferenz bezeichnet.

Fest steht, daß Zusatz einer bestimmten Menge von Kochsalz zum Wasser demselben die Eigenschaft der Indifferenz verleiht und dasselbe gilt auch von den andern neutralen Natriumsalzen, und es wird uns jetzt begreiflich, warum alle zur Ernährung der Gewebe bestimmten Körperflüssigkeiten Kochsalz und nebstbei andere neutrale Natriumsalze enthalten.

In letzteren betheiligt sich übrigens an der Herstellung der Indifferenz auch noch ein Theil der Stoffe, deren hervorragendere Bedeutung darin besteht, daß sie die Nahrung für die lebendige Substanz sind.

Es gibt — und zwar auch im menschlichen Körper — Elementarorganismen, welche in stofflicher Beziehung an die

umspülende Flüssigkeit keine anderen Anforderungen als die obengenannten stellen, weil sie im Stande sind, körperliche Gebilde zu verschlingen und sich so Nahrung zu verschaffen. Dessen sind aber die meisten und wichtigsten Elementarorganismen des Menschenleibs nicht fähig, sie können nur Flüssigkeiten in sich eindringen lassen und für diese ist nun erforderlich, daß die umspülende Flüssigkeit außer den Salzen noch andere feste Stoffe in Lösung enthält, welche die Rolle von Nahrungstoffen spielen können und zwar darum:

Das Leben besteht darin, daß von der lebendigen Substanz fortwährend Leistungen ausgehen in Form von stofflichen Absonderungen und freien Bewegungen, ohne daß die Substanz selbst weniger wird. Da aus Nichts auch Nichts wird, so erfordert die Produktion der Leistungen einen steten Materialnachschub und in dem Stück vergleicht sich die lebendige Substanz mit dem Dampfkessel einer Maschine, der ebensovienig Leistungen erzeugen kann, wenn ihm nicht fortwährend neues Heizmaterial zugeführt wird.

Man kann die Nothwendigkeit der Zufuhr auch von anderem Standpunkt aus begründen.

1. Bewirkt der aus dem umspülenden Medium eindringende Sauerstoff eine fortdauernde oxydative Zerstörung der die lebendige Substanz bildenden Stoffe (Gewebsbildner), und dieser Abgang muß ersetzt werden.

2. Bedarf das Protoplasma gegen die zerstörende Einwirkung des Sauerstoffes auf seine Gewebsbildner eines gewissen Schutzes, der dadurch geleistet wird, daß demselben stets Stoffe zugeführt werden, welche leichter oxydirbar sind als die Gewebsbildner und deshalb den Sauerstoff (natürlich nicht allen) neutralisiren (Brennstoffe).

3. Werden bei dem Vorgang der Absonderung nicht nur die Zerfallprodukte der Gewebsbildner und Brennstoffe fortgeführt, sondern mit ihnen auch gewisse Stoffe, ins-

besondere Salze, welche ersetzt werden müssen, weil sie für die Aufrechterhaltung des Mischungszustandes der Quellungsflüssigkeit des Protoplasma's und der Mechanik und Chemie des Protoplasma's erforderlich sind.

Im einzelnen handelt es sich bei diesem Nachschub um folgende Stoffe:

1. Eiweißstoffe (Albuminate) oder eiweißähnliche Stoffe (Albuminoide), die man auch zusammenfassend stickstoffhaltige Nährstoffe nennt, weil in ihrem Molekularaufbau der Stickstoff eine grundlegende Rolle spielt. Ihre Zufuhr ist hauptsächlich erforderlich, weil die festen mechanisch arbeitenden Bestandtheile der lebendigen Substanz Eiweißstoffe sind (Organ=Eiweiß).

2. Kohlenhydrate und zwar die löslichen Formen derselben, die wir Zuckerarten nennen. Als sehr leicht verbrennbare Substanzen sind sie besonders bestimmt die lebendige Substanz vor den zu heftigen Einwirkungen des Sauerstoffs zu beschützen und eine andere Seite derselben ist, daß sie bei ihrer Verbrennung große Mengen lebendiger Kräfte entwickeln, also in hohem Maße zu den Kraftleistungen beisteuern, welche von der lebendigen Substanz ausgehen.

3. Neutralfette oder deren Seifen. Ihre Bedeutung ist eine ähnliche wie die der Kohlenhydrate: sie haben eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff und entbinden bei ihrer Oxydation bedeutende Mengen von freien Kräften, betheiligen sich also sowohl an der Erzeugung der Kraftleistungen als an der Beschützung der Gewebsbildner vor den zerstörenden Einwirkungen des Sauerstoffs. Sie unterscheiden sich aber von den Kohlenhydraten darin: einmal geht ihre Oxydation viel langsamer von Statten, sie leisten mithin viel nachhaltigere Dienste als die rasch verpuffenden Zuckerarten. Dann entbinden sie fast 1,7 mal so viel Kräfte als letztere, wodurch die Langsamkeit der Verbrennung reich-

lich ersetzt wird. Endlich haben sie den Vorzug, daß ihre Verbrennungsprodukte die Erregbarkeit der lebendigen Substanz nicht so stark beeinträchtigen, wie es die aus dem Zucker in erster Linie entstehende Milchsäure thut. Insofern aber steht das Fett in seiner Bedeutung den Zuckerarten nach, als es nicht so rasch und in solcher Menge in die lebendige Substanz eindringen kann, wie die leicht diffundirbaren Zuckerarten und daß es deshalb weder bei der Abstumpfung des Sauerstoffs noch bei der Krafterzeugung so prompt wirkt. Diese Umstände bedingen, daß Zucker und Fett als Nahrung für die lebendige Substanz sich zwar eine Zeit lang vertreten können, aber nicht für die Dauer und nicht unter allen Verhältnissen. Soll die umspülende Flüssigkeit allen Anforderungen des Lebens entsprechen, so muß sie beide Stoffe enthalten und das ist auch bei den Gewebssäften der Fall.

4. Betreffs der Salze haben wir schon früher solche erwähnt, die der Indifferenz halb in der Flüssigkeit enthalten sein müssen (Kochsalz und andere Natronsalze); hinzu kommen noch gewisse Salze, die man als Nährsalze zu bezeichnen hat, weil sie eine nicht unwichtige später zu beschreibende Rolle zu spielen haben, es sind das insbesondere die Kalisalze.

5. Eine weitere Stoffgruppe, die dem umspülenden Medium nicht abgehen darf, sind gewisse spezifische d. h. für die verschiedenen Thierarten verschiedene, chemisch reizende organische Stoffe, die man als Schmeck- oder Riechstoffe bezeichnen kann, weil sie auf die beiden chemischen Sinne ganz besonders einwirken. Welche Bedeutung ihnen zukommt, dafür Näheres bei der Mechanik der Stoffaufnahme.

Haben wir im bisherigen kurz aufgeführt, was die Flüssigkeit an Stoffen enthalten muß, wenn sie das Leben der lebendigen Substanz erhalten soll können, so muß nun auch kurz gesagt werden, was sie nicht enthalten darf. Das

ist nun zwar sehr manniglei, allein doch läßt es sich unter einige Gesichtspunkte bringen.

1. Darf die umspülende Flüssigkeit von denjenigen Stoffen, welche in der lebendigen Substanz durch den chemischen Umsatz der Nahrungsstoffe und des Sauerstoffes gebildet werden, also von den sog. Exkretstoffen nur sehr geringe Mengen enthalten, denn dieselben sind nicht nur nicht im Stande das Leben zu erhalten, sondern sie wirken theils geradezu giftig, theils wenigstens lähmend oder einmügend. Diese Stoffe sind Kohlensäure, verschiedene organische Säuren und zwar theils flüchtige (riechende, sog. Ausdünstungsstoffe) theils fixe wie die Milchsäure, saure Salze, insbesondere saures phosphorsaures Kali und von stickstoffhaltigen Verbindungen insbesondere der Harnstoff. Sobald diese Stoffe sich in größerem Betrag in der Ernährungslüssigkeit aufhäufen, so nimmt die Energie der Lebenserscheinungen ab und hört schließlich ganz auf.

2. Muß die Flüssigkeit frei sein von gewissen Stoffen, die man wegen ihrer verderblichen Wirkungen auf die lebendige Substanz Gifte nennt. Ihre Aufzählung würde uns hier zu weit führen.

Endlich ist für die stoffliche Zusammensetzung der Flüssigkeit auch die Menge, in welche die Stoffe in ihr gelöst sind, ihr Concentrationsgrad von großer Wichtigkeit, denn auch von ihm hängt es ab, ob sie die Eigenschaft der Indifferenz besitzt oder nicht.

Außer den genannten stofflichen Erfordernissen sind auch einige physikalische anzuführen.

1. Muß die umspülende Flüssigkeit einen gewissen Wärmegrad besitzen, welcher beim Menschen und den sog. warmblütigen Thieren einen sehr engen Spielraum besitzt. Nach den gemachten Versuchen stirbt ein warmblütiges Thier, wenn seine Temperatur auf  $+15^{\circ}\text{C.}$  gefallen oder auf

+ 45° C. gestiegen ist. Die zuträglichste Wärme ist 37,5° C., die wir denn auch im gesunden Zustand überall im menschlichen Körper finden mit der Ausnahme, daß die Oberfläche etwas kühler ist.

2. Muß die Flüssigkeit unter so großem Druck stehen, daß sie den absolut nöthigen Sauerstoff festhalten kann. Deshalb hat das Leben eine Grenze in Bezug auf die Meereshöhe, und bei Versuchen sich über diese zu erheben, erlischt das Leben.

3. Ein entschieden wichtiger Faktor ist der Bewegungszustand des umspülenden Mediums. Absolute Ruhe desselben scheint für alle lebendigen Substanzen auf die Dauer verhängnißvoll zu sein und zwar aus verschiedenen Gründen:

a) weil die chemischen Verbindungen, die das Protoplasma in seinem Innern erzeugt und an das umspülende Medium abgibt, ohne Bewegung dieses Mediums nicht rasch genug durch bloße Diffusion weggeführt werden können, und die Abfuhr ist nöthig, weil diesen Stoffen die Eigenschaft der Indifferenz nicht zukommt, sie sind, wie schon oben gesagt, Gifte oder Ermüdungsstoffe; b) weil das Protoplasma dem umspülenden Medium den freien Sauerstoff entzieht und die Diffusionsgeschwindigkeit des letzteren nicht groß genug ist, um bei absoluter Stagnation den nöthigen Nachschub zu liefern; c) weil die lebendige Substanz der Flüssigkeit auch die Nährstoffe nach und nach entzieht und diese ebenfalls auf dem Wege der Diffusion allein nicht in genügender Menge herangeschafft werden können.

Aus diesen Gründen ist es nöthig, daß stets neue Portionen des Mediums mit dem Protoplasma in Berührung kommen, was allerdings auf zweifache Weise geschehen kann: wenn das Protoplasma ruht, so muß sich das Medium bewegen, oder wenn letzteres ruht, so muß das Protoplasma in ihm sich fortbewegen.

