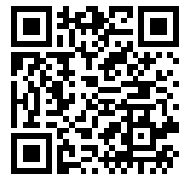

This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

<https://books.google.com>





Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

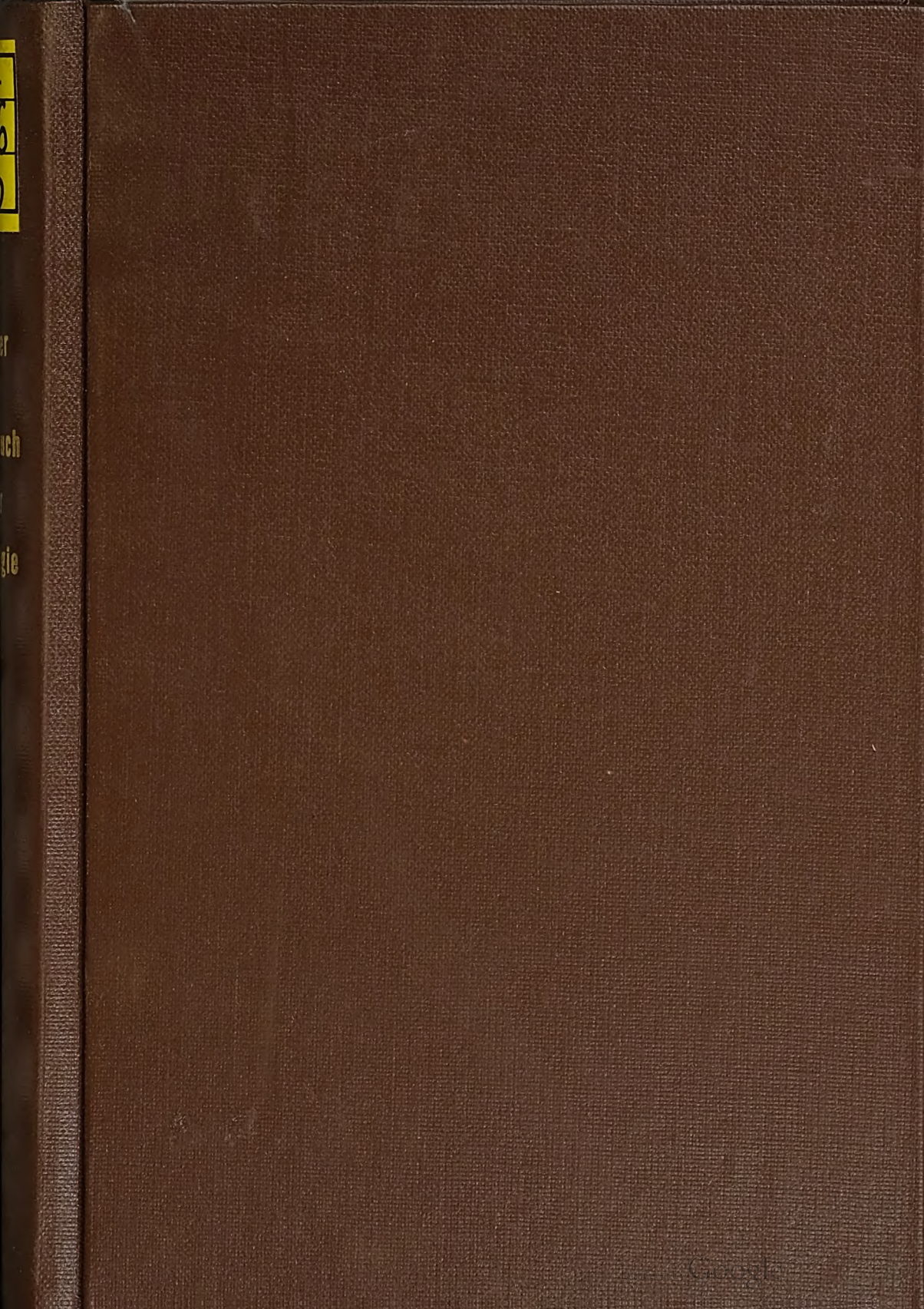
- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

1
2
3

er
uch
je



Zool. 266 EP
/2

<36619611320015



<36619611320015

Bayer. Staatsbibliothek

13001. 266^{2P}

Lehrbuch der allgemeinen Zoologie.

Ein Leitfaden
für Vorträge und zum Selbststudium

von

Gustav Jäger,

med. et chir. Dr., Professor an der Kgl. polytechnischen Schule und der Kgl. Thierarzneischule zu Stuttgart, sowie der land- und forstwirtschaftlichen Akademie zu Hohenheim.

II. Abtheilung:
Physiologie.



Leipzig,
Ernst Günther's Verlag.
1878.

155 5

Lehrbuch
der
allgemeinen Zoologie.

Ein Leitfaden
für Vorträge und zum Selbststudium

von

Gustav Jäger,

med. et chir. Dr., Professor an der Kgl. polytechnischen Schule und der Kgl. Thierarzneischule
zu Stuttgart sowie der land- und forstwirtschaftlichen Akademie zu Hohenheim.

II. Abtheilung:
Physiologie.



Leipzig,
Ernst Günther's Verlag.
1878.

Fool. 266 ⁷/₂



44 6

Vorwort

zum zweiten Bande.



Im Folgenden übergebe ich den zweiten Band der allgemeinen Zoologie meinen Schülern und Fachgenossen. Derselbe enthält die Physiologie im engeren Sinne. Ich habe mich bemüht, auch bei diesem Abschnitt gerade so wie beim morphologischen, welchen der erste Band enthält, die genetische und comparative Methode nach Möglichkeit durchzuführen. Dass die grosse Lückenhaftigkeit unseres Wissens über die Physiologie so vieler niederen Thiere und unsere völlige Unkenntniss über die Ursachen der spezifischen Unterschiede im Lebensprozess der verschiedenen Thiere diese Aufgabe ungemein erschwerte, brauche ich wohl meinen Fachgenossen nicht zu sagen, andererseits aber bin ich mir auch sehr wohl bewusst, dass ich eine Aufgabe übernommen habe, welcher mein persönliches Wissen und meine persönliche Kraft nach mehr als einer Richtung hin nicht gewachsen war, — bezweifle auch gar nicht, dass bei manchen Passus ein gewiegterer Physiologe als ich auch die Achsel zucken wird und vielleicht mit Recht. Wenn ich nun, diese Schwierigkeiten und Gefahren nicht achtend, den Versuch dennoch gemacht habe, so geschah es 1) weil derselbe überhaupt einmal, und zwar jetzt, gemacht werden musste und kein anderer ihn machte; 2) weil ich die Frage: Soll einer, der zwar ein guter Physiologe, aber ein schlechter Zoologe ist, oder einer, der zwar ein schlechter Physiologe ist, aber die Bedürfnisse des jetzigen Standes der Zoologie kennt, den Sprung ins Wasser thun? — weil ich, sage ich, diese Frage in letzterem Sinne beantworten musste, und zwar darum:

Dass eine grosse Kluft zwischen der zünftigen Zoologie und der zünftigen Physiologie klafft, wer wollte das läugnen? Andererseits kann niemand in Abrede ziehen, dass die Zoologie durch die Entwicklungstheorie vor Fragen gestellt ist, welche sie auf dem bisher fast ausschliesslich von ihr cultivirten morphologischen Wege nicht lösen kann, deren Lösung vielmehr eine Verbindung von Morphologie und Physiologie verlangt; und ferner, dass die zünftige Physiologie durch die innige, historisch gewordene Verbindung mit der Heilkunde veranlasst ist, gerade die speziellen Fragen in der Physiologie zu studiren, wobei eben die allgemeinen, welche der Zoologe allein gebrauchen kann, entschieden zu kurz kommen. Hat ja die Physiologie auch noch nicht den leisesten Anlauf dazu genommen, die spezifischen, für den vergleichenden Zoologen und Morphologen so höchst wichtigen, auf Distanz wirkenden Schmeck- und Riechstoffe zu studiren, die als Träger der spezifischen thierischen Triebe das sind, was auf der Lokomotive der Lokomotivführer, d. h. das „geistige“ leitende und treibende Prinzip.

Dieser Zustand der beiderseitigen Wissenschaften ist der beste Beweis, dass das Bedürfniss für die Ueberbrückung der Kluft auf Seite der Zoologen stärker und dringender ist, als auf Seite der Physiologen, und daraus ergiebt sich mit Nothwendigkeit, dass die Zoologie zuerst einen Brückenschlag versuchen musste: Wenn der Prophet nicht zum Berge kommt, so muss der Berg zum Propheten gehen. Ist die Brücke, die ich im nachstehenden zu schlagen versuchte, schlecht und gebrechlich, so wird man ihr doch wohl das Verdienst des guten Willens nicht absprechen können, im übrigen gebe ich sie mit Vergnügen derjenigen Kritik preis, deren Absicht nicht das Zerstören, sondern das Bessermachen ist.

Der dritte Band, den ich im folgenden Jahre vollenden zu können hoffe, wird die Biologie und die Geschichte (Ontogenese mit ihren beiden Zweigen, der Morphogenese und Physiogenese, und die Phylogenese) enthalten.

Stuttgart, den 30. Juni 1877.

G. Jäger.

Register des zweiten Bandes.

III. Abschnitt.

Lehre von den inneren Verrichtungen des Thierkörpers.

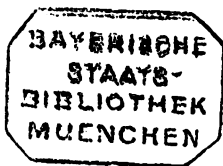
Allgemeine Physiologie.

	Seite
1. Einleitung § 1—2	1
2. Allgemeine chemisch-physikalische Vorbemerkungen § 3—28	5
Diffusionsvorgänge § 3—12	5
Filtration § 13	11
Spannkraft und Arbeit § 14—15	11
Centralkräfte § 16—18	12
Chemische Bewegungen § 19—20	15
Masse- und Molekularbewegungen § 21—25	17
Umwandlung der Bewegungen § 26—28	22
3. Allgemeines über das Protoplasma § 29—38	27
Lebenskraft § 29	27
Leben und Tod § 30—33	28
Todter Zustand § 34—37	32
Lebender Zustand § 38	37
4. Wechselbeziehung zwischen Thier- und Pflanzenreich § 39—46	38
Assimilation in der Pflanze § 40—44	38
Destruktion im Thier § 45—46	44
5. Der Stoffwechsel des Protoplasmas. a) Stoffwechselbedingungen § 47—62	46
Chemische Erfordernisse des Mediums § 48—54	47
Physikalische Erfordernisse des Mediums § 55—58	50
Ernährung § 59—62	52
6. Der Stoffwechsel des Protoplasmas. b) Stoffaufnahme und Abgabe § 63—73	55
Athmung § 64—65	56
Ernährung auf festem Wege § 66	57
Resorption § 67—69	58
Absonderung § 70	60
Stoffwechselrhythmus § 71—73	61
7. Der Stoffwechsel des Protoplasmas. c) Stoffumwandlung § 74—94	63
Kohlenhydrate § 75	64
Fette § 76—77	65

	Seite
Albuminate § 78—83	68
Albuminatsynthesen § 84—85	77
Geschmack- und Geruchstoffe § 86	80
Gase § 87—88	84
Salze § 89—93	85
Wasser § 94	89
8. Kraftwechsel des Protoplasmas. a) Wechselbeziehung zwischen	
Kraft- und Stoffwechsel § 95—104	90
Verbrennungswärme § 95—96	90
Beziehung des Rhythmus § 97—98	92
Beziehung der Intensität § 99—103	94
9. Kraftwechsel des Protoplasmas. b) Erregbarkeit, Reize und	
Erregung § 105—129	100
Erregbarkeit § 106—108	100
Reize § 109—111	102
Gewöhnung § 112	105
Uebung § 113	106
Stimmung § 114—115	107
Die Sinne § 116	111
Der Erregungsakt § 117—122	112
Erregbarkeitsformen und -Stufen § 123—128	118
10. Kraftwechsel des Protoplasmas. c) Thierische Elektrizität	
§ 130—139	123
Physikalische Theorie § 132	124
Chemische Theorie § 133	126
Erscheinungen § 134—139	128
11. Kraftwechsel des Protoplasmas. d) Thierische Contraktilität	
§ 140—156	134
Primäre Contraktilität § 142	135
Sekundäre Contraktilität § 142	138
Tertiäre Contraktilität Erscheinungen § 143—149	140
Theorie derselben § 150—152	144
„Muskel und Nerv“ verglichen § 153—156	147
12. Kraftwechsel des Protoplasmas. e) Thierische Wärme und	
thierisches Licht § 157—169	152
Quelle der Wärme § 157	152
Menge derselben § 158—160	154
Wärmeverlust § 161—162	156
Wärmeregulirung § 163	158
Thierisches Licht, Erscheinungen § 164—166	159
Bedingungen des Leuchtens § 167	164
Quellen desselben § 168—169	165
13. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma. a) Wachstum § 170—189	
Erscheinungen § 171—174	166
Bedingungen § 175—183	167
Formung durch Wachstum § 184—189	172
14. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma. b) Theilung und Ver-	
jüngung § 190—219	181
Theilungsreife § 190	187
Theilungsfähigkeit § 191	188
Aeusere Bedingungen § 192—193	189
Verjüngungsprozesse § 194—211	191

	Seite
Sporung § 194	191
Conjugation § 195	193
Geschlechtliche Verjüngung § 196—211	195
Geschlechtliche Differenzirung § 197—198	195
Eibildung § 199	198
Samenfadenbildung § 200—203	200
Befruchtung § 204	204
Befruchtungsfähigkeit § 205—209	206
Erfolg der Befruchtung § 210—211	211
Erfolg der Verjüngung § 212—219	213
Secessive und adhäsive Theilung § 212—213	213
Dotterfurchung § 214—219	214
15. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma. c) Anpassung und	
Differenzirung § 220—245	221
Direkte und indirekte Anpassung § 220	221
Anpassungsfähigkeit § 221—226	222
Anpassungsursachen § 227	226
Erfolg der Anpassung § 228	227
Differenzirung § 229—245	228
Differenzirungsfähigkeit § 230—232	229
Concentrische Differenzirung § 233—242	231
Kernbildung § 234—237	232
Membranbildung § 237—242	234
Ciliogene Differenzirung § 243	238
Polare Differenzirung § 244—245	239
16. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma. d) Vererbung § 246—284	241
Erscheinungen § 246—252	241
Grundlagen der Vererbung § 253—257	245
Beharrungsvermögen gegenüber der Ernährung § 258—266	248
Variabilität durch Nahrungswechsel § 267	254
Beharrungsvermögen der Geschlechtsstoffe § 268—270	256
Beharrungsvermögen bei der Entwicklung § 271—273	257
Constanz bei der Verjüngung § 274—277	261
Vererbung des Geschlechtscharakters 278—282	263
Variabilität in Folge von Befruchtungsconstellationen 283—284	266
17. Die sociologischen Funktionen. a) Allgemeines § 285—309	267
Zellstaat § 285—309	267
Verhalten gleichartiger Zellen zu einander § 286—294	268
Verhalten ungleicher Zellen zu einander § 295—300	273
Arbeitstheilung § 301—304	278
Die strategischen Prinzipien der Arbeitstheilung § 305—309	280
18. Die sociologischen Funktionen. b) Concentrische Differen-	
zirung derselben (Physiologie der Schichten) § 310—334	283
Erste Schichtungsstufe (solide Thiere) § 310	283
Nahrungshöhle § 311—313	284
Exoderm und Entoderm der Duodermaten § 314—316	287
Mesoderm der Tridermaten § 317	290
Pentadermaten § 318—320	290
Heptadermaten § 321—324	292
Weitere Spaltung der festen Schichten § 325—327	295
Spaltung der flüssigen Schicht in Lymphe und Blut § 328—334	297

	Seite
19. Die sociologischen Funktionen. c) Physiologie der Systeme	
§ 335—333	302
Systeme der Ernährungsflüssigkeiten § 337—349	303
Das einheitliche System der niederen Thiere § 337—338	303
Das geschlossene Blutgefäßsystem § 339—348	306
Das Lymphgefäßsystem § 349	313
System der Aufenthaltsmedien § 350—356	314
Wassergefäßsystem § 351—354	315
Luftgefäßsystem § 355—356	318
Knochensystem § 357	319
Nervensystem § 358	320
Die elementaren Nervenmechanismen § 359—363	321
Verknüpfung der Elementarmechanismen § 364—368	324
Die psychischen Mechanismen § 369—383	328
Psychogenesis § 370—371	329
Empfindungsmechanismen § 372—376	331
Willensmechanismus § 377—378	334
Gemeingefühlscenrum § 379	336
Intelligenzhöhe § 380	336
Funktionsweise des Erfahrungsmechanismus § 381	337
Das Bewusstsein § 382—383	338
20. Die sociologischen Funktionen. d) Wagerechte Differenzirung	
derselben § 384—429	341
α. Physiologie der Körperseiten und Segmente § 384—429	341
Die Körperseiten § 384—385	341
Die Segmente § 386—392	342
β. Physiologie der Organe § 393—429	349
Quantitative Bedeutung der Organe für den Stoffwechsel § 394	350
Qualitative Bedeutung der Organe für den Stoffwechsel § 395—401	351
Resorptionsmechanismen § 396	352
Athmungsmechanismen § 397—399	352
Sekretionsmechanismen § 400—401	355
Fortpflanzungsorgane § 402—405	357
Bedeutung der Organe für den Kraftwechsel § 406	361
Wärmeökonomie § 406—407	361
Schutzorgane § 409	363
Bewegungsorgane § 410	364
Empfindungsorgane § 411—430	365
Allgemeines § 411—412	365
Vorthheil der Organbildung für die Empfindungsfunktion § 413—417	367
Differenzirung der Sinne § 418	371
Allgemeiner Tastsinn § 419	372
Chemische Sinne § 420	373
Physikalische Sinne § 421	374
Gehörsinn § 422—424	375
Gesichtsinne § 425—429	378



Verzeichniss der nöthigen Correkturen.

Seite 16 in Absatz 1 lies § 22 statt 248.

„ 38 § 39 Zeile 2 aus statt auf.

„ 67 Zeile 3 von oben Kohlenstoff statt Kohlensäure.

„ 67 Ameisensäure = $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$ statt $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$.

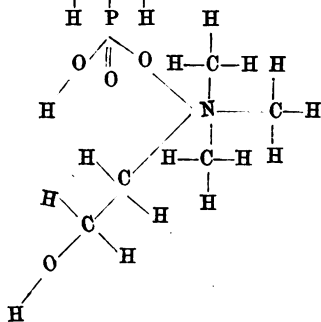
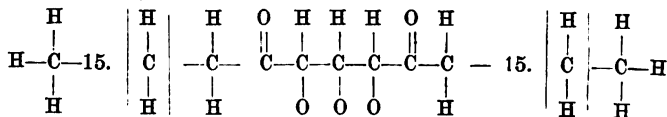
„ 67 Kohlensäurehydrat = $\text{H}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$ statt $\text{H}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$.

„ 69 Zeile 2 und 7 v. o. Wassereintritt statt Wasserentziehung.

„ 73 Formel des Harnstoffs $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{N}-\text{C} \\ || \\ \text{O} \end{array} \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{N} \\ || \\ \text{O} \end{array} \text{H}$ statt $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{N}-\text{C} \\ || \\ \text{O} \end{array} \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{N} \\ || \\ \text{O} \end{array} \text{H}$

„ 74 Zeile 10 von oben CH_3 statt CH_2 .

„ 79 soll das Schema des Lecithin heissen:



Seite	80	Zeile	3	von oben basischem statt neutralem.
„	91	„	24	von oben 24 statt 240.
„	100	„	1	von oben 9 statt 6.
„	101	„	3	von unten ist anzufügen: Vermehrung des Wassergehalts erhöht die Erregbarkeit und vermindert die Leitungsfähigkeit.
„	134	„	5	von unten 11 statt 10.
„	199	„	16	von oben kuglige statt käsig.
„	224	„	12	von unten § 51 und 69 statt 000.
„	231	„	9	von oben wegen ihrer geringeren Festigkeit statt wegen ihrer Festigkeit.
„	243	„	9	von unten bildet statt sichert.
„	252	die Zeilen	10—14	enthalten einen Irrthum: nur die Pferde verdauen kein Fleisch, bei den Rindern wird es verdaut.
„	264	in Absatz	4	weisen statt beweisen.
„	302	Zeile	16	von oben Benetzung statt Bewegung.
„	308	„	13	von oben die Venenwurzeln statt der Venenwurzel.
„	309	„	19	von oben denen statt dem.
„	323	„	7	von unten Aktion statt Aktiven.
„	324	„	6	von unten splanchnicus statt splanchnicus.
„	326	„	19	von oben Synkinesie statt Synkinasie.
„	328	„	13	von oben Ueberreiz statt Nervenreiz.
„	335	„	7	und 22 von oben Willensmechanismen statt Willensorganismen.
„	344	„	9	von oben in dem statt , indem.
„	348	„	7—8	von oben er statt sie.
„	356	„	20	von oben schlafsuchtigen statt schlafsuchtigen.
„	372	„	15	von unten ist werden zu streichen.
„	378	„	5	von unten ist wir zu streichen.
„	380	„	7	von oben umgesetzt statt eingesetzt.