Für die Elementarorganismen, welche den menschlichen Leib aufbauen, ist die eben geschilderte Flüssigkeit das Blut, sowie der aus ihm durch Abfiltration gebildete Gewebssaft und die Lymphe, aber mit der Einschränkung, daß das Blut als Vermittler zwischen den verschiedenartigen Bedürfnissen aller den Körper belebenden Elementarorganismen noch einige andere Erfordernisse erfüllen muß, die wir erst dann besprechen werden, wenn wir an die Wechselbeziehungen der Körperteile kommen.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so ist die Aufrechterhaltung der Lebensthätigkeit der lebendigen Substanz davon abhängig, daß dieselbe in einem fortgesetzten Stoffverkehr mit einer sie umspülenden wässrigen Flüssigkeit stehen kann, die ihr alle Stoffe, welche sie braucht, liefert und alle Stoffe, die sie durch ihren Chemismus gebildet, auch wieder abnimmt. Diese Stoffe sind theils Gase theils fixe in Lösung befindliche chemische Verbindungen. Den Stoffwechsel der Gase nennt man die Athmung und zwar speziell die Gewebsatmung (im Gegensatz zu der Blutathmung und äußeren Athmung, die beide sociologische später zu schildernde Vorgänge sind). Beim Stoffwechsel der festen Stoffe unterscheidet man die Aufnahme als Ernährung von der Abgabe, die man Absonderung nennt.

Wie aus dem Vorigen ersichtlich, beruht der Stoffwechsel auf dem Verkehr der lebendigen Substanz mit einer wässrigen Flüssigkeit beziehungsweise den in derselben gelösten Stoffen. Dieser Verkehr ist nur verständlich, wenn wir diejenigen Gesetze kennen, von denen der Stoffverkehr auch außerhalb des Körpers beherrscht wird.

Die wichtigsten derselben sind die Gesetze der Diffusion, die eine Consequenz der allgemeinen Anziehung sind, welche alle Stoffe auf einander ausüben und sich in folgenden Erscheinungen äußern:

1. Zwei Flüssigkeiten (tropfbare oder gasförmige) durchdringen sich, vorausgesetzt, daß sie überhaupt mischungsfähig sind, auch ohne Vermittelung der chemischen Verwandtschaft und mechanischer Erschütterung und ohne daß dabei eine chemische Verbindung vor sich geht, gegenseitig so innig, daß schließlich der ursprünglich nur von einer derselben eingenommene Raum von einer gleichmäßigen Mischung beider erfüllt wird: Diffusion im engeren Sinne des Wortes.

2. Bei den Beziehungen zwischen einer Flüssigkeit und einem festen Körper sind zwei Fälle aus einander zu halten:

a) Ueberwiegt die Adhäsion der Moleküle der Flüssigkeit an die des festen Stoffes über die Cohäsion, mit welcher sich die Moleküle des festen Körpers festhalten, so diffundirt der feste Körper in die Flüssigkeit: Lösung.

b) Ist der Körper in der Flüssigkeit nicht löslich, so ist zweierlei möglich: entweder verhalten sie sich ganz indifferent, oder es findet ein einseitiger Austausch statt, d. h. es dringt Flüssigkeit zwischen die Moleküle des festen Körpers, so daß dieser sein Volumen vergrößert: Quellung.

Wir müssen uns diese dreierlei Diffusionsvorgänge — die Diffusion im engeren Sinn, die Lösung und die Quellung — noch im einzelnen besprechen.

Bei der ersteren sind zwei Fälle zu unterscheiden: a) entweder sind beide Flüssigkeiten im tropfbaren Zustand: den Verkehr solcher heißt man die Hydrodiffusion; b) oder die eine Flüssigkeit ist im tropfbaren Zustand, die andere im gasförmigen. Hier bezeichnet man das Eindringen des Gases in die Flüssigkeit als Gasabsorption, den Wiederaustritt als Gasaushauchung, während der Uebertritt von Wasser in das Gas als Verdunstung bezeichnet wird.

Für die Gasabsorption gilt Folgendes: Jede tropfbare Flüssigkeit nimmt unter sonst gleichen Verhältnissen von

jedem Gase, mit dem sie in Berührung steht, ein ganz bestimmtes Volumen auf. Allein dieses ist je nach der Natur des Gases oder der Flüssigkeit verschieden groß und für ein und dasselbe Paar von Gas und Flüssigkeit nimmt die absorbirte Menge mit steigender Temperatur ab, mit steigendem Drucke zu. Hat eine Flüssigkeit unter bestimmten Verhältnissen Gase absorbirt und ändert sich Druck und Temperatur derart, daß unter diesen Verhältnissen nur ein geringeres Gasquantum absorbirt werden könnte, so entweicht dieser Ueberschuß aus der tropfbaren Flüssigkeit in die darüber stehende Gaschicht: Gasaushauchung. Da mit dem Druck das Volumen eines Gases in geradem Verhältniß steht, so kann man den Satz auch so formuliren: Bei gleicher Temperatur nimmt eine bestimmte Flüssigkeit von einer bestimmten darüber stehenden Gasart stets gleiche Volumina auf und die Ziffer, welche dieses Verhältniß bezeichnet, wird der Absorptionscoefficient genannt. Z. B. der Absorptionscoefficient für Wasser und Kohlensäure ist bei 0° Temperatur 1,7967, bei 20° Temperatur 0,9; für Wasser und Sauerstoff bei 0° 0,041, bei 20° 0,02838. Sobald eine Flüssigkeit die ihrem Absorptionscoefficienten und der gegebenen Temperatur entsprechende Gasmenge aufgenommen hat, heißt sie gesättigt. Diese Sättigung ist sofort aufgehoben, sobald ein Theil des Gases in der Flüssigkeit chemisch gebunden wird; sie nimmt dann für jedes gebundene Volumen ein neues auf, sofern nicht durch die neu entstandene chemische Verbindung der Absorptionscoefficient der Flüssigkeit verändert worden ist. Die Gasabsorption und Gasaushauchung spielt bei der äußeren Athmung des Gesamtkörpers eine wichtige Rolle; bei der Gewebsathmung dagegen kommt das Geseß in Betracht, daß zwei sich berührende Flüssigkeiten ihre Gase gegen einander austauschen. Sobald in der Flüssigkeit a die Gasmenge geringer wird als in b,

diffundirt Gas von b in a; steigt dagegen in a die Gasmenge höher, als sie in b ist, so diffundirt Gas von a in b.

Die Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten in Gasarten heißt Verdunstung. Der Betrag derselben, der für ein und dasselbe Paar von Gas und Flüssigkeit unter gleichen Umständen gleich, für verschiedene Gas- und Flüssigkeitscombinationen verschieden ist, nimmt bei einer und derselben Combination mit der Temperatur zu und ab mit zunehmendem Sättigungsgrade des Gases mit Dampf, so daß dieser Betrag in einem bestimmten Punkte gleich Null wird: Sättigungspunkt. Man sagt jetzt auch: die Dampfspannung, die durch den Druck einer Quecksilbersäule gemessen werden kann, habe ihr Maximum erreicht. Jede Flüssigkeit besitzt eine bestimmte Dampfspannung, von der es abhängt, wie viel Flüssigkeit nöthig ist, um eine bestimmte Gasart bei bestimmter Temperatur mit Dampf zu sättigen. Der Druck, unter dem die Gasart selbst steht, wirkt in so fern auf die Verdunstung, als deren Geschwindigkeit bei steigendem Druck abnimmt. Bei der Verdunstung wird Wärme gebunden.

Der Verdunstung ist der Körper des Menschen im ganzen zwar nicht immer aber doch meistens ausgesetzt, da die ihn umgebende Luft in der Regel nicht mit Wasserdampf gesättigt ist.

Unter Lösung versteht man die Diffusion fester Stoffe in tropfbare Flüssigkeiten, wobei der feste Körper zergeht, seine Moleküle sich von einander entfernen und sich zwischen die Moleküle der Flüssigkeit lagern. Lösung tritt ein, wenn die Cohäsion der Moleküle des festen Körpers von der Adhäsion derselben an die Flüssigkeitsmoleküle übertroffen wird. Die Lösung erfolgt ebenfalls in bestimmten Verhältnissen, welche mit der Natur der Flüssigkeit und des festen Stoffes wechseln. Von weiterem Einfluß ist die Temperatur, indem

im allgemeinen mit steigender Temperatur die Löslichkeit eines bestimmten festen Körpers steigt; manche Stoffe dagegen lösen sich bei allen Temperaturen in gleichen Mengen, manche andere sind sogar bei niedriger Temperatur löslicher als bei höherer. Bei jeder Lösung wird Wärme gebunden und zwar mehr als bei der Schmelzung des festen Stoffes, und um so mehr, je größer die Verdünnung ist. Da das spezifische Gewicht einer Lösung stets höher ist als das aus der Flüssigkeit und dem festen Stoff berechnete mittlere, und da der Gefrierpunkt und Siedepunkt der Flüssigkeit erniedrigt beziehungsweise erhöht wird, so hat man es mit einer innigeren Bindung zwischen den Molekülen des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes zu thun.

Die Löslichkeit eines Stoffes in einer Flüssigkeit wird bald erhöht bald erniedrigt, wenn in der letzteren bereits ein anderer Stoff gelöst ist; sie kann aber auch unverändert bleiben.

Ein Mittelding zwischen Lösung und Quellung zeigen die sogenannten colloidalen Stoffe, zu denen die wichtigsten organischen Verbindungen (Albuminate etc.) gehören; hier ist die Cohäsion der Moleküle des festen Stoffes nicht völlig überwunden. Die Stoffe, welche echte Lösungen geben, nennt man im Gegensatz hierzu Kristalloide.

Diffusion von Flüssigkeiten in feste Stoffe heißt Quellung, Imbibition, und es ist eine charakteristische Eigenschaft aller die thierischen und pflanzlichen Gewebe bildenden Stoffe, daß sie besonders quellungsfähig sind. Jeder quellungsfähige Stoff nimmt aus einer bestimmten Flüssigkeit eine endliche Menge in sich auf (Quellungsmaximum), wodurch ein bestimmtes Quellungsverhältniß gegeben ist. Dieses Quellungsverhältniß wechselt je nach der Natur der Flüssigkeit und des quellbaren Stoffes, ferner mit der Temperatur und dem Grade, sowie der Dauer

der Austrocknung, in der der feste Stoff vor dem Beginn der Quellung sich befand.

Quellungsfähige Körper sind auch hygroskopisch, d. h. sie ziehen den in der Luft vorhandenen Wasserdampf an und verwenden ihn zur Quellung. Alle thierischen Stoffe sind in hohem Grade hygroskopisch.

Von der Quellungsfähigkeit kann ein Theil durch Druck leicht ausgepreßt werden, ein anderer widersteht den kräftigsten Druckwirkungen. Dasselbe Verhalten besteht gegenüber der Entwässerung durch Wärme: Ein Theil entweicht sehr leicht schon bei gewöhnlicher Temperatur, während ein anderer erst bei hoher Temperatur verdrängt werden kann.