III. Abschnitt.

Lehre von den inneren Verrichtungen des Thierkörpers.

Allgemeine Physiologie.

I. Einleitung.

§ 1.

Während die toten Naturkörper in chemischer und physikalischer Beziehung ein stabiles Gleichgewicht haben, d. h. den chemischen und physikalischen Existenzbedingungen sich zwar accommodiren, allein nach gewonnener Anbequemung im Gleichgewicht verharren, zeigen die lebendigen Naturkörper ein auffallend labiles, rhythmischen Störungen unterworfenes Gleichgewicht in chemischer und physikalischer Beziehung, d. h. sie ändern bei gleich bleibenden 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). Die daraus sich ergebenden Erscheinungen, deren auffälligste die sichtbaren Bewegungen und Formveränderungen sind, nennen wir *Leben* oder „*Lebenserscheinungen*“ und die Wissenschaft, welche sich mit ihrer Beschreibung und Erklärung befasst, ist die *Physiologie* oder „*Lehre vom Leben*“. Der geschichtliche Entwicklungsgang dieser Disciplin, die Bedürfnisse der Arbeitheilung, sowie sachliche Umstände haben zu einer Gliederung dieser Wissenschaft in mehrere Disciplinen geführt. Man kann nämlich die Lebenserscheinungen in drei Gruppen sondern:

a) Die innerlichen, deren Rhythmus ein sehr kurz dau-

ernder ist, und die man deshalb für die wesentlichsten zu halten hat, weil ihre Sistirung auch nur auf kurze Zeit in der Regel den Tod d. h. das Aufhören sämtlicher Verrichtungen nach sich zieht. Es handelt sich hier um die innerlichen Vorgänge des Kraft- und Stoffwechsels, die das Thier auch im Ruhezustand ausführt (Athmung, Saftzirkulation, Stoffumwandlung, Wärmebildung oder — wie bei der Pflanze — Wärmeabsorption). Diese mehr innerlichen Vorgänge bilden den Gegenstand der Physiologie im engeren Sinne des Wortes.

b) Die äusseren, deren Rhythmus ein längerer ist; also die durch längere Zwischenpausen unterbrochene, nach aussen hin gerichtete Thätigkeit oder äussere Arbeit des Thieres, durch die es in Beziehung zum Naturganzen, den übrigen Thieren, der Pflanzenwelt und den unorganischen Naturkörpern tritt, wobei es sich aber nicht blos um das aktive, sondern auch um das passive Verhalten des Thieres gegenüber den äusseren Umständen handelt. Diese Vorgänge sind Gegenstand einer eigenen Disciplin, der Biologie oder Beziehungsphysiologie, und müssen in einem besondern Abschnitt schon deshalb abgehandelt werden, weil sie eine eigenartige Behandlungsmethode verlangen.

c) Eine dritte Gruppe bilden die Entwicklungsvorgänge. Sie verlaufen zwar auch rhythmisch, aber der Rhythmus hat sehr grosse Intervalle, innerhalb deren es sich um continuirliche d. h. nichtrhythmische Veränderungen handelt. Während die zwei vorhergehenden Verrichtungen mit keinen auffallenden dauernden Formveränderungen verbunden sind, ist dies bei den Entwicklungsvorgängen in ausgiebigem Masse der Fall, so dass sie in engste Beziehung zu der Morphologie treten und eine ganz eigenartige Behandlungsmethode verlangen. Auch sie müssen in einem gesonderten Abschnitt behandelt werden.

§ 2.

Die Herstellung eines Lehrgebäudes ist bei der allgemeinen Physiologie mit viel grösseren Schwierigkeiten verknüpft als bei der allgemeinen Morphologie, sobald man an dasselbe die Anforderung stellt, den einzig richtigen wissenschaftlichen Weg, den der genetischen Synthese, zu betreten, und sobald man der Gesamtheit des Thierreiches gerecht werden will: weil das Material, das die Detailforschung herbeigeschafft hat, nach zwei Richtungen hin grosse Lücken aufweist.

Die empfindlichste Lücke ist, dass die physiologische Untersuchung sich bisher fast ausschliesslich mit dem erwachsenen

Zustand der Thiere befasst und der Thatsache zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt hat, dass den Zuständen der verschiedenen Körpergewebe des erwachsenen Thieres (Muskel, Nerv, Drüse etc.) ein viel einfacherer Zustand der lebendigen Substanz, der des Eiprotoplasmas und Embryonalzellenprotoplasmas, vorausgeht, dessen Verrichtungen sich erheblich von denen der fertigen Gewebe unterscheiden. Während die Morphologie über eine ganz leidliche Kenntniss der formellen Umwandlung einer Embryonalzelle in eine Muskelzelle, Nervenzelle u. s. w. verfügt, wissen wir über die physiogenetische Umwandlung sowie überhaupt über den Zusammenhang von Form und Struktur mit der Art der Verrichtung äusserst wenig.

Die zweite Lücke ist die, dass bisher nur einige wenige Thiere und fast nur solche höherer Organisation (Frosch, Hund, Kaninchen, Taube etc.) einer eingehenderen physiologischen Analyse unterworfen worden sind, so dass die vergleichende Methode fast jedes exakt physiologischen Anhaltspunktes entbehrt und darauf angewiesen ist, aus dem morphologischen Befund und den mehr oberflächlichen biologischen Beobachtungen Schlüsse zu ziehen, die auf sehr schwankem Boden stehen.

Ein dritter misslicher Umstand ist der, dass die Experimentalphysiologie sich mit wenigen Ausnahmen nicht blos an die komplizirtesten Thierkörper (die Wirbelthiere) mit Hartnäckigkeit anklammert und die niederen einfacheren vernachlässigt, sondern auch im Thierkörper selbst wieder die differenzirtesten Gewebsarten, wie Muskel und Nerv, den elementaren einfacheren Gewebeelementen (Lymphkörperchen, Bindegewebskörperchen etc.) gegenüber, bei ihren Untersuchungen bevorzugt, wofür allerdings triftige technische Gründe vorliegen.

Ein vierter Uebelstand ist folgender: Der Körper höherer Thiere ist kein einfacher Organismus, sondern eine organisirte Gesellschaft von unter sich verschiedenen Elementarorganismen d. i. den zahllosen, different funktionirenden Gewebszellen. Es handelt sich mithin um zweierlei ganz verschiedenartige Verrichtungsgruppen in einem solchen Thierkörper: 1) um die privaten Lebensvorgänge der einzelnen Elementarorganismen (Zellen), welche die eigentlichen Träger der Lebensvorgänge sind — ich will sie kurzweg die elementaren Vorgänge nennen; 2) um die Beziehungen der Elementarorganismen zu einander, Vorgänge, welche ich wegen ihrer Aehnlichkeit mit den Beziehungen zwischen den einzelnen Gliedern einer menschlichen Gesellschaft die sociologischen nennen will. Von diesen zweierlei Vorgängen hat die Physiologie; namentlich die verglei-

chende Physiologie, soweit man von einer solchen Wissenschaft überhaupt schon reden kann, sich hauptsächlich um die letzteren, die sociologischen, gekümmert, während die elementaren Vorgänge, als die vielschwieriger zu erforschenden, erst seit kurzem und noch lange nicht in genügender Ausdehnung einer Analyse unterworfen worden sind.

Angesichts dieser Lückenhaftigkeit des Materials mag es vielleicht verfrüht sein, in folgendem den Versuch zu wagen, ein Lehrgebäude der allgemeinen Physiologie zu entwerfen, welches mit den elementaren Vorgängen des einfachen Protoplasmas beginnt, aus ihnen die elementaren Vorgänge in den differenzirten Elementarorganismen der höheren Thiere genetisch ableitet und erst dann zu den sociologischen Erscheinungen übergeht. Es mag ferner vielleicht verfrüht sein, die bisher in der Physiologie noch allgemein vorherrschende lediglich beschreibende Methode durch die genetische zu ersetzen. Wenn ich es trotzdem thue, selbst auf die Gefahr hin, ein Gebäude von ebenso labilem Gleichgewicht zu errichten, wie das der lebendigen Substanz selbst ist, so geschieht es aus folgendem Grunde.

Solange die im Dienste der Medizin arbeitende Physiologie und die wissenschaftliche Zoologie, trotz mancher schon gezogenen Beziehungsfäden, noch durch eine so breite Kluft in Gegenstand und Methode geschieden sind, wie gegenwärtig, ist in beiden Disciplinen nicht nur der Fortschritt gehemmt, sondern auch der Unterricht; denn beide verlangen zwar Arbeitstheilung, allein ohne das Verständniss der Einheit ist kein wissenschaftliches Erfassen, sondern nur berufsmässiges Abrichten möglich. Ein Blick in die neuere Literatur zeigt denn auch deutlich, dass das Bedürfniss einer Annäherung beiderseits vorliegt, denn die Physiologie, insbesondere die Physiochemie, dehnt ihre Untersuchungen auf immer weitere Kreise der Thierwelt aus, und die Zoologie, die eine Zeit lang ganz ausschliesslich die Morphologie und Biologie cultivirte, pflegt in immer grösserer Ausdehnung physiologische Studien. Darin liegt die sachliche Rechtfertigung. Bezüglich der Methode muss gesagt werden, dass die genetische Methode wissenschaftlich notorisch höher steht als die beschreibende, und da die Zoologie den Fortschritt zur genetischen Auffassung mit Erfolg gemacht hat, so muss einmal versucht werden, wie weit sich die Physiologie ihr unterwerfen lässt. Immerhin ergibt sich aus dem Obigen, dass es sich nur um einen ersten und deshalb unvollkommenen Versuch handeln kann.

Unter den physiologischen Lehrbüchern der Gegenwart verdient wegen seiner Vielseitigkeit und daraus entspringenden Brauchbarkeit für den Zoologen besondere Erwähnung: J. Ranke, Grundzüge der Physiologie III. Auflage 1875.

2. Allgemeine chemisch-physikalische Vorbemerkungen.

§ 3.

Vor Erörterung der Erscheinungen an der thierischen Substanz ist es nöthig, einiges Allgemeine über den Kraft- und Stoffwechsel, wie er sich auch in den nichtbelebten Naturkörpern vollzieht, vorauszuschicken, wobei es sich jedoch durchaus nicht um eine erschöpfende Darlegung aller Verhältnisse, sondern nur um die Hervorhebung derjenigen handelt, welche bei dem Kraft- und Stoffwechsel des Protoplasmas spezieller in Betracht kommen.

Genauere Belehrung möge der Leser, ausser in den Lehrbüchern der Chemie und Physik, noch in folgenden besonderen Schriften suchen: J. R. Mayer, die Mechanik der Wärme; Fick, medizinische Physik; Fick, die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung; Helmholtz, die Wechselwirkung der Naturkräfte; die Werke von Tyndall und Clausius.

§ 4.

Unter den chemisch-physikalischen Prozessen, die bei den Lebenserscheinungen in Betracht kommen, seien zuerst die Erscheinungen der Diffusion geschildert. Dieselben sind ein Theil der allgemeinen Anziehung, welche alle Stoffe auf einander ausüben und bestehen in Folgendem:

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 auseinander 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.

Im folgenden sind diese Verhältnisse im Einzelnen zu besprechen.

§ 5.

Gasabsorption nennt man die Diffusion von Gasarten in tropfbare Flüssigkeiten. Jede Flüssigkeit nimmt unter sonst gleichen Verhältnissen von jedem Gase, mit dem sie in Berührung ist, ein ganz bestimmtes Volum 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 Gasschicht: 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 genant. 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, so 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 Volum ein neues auf, sofern nicht durch die neuentstandene chemische Verbindung der Absorptionscoefficient der Flüssigkeit verändert worden ist. Auf der Gasabsorption und Gasaushauchung beruht die Athmung der in der Luft lebenden Thiere; die der Wasserthiere beruht darauf, dass zwei sich berührende Flüssigkeiten ihre Gase gegeneinander 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*.

§ 6.

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.

Die Verdunstung kommt physiologisch nur bei den in der trocknen Luft lebenden Thieren vor, indem sie einen steten Wasserverlust derselben bedingt.

§ 7.

3) 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 colloidischen 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 ächte Lösungen geben, nennt man im Gegensatz hierzu Krystalloide.

§ 8.

4) 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 hygroscopisch d. h. sie ziehen den in der Luft vorhandenen Wasserdampf an und verwenden ihn zur Quellung. Alle thierischen Stoffe sind in hohem Grade hygroscopisch.

Von der Quellungsflüssigkeit 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.

§ 9.

Wenn die Quellungsflüssigkeit eine Lösung ist, so ändern sich die Quellungsmaxima sowohl mit der Natur als mit dem Prozentgehalt des gelösten Stoffes. Z. 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 und

zwar ist dies 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 Oel und umgekehrt;
- b) es wird die zuerst imbibirte Flüssigkeit durch eine nachfolgende verdrängt, z. B. Alcohol durch ätherische Oele (wovon man in der Conservirungstechnik Gebrauch macht).

§ 10.

5) Unter Hydrodiffusion versteht man die gegenseitige Diffusion zweier tropfbarer Flüssigkeiten oder Lösungen in einander, unabhängig von Erschütterung, spezifischem Gewicht etc. 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 die 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 colloidnen und krystalloiden Substanzen, indem die ersteren eine viel geringere Diffusionsgeschwindigkeit haben als die letzteren. Z. B. wenn die des colloidnen Eiweisses gleich 1 gesetzt wird, so ist die von dem ebenfalls noch colloidnen Gummi = 4,30, die des krystalloiden Rohrzuckers = 8,68, die des krystalloiden 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.

§ 11.

Die wichtigste Hydrodiffusion ist die Osmose d. h. die

Diffusion zweier Lösungen oder Flüssigkeiten, die durch eine Membran geschieden sind, die nur intramolekulare Poren besitzt.

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.

§ 12.

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 mittelst 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 Lösungsmittel 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.

§ 13.

Membranen, welche ausser den intramolekularen Poren auch noch gröbere, 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 anderen 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.

Aechte Lösungen (als solche sind die von krystalloiden Stoffen zu betrachten) gehen in der Regel unverändert durch die Membran; bei unächten Lösungen (als solche sind die von colloiden Stoffen zu betrachten) filtrirt 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 Blut bei schwächerem Druck nur sein Wasser und seine Krystalloide (Salze, Extractivstoffe etc.) durch, und erst bei höherem geringe Mengen von Eiweiss, Fibrinogen etc.

§ 14.

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. Diesen Vorgang nennt man die Auslösung der Spannkraft.

§ 15.

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 tretender 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 fortpflanzen, 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.

§ 16.

Die Masseanziehung*), die von den andern Anziehungen sich dadurch unterscheidet, dass ihr Fernwirkung zukommt (im umgekehrten Quadrat der Entfernung), ist im ungesättigten Zustande, so lange sich die im Anziehungsverhältniss stehenden Körper nicht

*) Anm. Die gewöhnlichste Form der Masseanziehung ist die Schwere, die nach allen Richtungen des Raumes wirkt; ist die Masseanziehung polarisirt, so heisst sie magnetische Anziehung. Letztere Anziehungsart kommt wohl nur dem Eisen zu und kann in ihm durch Einwirkung eines elektrischen Stromes erzeugt werden.

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, also 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 andren Worten: Die Krafteinheit ist das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Als grosse Krafteinheit bezeichnet man den Kilogrammometer, als kleine den Grammmeter.

Will man die Masseanziehung aus dem gesättigten Zustand in den der Spannkraft überführen, also die sich anziehenden Körper von einander entfernen, so ist die Anwendung einer der Masseanziehung entgegen wirkenden freien Bewegung, eine mechanische 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.

§ 17.

Bei der Anziehung der Moleküle eines Körpers hat man zweierlei 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 komplizirter. 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 distanzierend 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 auseinander, 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, eben so 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 bez. 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).

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

§ 18.

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 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;

*) Anm. Ueber das Mass für diese Arbeit und ewegung siehe die nächsten Paragraphen.

2) dass sie nicht nach allen Richtungen des Raums, 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 Dampf- form 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 und 4werthige 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 Elementatomen 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.

§ 19.

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 speciell 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 (das Nähere über diese Molekularbewegungen s. in § 248 u. fgg.) und die entstandene Wärme Verbrennungswärme.

Hat sich eine chemische Affinität gesättigt, so ist jetzt umgekehrt auch ihre Ueberführung in den ungesättigten Zustand möglich durch Trennung der im Anziehungsverhältniss stehenden Atome. Diesen Vorgang nennt man die chemische Zersetzung (wo es um 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 Centalkraft 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 hierbei latent wird. Will man eine schwächere Affinität aus dem gesättigten Zustand in den ungesättigten überführen, so kann man hierzu 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. Hierbei tritt eine Molekularbewegung auf (Wärme etc. 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.

§ 20.

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 successive 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 zersetzt 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 successives 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 wichtige Rolle bei der Assimilationsthätigkeit der Pflanzen.

§ 21.

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 Masse-Bewegung, wobei sich ein Körper im Ganzen durch den Raum bewegt, ohne dass dabei nothwendig die einzelnen Moleküle des Körpers ihre Stellung zu einander verändern, z. B. die Bewegung eines fallenden Steines, eines sich drehenden Rades etc. Diese Bewegung ist schon in § 16 zur Genüge besprochen worden. 2) Molekulare Bewegungen d. h. Bewegungen, bei denen die einzelnen Moleküle eines Körpers innerhalb desselben durch Veränderung ihrer Stellung sich gegeneinander bewegen. Da sie zum Theil ganz verschieden auf unsere Sinne wirken, müssen sie in den folgenden Paragraphen speziell erläutert werden. 3) Intramolekulare Bewegungen d. h. solche, welche

die Moleküle um ihre eigene Axe ausführen. Auch diese erfordern eingehendere Besprechung.

§ 22.

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 gegeneinander 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 Intensität und Form hängt die Temperatur, der Aggregatzustand und die Ausdehnung des gesamten Körpers ab. Wir können uns die Erscheinungen, welche diese Molekularbewegung hervorbringt, am besten erklären, wenn wir annehmen, sie gleiche der Bahn-Bewegung der Himmelskörper im Weltenraum, repräsentire also eine kreisende Bewegung um einen Schwerpunkt, die mit einer gewissen Centrifugalkraft erfolgt, also der Cohäsion der Moleküle entgegenwirkt (siehe § 17). Gehen wir hierbei vom festen Aggregatzustand aus und nehmen wir an, dass die genannte Molekularbewegung erst stillstehen würde, wenn man einen festen Körper auf 273° 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 der bekannten Gesamtausdehnung des Körpers und, mit der Entfernung der Schwerpunkte der Moleküle, zu einer Lockerung des Zusammenhalts führt (Lockerung der Cohäsion).

Nimmt man an, die Bewegung sei ursprünglich kreisförmig, so werden fortgesetzte Tangentialstösse, die stets aus einer Richtung kommen, die Bahn allmählig 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 dem 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) unab-

hängige Gestalt. Sobald nun die Distanz der Schwerpunkte gross und die Ellipse der Bahn gestreckt genug geworden ist, hat sich die Verschieblichkeit der kreisenden Moleküle soweit gesteigert, dass die Schwerkraft 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 giebt 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 Kreisen 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 Wärmeeinheit, (Calorie) diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um ein bestimmtes Volumen destillirten Wassers von 0° Celsius um einen Thermometergrad zu erwärmen. Bei der grossen Calorie ist das Volumen ein Kilogramm, bei der kleinen ein Gramm, also ist eine grosse Calorie = 1000 kleinen Calorien.

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

§ 23.

2) Die zweite Art molekularer Bewegungen sind solche, bei

2°

denen die Moleküle gemeinschaftliche, schichtweise übereinstimmende Lageveränderungen ausführen, und zwar oscillirende d. h. Schwingungen, die sich von einer Stelle geradlinig nach allen Richtungen des Raumes hin fortpflanzen. Die Bewegung der Moleküle erfolgt entweder senkrecht zur Axe der Fortpflanzung: stehende oder transversale Schwingungen, auch Strahlen genannt, oder in der Richtung der Axe: Verdichtungs- oder longitudinale Wellen. Schwingungen von geringer Schwingungszahl (zwischen 16 und 38000 pro Secunde, 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 im vorigen Paragraphen 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 Secunde. Noch schnellere Schwingungen wirken auf unsere Sinnesorgane nicht mehr, verrathen sich aber dadurch, dass sie noch chemische Zersetzungen hervorrufen: chemische Strahlen. Abgesehen von den Schallschwingungen haben also diejenigen Strahlen, welche blos Wärmewirkung äussern, die niedrigsten Schwingungszahlen (40000—400 Billionen), die welche blos 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 40000 pro Secunde, 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 geringere Dichtigkeit des Stoffes voraus und werden, da sie selbst noch bei der äussersten uns möglichen Verdünnung der wägbaren Materie fort dauern, als Schwingungen eines hypothetischen Stoffes, der alle wägbare Materie durchdringen soll und Aether genannt wird, betrachtet.

§ 24.

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 Reibungselektrizität, die durch Hemmung von Massebewegung entsteht, Thermo- oder Galvanoelektrizität, die durch Hemmung von Wärmebewegung sich bildet, und den galvanischen Strom, der entsteht, wenn zwischen zwei im sogenannten 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 Spannkraft, bietet; man könnte sie deshalb auch chemische Elektrizität nennen. Letztere Art von elektrischer Bewegung ist die für die Physiologie wichtigste. Induktionselektrizität ist die, welche durch einen Strom in einem benachbarten Leiter hervorgerufen wird, Magnetelektrizität die, welche ein magnetischer Körper in einem benachbarten Leiter erzeugt.

§ 25.

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 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 Axe haben, so werden die genannten intramolekularen Bewegungen eine Rotation des Moleküls um seine eigene Axe sein. Die Annahme einer solchen Bewegung, die mit der § 22 geschilderten fortschreitenden Bahnbewegung in innigem 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 § 22) an Geschwindigkeit zunimmt, sondern auch die Rotation des Moleküls um seine eigene Axe, 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 im § 22 geschilderten Wärmebewegung und zwar so:

Erwärmen wir einen Körper auf irgend eine Weise (durch Zuleitung von Wärme, Reibung, Verbrennung etc.), 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 Axendrehung) theilt, mit der chemischen Natur des Körpers wechselt, so ist die Wärmemenge, die man einem Körper zuführen muss, um ihn von 0° auf 1° zu erwärmen, nicht für alle Stoffe gleich gross. Daraus ergibt sich für jeden Körper eine sogenannte spezifische Wärme.

§ 26.

Alle freien Bewegungen können nicht nur in Spannkkräfte 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, sogenannten Aequivalenten. Das wichtigste der bis jetzt festgestellten Aequivalente 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 Wärmeeinheit (gr. Calorie) ist = 424 Kilogramm-meter, die kleine = 424 Gramm-meter. Das besagt: Wenn eine Wärmebewegung in mechanische Bewegung umgewandelt wird, so gibt die grosse Calorie 424 Kilogramm-meter, und umgekehrt, wenn mechanische Bewegung in Wärmebewegung umgewandelt wird, so geben je 424 Kilogramm-meter eine grosse Wärmeeinheit d. h. soviel Wärme, als nöthig ist, um 1 Kilogr. Wasser von 0° auf 1° Celsius 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.

§ 27.

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 bewegendem 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 etc.

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 etc.

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

§ 28.

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 Physiologie 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 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. Stoffe, welche Lichtbewegung leicht in Dissociationsbewegung (intramolekulare) umwandeln, also besonders empfindlich gegen die sogenannten chemisch wirkenden Lichtstrahlen sind, verlieren in demselben Moment ihre Durchsichtigkeit. (Photographie.)

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. Setzen 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 Massetheilen; 2) um das Mass seiner Verschieblichkeit als Ganzes. Hierdurch wird die Sache ziemlich kompliziert. 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 verschieben lässt, und umgekehrt wird er um so schlechter reflektiren, je besser er die Bewegung leitet, oder je leichter er sich verschieben 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 darnach weiche und feste Körper; 2) in seiner Elastizität: 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 Elastizität, 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 kombinieren: 1) Ein Körper kann sehr fest sein, der Verschiebung seiner Theile einen grossen Widerstand entgegensetzen, allein dabei eine unvollkommene Elastizität 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 Elastizität 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 Elastizität; dahin gehören z. B. die meisten Hartgebilde des thierischen Körpers wie die Knochen. 4) Die Festigkeit ist gering und die Elastizität sehr unvollkommen; dahin gehören die Substanzen, die wir teigig 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 verschieben lässt, ist ein schlechter Leiter für mechanische Bewegung, weil er der Verschiebung seiner Massetheilchen grossen Widerstand entgegensetzt; er wird also, gleiche Elastizität 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 seiner 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 Elastizität besitzen; die gleiche Rolle spielen die vollkommen elastischen Substanzen in der Mechanik des Thierkörpers.

Das Verhältniss der Ausschliessung zwischen Empfindlichkeit einerseits, Leitungs- und Reflexionsfähigkeit andererseits 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 Elastizität (und dahin gehören viele Stoffe des Thierkörpers) am wenigsten empfindlich gegen mechanische Bewegung sein d. h. am wenigsten Reibungswärme erzeugen, während feste und sehr unvollkommen 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 reflectiren und wenig Reibungswärme produziren.

3. Allgemeines über das Protoplasma.

§ 29.

Wie schon Bd. I § 33 bemerkt, ist der eigentliche Träger der Lebenserscheinungen bei Thier und Pflanze das sogenannte Pro-

toplasma, aus dem bei den niedersten Thieren der ganze Leib besteht, während bei den meisten Thieren hierzu noch flüssige und feste Stoffe andrer Art treten, die Absonderungen des Protoplasmas sind und an dem Lebensprozess nur einen passiven Antheil nehmen. Die Aufgabe der physiologischen Forschung ist, die Lebenserscheinungen als ein nothwendiges Ergebniss der Struktur, der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Protoplasmas und der von aussen kommenden stofflichen und physikalischen Einwirkungen auf dasselbe zu erkennen und zu schildern. Diese Aufgabe kann jedoch zur Zeit nur in unvollkommener Weise gelöst werden, da uns hiezu noch viele elementare Kenntnisse abgehen. Früher, namentlich vor Beginn der mikroskopisch physiologischen Forschung, war die Möglichkeit noch weit geringer und so nahm man damals an, das Protoplasma sei der Sitz einer ganz eigenthümlichen, von den in der unorganischen Natur waltenden Kräften wesentlich verschiedenen, sogenannten Lebenskraft, welche allein im Stande sei, aus dem materiellen Substrat der lebendigen Substanz die eigenthümlichen chemischen und physikalischen Leistungen, die uns als Lebenserscheinungen entgegentreten, zu entwickeln. Diese Auffassung ist jetzt verlassen und man nimmt an, dass die Lebenserscheinungen auf demselben Wechselspiel von Kraft- und Stoffumwandlung beruhen wie die Erscheinungen an der unorganischen Substanz, dass es sich hierbei nur um eine eigenthümliche Modifikation dieser Erscheinungen handle, die ihre Ursache in der eigenthümlichen Struktur und chemisch-physikalischen Beschaffenheit der lebendigen Substanz finden, und mit Recht hofft man auch die noch dunkeln Punkte im gleichen Sinne aufzuhellen.

§ 30.

Die Eigenthümlichkeit der lebendigen Substanz besteht darin, dass sie uns in drei ganz verschiedenartigen Zuständen entgegentritt, nämlich in dem thätigen, dem ruhenden und dem toten, deren charakteristische Unterschiede wir an die Spitze der physiologischen Detailerörterung setzen wollen. Der Hauptunterschied ist der, dass das, was wir Lebenserscheinungen nennen, nur an die zwei ersten Zustände gebunden ist, die wir deshalb auch zusammenfassend den lebendigen Zustand des Protoplasmas nennen, während im toten Zustande diese weggefallen sind und das Protoplasma sich wie ein unorganischer Körper — allerdings ein solcher ganz eigener Art — verhält. Das Merkwürdige dabei ist, dass diese beiden Hauptzustände sich nur

durch scheinbar äusserst geringfügige Modifikationen der Substanz von einander unterscheiden.

§ 31.

Der Hauptunterschied zwischen dem toten und lebendigen Zustand ist folgender. Im ersteren sehen wir entweder gar keinen oder einen continuirlichen Stoff- und Kraftwechsel, dessen Intensität zwar je nach den Umständen wechseln kann, der aber unter gleichbleibenden Umständen gleichbleibt und dessen Ergebniss immer eine Zerstörung der chemischen und physikalischen Struktur, also ein destruktiver Stoff- und Kraftwechsel ist.

Im lebenden Zustand dagegen ist der Stoff- und Kraftwechsel ein rhythmischer, d. h. er zeigt qualitative und quantitative Schwankungen zwischen jenen zwei oben genannten Zuständen, dem ruhenden und thätigen, und dieser Wechsel erfolgt, ohne dass die äusseren Verhältnisse, die auf die lebendige Substanz wirken, irgend erhebliche correspondirende Schwankungen zeigen, so dass man zu der Ueberzeugung kommen muss, dass diese Schwankungen von rhythmischen Zustandsveränderungen im Innern der lebendigen Substanz ausgehen.

Weiter ergibt sich dann, dass der Stoff- und Kraftwechsel nicht wie im toten Zustand ein einseitig destruktiver, sondern ein regulativer ist: der Zerstörung des chemisch-physikalischen Bestandes steht eine restitutive Thätigkeit gegenüber, so dass der Körper bei oberflächlicher Betrachtung unverändert zu bleiben scheint, trotzdem dass in rhythmischer Weise Leistungen von ihm ausgehen in Form von Stoff- und Kraftabsonderung. Es entspricht also diesen Absonderungen von Stoffen und Kräften eine quantitativ (aber nicht qualitativ) entsprechende Aufnahme von Stoffen und Kräften, wobei sich Aufnahme und Abnahme bis zu einem gewissen Grad und unter gewissen Umständen völlig die Wage halten: ein Stoff- und Kraftwechsel, den wir deshalb auch einen conservirenden nennen könnten, im Gegensatz zu dem destruktiven Stoff- und Kraftwechsel, den das tote Protoplasma zeigt, wenn nicht durch den Ausdruck „conservirend“ die falsche Vorstellung erweckt würde, als handle es sich um ein Stillstehen der Vorgänge. Der zutreffendste Ausdruck ist jedenfalls „regulativ“, weil es sich thatsächlich um regulative Einrichtungen handelt, durch deren Anwesenheit sich der lebendige Zustand des Protoplasmas vom toten unterscheidet, Einrichtungen, die uns allerdings ihrer Natur

nach nicht näher bekannt sind, mit deren Wirkung wir uns aber später beschäftigen werden.

§ 32.

Der tote und der lebende Zustand können im Allgemeinen nur in einer Richtung in einander übergehen, d. h. der lebende in den toten, aber nicht umgekehrt. Dagegen gibt es einen Zwischenzustand, den wir den des latenten Lebens nennen, wobei der Kraft- und Stoffwechsel völlig oder fast völlig stillsteht, demnach weder ein destruktiver, noch ein regulativer Stoffwechsel stattfindet. Aus diesem Zustand ist der Uebertritt in den lebendigen Zustand wieder möglich, jedoch nur innerhalb eines für jede Protoplasmaart mehr oder weniger festbegrenzten Zeitraums, nach dessen Ablauf der Tod eintritt. Der Zustand des latenten Lebens wird, soviel bis jetzt bekannt ist, durch dreierlei Umstände herbeigeführt:

1) Durch eine erhebliche Abnahme des Wassergehaltes, die jedoch einen gewissen Grad nicht übersteigen darf. Dieser Fall ist ungemein häufig bei den Pflanzensamen, bei denen überhaupt die Fähigkeit zum latenten Leben am ausgebildetsten ist. Unter den Thieren zeichnen sich viele Infusorien, dann die Bärthierchen, Anguilluliden etc. aus. Zufuhr des nöthigen Wassergehaltes stellt den lebendigen Zustand wieder her.

2) Herabminderung der Temperatur bis in die Nähe des Gefrierpunktes oder wirkliches Gefrieren. Das ist ein bei den niederen, in der Luft lebenden Thieren sehr häufiger Fall, namentlich entwickelt ist diese Fähigkeit bei vielen Eiern und Larven von Insekten, welche lange steif gefroren bleiben können. Langsame Steigerung der Temperatur stellt den lebendigen Zustand wieder her.

3) Kann eine Einkapselung, welche die Einwirkung der später zu besprechenden Lebensreize ausschliesst, an und für sich allein schon einen Latenzzustand herbeiführen, ohne dass Temperaturerniedrigung mitwirkt. Dieser Fall gilt besonders von den Eiern der Thiere, wobei jedoch gesagt werden muss, dass die Latenz keine völlige ist.

Die Fähigkeit, in dem Latenzzustand zu verharren, ist bei den verschiedenen Thieren sehr ungleich und wechselt auch je nach den Entwicklungszuständen der Thiere; andererseits darf aber auch gesagt werden, dass wohl bei allen Protoplasmaarten zwischen dem lebendigen und toten Zustand ein, wenn auch häufig sehr kurzes Stadium der Latenz liegt, in welchem eine Wiederbelebung möglich ist.

§ 33.

Daraus, dass die Lebenserscheinungen des Protoplasma an die Anwesenheit und Funktionirung gewisser regulativer Einrichtungen gebunden sind, ergibt sich, dass der Uebergang aus dem lebenden Zustand in den toten durch definitive Zerstörung dieser Regulierungsapparate herbeigeführt wird, während es sich bei dem Zustand des latenten Lebens nur um die zeitweilige Einstellung ihrer Funktionirung handelt. Derlei Einflüsse sind mehrere namhaft zu machen:

1) Wenn die Zufuhr derjenigen Materialien, die den regulativen Stoffwechsel unterhalten, nämlich Sauerstoff und Nährstofflösungen, eingestellt wird (Sistirung von Athmung und Ernährung); oder, anders gesagt, wenn dem Protoplasma die Möglichkeit entzogen wird, dem destruktiven Theil seines Stoffwechsels den restitutiven entgegen zu setzen.

2) Eine erhebliche Aenderung des Wassergehaltes nach auf- oder abwärts, übermässige Quellung so gut wie Vertrocknung, was durch sehr verschiedene Umstände herbeigeführt wird. So kann Wasserentziehung durch einfache Verdunstung und durch Wasser absorbirende Chemikalien (Alkohol, Salze etc.) herbeigeführt werden, übermässige Quellung aber wird ebensowohl durch destillirtes Wasser, als durch gewisse wässrige Lösungen bewirkt.

3) Gerinnung der gelösten Albuminate, wobei jedoch, wie es scheint, ziemlich allgemein zwei Stufen der Gerinnung zu unterscheiden sind, eine gelatinöse und eine fibrilläre (Hermann). Im gelatinösen Stadium ist eine Rückkehr in den lebendigen Zustand möglich durch Wiederauflösung des Gerinsels, während dies im fibrillären Zustand nicht mehr möglich ist. Der Uebergang aus dem gelatinösen Zustand der Gerinnung in den fibrillären scheint einfach eine Funktion der Zeit zu sein. Die Gerinnung scheint durch die meisten der Einwirkungen, die wir Lebensreize oder schlechtweg Reize nennen, weil sie das lebendige Protoplasma aus dem ruhenden Zustand in den thätigen versetzen, herbeigeführt zu werden, und die Erhaltung des Lebens nur darauf zu beruhen, dass durch Einflüsse, die später besprochen werden sollen, die Gerinnung jedesmal, ehe sie das gelatinöse Stadium überschritten hat, wieder gelöst wird. Fehlen diese lösenden Einflüsse oder ist die Reizeinwirkung so stark, dass sofort die Gerinnung fibrillär wird, so tritt Tod ein. Wir können also sagen: Alle Einflüsse, welche das lebendige Protoplasma aus dem ruhenden Zustand in den thätigen versetzen, können es auch unter

bestimmten Bedingungen und bei heftiger Einwirkung in den toten überführen.

4) Chemische Umwandlung der (gelösten und festen) Albuminate in anderartige, meist niederatomige Verbindungen: Albuminoide (Hornstoff, Mucin, Leim gebende Substanz etc.), Fette, Kohlenhydrate oder Krystalloidverbindungen. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass, wenn diese Umwandlungen partiell sind, der Rest des Protoplasmas im lebendigen Zustand verharret, seine Lebenserscheinungen nur vermindert und gehemmt sind. Weiter ist anzumerken, dass eine solche chemische Umwandlung der Albuminate auch im lebendigen Zustande stetig fortdauert, allein durch den restitutiven Theil des Stoffwechsels stetig wieder ersetzt wird, so dass der lebendige Zustand intakt bleibt.

5) Eindringen von Stoffen in das Protoplasma, welche die Wirkung des Sauerstoffs auf dessen oxydable Bestandtheile verhindern. Dieser Umstand kommt also so ziemlich auf dasselbe hinaus, wie die unter 1) aufgeführte Behinderung der Athmung. Solche Stoffe sind z. B. Kohlenoxyd-, Stickoxyd- und Blausäure-Gas.

Stoffe, welche schon in kleinen Mengen das Protoplasma aus dem lebendigen in den toten Zustand überführen, nennt man Gifte.

§ 34.

Der tote Zustand wird bei vielen Protoplasmaarten eingeleitet durch den Zustand der Starre oder Totenstarre, der seinen Namen von den Erscheinungen hat, die am Protoplasma der willkürlichen Muskeln besonders stark und auffallend hervortreten. Man kann diese Erscheinungen als eine Durchmesser-Veränderung im Sinne der Kugelung, d. h. als eine Verkürzung aller Längsdurchmesser unter Vergrößerung der Querdurchmesser, nennen, die mit mehr oder weniger grosser Kraft erfolgt und zwar unter Bildung von freier Wärme. Die Ursache ist eine Gerinnung von Albuminaten, weshalb das Protoplasma getrübt, fest und hart wird. Das Volum ist dabei etwas geringer geworden und seine Elasticität hat abgenommen. Die Reaktion, die beim ruhenden lebendigen Protoplasma, wie es scheint, stets schwach alkalisch oder wenigstens neutral ist, ist sauer geworden durch Bildung von freien Säuren (bes. Fleischmilchsäure) und sauren Salzen. Dabei hat sich der Gehalt an Kohlenhydraten (beim Muskel Glycogen) gemindert und ist Kohlensäure gebildet worden; Ergebnisse, die zusammengehalten mit der Wärmeentwicklung beweisen, dass eine Oxydation stattgefunden hat.

Nicht jedes Protoplasma zeigt den ganzen eben beschriebenen Symptomencomplex, namentlich fehlen bei verschiedenen Arten (z. B. beim Nervenprotoplasma) die Durchmesseränderungen. Auch kann man an Protoplasmaarten, die unter gewöhnlichen Umständen alle obigen Erscheinungen aufweisen, das Eintreten der Starre durch bestimmte Behandlung, z. B. beim Muskel durch Abbrühen, verhindern.

Da die Starre auf Gerinnung der Albuminate zurückzuführen ist, so gilt für sie das in § 33, 3. Gesagte, dass nämlich die Starre zwei Stadien hat: das Stadium der gelatinösen Gerinnung, aus welchem eine Rückkehr zum lebendigen Zustande durch Einflüsse, welche die Gerinnung lösen, wieder möglich ist, und das zweite Stadium der fibrillären Gerinnung mit Contraction des Gerinsels, in dem diese Möglichkeit nicht mehr vorhanden, die Todtenstarre eine definitive geworden ist.

Je nach der Ursache, welche die Starre hervorgerufen hat, unterscheidet man verschiedene Starren. Die Säurestarre ist entweder dadurch entstanden, dass unter Einfluss von heftigen Reizen sich grössere, nicht mehr zur Neutralisirung gelangende Mengen von Säuren im Innern des Protoplasmas gebildet haben, oder dadurch, dass Säuren von aussen einwirken; letztere Fähigkeit besitzen jedoch nicht alle Säuren, z. B. die Mineralsäuren nicht. Als Wasserstarre bezeichnet man die durch destillirtes Wasser hervorgerufene. Auch andere, chemisch indifferente Stoffe können Starre erzeugen. Eine weitere Starre ist die Temperaturstarre, die in eine Wärmestarre und eine Kältestarre zerfällt. Die erstere tritt für jede Protoplasmaart bei einer bestimmten Temperatur ein (beim Muskel des Warmblüters mit 48—50°, bei dem von Kaltblütern mit 40° Celsius). Die Kältestarre fällt im allgemeinen mit dem Gefrierpunkt des Wassers zusammen.

Starre und latenter Zustand des Lebens dürfen, obwohl sie in manchen Fällen zusammenfallen, doch nicht als identisch betrachtet werden.

§ 35.