Wenn die Quellungsfähigkeit eine Lösung ist, so ändern sich die Quellungsmaxima sowohl mit der Natur als mit dem Prozentgehalt des gelösten Stoffes. B. B. wenn trockene Harnblase von Wasser 3,1 Theile aufnimmt, so nimmt sie von einer 9%igen Kochsalzlösung 2,88 und von einer 13,5%igen nur 2,35 Theile auf; getrockneter Herzbeutel nimmt von einer 5,5%igen Kochsalzlösung 1,35, von einer eben solchen Glaubersalzlösung 1,15 Theile auf.

Weiter zeigt sich, daß der in den gequollenen Körper aufgenommene Theil der Lösung stets eine geringere Concentration besitzt als die zurückbleibende, umspülende Flüssigkeit; zwar ist dieses Verhältniß entweder ein constantes, oder es wechselt mit dem Prozentgehalt der Lösung. Dies gilt jedoch nur von demjenigen Theil der aufgenommenen Lösung, welcher sich durch Auspressen nicht entfernen läßt; der auspreßbare Theil hat den gleichen Prozentgehalt wie die umspülende Flüssigkeit.

Diffundiren gleichzeitig zwei Lösungen in einen quellbaren Körper, so werden die Quellungsverhältnisse der einen durch die der andern alterirt, wenn beide Lösungen mischbar

sind. Sind dagegen zwei Lösungen oder Flüssigkeiten nicht mischbar, so ist zweierlei möglich:

a) die zuerst eingedrungene Flüssigkeit verhindert die andere am Eindringen, z. B. ein wässrig imbibirter Stoff verhindert die Imbibition durch Del und umgekehrt;

b) es wird die zuerst imbibirte Flüssigkeit durch eine nachfolgende verdrängt, z. B. Alkohol durch ätherische Oele (wobon man in der Conservirungstechnik Gebrauch macht).

Unter *Hydrodiffusion* versteht man die gegenseitige Diffusion zweier tropfbarer Flüssigkeiten oder Lösungen in einander, unabhängig von Erschütterung, spezifischem Gewicht u. Der Endeffekt, der eine völlige Ausgleichung der Unterschiede ist, hängt in seiner Geschwindigkeit ab:

1. von der Natur des gelösten Stoffes und der bezüglichen Flüssigkeiten,

2. von der Temperatur, indem die Geschwindigkeit mit der Temperatur steigt.

Der einfachste Fall ist Diffusion einer wässrigen Lösung in Wasser. Hier ist die Geschwindigkeit einmal abhängig von der Natur des gelösten Stoffes. In dieser Beziehung besteht ein höchst bemerkenswerther Gegensatz zwischen den sogenannten *colloiden* und *kry stalloiden* Substanzen, indem die ersteren eine viel geringere Diffusionsgeschwindigkeit haben als die letzteren. Z. B. wenn die des colloiden Eiweißes gleich 1 gesetzt wird, so ist die von dem ebenfalls noch colloiden Gummi = 4,30, die des kry stalloiden Rohrzuckers = 8,68, die des kry stalloiden Kochsalzes = 19,05. Concentrirtere Lösungen diffundiren rascher als verdünntere.

Aus einem Lösungsgemenge diffundirt jeder Stoff für sich, d. h. als wäre er für sich allein gelöst.

Die für die Lebensvorgänge wichtigste Hydrodiffusion ist die *Osmose*, d. h. die Diffusion zweier Lösungen oder

Flüssigkeiten, die durch eine Membran geschieden sind, in der nur intramolekulare Poren vorkommen.

Bedingung der Osmose ist: a) daß die beiden Flüssigkeiten verschiedenartig sind, b) daß dieselben die Membran imbibiren können; c) für die Osmose eines gelösten Stoffes ist Bedingung, daß jenseits der Membran eine ihn lösende Flüssigkeit sich befindet, die eine Anziehung auf ihn ausübt und daß seine Moleküle nicht größer sind als die Poren der Membran. Hierbei fand Traube, daß die Poren einer Membran stets etwas kleiner sind als die Moleküle des Membranbildners; daß die Größe des Moleküls eines Körpers in geradem Verhältniß steht zu seinem Atomgewicht; daß also kein Stoff durch eine Membran diffundirt, der ein gleiches oder höheres Atomgewicht hat als der Membranbildner; daß der Membranbildner durch die von ihm selbst gebildete Membran nicht diffundiren kann; daß endlich ein Stoff um so leichter diffundirt, je kleiner seine Moleküle im Verhältniß zu denen des Membranbildners sind. Da die thierischen Membranen aus colloiden Verbindungen bestehen, so diffundiren colloide Lösungen schwer oder gar nicht, dagegen die niederatomigen Krystalloide leicht. Hierauf beruht die Scheidung beider aus Lösungsgemischen mittelst der Dialyse.

Sind die Bedingungen zur Osmose vorhanden, so sind die Erscheinungen folgende:

1. Die beiden Flüssigkeiten mischen sich durch die Membran hindurch ganz unabhängig von hydrostatischem Druck, ja sogar gegen denselben, bis zu völliger Gleichheit vermittelt sich kreuzender Ströme.

2. Die sich kreuzenden Ströme sind in ihrer Stärke meist nicht gleich. Hat man z. B. einerseits eine Lösung eines festen Stoffes, andererseits nur dessen Lösungsmittel, so sind die Mengen, welche von dem Stoff in das Lösungs-

mittel und von diesem zurück in die Lösung gehen, nicht gleich und das Gewichtsverhältniß wird das endosmotische Aequivalent des betreffenden gelösten Stoffes genannt.

3. Das endosmotische Aequivalent ist um so größer, je größer die Differenz im Atomgewicht zwischen Membranbildner und gelöstem Stoff und je größer die Anziehung ist, welche zwischen Lösungsmittel und gelöstem Stoff besteht.

4. Die Zeit, welche bis zu völliger Ausgleichung beider Ströme verstreicht, steigt mit der Dicke der Membran und verkürzt sich mit steigender Temperatur und steigendem endosmotischen Aequivalent.

5. Die Geschwindigkeit der Diffusionsströme ist um so größer, je größer die quantitative chemische Differenz ist; dieselbe nimmt also im Verlauf der Osmose gradatim ab. Außerdem ist sie um so größer, je größer das endosmotische Aequivalent.

Die osmotischen Erscheinungen spielen eine äußerst wichtige Rolle beim Stoffwechsel der Organismen, sind aber, wie wir später sehen werden, beim lebenden Protoplasma ganz erheblich modificirt.

Membranen, welche außer den intramolekularen Poren auch noch größere, sogenannte Strukturporen besitzen (und die meisten thierischen Membranen sind solche), zeigen außer der Osmose noch die Erscheinungen der Filtration, d. h. sie lassen eine Flüssigkeit auch dann durch, wenn auf der andern Seite kein anziehend wirkendes Lösungsmittel sich befindet, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeit unter einem gewissen Druck sich befindet, der nicht durch Gegendruck völlig aufgehoben ist. Die Menge der filtrirenden Flüssigkeit steigt a) mit der Größe des Spannungsunterschiedes, was natürlich sowohl durch Steigerung des inneren Druckes als durch Minderung des Gegendruckes hervorgebracht wird, b) mit der Porosität der Membran.

Echte Lösungen (als solche sind die von krystralloiden Stoffen zu betrachten) gehen in der Regel unverändert durch die Membran; bei unechten Lösungen (als solche sind die von colloiden Stoffen zu betrachten) filtrirten entweder, bei geringem Druck, nur das Lösungsmittel und die etwa beigemischten krystalloiden Stoffe, während von dem colloiden Stoffe gar nichts durchgeht; oder, bei stärkerem Druck, ein der Drucksteigerung parallel gehendes Quantum des colloiden Stoffes, allein so, daß die zurückbleibende Lösung stets gesättigter ist als die filtrirte. So läßt die Blutgefäßwand bei schwächerem Druck nur das Wasser und die Krystralloide (Salze, Extraktivstoffe u.) des Blutes durch, und erst bei höherem geringe Mengen von Eiweiß, Fibrinogen u.

Nach diesen Vorbemerkungen können wir an die Betrachtung der Stoffwechselmechanik der lebendigen Substanz gehen, bei welcher die obigen Geseze mitwirken, aber mannigfach verändert durch die eigenthümlichen Fähigkeiten der lebendigen Substanz. Besprechen wir zuerst die Athmung.

Gegenstand der Gasaufnahme ist, wie schon früher gesagt, der Sauerstoff. Nach den Gesezen der Gasabsorption muß überall da Sauerstoff eindringen, wo keiner oder zu wenig ist, und da die lebendige Substanz den Sauerstoff, der in sie eingedrungen ist, als solchen verschwinden läßt, indem sie ihn zu Oxydationen verwendet, so muß stets Sauerstoff nachdringen. Allein das ist nur zum geringsten Theil das Motiv der Sauerstoffaufnahme, das weit stärkere ist, daß die lebendige Substanz eine von den gewöhnlichen Absorptionsgesezen unabhängige sehr starke Anziehungskraft für den freien Sauerstoff hat und zwar so, daß es der umspülenden Flüssigkeit auch den letzten Rest davon zu entziehen vermag.

Bei der Gewebsthmung sind dafür zwei Etappen gegeben: die gefärbten Blutzellen besitzen bereits diese starke Anziehungskraft, die einem bestimmten Bestandtheil derselben,

dem rothen Farbstoff (Hämoglobin), zukommt, und damit entziehen sie der Athemluft den Sauerstoff. Die lebendige Substanz der Gewebe übertrifft aber das Blutroth an Anziehungskraft und nimmt ihm den Sauerstoff zu eigenen Gunsten ab. Derselbe wird jedoch hier nicht sofort völlig verbraucht, sondern es findet, namentlich wenn die Substanz im Zustand der Ruhe bleibt, eine Aufspeicherung des Sauerstoffes statt.

Im Gegensatz zu der Aktivität der lebendigen Substanz gegenüber dem Sauerstoff steht die Passivität desselben gegenüber der Kohlensäure; diese unterliegt deshalb völlig den oben erörterten Gesetzen der Gasdifffusion: Da in der lebendigen Substanz fortwährend Kohlensäure entsteht, so wird anhaltend solche an das umgebende Medium abgegeben, sofern in diesem der Druck der Kohlensäure geringer ist als in der lebendigen Substanz (Ausathmung).