Ist die Starre eine definitive geworden, d. h. unwiderruflich eingetreten, so hängt das weitere Verhalten des Protoplasmas von einer Reihe von Umständen ab. Es wird nämlich entweder chemisch und physikalisch zerstört oder es wird conservirt, d. h. es besteht mehr oder weniger unverändert fort, verhält sich aber jetzt wie ein unorganischer Körper, zeigt keinen rhythmischen Stoff und Kraftwechsel mehr.

Ob das eine oder andere geschieht, hängt vor allem vom Wassergehalt ab; je geringer dieser ist, um so mehr erhält sich das Protoplasma unverändert, deshalb ist eine der einfachsten Conservirungsmethoden des Fleisches seine Trocknung. Umgekehrt, je wasserhaltiger das Protoplasma, desto rascher wird es zerstört. Der Wassergehalt, den das lebende Protoplasma besitzt, ist hinreichend, um die Zerstörung herbeizuführen.

Der zweite Umstand ist der Temperaturgrad. Bei 0° und darunter wird es fast unverändert conservirt, mag es saftig oder trocken sein. Von hier an ist das Verhalten verschieden: getrocknetes Protoplasma verhält sich steigenden Temperaturen gegenüber ziemlich gleichgültig, bis es bei einer sich über den Siedepunkt des Wassers erhebenden Temperatur entweder verbrennt (bei Anwesenheit von Sauerstoff) oder der trockenen Destillation anheimfällt. Im saftigen Zustande steigt vom Gefrierpunkt an die Zersetzungsfähigkeit bis zu der Temperatur, in welcher die Albuminate gerinnen (40—50° Celsius); von hier an nimmt mit steigender Temperatur die Zersetzungsfähigkeit ab und bei der Siedehitze leistet es einen erheblichen Widerstand, obwohl jetzt einzelne Bestandtheile desselben in Pepton verwandelt und gelöst werden. Die Abnahme der Zersetzungsfähigkeit bei höheren Temperaturen unterhalb der Siedehitze des Wassers beruht theils auf der Gerinnung der Albuminate, theils darauf, dass in dieser Temperatur die belebten Fäulnisfermente, die bei der Zersetzung eine so grosse Rolle spielen, nicht leben können. Gekochtes Fleisch ist weniger zersetzungsfähig als frisches, theils weil die Fermente getödtet sind, theils weil der Wassergehalt, vermindert worden ist, theils weil die Albuminate geronnen sind.

Der dritte Umstand ist die Anwesenheit von Sauerstoff. Man hat den Einfluss des Sauerstoffs auf die Zersetzung eine Zeit lang bedeutend überschätzt, indem man ihm die Wirkung der Fermente (§ 36) zuschrieb; jetzt weiss man, dass seine Anwesenheit zwar die Zersetzung begünstigt, aber weder unbedingt nöthig ist, noch für sich allein die Zersetzung bewerkstelligen kann, ausgenommen wenn ihm grosse Zeiträume zu Gebote stehen (Verwesung, Vermoderung).

§ 36.

Der wichtigste Umstand bei der Zersetzung ist die Anwesenheit belebter Fermente, niedriger Organismen, die man als Vibriolen, Bacterien etc. bezeichnet und zu den Spaltpilzen (Schizomyceten) rechnet, aber noch nicht genügend studirt hat,

weil ihre extreme Kleinheit der Forschung grosse Schwierigkeiten entgegensetzt. So viel ist sicher, dass sie im keimfähigen Zustand in die Luft verstäuben und letztere in der Nähe der mit Organismen besetzten Erdoberfläche stets solche Keime enthält, welche sofort ihre Entwicklung und Vermehrung beginnen, sobald sie auf ein geeignetes Nährstoffsubstrat fallen; ein solches sind fast alle stickstoffhaltigen Substanzen, welche sich in Lösung oder genügend durchfeuchtem Zustande befinden. In diesen leiten sie durch ihre Lebensthätigkeit die sogenannte Fäulnissgährung ein. Die saure Reaktion, welche die Starre (jedoch nicht immer) begleitet, weicht jetzt einer alkalischen Reaktion in Folge von Ammoniakentwicklung. Es erscheinen übelriechende Gase, besonders Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Schwefelammonium etc., dann Kohlensäure, Stickstoff und verschiedene theils flüssige, theils lösliche Zersetzungsprodukte (siehe Bd. I § 5). Dieser Prozess dauert bis zur völligen chemischen und physikalischen Zersetzung des Protoplasmas fort.

Die Thätigkeit der belebten Fermente ist an einen gewissen, nicht zu niedrigen Wassergehalt geknüpft, sowie an eine Temperatur, welche nicht unter den Gefrierpunkt des Wassers geht und nicht höher ist als 50—60° Celsius.

Ausserdem gibt es eine Reihe von chemischen Stoffen, welche diese Fermente tödten oder lähmen und deren man sich deshalb als Conservierungsmittel bedient. Hierzu gehören die meisten Mineralsäuren, einige organische Säuren, worunter insbesondere die Salicylsäure und Carbonsäure zu nennen sind, dann das Tymol, viele Metallsalze, Alkohole, Aether, Fette, Glycerin etc.

Die Conservirung zu naturhistorischen Zwecken geschieht theils durch Einlegung in Alkohol oder wässrige Lösungen von Sublimat, Chromsäure, chromsaurem Kali, Glycerin, Arsenikaten etc. (feuchter Einschluss) oder durch Trocknung mit oder ohne vorgängige Imprägnirung mit gewissen Salzen, wobei insbesondere die schwefelsaure Thonerde eine wichtige Rolle spielt. Hat man keine solche Imprägnirung vorgenommen, so tränkt man die getrockneten Theile mit Harzlösungen.

Die Conservirung zu culinarischen Zwecken geschieht durch Einsalzen mit Kochsalz und Salpeter, durch Trocknen mit oder ohne Räucherung, durch Eingiessen in Fett, mit oder ohne vorgängige Abtödtung etwaiger schon anwesender Fermente durch Kochen, oder durch luftdichten Einfluss nach vorgängigem Kochprozess, um, nach der Zerstörung der bereits anwesenden, neuen Fermenten den Zutritt zu verwehren.

Ein eigenthümlicher postmortaler Zersetzungsprozess, der jedoch nur bei eiweissreicherem Protoplasma vorzukommen scheint, ist die fettige Degeneration, die jedoch, wie wir sehen werden, auch im lebendigen Protoplasma Platz greifen kann. In todtem, mit lebendigem nicht mehr in Beziehung stehendem Protoplasma tritt sie als Bildung von Leichenwachs (adipecire), einer Ammoniakseife, auf. Es erinnert dieser Vorgang an die Entstehung von Fetten aus Eiweissverbindungen beim Reifen des Käses; doch weiss man noch nichts davon, ob, wie das beim Käse der Fall zu sein scheint, ein Ferment dabei mitwirkt.

§ 37.

Eigenthümlicher Art sind die Absterbeprozesse, die ein Protoplasma zeigt, welches noch mit lebendigem Protoplasma in Stoffwechselbeziehung steht, wobei jedoch zu bemerken ist, dass nicht jedes Protoplasma diese Formen aufweist. Sie unterscheiden sich von denjenigen Absterbeprozessen, welche im vorigen Paragraphen geschildert sind, im Allgemeinen dadurch, dass sie sowohl nach Raum als Zeit mehr allmählig vor sich gehen und dass die Einschaltung eines Starrezustandes hierbei noch nicht beobachtet worden ist.

Der eine dieser Prozesse ist die Albuminoidmetamorphose oder albuminoide Degeneration, wobei es sich um die chemische Umwandlung der Albuminate in die niederatomigen Albuminoide handelt. Ein sehr allgemeines Vorkommen hat die Mucinmetamorphose d. h. die Umwandlung in Schleimstoff. Sie erfolgt im Allgemeinen nur bei Anwesenheit von genügenden Mengen von Wasser; ob Sauerstoff dazu nöthig ist, scheint noch nicht ermittelt. Ausser dem Auftreten des Mucins ist das auffälligste die starke Quellung, die mit dieser Metamorphose verbunden ist und die schliesslich auf eine völlige Verflüssigung d. h. die Bildung einer colloiden Lösung hinausläuft. Die zweite Albuminoidmetamorphose ist die in Hornstoff, welche jedoch auf das Protoplasma der Wirbelthiere beschränkt ist und auch hier nur ausgesprochen bei den Pulmonaten vorkommt. Die Bedingungen scheinen einseitige Vertrocknung unter Saftnachschub von der entgegengesetzten Seite und Einwirkung von Sauerstoff zu sein. Es ist ihr nur das Protoplasma der Grenzzellen der genannten Thiergruppe unterworfen. Die Leimmetamorphose besprechen wir besser bei der Physiologie des Zellkittes, weil es sich hier mehr um die Bildung plastischer Protoplasmaarten handelt.

Der zweite Absterbeprozess ist die schon § 36 erwähnte

Fettmetamorphose oder fettige Degeneration des Protoplasmas. Sie vollzieht sich mehr in der Tiefe des Thierkörpers, scheint also von der direkten Einwirkung äusserer Umstände nicht abzuhängen, aber begünstigt zu werden 1) durch eine verminderte Einwirkung des Sauerstoffes und 2) durch Abwesenheit oder Verminderung des Einflusses von Protoplasmareizen. Sie zeigt sich als Auftreten von feinsten Fetttröpfchen im Innern des Protoplasmas, wahrscheinlich durch Umwandlung der Albuminate in neutrale Fette unter Abspaltung eines stickstoffhaltigen Paarlings. Das Fett bleibt entweder im Innern des Protoplasmas aufgespeichert, wobei die kleinen Tröpfchen allmählich zu einem grossen Tropfen verschmelzen (Bildung von Fettzellen), oder das Protoplasmastück zerfällt in eine emulsive Masse, bestehend aus den einzelnen Fetttropfen, die noch mit Albuminhüllen umgeben sind (Milchbildung). Dieser Zustand kann durch Verseifung und oxydative Zerstörung des Fettes in gänzliche Auflösung übergehen.

Die dritte Art ist die Farbstoffdegeneration. Hier kommen zweierlei Formen vor, deren physiologische Bedingung ganz verschieden ist: Die Hämoglobinmetamorphose zeigt nur das Blutzellenprotoplasma der Wirbelthiere; sie ist zwar auch als Absterbeprozess des Protoplasmas aufzufassen, da die Erregbarkeit, wenn auch nicht ganz verloren, beträchtlich vermindert ist und dieser Metamorphose auch ein Verfall der Struktur folgt; aber dieses metamorphosirte Protoplasma spielt noch eine äusserst wichtige sociologische Rolle, wovon später. Die Melaninmetamorphose, wobei im Protoplasma schwarze Farbstoffkörner auftreten, ist anfangs immer partiell, kann aber auch, wie es scheint, zu gänzlichem Absterben führen.

Die vierte Form ist die Petrification durch successive Ablagerung von Erdsalzen, namentlich Kalksalzen (Verkreidung), wodurch das Protoplasma verdrängt wird. Diese Degeneration, die meist sociologische Zwecke hat, auch pathologisch vorkommt, tritt sporadisch in allen Thierabtheilungen auf.

Genauerer Untersuchungen bedarf noch die Amyloid-Degeneration, wobei es sich um die Bildung eines eigenthümlichen, in seinem Verhalten gegen Jod an Cellulose und Stärke erinnernden Albuminates, das Amyloid, handelt. Sie kommt physiologisch und pathologisch vor und hat gleichfalls (völlige?) Vernichtung der Erregbarkeit zur Folge.

§ 38.

Der lebendige Zustand des Protoplasmas zeigt uns mehrere Gruppen verschiedenartiger Erscheinungen.

Die eine Erscheinungsreihe beruht auf der Fähigkeit, einen rhythmischen Kraft- und Stoffwechsel zu unterhalten, d. h. abwechselnd in Ruhezustand und Thätigkeitszustand überzugehen, eine Fähigkeit, welche die Physiologen als Erregbarkeit bezeichnen.

Die zweite Gruppe sind die continuirlich und allmählich sich vollziehenden: das Wachstum und die Anpassungserscheinungen; letztere sind der merkwürdigste und bisher noch am wenigsten studirte Theil der Lebensvorgänge und zerfallen in ontogenetische und phylogenetische Veränderungen.

Die dritte Gruppe bilden die morphogenetischen Vorgänge, d. h. das Protoplasma erscheint unter bestimmten Formen. Dieselben sind zwar in dem morphologischen Abschnitt beschrieben, allein es ist im physiologischen Abschnitt zu erläutern, dass und wie die bestimmte Form eine Funktion des Protoplasmas ist.

Jede dieser drei Gruppen von Lebenserscheinungen wird in einem besonderen Abschnitt besprochen werden.

4. Die Wechselbeziehung zwischen Thier- und Pflanzenreich.

§ 39.

Wie bereits früher gesagt, bestehen die rhythmischen Verrichtungen des Protoplasmas auf Kraft- und Stoffwechselforgängen eigenthümlicher Art und zum Verständniss derselben muss die Erörterung der Wechselbeziehung zwischen zweierlei Protoplasmaarten, der thierischen und der pflanzlichen, vorausgesendet werden.

Diese Beziehung ergibt sich aus der in Bd. I § 1 angegebenen Thatsache, dass das Thier die wichtigsten Bestandtheile des Protoplasmas nicht in sich selbst erzeugt, sondern einfach dem Pflanzenreich unmittelbar (Pflanzenfresser) oder mittelbar (Fleischfresser) entnimmt. Die Eigenthümlichkeiten des thierischen Protoplasmas sind also auf die Vorgänge zurückzuführen, die bei der Bildung der genannten Stoffe in den Pflanzen stattfinden und letztere verdienen deshalb zuerst geschildert zu werden.

§ 40.

Die betreffenden Prozesse in der Pflanze setzen die Anwesenheit von Protoplasma, und zwar einer bestimmten Art von Pro-

toplasma, voraus, welcher wir den Namen chlorophyllogenes d. h. blattgrün erzeugendes Protoplasma geben wollen; denn seine Eigenthümlichkeit besteht darin, dass in ihm ein eisenhaltiger, eigenthümlicher Farbstoff, das Chlorophyll, auftritt und zwar unter Einwirkung des Sonnenlichtes, besonders des direkten, weniger des zerstreuten.

Ein solches Protoplasma zeigt zweierlei ganz entgegengesetzte Kraft- und Stoffwechselforgänge. Der eine, den die Botaniker Stoffwechsel im engeren Sinne nennen, gleicht ganz dem, welcher auch dem thierischen Protoplasma zukommt. Er besteht in einer Oxydation hochatomiger Bestandtheile des Protoplasmas unter Absorption von Sauerstoff und Erzeugung von Kohlensäure, Wasser, Wärme und mechanischer Bewegung. Dieser Stoff- und Kraftwechsel findet in allem Pflanzenprotoplasma, also auch in dem chlorophylllosen, jederzeit, jedoch wahrscheinlich in rhythmischer Weise statt. Sobald jedoch chlorophyllhaltiges Protoplasma dem Sonnenlicht oder auch nur dem zerstreuten Tageslicht ausgesetzt wird, so beginnt ein von den Chlorophyllkörnern ausgehender und entgegengesetzter Kraft- und Stoffwechsel, welchen die Botaniker Assimilation nennen.

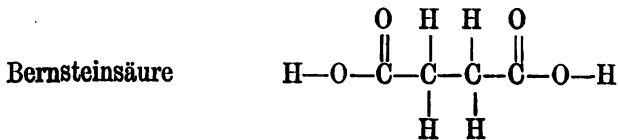
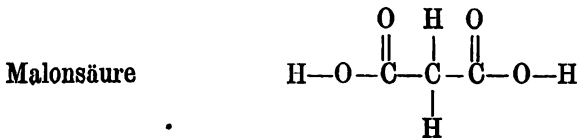
§ 41.

Die Materialien, mit denen die Assimilation arbeitet, sind der Hauptsache nach Kohlensäure, Wasser, Ammoniakverbindungen, Salpetersäure, Schwefelsäure, Kaliverbindungen etc. (siehe Bd. I § 1), also lauter Verbindungen, in welchen die chemischen Affinitäten des Kohlenstoffs und Wasserstoffs zum Sauerstoff, und die des Stickstoffs zu Sauerstoff und Wasserstoff völlig gesättigt sind. Die arbeitende Kraft ist die im Sonnenlicht gegebene freie Molekularbewegung und das Ergebniss dieser molekularen Arbeit ist eine allmähliche Aufhebung dieser Sättigung, indem der Sauerstoff successive aus seinem Verband mit den genannten Atomen abgelöst und frei gemacht und die so freigewordenen Affinitäten dieser Atome und Radikale durch schwächere Affinitäten ersetzt werden. So wird z. B. die starke Affinität des Kohlenstoffs zum Sauerstoff durch die schwächere Affinität des ersteren zum Wasserstoff ersetzt, sobald im Chlorophyllprotoplasma Kohlensäure und Wasser neben einander sich befinden und Licht einwirkt. Aus dem Wasser, das eine Verbindung von zwei Atomen Wasserstoff mit einem Atom des zweiwerthigen Sauerstoffs ist, wird ein Atom Wasserstoff abgelöst und es bleibt das Hydroxyl (H O) zurück, welches als Radikal funktionirt, da die eine Affinität des Sauerstoffs

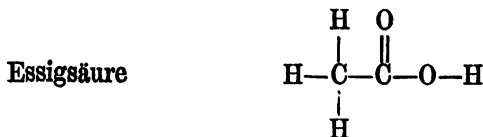
nicht gesättigt ist. Der Kohlensäure wird Sauerstoff geraubt und die frei gewordenen Affinitäten des vierwerthigen Kohlenstoffs bemächtigen sich des aus dem Wasser abgeschiedenen Wasserstoffs, mit dem sie jetzt Kohlenwasserstoffgruppen bilden, die ungesättigte Affinitäten haben und sich mit einander sowie mit dem Hydroxyl etc. verhängen.

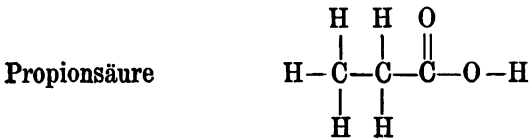
Indem die Abscheidung des Sauerstoffs Zug um Zug vorschreitet, entstehen immer complizirtere Atomverkettungen, welche der Hauptsache nach aus Kohlenwasserstoffgruppen und Hydroxylgruppen bestehen.

Als Beispiel für diesen Prozess diene die stets in dem Pflanzenprotoplasma sich entwickelnde Reihe, wobei aus Kohlensäure und Wasser zuerst Oxalsäure, dann Malonsäure und weiter Bernsteinsäure wird.



Einen andern Rhythmus hält die Fortentwicklung ein, welche man die Fettsäuren-Reihe nennt.



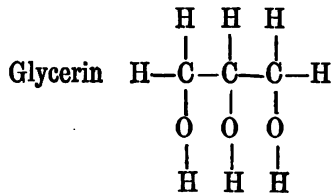


Diese Reihe geht soweit, dass bei der Palmitinsäure 16 Atome Kohlenstoff und 32 Atome Wasserstoff und bei der Stearinsäure 18 Atome Kohlenstoff und 36 Atome Wasserstoff auf die noch übrig gebliebenen zwei Atome Sauerstoff kommen, mithin nur ein Wasserstoffatom (das der Hydroxylgruppe) und drei Affinitäten eines Kohlenstoffes mit Sauerstoff gesättigt sind, während bei allen übrigen Affinitäten an die Stelle der starken Affinität von Kohlenstoff und Wasserstoff zu Sauerstoff die viel schwächere Affinität zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff getreten ist.

§ 42.

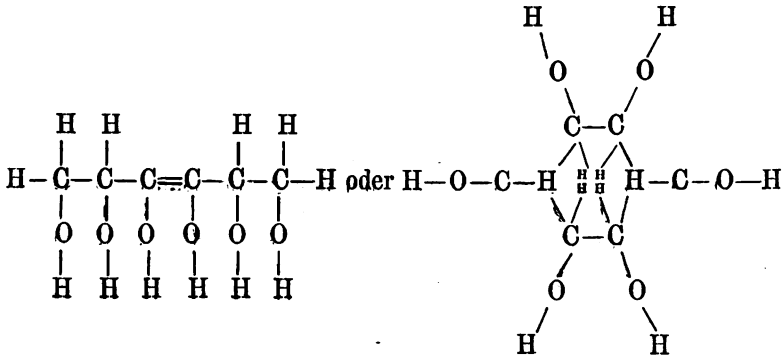
Die niederen Glieder dieser Umwandlungsreihen von Kohlen- säure und Wasser im Pflanzenprotoplasma haben den Charakter von Säuren (Oxalsäure, Bernsteinsäure, Aepfelsäure, Weinsäure, Citronensäure, Fettsäuren etc.) und die Endprodukte sind, soweit sie hier in Betracht kommen, zweifacher Natur:

1) Neutrale Fette, d. h. dreifache Aether eines drei- atomigen Alkohols, des Glycerin. Seine Formel ist:



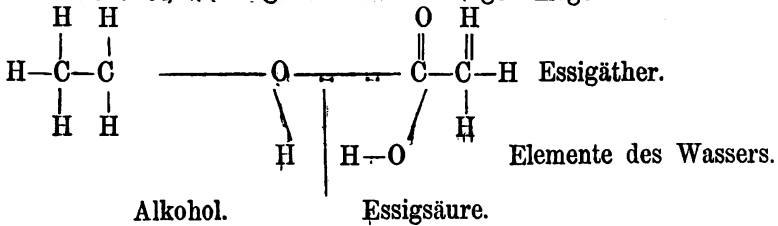
Die drei unten stehenden Wasserstoffatome der drei Hydroxyl- gruppen können durch je ein Molekül einer Säure der Fettsäure- reihe (Triglyceride) z. B. Triolein, Tripalmitin, Tristearin etc. ersetzt werden.

2) Die sogenannten Kohlenhydrate. Die erste Stufe derselben scheinen die krystalloiden Zuckerarten zu sein, deren Constitution allerdings noch nicht festgestellt ist, die aber höchst wahrscheinlich als vielatomige Alkohole zu betrachten sind. Denkbare Constitutionen für den Traubenzucker sind:



Nach der Theorie Baeyers über die Entstehung des Zuckers in der Pflanze wird aus der Kohlensäure Kohlenoxyd, welches sich mit 2 Theilen frei gewordenen H zu Formylaldehyd (C O H₂) verbindet; denn durch Einwirkung von Alkalien erhält man aus Formylaldehyd einen zuckerartigen Körper.

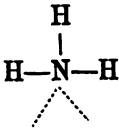
Die zweite Stufe der Kohlenhydrate sind die unlöslichen Kohlenhydrate: Stärkemehl und Holz faser, und die Colloiden, Gummi und Dextrin, die man als Anhydride der Zuckerarten, d. h. als durch Entfernung eines Wassermoleküls entstanden, ansieht. Sie würden sich also zu den Zuckerarten verhalten wie der Aether zu einem Alkohol, wie folgendes Schema zeigen möge:



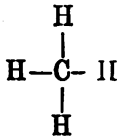
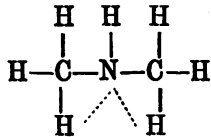
§ 43.

Wie die Albuminate in den Pflanzen gebildet werden, ist noch durchaus nicht ermittelt. Die eine Ansicht ist, dass der eine Bestandtheil die löslichen Kohlenhydrate, die Zuckerarten, seien; andererseits spricht das Auftreten von Fetten bei der Rückbildung der Albuminate zu Gunsten dieser letzteren. Als Bezugsquelle für den zu ihrer Constitutiop nöthigen Stickstoff kann nur das Ammoniak betrachtet werden. Die Art und Weise, wie sich der Stickstoff mit ternären Verbindungen, solchen aus C O und H, verbindet, ist soviel bekant, eine dreifache:

1) Aminverbindungen, in welchen Wasserstoffatome des Ammoniaks oder des Ammoniumoxydulhydrates durch Kohlenwasserstoffgruppen ersetzt sind, z. B.

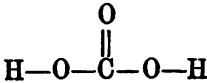


Ammoniak.

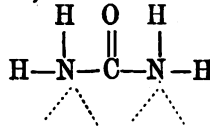
Radikal des
Methylalkohols.

Dimethylamin.

2) Amidverbindungen, in welchen die Hydroxylgruppe (O H) in Säuren durch N H₂ ersetzt ist, z. B.:

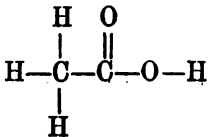


Kohlensäurehydrat.

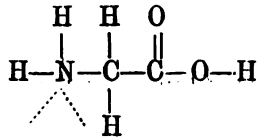


Carbamid (Harnstoff).

3) Amidosäuren, Säuren, in welchen Wasserstoffatome des Radikals (nicht der Hydroxylgruppe) durch die Gruppe N H₂ ersetzt sind, z. B.:



Essigsäure.



Amidoessigsäure (Glycin).

In allen Fällen handelt es sich, wie aus Obigem ersichtlich, darum, dass eine der Affinitäten zwischen Stickstoff und Wasserstoff durch die schwächere Affinität von Stickstoff und Kohlenstoff ersetzt wird.

Welcher der drei Fälle bei der Bildung der Albuminate aus Zucker oder Fett und Ammoniak stattfindet, ist nicht bekannt. Die einen nehmen eine direkte Bildung an, Pfeffer lässt zuerst das Asparagin, das die Amidverbindung der Aepfelsäure ist, entstehen, weil dieser Stoff in der That in den Pflanzen zur Zeit der Keimung sehr verbreitet auftritt.

Ueber den Ursprung des Schwefels, von dem jedoch noch nicht fest steht, ob er im engeren Sinne zum Molekül der Albuminate gehört, ist bloß darüber kein Zweifel, dass er den schwefel-

sauren Salzen entnommen wird, dass es sich also hierbei wieder um die Ersetzung der starken Affinität zwischen Schwefel und Sauerstoff durch eine schwächere (entweder die zwischen Schwefel und Wasserstoff oder zwischen Schwefel und Kohlenstoff) handelt.

Ueber die phosphorhaltigen organischen Stoffe, deren Synthese wahrscheinlich auch im Pflanzenprotoplasma eingeleitet wird, soll weiter unten im Zusammenhang gesprochen werden.

§ 44.

Aus dem Gesagten erhellt, dass die Assimilation im chlorophyllhaltigen Protoplasma der Pflanzen ein Reduktionsprozess ist, d. h. ein Zersetzungsvorgang, bei welchem unter Abspaltung von Sauerstoff Stoffe entstehen, welche wegen der steigenden Complication ihrer Molekularstruktur und wegen Ersetzung der starken Affinitäten des Sauerstoffs durch schwächere Affinitäten ein sehr labiles Gleichgewicht haben, und bei Anwesenheit von freiem Sauerstoff stets bereit sind, dieser stärkeren Affinität zu folgen und sich wieder zu Kohlensäure, Wasser und Ammoniak zu oxydiren. Die Abscheidung des Sauerstoffs erfordert natürlich einen Aufwand von lebendiger Kraft, die hierbei verschwindet und jetzt nach dem in § 4 Gesagten in Form von Spannkraft (als Affinität des Sauerstoffs) in diesen chemischen Verbindungen aufgestapelt ist. Dass die lebendige Kraft, die, wie wir oben gesehen haben, Licht und Wärme ist, hierbei wirklich als solche verschwindet, geht daraus hervor, dass grüne Pflanzentheile abkühlend wirken, trotzdem dass sie das Licht absorbiren, während ein toter Körper, der das Licht absorbirt, sich im Gegentheil erwärmt. Daraus ergibt sich, dass die in den genannten Assimilationsprodukten enthaltenen Spannkraft ein Produkt der Sonnenkräfte sind.

§ 45.

Indem nun die Thiere diese pflanzlichen Assimilationsprodukte (Albuminate, Kohlenhydrate und Fette), und ausserdem freien Sauerstoff, in sich aufnehmen, gelangen sie in den Besitz der in ihnen enthaltenen Spannkraft und zugleich des Mittels, sie zu entwickeln (des Sauerstoffs). Damit dies geschieht, bedarf es nur noch des auslösenden Momentes. Als solches fungiren freie Bewegungen, die theils von aussen andringen, theils im Innern entstehen und die deshalb den Namen „Reize“ tragen. Wir werden darüber weiter unten Genaueres erörtern, nachdem wir zuvor die Wege geschildert haben, welche hierbei die Atomumlagerung verfolgt.

§ 46.

Der Weg der Atomumlagerung ist der einer ganz allmählichen Oxydation, wobei die schwächeren Affinitäten zwischen Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff durch die stärkeren, insbesondere die von Sauerstoff zu Kohlenstoff und Wasserstoff, ersetzt werden, und deren Endprodukte Kohlensäure, Wasser, Ammoniak, Schwefelsäure etc., also diejenigen Stoffe sind, von welchen der Assimilationsprozess in der Pflanze ausging.

Hieraus ergibt sich eine höchst bedeutungsvolle Wechselbeziehung in Form eines Kreislaufes zwischen thierischem und pflanzlichem Leben, indem die Stoffe, welche das eine fertig gebildet hat und nicht mehr weiter verwendet, für das andere die wichtigsten Nährstoffe sind. Die Pflanze erhält von dem Thier Kohlensäure und Ammoniak und bildet daraus die wichtigsten Nährstoffe für das Thier (Albuminate, Fette und Kohlenhydrate) sowie freien Sauerstoff, den das Thier ebenso nöthig braucht. Dieser Kreislauf muss jedoch so verstanden werden: Das Thier ist absolut abhängig von der Pflanze, indem ihm die Fähigkeit, seine hochatomigen Körperbestandtheile selbst aus unorganischem Material zu bilden, völlig abgeht; es kann aus dem letzteren nur freien Sauerstoff, Wasser und gewisse Salze beziehen. Auf der andern Seite kann die Pflanze allerdings die vom Thier produzierte Kohlensäure und Ammoniak verwenden, allein da diese Verbindungen auch in der unorganischen Natur vorhanden sind, und zwar in viel reichlicherer Menge, so bedarf sie der Thätigkeit der Thiere nicht nothwendig. Wir können also sagen: Wo keine Pflanzen sind, kann das Thier nicht existiren, weil ihm die wichtigsten Nährstoffe fehlen und weil es, sofern es in ein abgeschlossenes Quantum von Luft oder lufthaltigem Wasser eingeschlossen ist, sich selbst allmählich des freien Sauerstoffs beraubt. Bringen wir dagegen in ein abgeschlossenes Quantum von Luft oder Wasser gleichzeitig Thiere und Pflanzen im richtigen Verhältniss, so erhalten sie sich gegenseitig die Lebensbedingungen. Ein Experiment dieser Art sind die Aquarien.

Der Krätewechsel zwischen Thier und Pflanze ist jedoch kein Kreislauf wie der der Stoffe. Hier muss ein neuer Faktor, die Sonnenkraft, hinzu kommen. Die Stoffe, welche die Pflanze zu sich nimmt (Kohlensäure, Wasser und Ammoniak), sind wegen völliger Sättigung ihrer Affinitäten baar an Spannkraften. Erst in der Pflanze beladen sie sich gewissermassen mit solchen, die von den Sonnenkräften erzeugt werden. Treten sie jetzt in den Thierkörper, so werden diese Spannkraften

wieder frei gemacht, nach aussen entladen als Wärme, mechanische Bewegung, Lichtbewegung etc. und das Endprodukt sind wieder spannkraftlose Verbindungen.

5. Der Stoffwechsel des thierischen Protoplasmas.

a) Die Stoffwechselbedingungen.

§ 47.

Bei dem Stoffwechsel im thierischen Protoplasma haben wir es mit drei aufeinander folgenden Stufen zu thun: 1) mit der Aufnahme von Stoffen, 2) mit der Umwandlung derselben und 3) mit ihrer Ausscheidung.

Die Aufnahme der Stoffe, die in Ernährung und Athmung zerfällt, setzt die Anwesenheit von bestimmten Nährstoffen und dem Athmungsmittel voraus, sowie gewisse äussere Verhältnisse, unter denen diese Stoffe dem Protoplasma geboten werden.

Alles das fassen wir mit der Bezeichnung Stoffwechselbedingungen zusammen und diese sind begreiflicherweise theils chemischer, theils physikalischer Natur. Diese zu schildern muss die erste Aufgabe unserer Betrachtung über den Stoffwechsel des Protoplasmas sein.

§ 48.

Die unerlässlichste Stoffwechselbedingung für das Protoplasma, wenn es die rhythmischen Lebensfunktionen ausführen soll, ist die, dass es von einem tropfbar flüssigen Medium umgeben ist. In der trocknen Luft kann es höchstens ein latentes Leben führen (siehe § 32) und auch dieses nicht auf die Dauer. Söll es funktioniren, so muss es von einer tropfbaren Flüssigkeit umspült sein und zwar aus folgenden Gründen:

1) Bedarf das Protoplasma zu seiner Funktionirung eines bestimmten Quellungsgrades, den es nur behaupten kann, wenn es von einer Quellungsflüssigkeit umgeben ist.

2) Gewisse Stoffe kann das Protoplasma nur aufnehmen, wenn sie ihm in flüssiger Form, d. h. als Lösung geboten werden.

3) Die meisten Stoffe, welche das Protoplasma in seinem Inneren aus den eingedrungenen Nährstoffen durch chemische Umwandlung erzeugt, und die entfernt werden müssen, wenn die

Lebensfunktionen nicht sistirt werden sollen, können, da sie bei gewöhnlicher Temperatur nicht flüssig sind, nur durch Auswaschung, die von der umspülenden Flüssigkeit besorgt wird, entfernt werden.

§ 49.

Was die Natur der umspülenden Flüssigkeit betrifft, so ist vor allem festzustellen, dass dieselbe eine wässrige sein muss; in keiner andern (in Alkohol, Aether, Oelen etc.) kann das Protoplasma funktionieren. Ebenso wenig aber darf die Flüssigkeit chemisch reines, destillirtes Wasser sein und zwar aus mehrfachen Gründen:

1) Entzieht chemisch reines Wasser dem Protoplasma gewisse zu seiner Funktion unentbehrliche Bestandtheile; z. B. seine Salze, und gewisse Extraktstoffe;

2) ruft solches Wasser eine so hochgradige Quellung hervor, dass die Regulationsvorrichtungen, von denen der Rhythmus der Lebensthätigkeit abhängig ist, schon mechanisch gestört werden und Lösungen fester Theile erfolgen, die nothwendig zur Funktion sind;

3) fehlen dem chemisch reinen Wasser die in den folgenden §§ erwähnten Stoffe, die das Protoplasma unausgesetzt haben muss, wenn es funktionieren soll.

Das destillirte Wasser ist demgemäss als Protoplasmagift und zwar als ein sehr heftiges zu bezeichnen.

§ 50.

Fragen wir, welche Stoffe das Wasser in Lösung enthalten muss, wenn es das Leben des Protoplasmas ermöglichen soll, so muss als absolut unerlässlich freier, d. h. auspumpbarer Sauerstoff genannt werden. In jedem sauerstofflosen Wasser erlischt das Leben des Protoplasmas in verhältnissmässig kurzer Zeit, wie begreiflich ist, wenn wir wissen, dass die Lebenserscheinungen auf Oxydationen im Innern der Protoplasmas beruhen. So sicher das Feuer erstickt, wenn ihm nicht stets freier Sauerstoff zugeführt wird, erlischt auch das Leben ohne steten Nachschub dieses Elementes.

§ 51.

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 blos für das Leben überhaupt, sondern für die Eigenartigkeit des Lebens be-

stimmter Protoplasmaarten und die Energie dieses Lebens ein für jede Protoplasmaart bestimmter Quellungsgrad. Jedes Stückchen Protoplasma hat einen eigenen Mechanismus, von dessen Umversehrtheit seine rhythmischen Funktionen abhängig sind und dieser Mechanismus ist einem bestimmten Volumen des Protoplasmas angepasst (siehe § 71). 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 einer Hülle von Gummi befestigt ist; blasen wir die Hülle über ein gewisses Volumen auf, so wird der Mechanismus zerstört. Die umspülende Flüssigkeit muss also so zusammengesetzt sein, dass sie diese Quellung nicht hervorbringt, eine Eigenschaft, welche der Physiologie als Indifferenz bezeichnet.

§ 52.

Ob eine Flüssigkeit indifferent ist, hängt theils von der Beimischung gelöster Stoffe und dem Concentrationsgrad der Lösung, theils von der Beschaffenheit des Protoplasmas selbst ab.

Bei dieser letzteren kommt erstens die Festigkeit des Mechanismus, der der Quellung entgegenwirkt, zweitens der Grad der natürlichen Quellung in Betracht. In letzterer Beziehung ist zu bemerken, dass das Protoplasma jeder Thierart seinen eigenthümlichen, durch seinen prozentischen Wassergehalt ausdrückbaren Quellungsgrad hat, der z. B. bei dem Protoplasma der niedersten Thiere ein viel höherer ist, als bei dem hochorganisirter Thiere. Das Muskelprotoplasma des Menschen enthält ca. 75% Wasser, das der Infusorien ist zwar noch nicht genau bestimmt, allein nach den wenigen Analysen über den Wassergehalt niederer Thiere, die z. B. bei den Quallen 99,8% Wasser ergaben, beträgt letzteres jedenfalls weit über 90%. Je grösser der natürliche Quellungsgrad eines Protoplasmas ist, um so geringerer Mengen von gelösten Stoffen bedarf die umspülende Flüssigkeit, wenn sie die Eigenschaft der Indifferenz haben soll; so ist wohl die Thatsache zu verstehen, dass die geringen Mengen von Salzen und organischen Stoffen, welche das Wasser unserer natürlichen süssen Gewässer in Lösung enthält, bereits genügen, dasselbe zu einer indifferenten Flüssigkeit für das freie Protoplasma der niedersten Süsswasser-Organismen zu machen.

Weitaus die Mehrzahl der Protoplasmaarten verlangt aber die Anwesenheit grösserer Mengen von gelösten Stoffen in der umspülenden Flüssigkeit und im allgemeinen können wir sagen, je geringer der natürliche Quellungsgrad des betreffenden Proto-

plasmas ist, um so concentrirter muss — *ceteris paribus* — die umspülende Flüssigkeit sein.

§ 53.

Für viele Protoplasmasorten genügen hierzu bestimmte Salze, unter denen das allerwichtigste das Kochsalz ist. Das Meerwasser, in welchem weitaus das meiste desjenigen thierischen Protoplasmas lebt, das im freien, nicht eingekapselten Zustande vorkommt, ist eine Kochsalzlösung von einem, in den verschiedenen Meeren zwar verschiedenen, aber in einem und demselben Meere sehr wenig variirenden Concentrationsgrade; es enthält 2,6—3,5 % Kochsalz. Jede erhebliche Veränderung dieses Concentrationsgrades nach auf- oder abwärts, namentlich wenn sie plötzlich geschieht, raubt dem Meerwasser seine Indifferenz gegenüber dem freien Protoplasma. So kann z. B. die Aussüßung, welche ein tropischer Gewitterregen in der Lagune eines Korallenriffes zur Ebbezeit, oder in einem durch die Ebbe abgeschnittenen Meerestümpel hervorbringt, sämmtliche zartere, dort lebende Seethiere, unter den Erscheinungen einer Quellungs Zunahme blitzartig schnell tödten.

Welche Rolle die übrigen zahlreichen, jedoch in sehr geringen Mengen, in den natürlichen Wassern (besonders im Meerwasser) in Lösung befindlichen Salze bezüglich der Indifferenz spielen, ist noch viel zu wenig untersucht. Wir wissen nur, dass ausser dem Kochsalz auch die übrigen neutralen Natronsalze den Charakter der Indifferenz an sich tragen (J. Ranke), während im Gegensatz hierzu die Kalisalze sehr heftig auf den Mechanismus des Protoplasmas einwirken, indem sie schon in geringen Mengen denselben unter Quellungserscheinungen zerstören. Da die natürlichen Wasser, auch das Meerwasser, nur sehr geringe Mengen von Kalisalzen enthalten, so erklärt sich auch die Indifferenz derselben für freies Protoplasma von der negativen Seite.

§ 54.

Von weiteren in Wasser löslichen Stoffen kommt die Eigenschaft der Indifferenz den löslichen und den colloidien Kohlenhydraten und Albuminaten zu. Diese finden sich bekanntlich in den natürlichen Gewässern nicht, dagegen sind einige derselben, insbesondere die Albuminate, ein regelmässiger und absolut nöthiger Bestandtheil des umspülenden Mediums, in welchem das im Leib höherer Thiere eingekapselte Protoplasma lebt. Nach allem hat dieses letztere Protoplasma einen entschieden ge-

ringeren Wassergehalt, mithin einen niedrigeren Quellungsgrad, als das freie Protoplasma der niedersten Wasserthiere und deshalb reicht für ersteres das Kochsalz nicht aus, um der umspülenden Flüssigkeit die erforderliche Indifferenz zu geben; vielleicht weil zu concentrirte Lösungen desselben in anderer Weise nachtheilig einwirken. So sehen wir denn in Blut und Lymphe der höheren Thiere zu dem Kochsalz, das nie fehlt, noch Albuminate treten, die hier also nicht nur die Bedeutung von Nährstoffen, sondern auch die von indifferenten Stoffen haben.

§ 55.