Bei dem Verkehr der festen Stoffe, den die lebendige Substanz der Körpergewebe mit den nährstoffhaltigen Flüssigkeiten des Körpers unterhält, wird die Stoffaufnahme, auf der die Gewebsernährung beruht, Aufsaugung (Resorption) genannt. Hierbei denkt man natürlich zunächst an die oben beschriebenen Vorgänge der Osmose und Quellung. Diese sind deshalb möglich, weil das Protoplasma eine poröse, von wässriger Lösung imbibirte Membran ist, also in sich eine Quellungsfähigkeit enthält, deren Zunahme durch endosmotischen Verkehr mit dem umspülenden Medium nichts im Wege zu stehen scheint. Der Versuch lehrt jedoch sogleich, daß dieser Verkehr sich im lebenden Protoplasma völlig anders gestaltet als in todtten Membranen: J. Ranke hat nachgewiesen, daß das Protoplasma nur dann durch Quellung gelöste Stoffe in sich aufnimmt, wenn seine Lebensenergie geschwächt oder ganz vernichtet ist. Hierbei ist es nach ihm gleichgültig, ob diese Schwächung

der Lebensenergie durch die zur Inbibition dargebotenen, von außen eindringenden Stoffe erzeugt wird, oder ob innere physiologische Zustände die Lebensenergie alteriren. (S. Ranke's Inbibitions-gesetz.)

Die erste Art der Inbibitionsursachen ist also eine bestimmte Beschaffenheit des umspülenden Mediums. Wir verlangten von demselben früher Indifferenz. Dies muß nun des Näheren dahin erläutert werden: Sobald diese Indifferenz durch Beimengung von Stoffen, welche die Lebensenergie des Protoplasma's herabsetzen, vermindert wird, tritt Resorption ein. Solche Beimengungen sind alle, welche einen schwachen sauren oder einen stärkeren alkalischen Zustand des Mediums veranlassen, ferner die Kalisalze, und wahrscheinlich gehören auch dahin die zahlreichen Geschmacks- und Geruchstoffe, die ein Nahrungsmittel enthalten muß, wenn es von einem Thiere aufgenommen werden soll, obwohl bei diesen noch die Wirkung auf die Absonderung der Verdauungssäfte hinzukommt (wobon später).

Die zweite Art der Aufsaugungsursachen, die inneren, sind vor allem die durch die Lebensreize erzeugten Stoffwechselvorgänge, die, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird, das Auftreten von schwachen Säuren und sauren Salzen im Innern der Protoplasma's zur Folge haben. Ihre Anwesenheit vermehrt sofort die Quellbarkeit des Protoplasmas's, so daß dasselbe jetzt auch aus einer indifferenten Flüssigkeit neue Mengen aufnimmt. Daraus erhellt die absolute Nothwendigkeit der rhythmischen Einwirkung der Lebensreize für die Stoffwechselvorgänge, wobon später gesprochen werden soll.

Die Rehrseite dieser Stoffaufnahme durch Quellung in Folge einer Schwächung der Lebensenergie des Protoplasma's ist die parallel damit gehende Stoffabgabe oder Absonderung. Die Stoffe, deren Entfernung aus dem Protoplasma stattfinden muß, wenn es weiter funktionieren soll,

sind eben diejenigen, deren Anwesenheit seine Lebensenergie schwächt und es in den Zustand der Ermüdung versetzt, also die bei der Protoplasma-Arbeit entstehenden Säuren und sauren Salzen, die J. Hanke deshalb als Ermüdungsstoffe bezeichnet. Indem sie jenen der Aufsaugung günstigen Zustand des Protoplasma's herbeiführen, entwickeln sie zugleich einen lebhafteren osmotischen Verkehr, durch welchen die Ermüdungsstoffe nach außen in das umspülende Medium austreten. Hierdurch wird die Lebensenergie wieder hergestellt und kehrt das Protoplasma in den Zustand der Indifferenz gegen das umspülende Medium zurück.

Bei der Absonderung kommt jedoch nicht nur die Diffusion während des Zustandes gelähmter Lebensenergie in Betracht, sondern auch, daß mit der Wiederkehr der Lebensenergie eine Zusammenziehung des Protoplasma's unter Auspressung einer gewissen Flüssigkeitsmenge erfolgt.

Hieraus ergibt sich, daß das Protoplasma in Bezug auf seine Stoffwechselfähigkeit zweierlei Zustände zeigt: 1. den Sättigungszustand, in welchem es weder aufnimmt noch abgibt, 2. den Hungerzustand, in welchem es leicht aufnimmt und abgibt. Weiter ergibt sich daraus, daß der Stoffwechsel des Protoplasma's ein rhythmischer ist, indem dieses abwechselnd aus dem Sättigungszustand in den Hungerzustand und umgekehrt übergeht.

Die Ursache, daß das Protoplasma nicht in einem dieser Zustände dauernd verharrt, ist wohl in folgenden Verhältnissen zu suchen:

Das Protoplasma besteht aus leicht oxydablen chemischen Verbindungen und hat ein großes Absorptionsvermögen für Sauerstoff. Zugleich steht es fortwährend unter dem Einfluß der chemischen und physikalischen Lebensreize, welche das auslösende Moment für die Oxydation bilden. Als letzteres wirken sie jedoch, gleiche Reizstärke vorausgesetzt,

nur unter zwei Umständen: 1. wenn genügend freier Sauerstoff im Protoplasma aufgespeichert ist, 2. wenn in dem Protoplasma keine Stoffe enthalten sind, welche die Wirkung des Sauerstoffs auf die oxydablen Theile beeinträchtigen; solche Stoffe sind die Ermüdungsstoffe.

Befindet sich das Protoplasma im Zustande der Sättigung und Ruhe, so findet während dessen kein Verbrauch von Sauerstoff und doch eine stete Zufuhr, also eine Sauerstoffaufspeicherung statt. Sobald diese die Höhe erreicht hat, welche nöthig ist, damit die stets vorhandenen Lebensreize wirken können, gelangt das Protoplasma in den Zustand der Thätigkeit durch Entbindung freier Kräfte, während Sauerstoff verbraucht wird und ermüdend wirkende Oxydationsprodukte auftreten. Durch den Einfluß der letzteren hören die Lebensreize, trotzdem daß sie möglicherweise in ungestörter Stärke vorhanden sind, auf zu wirken, das Protoplasma tritt in einen neuen Ruhezustand, der aber nicht der der Sättigung sondern der des Hungers ist. Während dieses Zustands findet der oben geschilderte Stoffaustausch mit dem umspülenden Medium statt. Das Ergebniß des letzteren ist die Aufnahme neuer gelöster Nährstoffe und die Absonderung der Ermüdungsstoffe. Das Protoplasma kehrt somit in den Zustand der Sättigung d. h. der Beladung mit neuen Nährstoffen zurück. Dieser Zustand ist zuerst ein Ruhezustand, weil während der Thätigkeitsperiode der freie Sauerstoff zu Oxydationen verbraucht, also verloren gegangen ist. Erst wenn die Sauerstoffaufspeicherung, die allmählich vor sich geht, die genügende Höhe erreicht hat, fangen die Lebensreize wieder an zu wirken und dem Zustande der Ruhe folgt der der Thätigkeit.

Es ist klar, daß diese Rhythmik des Stoffwechsels einen Mechanismus im Protoplasma voraussetzt, welchem die Fähigkeit einer Art von Selbststeuerung zukommt.

J. Ranke gibt von demselben (S. 117 seines Lehrbuches) folgende Vorstellung: Man muß von der Voraussetzung ausgehen, daß die Oberfläche des Protoplasma's von Poren senkrecht durchsetzt ist und daß es eine Struktur aus kontraktile Theilen besitzt, die das Protoplaststück so durchsetzen, daß sie alle Punkte der Grenzschicht diametral mit einander in Verbindung bringen und so einen Zug auf die peripherischen Theile in der Richtung des Centrum's ausüben können. Von der Stärke dieses Zuges muß nothwendig die Durchgängigkeit der Poren der Oberfläche abhängen. Der Sättigungszustand des Protoplasma's wäre der, bei welchem der Zug so stark ist, daß die Poren völlig verschlossen sind. Jede Verminderung der Lebensenergie des Protoplasma's vermindert diesen Zug, die Poren öffnen sich und der Diffusions- und Imbibitionsverkehr findet statt. Hebt sich die Lebensenergie, so gewinnt der Zug seine ursprüngliche Stärke, der Porenverschluß kehrt zurück.

Hierbei haben wir es begreiflicherweise auch mit Schwankungen des Volumens zu thun. Das Aufhören des Porenverschlusses führt zu einer Volumzunahme durch Quellung. Die Rückkehr desselben ist von einer vorgängigen Volumverminderung abhängig und diese wird dadurch bewirkt, daß der verstärkte Zug der kontraktile Theile einen Theil der eingedrungenen Flüssigkeit wieder auspreßt. Findet keine Rückkehr zum normalen Leben statt, wenn z. B. die aufgenommene Flüssigkeit das Protoplasma tödtet, so wird so lange Flüssigkeit in die Zelle eintreten können, als der dadurch in der Zelle steigende Druck noch die Widerstand leistenden Theile des Protoplasma's zu dehnen vermag, was je nach der Elasticität dieser Gebilde verschieden sein wird.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so sehen wir, daß die eigenthümlichen Erscheinungen eines rhythmischen Stoffwechsels hauptsächlich zurückzuführen sind auf die große

Stabilität des chemischen und physikalischen Gleichgewichts des Protoplasma's und seine Absorptionsfähigkeit für den freien Sauerstoff. Sobald die Sauerstoffaufspeicherung eine gewisse Höhe erreicht hat, bewirken die stets vorhandenen Lebensreize eine Störung des chemischen Gleichgewichts, indem sie Oxydationen auslösen. Dieser Vorgang stört das physikalische Gleichgewicht, d. h. vermindert die Elastizität der festen Protoplasmatheile und in Folge davon wird auch das Diffusions- und Filtrationsgleichgewicht zwischen Protoplasma und umspülendem Medium gestört. Die Folge dieser letzteren Störung ist eine Veränderung der Mischungsverhältnisse des Protoplasma's, in Folge deren es zu dem ursprünglichen chemischen und physikalischen Gleichgewichtszustand zurückkehrt.

Als der eigentliche Störenfried ist also von chemischer Seite der Sauerstoff, von physikalischer Seite das zu bezeichnen, was wir Lebensreize nennen und bei der Beschreibung der Kraftwechselfvorgänge seine Schilderung finden wird.

---

### 3. Allgemeines über den Kräfterwechsel.

Wenn wir uns über die Erzeugung der menschlichen Arbeitskraft klar werden wollen, so ist eine Orientirung über die Kräfte, ihre verschiedenen Formen und den zwischen ihnen stattfindenden Wechsel unerlässlich und ich fasse deshalb in Folgendem das nöthigste aus der allgemeinen Physik und Chemie kurz zusammen.

Bei den Vorgängen des Kraftwechsels kommt zuerst das Verhältniß von Spannkraft und freier Bewegung

(lebendiger Kraft) in Betracht. Ursache der betreffenden Erscheinungen sind die Anziehungsverhältnisse, welche zwischen den Stoffen bestehen und die wir allgemein als Centralkräfte bezeichnen. Diese Anziehungen befinden sich entweder in gesättigtem oder ungesättigtem Zustand, letzteres sobald die im Anziehungsverhältniß bestehenden Stoffe sich nicht vereinigt haben, weil ein Hinderniß dieser Vereinigung entgegensteht. Ungesättigten Zustand einer Anziehung nennt man Spannkraft, auch verfügbare Arbeit. Dieselbe geht in eine freie Bewegung, lebendige Kraft oder Arbeit, über, sobald das Hinderniß, welches sich der Vereinigung der im Anziehungsverhältniß stehenden Körper entgegenstellt, beseitigt wird. Die Wegräumung des Hindernisses nennt man die Auslösung der Spannkraft.