Was die physikalischen Bedingungen des umspülenden Mediums betrifft, so kommen hier mehrere Verhältnisse in Betracht:

1) Muss die Temperatur desselben selbstverständlich höher sein als der Gefrierpunkt der Flüssigkeit; sie darf aber auch nicht den Grad erreichen, in welchem die Albuminate des Protoplasmas gerinnen.

2) Muss die Flüssigkeit unter so grossem Druck stehen, dass sie den absolut nöthigen Sauerstoff festhalten kann. Deshalb hat das thierische Leben eine allerdings für die einzelnen Thiere verschieden hohe 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 Stagnation desselben scheint für jedes Protoplasma auf die Dauer verhängnissvoll zu sein und zwar aus verschiedenen Gründen:

a) Weil die chemischen Verbindungen, die das Protoplasma in seinem Innern erzeugt und durch Exosmose und Filtration an das umspülende Medium abgibt, ohne Bewegung dieses Mediums nicht rasch genug durch blosse Diffusion weggeführt werden können; die Abfuhr ist aber nöthig, weil diesen Stoffen die Eigenschaft der Indifferenz nicht zukommt. 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.

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.

Die Bewegung des Mediums kann wieder auf verschiedene

Weise zu Stande kommen: Entweder wird es ohne Zuthun des Protoplasmas bewegt, wie das bei dem fließenden natürlichen Wasser der Fall ist, oder das Protoplasma erzeugt die Bewegung mittelst Flimmerhaaren oder, wie bei der Blut- und Lymphbewegung im Leib der höheren Thiere, durch sociologische Einrichtungen.

§ 56.

Wie schon angedeutet, ist die elementarste, das Leben des Protoplasmas ermöglichende indifferente, wässrige Flüssigkeit das Wasser in seinem natürlichen Zustand als Meerwasser oder Süßwasser, da dasselbe überall wo es mit der sauerstoffhaltigen Atmosphäre in Berührung ist, genügend freien Sauerstoff und gelöste Stoffe in richtiger Menge und Qualität enthält, vorausgesetzt dass nicht ganz besondere Verhältnisse obwalten. Solche ungünstige Verhältnisse bestehen in Thermen, wo die Temperatur zu hoch, in Mineralwässern, wo die Concentration oder die Natur der gelösten Stoffe ungünstig ist, endlich dann, wenn in dem Wasser so viele Thiere oder chlorophylllose Pflanzen oder chlorophyllhaltige, aber nicht belichtete Pflanzen leben, dass die an der Oberfläche stattfindende Absorption des Sauerstoffs aus der Atmosphäre den Bedarf der Thiere nicht decken kann. Solche Verhältnisse treten z. B. in zu dicht besetzten Fischteichen ein, zumal wenn ein Teppich von Wasserlinsen oder eine Eisdecke die Sauerstoffabsorption hindert.

§ 57.

Die natürlichen Wasser genügen jedoch nur für das hochgequollene freie Protoplasma der niedersten Thiere als umspülendes Medium. Die wasserärmeren Protoplasmaarten verlangen eine Zusammensetzung der Flüssigkeit, wie sie eben in der freien Natur nicht vorkommt.

Als Ersatz tritt hier eine von dem Protoplasma selbst auf dem Wege der Absonderung bereitete sogenannte Ernährungsflüssigkeit ein. Diese kann sich jedoch nur in solchen Thierleibern bilden, welche aus einer Vielzahl von Protoplasmastücken aufgebaut sind; ihre Bildung ist also eine sociologische Erscheinung.

Die primäre, bei Thierleibern mittlerer sociologischer Organisation allein genügende Ernährungsflüssigkeit, der man den Namen Lymphe giebt, ist eine Lösung, die als Hauptbestandtheile Kochsalz und Albuminate, sowie freien Sauerstoff enthält. Bei noch höheren Graden sociologischer Complication des Leibes reicht dieses

eine Medium nicht aus, hauptsächlich weil es nicht im Stande ist die nöthige Menge von freiem Sauerstoff zu gewinnen; hier tritt dann eine zweite, sekundäre Ernährungsflüssigkeit, das Blut, hinzu, worüber später das Nähere gesagt werden soll.

§ 58.

Wo ein derartiges künstliches Medium nöthig ist, sehen wir ganz allgemein eine Abkapselung des Protoplasmas gegen die natürlichen Medien. Dies geschieht entweder durch erhärtende Stoffe, welche das Protoplasma auf seiner freien Fläche absondert (z. B. Chitinhäute), oder dadurch, dass die den Gesamtkörper nach aussen begrenzenden Protoplaststücke (Grenzellen) unter stärkerem oder schwächerem Verlust gewisser Lebenseigenschaften, die auf die feindselige Einwirkung des äusseren Mediums zurückzuführen sind, die Abkapselung übernehmen

Dieser Prozess der Abkapselung und die Bildung einer inneren, das Protoplasma umspülenden Flüssigkeit ermöglicht endlich auch die Entstehung von Thieren, die in der Luft leben, also von der Anwesenheit eines tropfbarflüssigen, sie von aussen umspülenden Mediums unabhängig sind. Für dieses neue gasförmige Medium ist nur erforderlich, dass es freien Sauerstoff und von Kohlensäure nicht so viel enthält, dass die Abgabe der im Protoplasma sich fortwährend bildenden Kohlensäure behindert ist, ferner dass es keine Gase enthält, welche die Einwirkung des Sauerstoffs auf das Protoplasma hindern. Diese Anforderungen erfüllt im allgemeinen die atmosphärische Luft, die ein Gemenge von etwa $\frac{3}{4}$ Stickstoff und $\frac{1}{4}$ Sauerstoff ist, fast überall an der Erdoberfläche bis in ziemlich bedeutende Höhen des Luftkreises. Da die Luft nur in bestimmten Fällen so mit Wasserdampf gesättigt ist, dass sie dem Thierkörper kein Wasser entziehen kann, so erwächst einer grossen Zahl von Luftthieren die Aufgabe zur Aufrechterhaltung des Mischungszustandes ihrer inneren Ernährungsflüssigkeit tropfbarflüssiges Wasser in sich aufzunehmen, wozu besondere, nur auf sociologischem Wege herzustellende Einrichtungen gehören.

§ 59.

Die zweite Stoffwechselbedingung für das Protoplasma (ausser der Anwesenheit eines sauerstoffhaltigen, indifferenten umspülenden Mediums) ist die Zufuhr derjenigen festen Stoffe, deren es zur Unterhaltung seines Stoff- und Kraftwechsels bedarf. Die Nothwendigkeit dieser Zufuhr entfällt nur im Zustande des latenten Lebens und ergiebt sich aus folgendem:

1) Bewirkt der in das Protoplasma aus dem umspülenden Medium eindringende Sauerstoff eine fortdauernde oxydative Zerstörung der das Protoplasma bildenden Stoffe (Gewebsbildner Band I pag. 3) und dieser Abgang muss ersetzt werden.

2) Bedarf das Protoplasma gegen die zerstörende Einwirkung des Sauerstoffs 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; dahin gehören die Bd. I pag. 12 aufgeführten Brennstoffe.

3) Werden bei dem Vorgang der Absonderung nicht nur die Zerfallprodukte der Gewebsbildner und Brennstoffe fortgeführt, sondern mit ihnen auch gewisse Stoffe, insbesondere Salze, welche ersetzt werden müssen, weil sie für die Aufrechterhaltung des Mischungszustandes der Quellungsflüssigkeit des Protoplasmas sowie der Mechanik und Chemik desselben erforderlich sind.

4) Bei den Thieren, deren Protoplasma in einem selbstbereiteten umspülenden Medium, d. h. in einer Ernährungsflüssigkeit lebt, ist nicht nur die Zufuhr der sub 1—3 genannten eigentlichen Nährstoffe nöthig, sondern auch die der Stoffe, welche zur Aufrechterhaltung der Mischung der Ernährungsflüssigkeit erforderlich sind, also der indifferenten Salze, und bei Luftthieren auch noch des Wassers.

§ 60.

Die zur Zufuhr erforderlichen festen Stoffe, insbesondere die Nährstoffe, sind in der freien Natur einzeln für sich nicht anzutreffen, sondern nur als sogenannte Nahrungsmittel, Nährmittel, d. h. als Mischungen verschiedenartiger Nährstoffe mit einander, meistens auch noch mit anderen Stoffen, denen die Qualität eines Nährstoffes nicht zukommt.

Die letztgenannten Beimischungen können zweifacher Natur sein:

Die einen sind Stoffe, welche, in der Quellungsflüssigkeit des Protoplasmas oder in den vom letztern gelieferten Verdauungsflüssigkeiten nicht löslich, unverwerthbar für den Stoffwechsel sind. Dergleichen Stoffe enthält fast jedes Nahrungsmittel und sie sind nicht bloß unschädlich, sondern spielen auch durch den mechanischen Reiz, den sie auf das Protoplasma ausüben, eine später zu besprechende wichtige Rolle.

Eine zweite Gruppe von Beimischungen bilden die, welche einem Naturkörper, der der Hauptsache nach eine Nährstoffmischung ist, seine Eigenschaft als Nahrungsmittel rauben, indem sie, mit dem Protoplasma in Berührung gebracht, dasselbe tödten. Solche Stoffe

nennen wir giftige Stoffe, Protoplasmagifte. Der Begriff „Gift“ ist natürlich ein sehr relativer. Ein Stoff, welcher für eine bestimmte Protoplasmaart Gift ist, ist es nicht für andere; so sprechen wir von Nervengiften, Blutgiften, Muskelgiften, Wirbelthiergiften, Insektengiften, Hasengiften etc. Insektenpulver ist z. B. ein heftiges Gift für Insektenprotoplasma, während es auf das der Wirbelthiere nicht zu wirken scheint. Ferner kennen wir sogenannte giftfeste Thiere, die auf viele, bei anderen Thieren sehr heftig wirkenden Gifte nicht reagiren; ein bekanntes Beispiel ist der Igel. Relativ ist der Begriff „Gift“ ausserdem in quantitativer Beziehung. So sind manche Salze, die ein Protoplasma zugeführt erhalten muss, um zu funktionieren, z. B. die Kalisalze, ja sogar das so nöthige Kochsalz, in stärkeren Dosen Gifte, während selbst die stärksten Gifte in genügender Verdünnung unschädlich sind.

Eine weitere Voraussetzung bezüglich der Mischungsverhältnisse der Nahrung ist, dass letztere alle erforderlichen Nährstoffe enthalten. Hierbei handelt es sich in qualitativer Beziehung um viererlei: 1) die stickstoffhaltigen Gewebsbilder, 2) die stickstofflosen Brennstoffe, 3) die Nährsalze, 4) Geschmacksstoffe; In quantitativer Beziehung um das Mengeverhältniss dieser 4 Stoffgruppen (Nährstoffverhältniss). Besser bekannt ist nur das zwischen Gewebsbildern und Brennstoffen (bei den höheren Thieren c. 1:5). Enthält ein Nahrungsmittel alle drei Stoffgruppen im richtigen Verhältnis, so nennt man es ein Universalnahrungsmittel oder eine ausreichende Nahrung. Ist dies nicht der Fall, so kommt eine ausreichende Nahrung nur durch eine Mischung von Nahrungsmitteln zu Stande.

Endlich kann ein Nahrungsmittel sämtliche erforderliche Nährstoffe enthalten, aber nicht in dem erforderlichen Mengeverhältniss. Auch hier kommt eine ausreichende Nahrung nur durch eine Nahrungsmittelmischung zu Stande.

Nahrungsmittel für das thierische Protoplasma sind nur andere Organismen oder Theile von solchen, also Pflanzen oder andere Thiere, beziehungsweise Theile von solchen. Da diese alle protoplasmahaltig sind, so enthalten sie durchgängig sämtliche erforderliche Nährstoffe und eignen sich entweder unmittelbar zur Ernährung des Protoplasmas, oder sind ein passendes Object zur Bereitung eines die Ernährung bewerkstelligenden Speisebreies.

§ 61.

Zwischen den so sehr verschiedenen Nahrungsmitteln und den ungemein verschiedenartigen Thieren bestehen Beziehungen der Wahlverwandtschaft: Jede Thierart wählt unter den von der

äusseren Natur gebotenen Nahrungsmitteln entweder ein einziges bestimmtes aus (monophage Thiere), oder eine Gruppe einander ähnlicher (polyphage Thiere), und diese nennt man ihre natürliche Nahrung. Basirt ist diese Wahlverwandschaft seitens der Nahrungsmittel auf die Beimischung der sogenannten Geschmacks- und Geruchstoffe. Diese sind der Hauptsache nach bei den Pflanzen ätherische Oele, organisch-saure Salze und Alkaloide. Bei den Thieren spielen flüchtige Säuren eine Rolle; im Grossen und Ganzen sind sie aber hier noch so gut wie unbekannt und doch knüpfen sich an ihre Kenntniss die wichtigsten Fragen der allgemeinen Zoologie, weshalb diese Unkenntniss sehr bedauerlich ist.

Seitens des sich ernährenden Thieres beruht die Wahlverwandschaft zu einem bestimmten Nahrungsmittel, die man den Nahrungsinstinkt nennt, offenbar auf dessen eigener chemischer Zusammensetzung, bei der wieder die unbekanntesten aller chemischen Verbindungen, die Extraktivstoffe und insbesondere gerade die schmeckenden und riechenden die entscheidende Rolle spielen. Wir werden im nächsten Abschnitt bis zu einem gewissen Grade dieses Verhältniss aufklären können.

§ 62.

Die dritte Stoffwechselbedingung ist die rhythmische Einwirkung der später zu besprechenden physikalischen Reize, sowie gewisser chemische Reize, welche den Gleichgewichtszustand des Protoplasmas stören. Man nennt diese Einwirkungen zusammenfassend die Lebensreize. Wo diese fehlen, nützt weder die Anwesenheit eines geeigneten umspülenden Mediums, noch die der Nahrungsmittel, um den für das Leben charakteristischen Stoffwechsel zu erzeugen; denn zur Ausübung desselben ist Bewegung d. h. das Freiwerden latenter Kraft erforderlich und für dieses sind die Lebensreize das auslösende Moment.

6. Der Stoffwechsel des thierischen Protoplasmas.

b) Stoffaufnahme und Abgabe.

§ 63.

Bei der Stoffaufnahme und Abgabe unterscheidet man gewöhnlich Athmung und Ernährung sammt Absonderung. Das Objekt der ersteren sind Gase, von denen der Sauerstoff das aufgenommene, die Kohlensäure das abgegebene ist. Bei der Ernährung und Absonderung handelt es sich um die festen Stoffe und das Wasser. Diese Sonderung ist jedoch keine elementar

begründete, denn bei dem Protoplasma sind diese beiden Vorgänge meist auf's innigste verknüpft; dagegen stossen wir bei den aus vielen Zellen aufgebauten Thierkörpern auf eine räumliche Sonderung der beiden Prozesse auf dem Wege der Arbeitstheilung. Soweit es sich nun bei dieser Arbeitstheilung um sociologische Erscheinungen handelt, haben wir hier davon Umgang zu nehmen und bis auf Weiteres nur die Athmung als den Stoffwechsel der Gase, die Ernährung und Absonderung als den Stoffwechsel der festen und tropfbarflüssigen Theile zu unterscheiden.

§ 64.

Die Athmung des Protoplasmas, die man bei dem eingekapselten Protoplasma der höheren Thiere Gewebsathmung nennt, basirt zunächst darauf, dass das Protoplasma den freien Sauerstoff des umspülenden Mediums begierig anzieht. Es handelt sich hierbei nicht um die in § 5 geschilderte einfache Absorption der Gase durch Flüssigkeiten, sondern um eine intensive chemische Anziehung, weshalb auch die Sauerstoffabsorption den Gesetzen der Gasabsorption durchaus nicht folgt. Welcher der verschiedenen Protoplasmabestandtheile diese Anziehung auf den freien Sauerstoff ausübt, ist nicht ermittelt, sondern es steht nur die Thatsache fest, dass bei den Thieren mit hämoglobigenem Protoplasma, das Hämoglobin, das doch selbst schon eine entschiedene chemische Anziehungskraft zu dem Sauerstoff hat, wenn es in Berührung mit lebendem Protoplasma kommt, denselben nicht festzuhalten vermag, sondern an letzteres abgeben muss. Hierauf basirt die Gewebsathmung der Blut führenden Thiere.

Der Sauerstoff wird von dem Protoplasma nicht unmittelbar und in ganzer Quantität zu Oxydationen verwendet, sondern es sprechen mehrere Umstände dafür, dass eine Sauerstoffaufspeicherung stattfindet. Dem Blute kann man den aufgespeicherten, an das Haemoglobin lose gebundenen Sauerstoff im Vacuum wieder (jedoch nicht vollständig) entziehen; ob auch dem Protoplasma ist noch nicht untersucht; jedoch sprechen die Verhältnisse bei den niedersten vielzelligen Thieren dafür, dass ein Protoplasmastück an ein benachbartes einen Theil des von ihm absorbirten Sauerstoffes abzugeben vermag (indirekte Gewebsathmung). Im allgemeinen aber ist nicht bekannt, dass das thierische Protoplasma je den absorbirten Sauerstoff unter den gewöhnlichen Luftdruckverhältnissen wieder an die Atmosphäre als freien Sauerstoff abgeben würde.

Der den freien Sauerstoff der atmosphärischen Luft begleitende freie Stickstoff findet sich stets, aber in relativ ge-

ringerer Menge als in der Luft, in dem umspülenden Medium und wird ebenfalls von dem Protoplasma absorbiert; Dies geschieht aber lediglich nach den Gesetzen der Gasabsorption durch Flüssigkeit, da Protoplasma und freier Stickstoff in keinem andern Anziehungsverhältniss zu einander stehen, als in dem jeder Diffusion zu Grunde liegenden. Derselbe kommt deshalb für die Athmung nur als Verdünnungsmittel des Sauerstoffes in Betracht.

§ 65.

Gegenstand der Gasabgabe (Ausathmung) ist die Kohlensäure. Wie wir im folgenden Abschnitt sehen werden, entsteht sie, und zwar als freie Kohlensäure (Kohlensäurehydrat), stets im Protoplasma, und da sie zu keinem der Protoplasmastoffe in einem näheren Anziehungsverhältniss steht, so gehorcht sie völlig den Gesetzen der Gasdiffusion, d. h. sie diffundirt aus dem Protoplasma in das umspülende Medium, sobald in letzterem der Kohlensäuredruck geringer ist als im Protoplasma. Dies ist in der freien atmosphärischen Luft stets der Fall und deshalb auch in jeder Flüssigkeit, die (nach Raum oder Zeit) in ausgiebige Berührung mit der atmosphärischen Luft kommt. Solche Flüssigkeiten sind sowohl die natürlichen Gewässer als die Ernährungsflüssigkeiten, sofern die hierfür erforderlichen sociologischen Einrichtungen getroffen sind. Unterstützt wird die Abfuhr der Kohlensäure durch das umspülende Medium, wenn dasselbe Stoffe enthält, welche die Kohlensäure entweder förmlich chemisch binden oder absorbiren. In den natürlichen Gewässern spielen diese Rolle der kohlensaure Kalk, der so oft ein Bestandtheil der Stoffe des Bodens der Gewässer ist, und die grünen Pflanzen, welche bei Belichtung die Kohlensäure absorbiren. (siehe § 41). In den sogenannten Ernährungsflüssigkeiten schreibt man diese Rolle dem kohlensauren Natron und dem zweibasisch phosphorsauren Natron zu, das dieselben enthalten.

§ 66.

Bei den festen Stoffen giebt es zweierlei Arten der Aufnahme und Abgabe, nämlich auf dem festen und auf dem flüssigen Wege.

Bei dem freien Protoplasma der niedersten Organismen, die in natürlichen Wassern leben, erfolgt die Aufnahme der Hauptsache nach auf festem Wege, indem andere kleine, aus Protoplasma bestehende Organismen in dem Protoplasma kleben bleiben und von diesem durch amöboide Bewegungen, oder durch die

Bewegungen der Flimmerhaare in die teigig weiche Masse hineingedrückt oder von derselben umflossen werden. Hier findet dann eine Scheidung der löslichen, als Nährstoffe verwendbaren Theile von den unlöslichen statt, welche letztere mit Hilfe der amöboiden Bewegungen des Protoplasmas wieder ausgestossen werden. In dieser Weise ernähren sich die meisten protoplastischen und einzelligen Thiere und auch manche mehrzellige, wie die Schwämme und Polycistinen. Unter den Protoplasmaarten im Leibe höherer Thiere sind vor allem die amöboiden Wanderzellen zu nennen, die sich in den Ernährungsflüssigkeiten und den Gewebslücken umhertreiben; auch sie können auf gleiche Weise feste Stoffe in sich aufnehmen.

§ 67.