Das Resultat der Auslösung ist, daß die im Anziehungsverhältniß stehenden Körper diesem folgen und mit einer bestimmten Kraft und Geschwindigkeit gegen einander stürzen, was ein zu Tage Treten freier Bewegung im Gegensatz zu der vorhergehenden Ruhe ist. Diese freien Bewegungen äußern sich in verschiedener Weise (wovon später) und haben die Eigenthümlichkeit, daß sie sich auf ihre Umgebung fort-pflanzen d. h. von dem Ort, wo sie entstanden sind, fortgeleitet werden. Das Ergebniß der Fortleitung für die Körper, welche die freie Bewegung erzeugt haben, ist, daß sie zur Ruhe kommen, d. h. sie befinden sich jetzt im Zustand gesättigter Anziehung. Wir können also sagen: Spannkraft ist der Zustand ungesättigter Anziehung zwischen verschiedenen Körpern, und freie Bewegung (lebendige Kraft) entsteht, während sie in den Zustand der ganz oder relativ gesättigten Anziehung übergehen. Die Menge freier Bewegung, die erscheint, steht in mathematisch genauem Verhältniß zur Stärke der Anziehung, die im ungesättigten Zustand vorhanden war.

Betrachten wir nun die verschiedenen Anziehungsverhältnisse, deren es dreierlei gibt: Anziehung der Masse, Anziehung der Moleküle, Anziehung der Atome.

Die Masseanziehung tritt in zwei Formen, einer polarisirten und unpolarisirten, auf. In letzterer wird sie Schwere oder Schwerkraft geheißen und ist dadurch charakterisirt, daß sie nach allen Richtungen des Raumes wirkt. Die polarisirte Masseanziehung ist die magnetische Kraft, sie wirkt nur in Einer Richtung des Raumes, in der entgegengesetzten Richtung abstoßend. Da die magnetische Kraft nur eine Eigenschaft eines uns hier in dem Stück nicht interessirenden Körpers, des Magneteisens, ist, so ignoriren wir sie im Folgenden.

Das Charakteristische der Masseanziehung ist, daß ihr eine Fernwirkung zukommt und zwar im umgekehrten Quadrat der Entfernung. Sie befindet sich im ungesättigten Zustand, solange sich die im Anziehungsverhältniß stehenden Körper nicht berühren. Im latenten Zustand d. h. als Spannkraft äußert sie sich durch einen mittelst Gewichtseinheiten zu bestimmenden Druck auf die Körper, welche die Sättigung der Anziehung hindern, als Druckkraft oder Gewicht. Beim Uebergang aus dem ungesättigten in den ganz oder relativ gesättigten äußert sie sich als mechanische Bewegung, Massebewegung oder mechanische Arbeit. Sie wird gemessen nach dem Gewicht der sich bewegenden Masse und dem Weg, den sie in der Zeiteinheit (Sekunde) zurücklegt: der Geschwindigkeit. Mit andern Worten: die Krasteinheit ist das halbe Produkt aus den Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Als große Krasteinheit bezeichnet man den Kilogrammometer, als kleine den Grammometer.

Will man die Masseanziehung aus dem gesättigten Zustand in den der Spannkraft überführen, also die sich an-

ziehenden Körper von einander entfernen, so ist die Anwendung einer der Masseanziehung entgegen wirkenden freien Bewegung, einer mechanischen Arbeit, erforderlich, die hierbei verschwindet d. h. in eine Spannkraft übergeht, die bei ihrer Auslösung gerade so viel mechanische Arbeit verrichtet, als zu ihrer Erzeugung verwendet wurde.

Bei der Anziehung der Moleküle eines Körpers hat man zu unterscheiden: a) die Cohäsion, die Anziehung gleichartiger Moleküle, und b) die Adhäsion, die Anziehung verschiedenartiger Moleküle. Diese beiden Centralkräfte haben keine Fernwirkung, sondern wirken nur innerhalb kurzer Distanzen. Hier ist die Sache etwas complicirter. Im gesättigten Zustand befindet sich die Cohäsion nur, wenn die Moleküle vollkommen ruhen; das ist zugleich der Zustand, in welchem der Körper den denkbar kleinsten Raum einnimmt. In den ungesättigten Zustand geht sie über, sobald die Moleküle in die nachher zu schildernden molekularen Bewegungen gerathen, weil diese distanzirend auf die Moleküle, also der Cohäsion entgegen wirken.

Bei dieser Distanzierung sind zweierlei Phasen zu unterscheiden:

Ueberschreitet dieselbe die Wirkungssphäre der Cohäsion nicht, so hat der Körper eine endliche Ausdehnung und es nimmt mit der Distanzierung das Volum des Körpers zu und seine Festigkeit ab; wird die Wirkungssphäre überschritten, so hört die Cohäsion auf und die Moleküle fallen aus einander, der Körper hat keine endliche Ausdehnung mehr. Den ersteren Fall nennt man die Lockerung der Cohäsion, den letzteren ihre Aufhebung. Die Distanzierung der Moleküle erfordert, ebenso wie die Distanzierung bei der Masseanziehung, Kraftaufwand d. h. Arbeit und zwar in Form der sogenannten molekularen Bewegungen, als

deren wichtigste und allgemeinste die Wärme fungirt (molekulare Arbeit\*). Diese Wärme verschwindet bei der Distanzierung, wird latent, während sie wieder frei wird, sobald die Distanzierung ganz oder theilweise aufgehoben wird. Eine Distanzierung, bei der Wärme latent wird, ist jede Ausdehnung eines Körpers, erfolge sie mit oder ohne Aenderung des Aggregatzustandes (Schmelzung, Verdampfung, Lösung). Aufhebung bezw. Verminderung der Distanzierung, die mit Freiwerden von latenter Wärme verläuft, ist jede Volumabnahme, erfolge sie mit oder ohne Aenderung des Aggregatzustandes (Dampfcondensirung, Erstarrung, Auskrystallisirung aus Lösungen).

Ähnliche Verhältnisse walten bei der Adhäsion ob, und wo, wie bei Lösung und Auskrystallisirung, ein Kampf zwischen Adhäsion und Cohäsion stattfindet, ergeben sich complicirtere Verhältnisse, deren Erörterung uns hier zu weit führen würde.

Die chemische Affinität ist das auch nur in sehr kurzer Distanz wirksame Anziehungsverhältniß, in welchem die Atome zu einander stehen und das sie veranlaßt, sich zu Molekülen zu vereinigen. Hierbei ist gerade so wie bei der molekularen Anziehung die Affinität gleichartiger Atome (chemische Cohäsion) und die verschiedenartiger Atome (chemische Adhäsion) zu unterscheiden. Auf der absoluten und relativen Stärke dieser beiderlei Affinitäten beruhen die chemischen Eigenschaften eines Körpers. Ueberwiegt die chemische Cohäsion über die chemische Adhäsion, so wird ein solcher Körper schwer chemische Verbindungen eingehen und bestehende werden leicht zerfallen. Umgekehrt: Ist die chemische Adhäsion stärker entwickelt als

---

\*) Ueber das Maß für diese Arbeit und die Natur der Wärmebewegung siehe unten.

die Cohäsion, so werden solche Stoffe leicht chemische Verbindungen eingehen und diese werden sehr dauerhaft sein.

In praxi unterscheidet man diese beiderlei Affinitäten vorläufig nicht, sondern versteht unter chemischer Affinität nur die nach außen d. h. anderartigen Atomen gegenüber wirksame chemische Adhäsion, die natürlich gleich ist der Differenz zwischen der Cohäsion und wirklichen Adhäsion.

Das Eigenthümliche der chemischen Affinität ist:

1. daß es sich hierbei um bestimmte Gewichtseinheiten handelt, die wir gleich näher bezeichnen werden;

2. daß sie nicht nach allen Richtungen des Raumes, sondern nur nach einer oder einigen bestimmten Richtungen des Raumes thätig ist.

Aus diesen Gründen kommen folgende technische Ausdrücke in Betracht: a) Unter Atom versteht man die kleinste Gewichtsmenge eines Körpers, welche in einer chemischen Verbindung vorkommt. Ein Atom kann nicht für sich allein bestehen, sondern tritt immer mit einem oder mehreren anderen (gleichartigen oder verschiedenen) zu einem Molekül zusammen. b) Ein chemisches Molekül ist eine Vereinigung von (gleichartigen oder differenten) Atomen und ist die kleinste Gewichtsmenge eines Körpers, welche im freien Zustand existiren kann und in Dampfform bei 0° und 760 mm Barometerstand den Raum von 2 Atomen Wasserstoff einnimmt. c) Das chemische Aequivalent ist diejenige Menge eines Körpers, welche eine bestimmte Gewichtsmenge eines andern in einer chemischen Verbindung zu ersetzen vermag. d) Chemische Valenz ist diejenige Gewichtsmenge eines Körpers, welche ein Atom Wasserstoff in einer chemischen Verbindung zu ersetzen vermag. Wie viel valent oder wie viel werthig ein Atom eines Körpers sei, ergibt sich aus der Zahl von Wasserstoffatomen, welche dasselbe unter den möglichst günstigen Bedingungen zu

binden im Stande ist. Wir unterscheiden deshalb 1, 2, 3, 4 und 5werthige Atome, sowohl bei chemischen Elementen (d. h. Körpern, welche mit den heutigen Hilfsmitteln der Chemie nicht weiter in verschiedenartige Bestandtheile zerlegt werden können), als auch bei chemisch ungesättigten Verbindungen, sogenannten Radikalen (d. h. Atomcomplexen, welche sich ähnlich den Element-Atomen unverändert von einer chemischen Verbindung in eine andere überschieben lassen und dort vermöge der Valenzen, welche noch ungesättigt in ihnen vorhanden sind, haften).

Aus dem über die chemische Valenz Gesagten ergibt sich, daß die chemische Anziehung nicht wie die Schwere nach allen Richtungen des Raumes wirkt, sondern nach einer oder mehreren bestimmten d. h. nach so vielen, als der Körper Valenzen hat; deshalb kommen den Molekülen bestimmte Formen zu.

Ein weiterer Punkt bei der chemischen Affinität ist, daß die Stärke der Anziehung zwischen den Atomen (oder Radikalen) mit der chemischen Natur der Stoffe wechselt, so daß wir zwischen stärkeren und schwächeren Affinitäten zu unterscheiden haben.

Die wichtigsten Affinitäten, mit denen es die Physiologie zu thun hat, sind die, welche zwischen Sauerstoff (2werthig), Stickstoff (3 oder 5werthig), Kohlenstoff (4werthig) und Wasserstoff (1werthig) bestehen. Starke Affinitäten sind die zwischen Sauerstoff einerseits, Kohlenstoff und Wasserstoff andererseits; schwächer sind die Affinitäten zwischen Kohlenstoff einerseits, Wasserstoff und Stickstoff andererseits, sowie die Affinität zwischen Stickstoff und Wasserstoff; am schwächsten ist die zwischen Kohlenstoff und Stickstoff.

Der Uebergang einer chemischen Affinität aus dem ungesättigten in den gesättigten Zustand heißt chemische Verbindung (bei Sauerstoff speziell Oxydation). Der Effekt

der Bewegung, mit welcher die Atome zusammenstürzen, ist eine eigenartige freie d. h. leitbare Bewegung des so entstandenen Moleküls, also eine Molekularbewegung, die sich entweder nur als Wärme, oder auch noch als Licht äußert. Tritt außer Wärme noch Licht auf, so nennen wir den Prozeß Verbrennung und die entstandene Wärme Verbrennungswärme.

Hat sich eine chemische Affinität gesättigt, so ist jetzt umgekehrt auch ihre Ueberführung in den ungesättigten Zustand durch Trennung der im Anziehungsverhältniß stehenden Atome möglich. Diesen Vorgang nennt man die chemische Zersetzung (wo es sich um den Sauerstoff handelt, Desoxydation). Genau so wie bei der Masseanziehung und der molekularen Anziehung ist auch hier zur Trennung ein Aufwand freier Kraft oder die Einsetzung einer stärkeren Centralkraft d. h. einer stärkeren Affinität nöthig. Wenn man es mit der stärksten Affinität zu thun hat, z. B. der zwischen Sauerstoff und Wasserstoff oder der zwischen Sauerstoff und Kohlenstoff, so gelingt die Zersetzung nur durch Aufwand einer freien Kraft und zwar einer Molekularbewegung (besonders Wärme, auch Licht), die hiebei latent wird. Will man eine schwächere Affinität aus dem gesättigten Zustand in den ungesättigten überführen, so kann man hiezu außer einer Molekulararbeit auch eine stärkere Affinität anwenden (z. B. um eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff zu zersetzen, die des Sauerstoffs zu den genannten Elementen), indem jetzt die schwächere durch die stärkere ersetzt wird. Hiebei tritt eine Molekularbewegung auf (Wärme zc. wird frei); aber da ein Theil der mit der stärkeren Affinität gegebenen Kraft zur Lösung der schwächeren Affinität verbraucht wird, also verschwindet, so ist die freiwerdende Molekularbewegung nur der unverbrauchte Rest der in der stärkeren Affinität enthaltenen Kraft.

Fassen wir kurz zusammen, bei welchen durch die chemische Affinität beherrschten Vorgängen freie Bewegung entsteht resp. verschwindet.

1. Freie Bewegung entsteht unter Verschwinden von Spannkraft: a) wenn eine ungesättigte Affinität gesättigt wird; b) wenn eine schwächere Affinität durch eine stärkere ersetzt wird; c) wenn eine Verbindung, in welcher nur ein Theil der Valenzen gesättigt ist, die übrigen sättigt. d) Eine allmähliche Entbindung freier Bewegung, die in der Physiologie eine so große Rolle spielt, findet statt, wenn hochatomige Verbindungen, welche durch schwache Affinitäten verhängt sind, successive in niederatomige und zwar solche, bei denen stärkere Affinitäten gesättigt sind, übergehen.

2. Umgekehrt verschwindet freie Bewegung und entsteht Spannkraft: a) wenn eine chemische Verbindung völlig zerlegt wird; b) wenn aus einer durch starke Affinität zusammengehaltenen chemischen Verbindung eine solche gemacht wird, in der nur schwächere Affinitäten gesättigt sind; c) wenn aus einer chemischen Verbindung, in welcher alle Affinitäten gesättigt sind, eine solche wird, in der nicht alle gesättigt sind. d) Ein allmähliches Verschwinden freier Bewegung tritt dann ein, wenn eine niederatomige Verbindung, in der starke Affinitäten gesättigt sind, allmählich in eine hochatomige, in der schwache Affinitäten herrschen, übergeführt wird; dieser Vorgang spielt eine große Rolle bei der Assimilationsthätigkeit der Pflanzen.

Nachdem wir das Verhältniß von freier Bewegung und Spannkraft an den wichtigsten Fällen besprochen, müssen wir uns noch mit den freien Bewegungen gesondert beschäftigen. Wie theilweise aus dem obigen schon ersichtlich, handelt es sich um mehrere Arten von Bewegung: 1. Mechanische Bewegung oder Massebewegung, wobei sich ein Körper im Ganzen durch den Raum bewegt, ohne daß dabei noth-

wendig die einzelnen Moleküle des Körpers ihre Stellung zu einander verändern, z. B. die Bewegung eines fallenden Steines, eines sich drehenden Rades u. Diese Bewegung ist schon S. 29 zur Genüge besprochen worden. 2. Molekulare Bewegungen, d. h. Bewegungen, bei denen die einzelnen Moleküle eines Körpers innerhalb desselben durch Veränderung ihrer Stellung sich gegen einander bewegen. Da sie zum Theil ganz verschieden auf unsere Sinne wirken, müssen sie unten speziell erläutert werden. 3. Intramolekulare Bewegungen, d. h. solche, welche die Moleküle um ihre eigene Achse ausführen. Auch diese erfordern eingehendere Besprechung.

Die molekularen Bewegungen sind nur verständlich, wenn man annimmt, jeder Körper bestehe aus stofflichen Theilen und dazwischen befindlichen leeren Räumen, so daß sich die stofflichen Theile innerhalb des Körpers gegen einander bewegen können. Solcher Molekularbewegungen gibt es nun zweierlei resp. dreierlei, die gleichzeitig möglich sind:

1. Bewegungen, die jedes Molekül für sich, unabhängig von seinen Nachbarn, ausführt. Diese äußern sich als „geleitete Wärme“ und von ihrer Stärke und Form hängt die Temperatur, der Aggregatzustand und die Ausdehnung des gesammten Körpers ab. Wir können uns die Erscheinungen, welche diese Molekularbewegung hervorbringt, am besten erklären, wenn wir annehmen, sie gleiche der Bahnbewegung der Himmelskörper im Weltraum, repräsentire also eine kreisende Bewegung um einen Schwerpunkt, die mit einer gewissen Centrifugalkraft erfolgt, also der Cohäsion der Moleküle entgegen d. h. distanzirend wirkt (siehe S. 30). Gehen wir hiebei vom festen Aggregatzustand aus und nehmen wir an, daß die genannte Molekularbewegung erst stillstehen würde, wenn man einen festen Körper auf  $273^{\circ}$  unter seinen Gefrierpunkt abkühlen könnte.

Von hier an aufwärts beginnt die kreisende Bewegung, und man kann sich jetzt die Erscheinungen bei steigender Temperatur so vorstellen, als wirke die Erwärmung gleich einem tangentialen Stoß auf das rotirende Molekül, wodurch dessen Centrifugalkraft gesteigert wird. Das Resultat ist eine Vergrößerung des Bahndurchmessers, was zu Gesamtausdehnung des Körpers und, mit der Entfernung der Schwerpunkte der Moleküle von einander, zu einer Lockerung des Zusammenhalts führt (Lockerung der Cohäsion durch Erwärmung).

Nimmt man an, die Bewegung sei ursprünglich kreisförmig, so werden fortgesetzte Tangentialstöße, die stets aus einer Richtung kommen, die Bahn allmählich in eine elliptische von immer größerer Streckung verwandeln. Die elliptische Bahn und die Lockerung des Zusammenhalts durch größere Entfernung der Bahnmittelpunkte führt zur ersten Aenderung des Aggregatzustandes, nämlich zu Uebergang aus dem festen Aggregatzustand in den flüssigen. Im ersteren behaupteten die Schwerpunkte der Molekülbahnen ihre Winkelstellung zu einander und so behauptete der Gesamtkörper eine bestimmte, von der Einwirkung der Massenanziehung (Schwerkraft) unabhängige Gestalt. Sobald nun die Distanz der Schwerpunkte groß und die Ellipse der Bahn gestreckt genug geworden ist, hat sich die Verschieblichkeit der kreisenden Moleküle so weit gesteigert, daß die Schwerkraft über die Cohäsion überwiegt und die Moleküle der ersteren folgen, so daß der Körper keine bestimmte Gestalt mehr besitzt; das ist der flüssige Aggregatzustand. Suspendirt man in einer Flüssigkeit sehr feinvertheilte feste Stoffe, z. B. Tusche, so gibt das unter dem Namen Brown'sche Molekularbewegung bekannte Phänomen ein Bild der molekularen Wärmebewegung: die Moleküle bewegen sich rotirend um einen fortschreitenden Mittelpunkt. Bei steigender Temperatur wird diese Bewegung immer heftiger.

Zur Erklärung des dritten Aggregatzustandes, des gasförmigen, kann man Folgendes annehmen: Im festen und flüssigen Aggregatzustand bewegen sich die Moleküle in geschlossenen Bahnen, was zur Folge hat, daß der Gesamtkörper eine endliche Größe d. h. ein bestimmtes Volumen besitzt, über welches hinaus er bei gleichbleibender Temperatur sich nicht auszudehnen strebt, weil die Cohäsion noch wirksam ist. Dem gegenüber ist der gasförmige Zustand durch das unendliche Ausdehnungsbestreben charakterisirt, d. h. der Körper hat kein bestimmtes Volumen mehr, die Cohäsion hat aufgehört zu wirken. Dies läßt sich so erklären: Durch die mit der steigenden Erwärmung gegebenen, fortgesetzten, in einer Richtung erfolgenden Tangentialstöße ist die Bahn zuerst zu einer immer gestreckteren Ellipse geworden und hat sich endlich, bei noch größerer Steigerung der Centrifugalkraft, in eine Parabel oder Hyperbel geöffnet; das Kreifen ist also zu einer ins Unendliche fortschreitenden Bewegung geworden.

Um die Wärmebewegungen zu messen, bedienen wir uns der durch sie bewirkten Ausdehnung der Körper, indem wir graduirte Thermometer anwenden, und nennen eine Wärmeinheit (Calorie) diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um ein bestimmtes Volumen destillirten Wassers von 0° C. um einen Thermometergrad zu erwärmen. Bei der großen Calorie ist das Volumen ein Kilogramm, bei der kleinen ein Gramm; also ist eine große Calorie gleich 1000 kleinen Calorien.

Nach ihrer Herkunft unterscheidet man hauptsächlich Reibungswärme, welche durch Hemmung von Massenbewegung entsteht, und Verbrennungswärme, die bei Sättigung chemischer Affinitäten entsteht.