Dieser primären Ernährung der niedersten Organismen steht die secundäre Ernährungsweise der höheren gegenüber, die sich dadurch von der primären unterscheidet, dass die Nahrungsmittel nicht im Ganzen und als feste Körper in das Innere des Protoplasmas aufgenommen werden, sondern aus ihnen eine Nährstofflösung bereitet wird, die das Objekt für die Aufnahme bildet. Die Aufnahme dieser Lösung durch das Protoplasma nennt man Resorption. Der Ausdruck „Nährstofflösung“ ist jedoch nicht exakt. Es ist nicht immer nothwendig, dass alle Nährstoffe tatsächlich in Lösung übergegangen sind, denn bei manchem Protoplasma sind die Strukturporen gross genug, um auch sehr fein zertheilte feste Stoffe durchzulassen; namentlich gilt dies von dem fein emulsiv vertheilten Fett.

Den Akt der Bereitung einer Nährstofflösung aus den Nahrungsmitteln bezeichnet man als Verdauung, und die primäre, jedoch stets mit den unverdaulichen Resten der Nahrungsmittel gemischte Nährstofflösung wird als Speisebrei, Chymus, bezeichnet.

Bei den im Innern eines anderen Organismus lebenden parasitischen Thieren ist die Bereitung des Speisebreies häufig von der eigenen Thätigkeit der Parasiten unabhängig; ihnen fällt nur die Arbeit der Resorption zu und den Speisebrei bereitet der Wirth. Bei den nicht parasitischen Thieren (übrigens auch bei manchen Parasiten) ist die Verdauung eine sociologische Funktion des Thierkörpers selbst. Die Nahrungsmittel werden in einem, von Stücken lebendigen Protoplasmas umgebenen Raum, die Nahrungshöhle, aufgenommen und dort mit den von dem angrenzenden lebendigen Protoplasma abgesonderten Verdauungssäf-

tén gemischt. Letztere sind wässrige Flüssigkeiten, in denen die Nährstoffe sich entweder einfach auflösen, oder durch die in denselben enthaltenen Verdauungsfermente chemisch so ungeändert werden, dass sie resorptionsfähig werden. Dieser chemische Vorgang ist wesentlich eine hydrolytische Spaltung und die Spaltungsprodukte zeichnen sich dann durch eine grössere Löslichkeit und Diffusibilität vor ihren Bildnern aus. (Näheres im folgenden Abschnitt.)

§ 68.

Für das porösere Protoplasma und die einfacheren sociologischen Verhältnisse niederer Organismen wie die der Nesselzellen führenden Coelenteraten und mancher Parasiten genügt diese primäre Nährstofflösung, die wir Speisebrei nennen, völlig zur Ernährung. Wo aber die sociologischen Verhältnisse complicirter sind und das Protoplasma kompakter ist, ist die Herstellung des Speisebreies nur der erste, gewissermassen vorbereitende Akt der Ernährung, und jetzt übernehmen jene schon § 57. beschriebenen Ernährungsfüssigkeiten, die Lymphe und das Blut, die Vermittlerrolle. Sie treten in Stoffwechselbeziehung zu dem Speisebrei, wobei die die Nahrungshöhle begrenzenden Protoplasmastücke eine regulirende und filtrirende Rolle übernehmen, mischen sich die brauchbaren Theilen des Speisebreies bei und erlangen so die Eigenschaft, nicht nur als umspülende indifferente Flüssigkeit dem Protoplasma gegenüber, sondern auch als Ernährungsfüssigkeit, d. h. als Nährstofflösung zu funktionieren, welcher das Protoplasma seine Nährstoffe „im Wege“ der Resorption entnimmt.

§ 69.

Bei der Aufnahme gelöster Stoffe, und des Wassers als Lösungsmittels, in das Protoplasma (Resorption), denkt man natürlich sofort an Endosmose und Quellung. Diese sind deshalb möglich, weil das Protoplasma eine poröse, von wässriger Lösung imbibirte Membran ist, also in sich eine Quellungsfüssigkeit enthält, deren Zunahme oder endosmotischem 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 toten 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 Imbibition dargebotenen, von aussen eindringenden Stoffe erzeugt wird, oder ob innere physiologische Zustände die Lebensenergie alteriren. (J. Ranke's Imbibitions-gesetz.)

Die erste Art der Imbibitionsursachen ist also eine bestimmte Beschaffenheit des umspülenden Mediums. Wir verlangten von demselben in § 51 Indifferenz. Dies muss nun des Näheren dahin erläutert werden: Sobald diese Indifferenz vermindert wird durch Beimengung von Stoffen, welche die Lebensenergie des Protoplasmas herabsetzen, 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 sociologischen Wirkungen auf die Absonderung der Verdauungssäfte hinzukommen (wovon später).

Die zweite Art von Imbibitionsursachen, die inneren, sind vor allem die durch die Lebensreize erzeugten Stoffwechselforgänge, die, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird, das Auftreten von schwachen Säuren und sauern Salzen im Innern der Protoplasmas zur Folge haben. Ihre Anwesenheit vermehrt sofort die Quellbarkeit des Protoplasmas, sodass dasselbe jetzt auch aus einer indifferenten Flüssigkeit neue Mengen aufnimmt. Daraus erhellt die absolute Nothwendigkeit der rhythmischen Einwirkung der Lebensreize für die Stoffwechselforgänge, wovon § 62 gesprochen wurde.

§ 70.

Die Kehrseite dieser Stoffaufnahme durch Quellung in Folge einer Schwächung der Lebensenergie des Protoplasmas ist die parallel damit gehende Stoffabgabe oder Absonderung. Die Stoffe, deren Entfernung aus dem Protoplasma stattfinden muss, wenn es weiter funktioniren soll, sind eben diejenigen, deren Anwesenheit seine Lebensenergie schwächt und es in den Zustand der Ermüdung versetzt, also die bei der Protoplasmaarbeit entstehenden Säuren und sauern Salze, die J. Ranke deshalb als Ermüdungsstoffe bezeichnet. Indem sie jenen der Imbibition günstigen Zustand des Protoplasmas herbeiführen, entwickeln sie zugleich einen lebhafteren exosmotischen Verkehr, durch welchen die Ermüdungsstoffe nach aussen in das umspülende Medium austreten. Hierdurch wird die Lebensenergie wieder hergestellt und damit kehrt das Protoplasma in jenen Zustand

der Indifferenz gegen das umspülende Medium zurück, sofern dieses indifferent ist.

Bei der Absonderung kommt jedoch nicht nur die Diffusion während des Zustandes gelähmter Lebensenergie in Betracht, sondern auch, dass mit des Wiederkehr der Lebensenergie eine Contraction des Protoplasmas unter Auspressung einer gewissen Flüssigkeitsmenge und Volumverminderung des Protoplasmas erfolgt.

§ 71.

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 Protoplasmas 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 verharret, sondern rhythmisch von dem einen in den andern übergeht und vice versa, 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 bestimmte Höhe erreicht hat, die 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 allmählig vor sich geht, die genügende Höhe erreicht hat, fangen die Lebensreize wieder an zu wirken, und dem Zustande der Ruhe folgt der der Thätigkeit.

§ 72.

Es ist klar, dass diese Rhythmik des Stoffwechsels einen Mechanismus im Protoplasma voraussetzt, welchem die Fähigkeit einer Art von Selbststeuerung zukommt. J. Ranke giebt von demselben (pag. 117 seines Lehrbuches) folgende Vorstellung: Man muss von der Voraussetzung ausgehen, dass die Oberfläche des Protoplasmas von Poren senkrecht durchsetzt ist und dass es eine Struktur aus kontraktile Theilen besitzt, die das Protoplasmastück 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 Zentrums ausüben können. Von der Stärke dieses Zuges muss nothwendig die Durchgängigkeit der Poren der Oberfläche abhängen. Der Sättigungszustand des Protoplasmas wäre der, bei welchem der Zug so stark ist, dass die Poren völlig verschlossen sind. Jede Verminderung der Lebensenergie des Protoplasmas 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

tödet, so wird so lange Flüssigkeit in die Zelle eintreten können, als der dadurch in der Zelle steigende Druck noch die Widerstand leistenden Theile des Protoplasmas zu dehnen vermag, was je nach der Elastizität dieser Gebilde verschieden sein wird.

§ 73.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so sehen wir, dass die eigenthümlichen Erscheinungen eines rhythmischen Stoffwechsels hauptsächlich zurückzuführen sind auf die grosse Labilität des chemischen und physikalischen Gleichgewichts des Protoplasmas 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 umspüledem Medium gestört. Die Folge dieser letzteren Störung ist eine Veränderung der Mischungsverhältnisse des Protoplasmas, in Folge dessen 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 Besprechung der Kraftwechselvorgänge seine Schilderung finden wird.

7. Der Stoffwechsel des thierischen Protoplasmas.

c) Die Stoffumwandlung.

§ 74.

Wenden wir uns zu der Betrachtung des Chemismus in dem thierischen Protoplasma, der freilich nur unvollständig, d. h. mehr in seinen Endprodukten als in seinen Zwischenstadien, bekannt ist. Im allgemeinen kann man sagen, dass der Weg der umgekehrte ist von dem, welchen die § 41 u. folg. beschriebene Assimilation in der Pflanze ging. Im speciellen handelt es sich hauptsächlich um die Rückbildung der drei wichtigsten Stoffgruppen, der Albuminate, Kohlenhydrate und Fette, die in Gegenwart von freiem (ozonisirtem) Sauerstoff eine oxydative Zersetzung erfahren, wobei die Lebensreize das auslösende Moment spielen.

Bei den übrigen Bestandtheilen des Körpers, insbesondere den Salzen, handelt es sich zum Theil auch um chemische Umwandlungen, von denen die der phosphorsauren Salze die wichtigste ist, aber weniger um Oxydationen als um Spaltungen und wechselseitige Zersetzungen. Ein Theil der Salze, z. B. sicher ein Theil des Kochsalzes, passirt das Protoplasma, ohne chemische Umwandlungen zu erfahren und dasselbe gilt vom grössten Theil des Wassers.

Wir werden in Folgendem die Umwandlungsgeschichte der einzelnen Stoffgruppen gesondert behandeln, unter Einbeziehung derjenigen Umwandlungen, welche manche derselben bei der ausserhalb des Protoplasmas erfolgenden Verdauung durchmachen, weil sich dieser Prozess schwerlich erheblich von demjenigen unterscheidet, welchen diese Stoffe bei ihrer Lösung durchmachen, wenn sie als feste Körper in das weiche Protoplasma der niederen Organismen eingetreten sind.

§ 75.

Bei den Kohlenhydraten sind die löslichen (die Zuckerarten) von den in Wasser unlöslichen (Stärkemehl und Cellulose) zu unterscheiden. Eine Mittelstufe bilden die colloiden Formen (Dextrin und Gummi). Direkt durch Resorption können nur die löslichen Zuckerarten aufgenommen werden. Die festen kann amöboides nacktes Protoplasma natürlich auf mechanischem Wege auch direkt aufnehmen, dagegen ist das kompaktere oder in Zellhaut eingekapselte Protoplasma auf den Resorptionsweg angewiesen und dieser setzt eine nur durch chemische Umwandlung zu bewerkstelligende Verflüssigung voraus. Diese erfolgt bei den festen Kohlenhydraten, indem sie unter Einfluss von hydrolytischen, vom Protoplasma abgesonderten Fermenten unter Zutritt von Wasser in das Molekül in Zucker übergeführt werden; Stärke und Cellulose enthalten $C_6 H_{10} O_5$, der aus ihnen sich bildende Traubenzucker $C_6 H_{12} O_6$. Bei der Umwandlung von Stärke in Zucker entsteht zuerst das colloide Dextrin ($C_6 H_{10} O_5$); die schwierigere Umwandlung der Cellulose in Zucker durch Protoplasmaeinfluss ist noch nicht studirt.

Bei der Geschichte des Zuckers im Körper ist zuerst zu constatiren, dass in thierischen Protoplasma ein Zuckeranhydrit vorkommt, der vom Pflanzenprotoplasma fehlt, also das Produkt einer synthetischen Thätigkeit des thierischen Protoplasmas sein muss: das Glycogen, das mithin als das thierische Stärkemehl zu betrachten ist. Das Schicksal des Glycogens ist, dass es sehr leicht durch Hydrolyse zu gährungsfähigem Zucker wird.

Ausser dem der Stärke entsprechenden Glycogen findet sich im thierischen Protoplasma das auch in der Pflanze auftretende, oben genannte Zwischenglied zwischen Stärke und Zucker, das Dextrin. Ob es seine Anwesenheit nur einfacher Aufnahme oder einer Synthese aus Zucker verdankt, steht dahin.

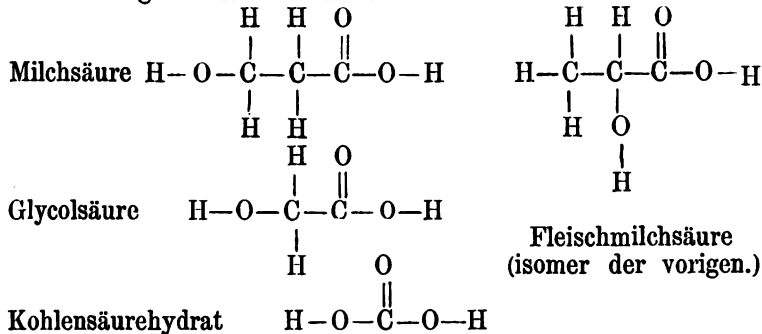
Ferner findet man im Protoplasma drei Zuckerarten:

1) Den Traubenzucker, $C_6 H_{12} O_6$, der zweier Gährungen, der alkoholischen und der Milchsäuregährung, fähig ist;

2) den Milchzucker, $C_{12} H_{22} O_{11}$, der also dem Traubenzucker gegenüber ein Anhydrit ist, und

3) den Muskelzucker (Inosit), $C_6 H_{12} O_6$, der dem Traubenzucker isomer ist und wie dieser auch im pflanzlichen Protoplasma getroffen wird. Diese beiden sind direkt nur zur Milchsäuregährung befähigt, dagegen kann der erstere nach Hydrolyse in eine der Alkoholgährung fähige, also dem Traubenzucker ähnliche Zuckerart, die Lactose, übergehen.

Bei der Rückbildung der genannten Zuckerarten im thierischen Protoplasma handelt es sich immer um die eine Gährung, der alle diese Zuckerarten direkt fähig sind, um den Uebergang in Milchsäure durch einfache Spaltung: $C_6 H_{12} O_6 = 2C_3 H_6 O_3$. Letztere geht durch Oxydation entweder direkt oder durch die Zwischenstufe der Glycolsäure in Kohlensäure und Wasser über, worüber folgende Reihe belehrt.



Demnach handelt es sich um die successive Herausnahme je eines Kohlenstoff- und zweier Wasserstoffatome, die sich unter Zutritt von drei Sauerstoffatomen zu Kohlensäurehydrat verbinden.

§ 76.

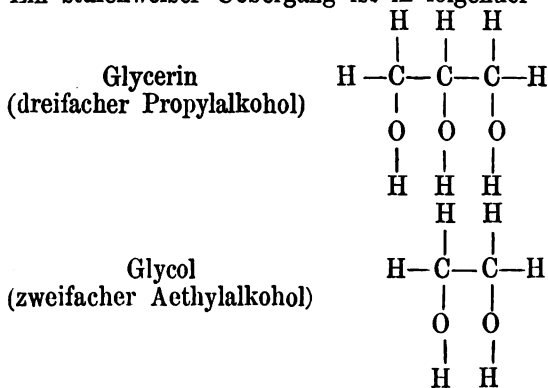
Bei den Fetten, die bekanntlich mit Wasser sich nicht mischen, ist die Aufnahme in das wässrig imbibirte Protoplasma direkt nicht möglich. Dieselbe setzt eine feine emulsive Vertheilung derselben

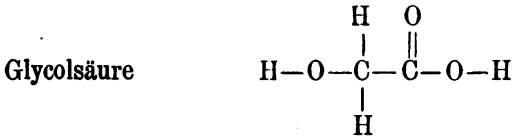
voraus. Diese erfolgt leicht in Lösungen von colloiden Stoffen unter Einfluss mechanischer, zertheilend wirkender Bewegungen, und namentlich leicht, wenn ein Theil derselben verseift wird, wozu die Anwesenheit verfügbarer Alkalien erforderlich ist. Die feinen, durch die Emulsion entstandenen Fetttropfchen werden von hüllenlosem amöboidem Protoplasma wie feste Körper behandelt und aufgenommen. Ist das Protoplasma in Hüllen eingeschlossen, so hängt die Aufnahme erstens von der Grösse ihrer Poren, zweitens davon ab, ob die diese Poren ausfüllende wässrige Flüssigkeit durch Beimischung gewisser, sowohl mit Fett als mit Wasser mischbarer Stoffe, zu denen im Leib der höheren Thiere insbesondere die Gallenbestandtheile gehören, den Capillarwiderstand der Porenwand gegen das Durchpassiren von Fett herabmindert. Im Leibe höherer Thiere giebt es sicher Protoplasmaarten, die entweder selbst so compact oder in so compacte Hüllen eingeschlossen sind, dass das Fett als solches auch im Zustand der Emulsion nicht in dieselben einzudringen vermag. In diesem Fall dürfte die vorgängige Bildung einer in Wasser löslichen Fettseife die Vorbedingung der Aufnahme sein.

§ 77.

Die Verseifung der Fette, erfolge sie nun vor oder nach Aufnahme derselben in das Protoplasma, besteht in einer Spaltung in eine Fettsäure und Glycerin, wobei erstere mit einem Alkali sich zu einer Fettseife verbindet. Ausserdem ist aber auch eine hydrolytische Spaltung der neutralen Fette in eine freie Fettsäure und Glycerin als erste Stufe der Rückbildung möglich.

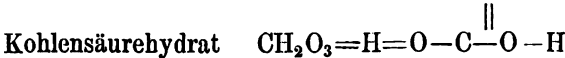
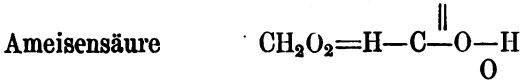
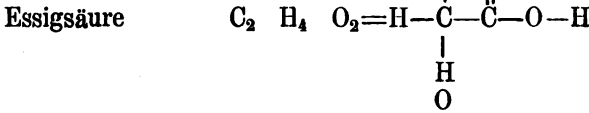
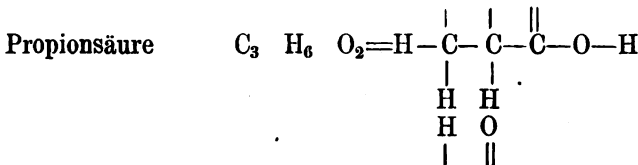
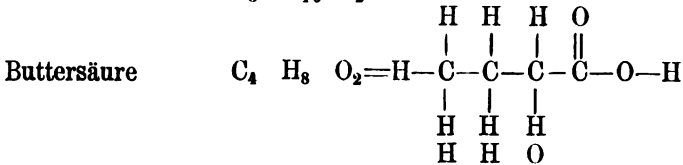
Die Schicksale des Glycerins stehen wohl nur soweit fest, dass in letzter Instanz aus ihm Kohlensäure und Wasser entsteht Ein stufenweiser Uebergang ist in folgender Weise denkbar:





Die Rückbildung der Fettsäuren erfolgt sehr wahrscheinlich nach dem gleichen Princip wie die der Milchsäuren, nämlich durch successiven Austritt von einem Atom Kohlensäure und zwei Atomen Wasserstoff unter Oxydation dieser zu Kohlensäurehydrat, worüber folgende Reihe belehren mag:

Stearinsäure	C ₁₈	H ₃₆	O ₂
Palmitinsäure	C ₁₆	H ₃₂	O ₂
Myristinsäure	C ₁₄	H ₂₈	O ₂
Laurostearinsäure	C ₁₂	H ₂₄	O ₂
Caprinsäure	C ₁₀	H ₂₀	O ₂
Caprylsäure	C ₈	H ₁₆	O ₂
Capronsäure	C ₆	H ₁₂	O ₂
Baldriansäure	C ₅	H ₁₀	O ₂



Ob alle oder welche dieser Zwischenglieder auftreten, ist nicht bekannt und der Weg scheint auch nicht überall der gleiche zu sein.

§ 78.