2. Die zweite Art molekularer Bewegungen sind solche, bei denen die Moleküle gemeinschaftliche, schichtweise übereinstimmende Lageveränderungen ausführen, und zwar oscil-

lirende, d. h. Schwingungen, die sich von einer Stelle geradlinig nach allen Richtungen des Raumes hin fortpflanzen. Die Bewegung der Moleküle erfolgt entweder senkrecht zur Achse der Fortpflanzung: stehende oder transversale Schwingungen, auch Strahlen genannt, oder in der Richtung der Achse: Verdichtungs- oder longitudinale Wellen. Schwingungen von geringer Schwingungszahl (zwischen 16 und 38000 pro Sekunde, mithin etwa 11 Oktaven) rufen die Empfindung von Schall in uns hervor. Schwingungen von höherer Schwingungszahl machen auf unsere Empfindungswerkzeuge zunächst einen ähnlichen Eindruck wie die oben geschilderten Wärmebewegungen und werden deshalb als Wärmestrahlen bezeichnet. Erst wenn die Zahl der Schwingungen in der Sekunde etwa 400 Billionen geworden, fangen sie an Lichtempfindung (zuerst rothes Licht) hervorzurufen: Lichtstrahlen. Die Lichtempfindung hält an bis zu der Schwingungszahl von 7—800 Billionen pro Sekunde. Noch schnellere Schwingungen wirken auf unsere Sinnesorgane nicht mehr, verrathen sich aber dadurch, daß sie noch chemische Zersetzen hervorrufen: chemische Strahlen. Abgesehen von den Schallschwingungen haben also diejenigen Strahlen, welche bloß Wärmewirkung äußern, die niedrigsten Schwingungszahlen (38000—400 Billionen), die, welche bloß chemisch wirken, die höchsten (von 7—800 Billionen aufwärts); die Strahlen, die in der Mitte liegen, haben combinirte Wirkung.

Schallschwingungen d. h. Schwingungen von einer geringeren Schwingungszahl als 38000 pro Sekunde können nur Stoffe ausführen, welche eine gewisse Dichtigkeit haben; die rascheren, immer transversal erfolgenden Schwingungen, die wir als Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und chemische Strahlen unterscheiden, setzen eine geringe Dichtigkeit des

des Stoffes voraus und werden, da sie selbst noch bei der äußersten uns möglichen Verdünnung der wägbaren Materie fortbauern, als Schwingungen eines hypothetischen Stoffes, der alle wägbare Materie durchdringen soll und Aether genannt wird, betrachtet.

3. Eine eigenthümliche Art von molekularer Bewegung ist die elektrische. Sie ist weder eine kreisende noch eine oscillirende, sondern eine geradlinig fortschreitende, fließende (elektrischer Strom), bei welcher zwei entgegengesetzt (polar) sich verhaltende Richtungen, die negative, von welcher der Strom sich entfernt, und die positive, gegen welchen er sich bewegt, zu unterscheiden sind. Diese Bewegung kann natürlich nur dann eine continuirliche sein, wenn ein Kreislauf möglich ist (d. h. in einer geschlossenen Kette), andernfalls ähnelt sie einem geradlinigen Stoß. Ob die Moleküle des Leiters diese Bewegung selbst ausführen oder ob dies, nach der bisherigen Annahme, seitens eines eigenen (imponderablen) elektrischen Fluidums geschieht, wird erst die Zukunft, voraussichtlich aber im Sinne der ersteren Alternative, entscheiden.

Hier ist noch ergänzend hinzuzufügen, daß diese Art von Bewegung nicht nur als freie Bewegung (elektrischer Strom), sondern auch als Spannkraft (elektrische Spannung) auftreten kann.

Nach ihrer Entstehungsursache unterscheiden wir Reibungselektricität, die durch Hemmung von Masssbewegung entsteht, Thermoelktricität, die durch Hemmung von Wärmebewegung sich bildet, und den galvanischen Strom, der entsteht, wenn zwischen zwei im sog. elektromotorischen Spannungsverhältniß stehenden Körpern (Elektromotoren) eine doppelte (Kreis-) Leitung so hergestellt ist, daß die eine dieser Verbindungen die Möglichkeit einer Sättigung chemischer Affinität d. h. einer Entbindung

chemischer Spannkräfte bietet; man könnte sie deshalb auch chemische Elektricität nennen. Letztere Art von elektrischer Bewegung ist die für die Physiologie wichtigste. Induktionselektricität ist die, welche durch einen Strom in einem benachbarten Leiter hervorgerufen wird, Magnet-elektricität die, welche ein magnetischer Körper in einem benachbarten Leiter erzeugt.

Die letzte Art von Bewegungen, die ich oben als intramolekulare bezeichnet habe, können wir uns am bequemsten wieder als Rotation denken, und zwar weil auch hier ein Gegensatz zwischen einer centripetalen Anziehung und einer distanzirenden Centrifugalkraft in Erscheinung tritt. Zugleich wird erst hierdurch die Analogie zwischen den Bewegungen der Himmelskörper und der Moleküle vollständig. Wie erstere außer ihrer Zirkelbewegung um den Centralkörper (Bahnbewegung) noch eine Rotation um ihre eigene Achse haben, so werden die genannten intramolekularen Bewegungen eine Rotation des Moleküls um seine eigene Achse sein. Die Annahme einer solchen Bewegung, die mit der S. 36 geschilderten fortschreitenden Bahnbewegung in innigen Intensitätszusammenhang steht, erklärt uns die Erscheinungen der Dissociation von chemischen Verbindungen, bei denen also das Molekül ein Compositum aus verschiedenartigen Atomen ist, die durch eine central wirkende Anziehungskraft, die chemische Affinität, zusammengehalten werden. Denken wir uns diese rotirend um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt, so haben wir in der Rotationsgeschwindigkeit jene der chemischen Affinität entgegenwirkende Centrifugalkraft, welche, wenn sie stark genug geworden ist, die Affinität überwindet und die Dissociation herbeiführt. Nehmen wir an, daß bei der steigenden Erwärmung eines Körpers nicht bloß die Rotation des Moleküls auf seiner Bahn um einen Schwerpunkt (siehe oben) an Geschwindigkeit zunimmt, son-

bern auch die Rotation des Moleküls um seine eigene Achse, so erklärt sich hieraus, daß bei fortschreitender Erwärmung die Kraft, mit der sich die verschiedenartigen Atome im Molekül einer chemischen Verbindung festhalten, abnimmt, und der Moment der Dissociation, in welchem die Atome auseinanderfahren, wäre dann ähnlich aufzufassen, wie der Uebergang der elliptischen Bahnbewegung in die parabolische oder hyperbolische bei dem Uebergang eines Körpers aus dem flüssigen Aggregatzustand in den gasförmigen. Mithin wären diese intramolekularen Bewegungen nur eine Theilerscheinung der auf S. 36 geschilderten Wärmebewegung und zwar so:

Erwärmen wir einen Körper auf irgend eine Weise (durch Zuleitung von Wärme, Reibung, Verbrennung zc.), so vermehren wir sowohl die Geschwindigkeit der Bahnbewegung, als die der Rotationsbewegung des Moleküls. Nun reagirt von diesen beiden Bewegungen auf unsere Wärmemesser nur die erstere, die letztere nicht, deshalb ist letztere der latent werdende Theil der zugeführten Wärme. Da nun das Verhältniß, in welchem die zugeführte Wärmebewegung sich in diese beiderlei Bewegungsarten des Moleküls (die für Meßinstrumente wahrnehmbare Bahnbewegung und die unmerkliche Achsendrehung) theilt, mit der chemischen Natur des Körpers wechselt, so ist die Wärmemenge, die man einem Körper zuführen muß, um ihn von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$  zu erwärmen, nicht für alle Stoffe gleich groß. Daraus ergibt sich für jeden Körper eine sogenannte spezifische Wärme.

Alle freien Bewegungen können nicht nur in Spannkraft übergeführt werden, sondern es läßt sich auch die eine in die andere umwandeln, und beides geschieht nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft in stets sich gleichbleibenden mathematischen Verhältnissen, sogen. Äquivalenten. Das wichtigste der bis jetzt festgestellten Äqui-

valente ist das zwischen der Wärme (einer molekularen Bewegung) und der mechanischen Bewegung (Massebewegung): das mechanische Aequivalent der Wärme. Dasselbe ist gegeben durch die Zahl 424, d. h. eine große Wärmeinheit (gr. Calorie) ist = 424 Kilogrammometer, die kleine = 424 Grammometer. Das besagt: Wenn eine Wärmebewegung in mechanische Bewegung umgewandelt wird, so gibt die große Calorie 424 Kilogrammometer, und umgekehrt, wenn mechanische Bewegung in Wärmebewegung umgewandelt wird, so geben je 424 Kilogrammometer eine große Wärmeinheit, d. h. so viel Wärme, als nöthig ist, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen.

Für das Licht hat man gefunden: Wenn die Sonnenstrahlen eine Minute lang auf einen Quadratdecimeter irdischer absorbirender Oberfläche fallen, so werden ungefähr 0,4 Wärmeeinheiten erzeugt. Für elektrische Bewegung ist das Aequivalent noch nicht genau festgestellt.

Die Umwandlung einer freien Bewegung in eine andere bedingt, daß die erste als solche verschwindet; wenn z. B. Licht in Wärme umgewandelt wird, so hat es aufgehört, Licht zu sein, und wenn mechanische Bewegung in Wärme umgewandelt wird, so ist die Massebewegung verschwunden.

Die Umwandlung einer freien Bewegung in eine andere oder in Spannkraft ist selten eine totale, sondern meist nur eine theilweise; dabei verschwindet von der ersteren Bewegung nur derjenige Theil, der umgewandelt worden ist.

Die Ursache, wodurch eine freie Bewegung in eine andere umgewandelt wird, ist allgemein das Auftauchen eines Hindernisses, welches sich dem Fortschreiten der ersteren entgegenstellt. Wenn z. B. Licht auf einen undurchsichtigen Körper trifft (der es nicht reflektirt, wovon nachher), so wird es, weil es an seinem Fortschreiten gehindert ist, sich

in Wärme umwandeln. Wenn ein fallender Körper an seiner Fortbewegung durch den Erdboden gehindert wird, so verwandelt sich die Massebewegung in Wärmebewegung. Wenn die Moleküle des Dampfes in einem Dampfkessel an der Ausführung ihrer Wärmebewegung gehindert werden, so verwandelt sich die Wärmebewegung in eine mechanische Bewegung des Dampfkolbens. Wenn wir der Massebewegung eines sich drehenden Rades ein Hinderniß entgegenstellen, so verwandelt sich dieselbe in Wärmebewegung (Reibungswärme).

Das Hinderniß, das die Umwandlung erzwingt, geht von den wägbaren Stoffen, die außerhalb der sich bewegenden Stoffe liegen und ihn begrenzen, den begrenzenden Medien aus, so daß wir sagen können, eine Umwandlung finde statt, wenn eine freie Bewegung aus einem Medium in ein anderes übergeht, jedoch nicht mit Nothwendigkeit, und zwar aus folgenden Gründen:

Ein Medium kann sich den freien Bewegungen eines angrenzenden Mediums gegenüber in dreifach verschiedener Weise verhalten:

1. Die Bewegung wird an dem Eindringen in das Medium verhindert, also zurückgeworfen, reflektirt. Ob dies geschieht, hängt von der Natur und der Beschaffenheit der Oberfläche des getroffenen Mediums, der Art der freien Bewegung, um die es sich handelt, und dem Winkel, unter welchem die Bewegung die Oberfläche trifft, ab. Diese Eigenschaft eines Mediums nennen wir dessen Reflexionsfähigkeit, z. B. für Licht, Schallwellen u.

2. Das Medium gestattet der freien Bewegung einzudringen, ohne sie umzuwandeln. Die Bewegung schreitet jetzt in dem neuen Medium als solche fort, wird geleitet. Diese Eigenschaft nennen wir die Leitungsfähigkeit eines Mediums, z. B. für Wärme, Elektrizität, Licht u.

3. Das Medium gestattet der Bewegung, in dasselbe einzudringen, aber nur indem es dieselbe in eine andereartige umwandelt, nicht als solche fortleitet. Diese Eigenschaft nenne ich die Empfindlichkeit.

Es ist klar, daß die drei genannten Eigenschaften eines Mediums oder sagen wir jetzt Körpers gegenüber freien Bewegungen in dem angrenzenden Medium im Verhältniß der zwar nicht absoluten, aber relativen Ausschließung zu einander stehen, was folgende Erwägung zeigt.

Ein Körper, der eine Bewegung stark und leicht reflektirt, wird ein schlechter Leiter und natürlich auch wenig empfindlich sein. Andererseits: Ein Körper, der eine Bewegung in sich eindringen läßt, sie absorbiert, wird sie nicht reflektiren. In ebensolchem Verhältniß der Ausschließung steht Leitungsfähigkeit und Empfindlichkeit: Ein guter Leiter wird die Bewegung nicht umwandeln, und einer, der sie umwandelt, wird sie schlecht leiten. Betrachten wir einige der wichtigsten Bewegungen in diesem dreifachen Verhalten der Medien zu ihnen, weil dies für das Verständniß der Lebenserscheinungen von großer Wichtigkeit ist:

1. Das Licht. Ein Körper, der das Licht als solches leitet d. h. ohne Umwandlung, ist durchsichtig (diaphan). Ein durchsichtiger Körper ist nun ein schlechterer Reflektor als ein undurchsichtiger und wird Licht schlecht in Wärme umwandeln, also wenig gegen Licht empfindlich sein. Ist ein Körper undurchsichtig, ein schlechter Lichtleiter, so wird er, was auf seine Oberflächenbeschaffenheit ankommt, entweder gut reflektiren oder das Licht gut absorbiren d. h. in Wärme oder chemische Bewegung umsetzen, empfindlich gegen Licht sein.

Wollen wir z. B. einen Thermometer empfindlich für Licht machen, so überziehen wir ihn mit einer matten, nicht

reflektirenden und undurchsichtigen Schicht, z. B. Ruß. Durchsichtige Stoffe, welche Lichtbewegung leicht in Dissociationsbewegung (intramolekulare) umwandeln, also besonders empfindlich gegen die sog. chemisch wirkenden Lichtstrahlen sind, verlieren in demselben Moment ihre Durchsichtigkeit. (Photographie.) Das Umgekehrte ist beim Sechroth der Fall.

2. Wärme. Ein guter Wärmeleiter wird wenig empfindlich gegen Wärme sein, d. h. er wird, weil er die Wärme nicht in sich aufhäuft, schwer schmelzen, und weil er sie nicht in Dissociationsbewegung umwandelt, schwer verbrennen. Umgekehrt, ein schlechter Wärmeleiter wird, weil er dieselbe in sich aufhäuft und leicht in Dissociationsbewegung umwandelt, leicht schmelzen und leicht verbrennen.

3. Elektrizität. Ein guter Leiter für Elektrizität wird unter ihrem Einfluß sich weder stark erwärmen, noch sich leicht zersetzen. Sehen wir dagegen dem elektrischen Strom ein Hinderniß in Gestalt eines schlechten Leiters entgegen, so wird sich eine starke Umwandlung in Wärme oder Dissociationsbewegung vollziehen oder elektrische Spannung entstehen.

4. Mechanische Bewegung. Bei ihr handelt es sich um zweierlei Verhältnisse: 1. um die Eigenschaften des Körpers, den eine mechanische Bewegung trifft, d. h. um die Cohäsionsverhältnisse seiner Massetheilchen; 2. um das Maß seiner Verschieblichkeit als Ganzes. Hiedurch wird die Sache ziemlich complicirt. Fassen wir das Maß seiner Verschieblichkeit als Ganzes für sich allein ins Auge, so wird er um so vollständiger den mechanischen Stoß reflektiren können, je weniger er geeignet ist ihn zu leiten, oder je weniger er sich durch ihn verschoben läßt, und umgekehrt wird er um so schlechter reflektiren, je besser er die Bewegung leitet, oder je leichter er sich verschoben läßt.

Setzen wir seine Verschieblichkeit als Ganzes gleich Null, so kommt nur die Cohäsion seiner Massetheile in Betracht. Diese zeigt sich in zweierlei Eigenschaften: 1. in seiner Festigkeit, d. h. dem Widerstand, welche die Massetheilchen einer gegenseitigen Lageveränderung entgegensetzen; wir unterscheiden danach weiche und feste Körper; 2. in seiner Elasticität: Diese besitzt ein Körper, wenn seine Massetheilchen, aus ihrer ursprünglichen gegenseitigen Lage gerückt, wieder in dieselbe zurückzukehren streben. In dieser Beziehung unterscheidet man eine vollkommene Elasticität, bei welcher die Massetheilchen nach Aufhören der mechanischen Einwirkung wieder vollkommen in ihre ursprüngliche Lagerung zurückkehren, von einer unvollkommenen, in welcher diese Rückkehr entweder gar nicht oder nur in sehr geringem Grade stattfindet.

Diese beiden Eigenschaften können sich in folgender Weise combiniren: 1. Ein Körper kann sehr fest sein, der Verschiebung seiner Theile einen großen Widerstand entgegensetzen, allein dabei eine unvollkommene Elasticität besitzen, d. h. die Theile kehren nach der Verschiebung nicht oder nur wenig in ihre alte Lage zurück. 2. Ein Körper hat eine geringe Festigkeit, er leistet der Verschiebung seiner Massetheilchen einen geringen Widerstand, aber seine Elasticität ist sehr vollkommen, d. h. sie kehren nach Aufhören der verschiebenden mechanischen Kraft vollkommen in die alte Lage zurück; dahin gehört im allgemeinen die lebendige Substanz. 3. Ein Körper ist sehr fest und besitzt eine vollkommene Elasticität; dahin gehören z. B. die meisten Hartgebilde des thierischen Körpers, wie die Knochen. 4. Die Festigkeit ist gering und die Elasticität sehr unvollkommen; dahin gehören die Substanzen, die wir leigig und flüssig nennen.

Betrachten wir nun das Verhalten dieser verschiedenen Eigenschaften gegenüber einer mechanischen Bewegung, z. B.

einem mechanischen Stoß: so besteht die Reflexionsfähigkeit darin, daß derselbe zurückgeworfen wird; die Leitungsfähigkeit darin, daß kein Zurückwerfen, sondern eine Verschiebung der Massetheilchen des getroffenen Körpers erfolgt, die nach Maß, Masse und Geschwindigkeit möglichst der des stoßenden Körpers gleicht; die Empfindlichkeit darin, daß die mechanische Bewegung in eine molekulare, z. B. Wärme, umgewandelt wird.

Das Verhältniß der Ausschließung zwischen den drei genannten Eigenschaften zeigt sich in folgender Weise:

Ein fester Körper, vorausgesetzt daß er sich als Ganzes nicht verschoben läßt, ist ein schlechter Leiter für mechanische Bewegung, weil er der Verschiebung seiner Massetheilchen großen Widerstand entgegensetzt; er wird also, gleiche Elasticität vorausgesetzt, besser reflektiren, einen Stoß zurückwerfen, als ein weicher, der die mechanische Bewegung leicht in eine mechanische Verschiebung seiner Massetheilchen überführt d. h. mechanische Bewegung weiter leitet.

Ein vollkommen elastischer Körper wird besser einen mechanischen Stoß reflektiren als ein unvollkommen elastischer, weil seine Fähigkeit zur mechanischen Verschiebung der Massetheilchen d. h. zur Leitung einer mechanischen Bewegung in hohem Grade dadurch beeinträchtigt ist, daß die Theilchen nach ihrer Verschiebung mit einer der verschiebenden Kraft ebenbürtigen die alte Lage einzunehmen streben. Wir verwenden deshalb überall da, wo es sich um Verhinderung der Fortleitung, also um die möglichst vollständige Reflexion einer mechanischen Bewegung, namentlich des mechanischen Stoßes handelt, Stoffe, die eine vollkommene Elasticität besitzen; die gleiche Rolle spielen die vollkommen elastischen Substanzen in der Mechanik des Thierkörpers.

Das Verhältniß der Ausschließung zwischen Empfindlichkeit einerseits, Leitungsfähigkeit und Reflexionsfähigkeit anderer-

seits zeigt sich bei der mechanischen Bewegung in folgendem: Ein fester Körper, der eine Bewegung schlecht leitet, wird sich stärker erwärmen d. h. einen größeren Theil der ihn treffenden mechanischen Bewegung in Wärme umwandeln als ein weicher, der die mechanische Bewegung leicht leitet. Ein eine mechanische Bewegung gut reflektirender oder vollkommen elastischer Körper wird sich nicht so leicht erwärmen als einer, der sie schlecht reflektirt. Combiniren wir beides, so wird ein Körper von geringer Festigkeit, aber vollkommener Elasticität (und dahin gehören viele Stoffe des Thierkörpers) am wenigsten empfindlich gegen mechanische Bewegung sein d. h. am wenigsten Reibungswärme erzeugen, während feste und sehr unvollkommenen elastische Körper am empfindlichsten sind.

Diese Verhältnisse sind für das Verständniß der Physiologie von entscheidender Bedeutung, da die lebendige Substanz und die von ihr gebildeten Gerüstsubstanzen sich von den leblosen Stoffen dadurch unterscheiden, daß sie molekulare Bewegungen schlecht leiten und reflektiren und demgemäß gegen sie in hohem Grade empfindlich sind, während sie umgekehrt gegen mechanische Bewegung in ausgesprochenem Maße wenig empfindlich sind d. h. sie leicht leiten oder reflektiren und wenig Reibungswärme produciren.

---

#### 4. Quelle der Lebenskräfte.

Saben wir im vorigen Kapitel die allgemeinen Verhältnisse des Kraftwechsels kennen gelernt, so erhebt sich jetzt die Frage: Welcher Art sind die Kraftwechselforgänge in der lebendigen Substanz? Die zusammenfassende Antwort lautet: Sie nimmt Kräfte und zwar sehr ansehnliche in der *Jäger, die menschliche Arbeitskraft.*