Bei den Albuminaten haben wir es, ähnlich wie bei den unlöslichen Kohlenhydraten, mit einer der Aufnahme vorausgehenden Umwandlung (Verdauung) zu thun, bei welcher es sich nicht blos um die Lösung ungelöster Albuminate, sondern um eine Veränderung des Moleküls im Sinne geringerer Molekulargrösse und damit grösserer Diffusibilität (siehe § 11) zu thun. Der Vorgang ist eine hydrolytische (unter Eintritt von Wassermolekülen in das Molekül erfolgende Spaltung, die unter Einfluss eines vom Protoplasma gelieferten hydrolytischen Fermentes vor sich geht. Die so entstandenen Verbindungen sind die Eiweisspeptone, deren chemische Constitution ebensowenig bekannt ist wie die der Albuminate. Ihre hervorstechende Eigenschaft gegenüber den Albuminaten ist die weit grössere Diffusibilität ihrer Lösungen durch Membrane. Setzt man den Widerstand einer Albuminlösung gegen Endosmose = 100, so ist der der Peptonlösungen nur = 7—10.

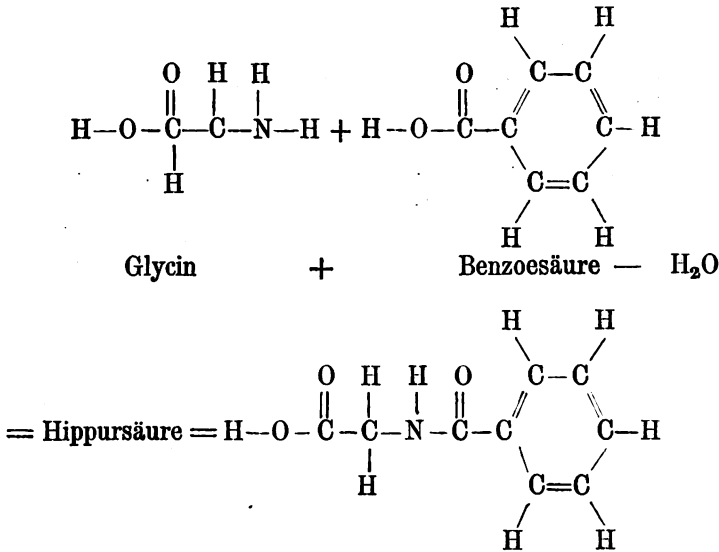
§ 79.

Bei den weiteren Schicksalen der Peptone hat man ihre, zwar neuerdings bestrittene, aber theoretisch kaum zu entbehrende Rückverwandlung in Albuminate (und in die noch höher zusammengesetzten Stoffe Haemoglobin, Vitellin etc.) im Innern des Protoplasmas (durch Wiederaustritt der Wassermoleküle) von ihrer Rückbildung zu unterscheiden. Weiter hat man wahrscheinlich zu unterscheiden zwischen der Rückbildung der Albuminate, die schon im Protoplasma sind, und der der Peptone.

Von den Peptonen weiss man, dass sie durch hydrolytische Einflüsse (unter Wasseraufnahme) sich in einige der im Körper von Thieren stets anzutreffende Amidosäuren, besonders Glycin, Leucin und Tyrosin, spalten.

Das Glycin (die Amidoessigsäure) tritt jedoch frei als solches nicht im Protoplasma auf, sondern als Bestandtheil sogenannter gepaarter Säuren, von denen zwei im Körper aufgefunden sind:

1) Die Hippursäure, die im Harn der Pflanzenfresser als Ausscheidungsprodukt auftritt; sie ist Glyco-Benzoesäure nach der Formel:



Die Hippursäure spaltet sich, jedoch ausserhalb des Körpers, durch Wasserentziehung in Glycin und Benzoessäure, welche letztere eine aromatische Säure (Phenylameisensäure) ist, deren weitere Umwandlungen also nicht hierher gehören.

2) Glycocholsäure (Glycin + Cholalsäure - H₂O), die in der Galle zu Tag tritt. Die Cholalsäure ist C₂₄H₄₀O₅ (Constitution unbekannt). Durch Wasserentziehung zerfällt die Glycocholsäure in Glycin und Cholalsäure. Ersteres zerfällt wahrscheinlich (wenigstens kann es das) in Ammoniak und Glycolsäure und letztere (§ 77) zu Kohlensäurehydrat. Die Cholalsäure liefert durch Wasserentziehung Choloidinsäure oder Dyslysin, Stoffe, deren weitere Rückbildung noch nicht erforscht ist.

Das Leucin (die Amidocaprinsäure) kommt frei als solches im Protoplasma (jedoch nicht in jedem) vor; seine weitere Zersetzung im Körper ist nicht studirt, höchst wahrscheinlich wird es allmählig in Harnstoff zurückgeführt.

Das Tyrosin, eine Amidosäure unbekannter Constitution *),

*) Anm. Nach Einigen gehört das Tyrosin in die Gruppe der aromatischen Verbindungen und wäre Benzol (C₆H₆), in welchem 3 Atome H ersetzt sind durch NHC₂H₅, OH und COOH.

tritt stets mit Leucin auf und wird schliesslich wohl ebenfalls in Harnstoff zurückgeführt.

In welcher Form der Schwefel der Peptone bei ihrer Rückbildung austritt, ist nicht bekannt.

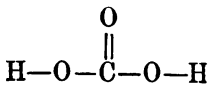
§ 80.

Die Rückbildung der Albuminate ist allem bis jetzt bekannten zufolge in ihren ersten Stadien eine sehr mannigfaltige und bei verschiedenen Protoplasmasorten, und wiederum bei einer und derselben Sorte unter verschiedenen Umständen verschieden. Einige Rückbildungen, die Albuminoidmetamorphose, Fettdegeneration etc., sind schon § 37 besprochen worden, weshalb wir sie hier übergehen.

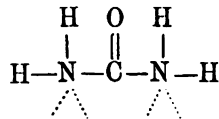
Auf den weiteren Stufen der Zersetzung scheint grössere Uebereinstimmung zu bestehen, indem sich hier allgemein Amidosäuren zu bilden scheinen, und zwar neben den im vorigen Paragraphen geschilderten drei Amidosäuren (Leucin, Tyrosin und Glycin) noch einige weitere, nämlich Taurin, Butalanin, Serin (nur im Seidenleim der Insekten), Cystin und zwei Amidosäuren, in denen die Ammoniakgruppe durch eine substituirte Ammoniakgruppe vertreten ist: Kreatin und Sarcosin.

Neben diesen Amidosäuren treten stickstoffhaltige Körper von bis jetzt unbekannter Constitution auf: Harnsäure, Xanthin, Hypoxanthin (=Sarcin), Carnin, Guanin, Kreatinin, Allantoin, Inosinsäure und Kynurensäure, was ein Beweis für die mannigfaltige Zersetzungsmöglichkeit der Albuminate ist.

Auf der nächsten Stufe wird die Uebereinstimmung noch grösser, indem aus den Amidosäuren und den zuletzt aufgeführten, noch unaufgehellten Verbindungen Amide entstehen und zwar fast allgemein ein ganz bestimmtes Amid, der Harnstoff, das Biamid der Kohlensäure:

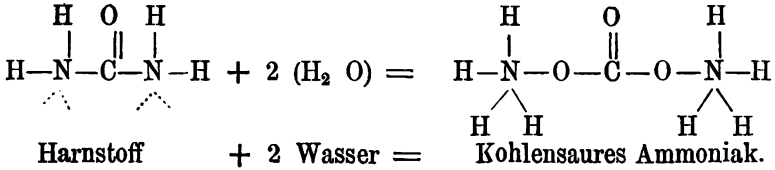


Kohlensäure.



Harnstoff.

Die letzte Stufe der Rückbildung, die jedoch unter normalen Verhältnissen stets erst nach der Ausstossung des Harnstoffs aus dem Protoplasma erfolgt, ist die Umwandlung desselben in kohlen-saures Ammoniak durch Hydrolyse:

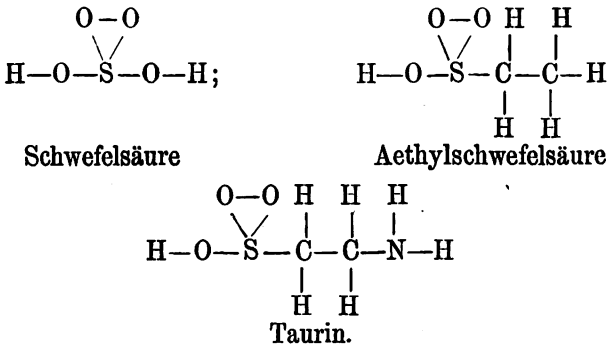


Hiermit ist die Rückbildung da angelangt, wo die Pflanze die Assimilation begonnen hat.

§ 81.

Zur Ergänzung des im vorigen Paragraphen (Gesagten sei hier noch einiges Speciellere über die Rückbildung der Amidosäuren und der neben ihnen auftretenden, noch räthselhaften Stickstoffverbindungen angeben.

Das Taurin, in welchem Schwefel enthalten ist, wird als Amido-Aethylschwefelsäure betrachtet:



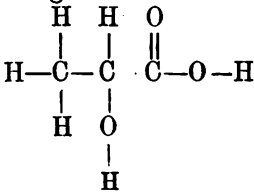
Das Taurin tritt theils frei, theils entsprechend dem Glycin als gepaarte Säure (mit der Cholalsäure), Taurocholsäure, auf (siehe Bd. I § 25). Seine weitere Zersetzung ist noch nicht studirt, doch ist anzunehmen, dass ein Zersetzungsprodukt Schwefelsäure in Form von schwefelsauren Salzen (unter Umständen aber auch Schwefelwasserstoff) ist. Ob der Rest zu Harnstoff wird, oder sofort in Kohlensäure und Ammoniak zerfällt, ist nicht bekannt.

Nach Schultzen ist es wahrscheinlich, dass der Schwefel der Albuminate direkt (oder indirekt durch die Zwischenstufe des Taurin?) zunächst in der Form der Sulfaminsäure ($\text{H}_2 \text{N} [\text{S} \text{O}_2]$) abgespalten wird, dass diese in Ammoniak und Schwefelsäure zerfällt, wobei ersteres an die gleichzeitig gebildete Car-

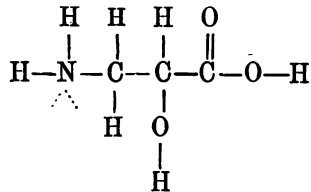
baminsäure (H_2NCO) tritt, um mit ihr Harnstoff zu bilden, während die Schwefelsäure als schwefelsaures Salz das Protoplasma verlässt.

Das Butalinin ist Amido-Baldriansäure, eine Säure der Fettsäurereihe (siehe § 77), steht mithin dem Leucin (der Amidocaprönsäure) sehr nahe, indem es nur eine Gruppe C H_2 weniger enthält. Seine weitere Zersetzung, namentlich ob es Harnstoff bildet, ist nicht bekannt.

Das Serin des Seidenleims ist Amidomilchsäure; seine Zersetzung unbekannt:



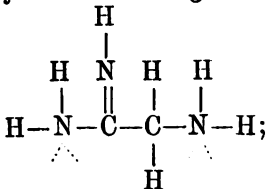
Milchsäure



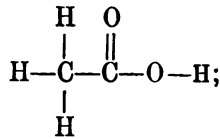
Serin.

Das Cystin ist schwefelhaltig und wird angesehen als Serin, in welchem ein O durch S vertreten ist. Seine Zersetzung ist nicht erforscht, muss aber in letzter Instanz Kohlensäure Ammoniak und Schwefelsäure, oder Schwefelwasserstoff enthalten.

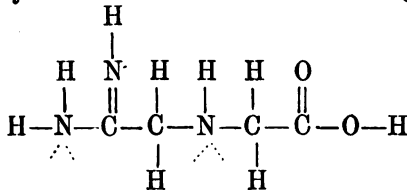
Das Kreatin ist ein sehr allgemeines Produkt der rückschreitenden Metamorphose der Albuminate, namentlich des Muskel- und Nervenprotoplasmas, während das Leucin und Tyrosin mehr im Drüsenprotoplasma entsteht. Seiner Constitution nach ist es Methyluramidoessigsäure:



Methyluramin



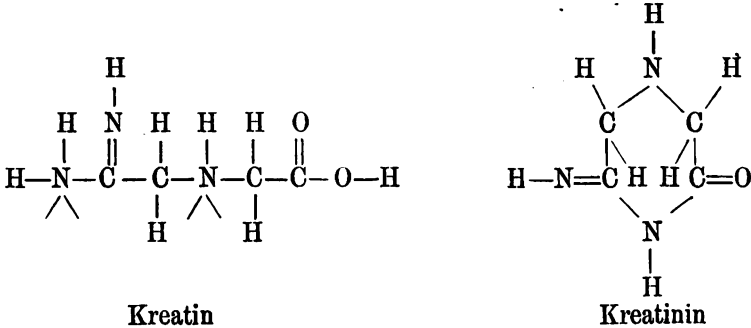
Essigsäure



Kreatin.

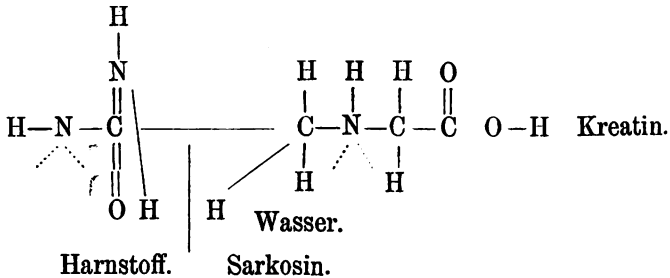
Die Zersetzungen des Kreatin sind mannigfaltig:

1) Durch Abgabe von H_2O wird es zu Kreatinin:



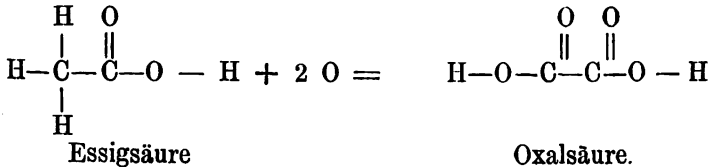
Die weitere Zersetzung des Kreatinins sind noch nicht studirt.

2) Unter Wasseraufnahme zerfällt es in Sarkosin und Harnstoff:

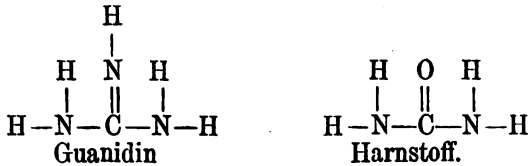


Das Sarkosin ist Methylamidoessigsäure, also Methylglycin. Seine weitere Zersetzung ist noch nicht bekannt und es käme hierbei das § 79 über das Glycin gesagte in Betracht.

3) Durch Oxydation liefert das Kreatin Methyluramin und Oxalsäure, welche letztere aus der in dem Molekül des Kreatins steckenden Essigsäure durch Aufnahme von zwei Atomen O entsteht:

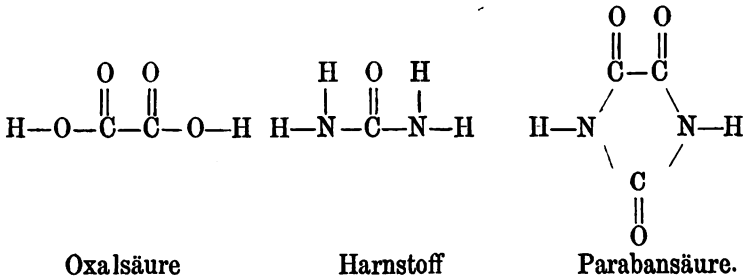


Die letztere geht durch weitere Oxydation in Kohlensäure über. Methyluramin ist Guanidin — C H₂ und Guanidin (Biamido-Imido-Grubengas) ist von dem Harnstoff nur dadurch verschieden, dass in ersterem das Atom C mit der zweiwerthigen Gruppe N H, im Harnstoff mit dem zweiwerthigen O-Atom verbunden ist:



Mithin ist es möglich, dass Guanidin durch Hydrolyse in Harnstoff und Ammoniak zerfällt.

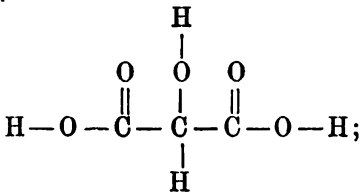
4) Bei einer andern Oxydation liefert das Kreatin Methylparabansäure, die durch Wegfall der Methylgruppe (C H₂) zu Parabansäure wird. Letztere ist Oxalylharnstoff:



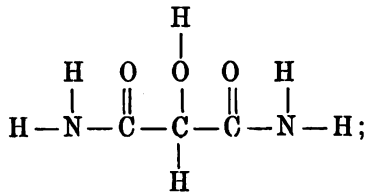
Somit ist auch von hier aus der Zerfall des Kreatins in Harnstoff und Oxalsäure und schliesslich in Kohlensäure und Ammoniak möglich; wir dürfen deshalb annehmen, dass das Kreatin wohl immer durch die Zwischenstufe des Harnstoffs seine endliche Auflösung in Kohlensäure und Ammoniak bewerkstelligt.

§ 82.

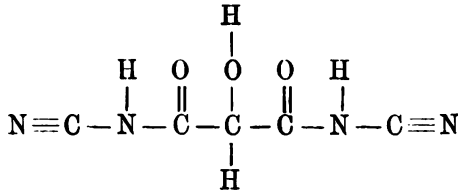
Die Harnsäure ist neben dem Harnstoff die wichtigste Stufe, welche die Albuminate bei ihrer Rückbildung durchwandern. Sie tritt im Protoplasma in der Form von sauren Salzen (Natron- und Ammoniaksalzen) auf. Ihre wahrscheinlichste Constitution ist Tartronyl-Cyanamid:



Tartronsäure

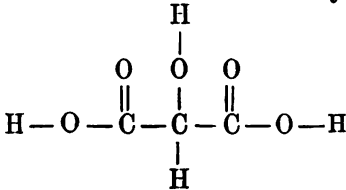


Tartronylamid

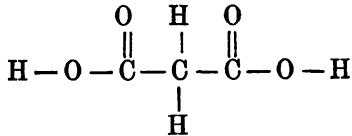


Harnsäure

Die Tartronsäure ist Oxymalonsäure:



Tartronsäure

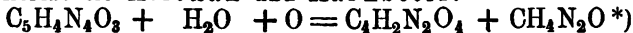


Malonsäure.

Letztere geht durch Wegfall von CH_2 in Oxalsäure und diese durch Oxydation in Kohlensäure über.

Von Zersetzungen der Harnsäure sind folgende bekannt:

1) Durch Oxydation und Wasseraufnahme bei Gegenwart von Säuren liefert sie Alloxan und Harnstoff:

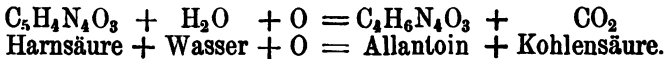


Harnsäure + Wasser + O = Alloxan + Harnstoff

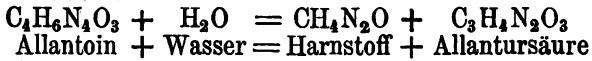
Das Alloxan ist Mesoxalylharnstoff und liefert durch weitere Oxydation Kohlensäure und Parabansäure, welche letztere, wie oben gezeigt, in Harnstoff und Oxalsäure zerfallen kann.

2) Bei Gegenwart von Alkalien liefert die Oxydation und Hydrolyse der Harnsäure: Allantoin und Kohlensäure:

*) Anm. Nachdem im bisherigen die ausführliche Schreibweise der chemischen Formeln nach der Kettentheorie eine genügende Vorstellung von der gegenwärtigen Anschauung über die Constitution der Moleküle der organischen Körper gegeben, beschränke ich mich im folgenden auf die alte Schreibweise der Formeln, welche nur die Atomzahlen angiebt.



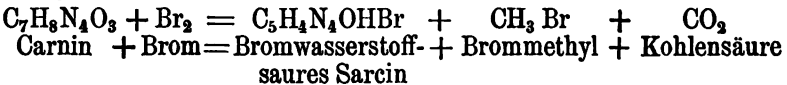
Das Allantoin spaltet sich durch Hydrolyse in Harnstoff und Allantursäure:



Die Constitution der letzteren und ihre weitere Zersetzung ist nicht bekannt.

§ 83.

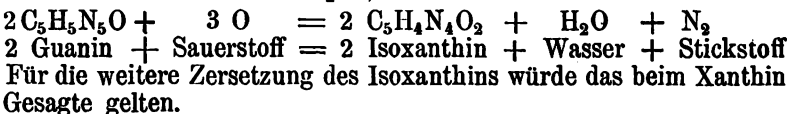
Es folgt jetzt eine Reihe von Stoffen, die in sehr innigen Beziehungen zu einander stehen: Carnin (neuerdings im Fleischextrakt entdeckt) kann durch Behandlung mit Brom unter Oxydation und Abgabe von Kohlensäure und CH_3 in Sarcin (Hypoxanthin) übergeführt werden:



Aus Sarcin erhält man durch weitere Oxydation Xanthin ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$), das sich von der Harnsäure ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$) nur durch ein Atom O unterscheidet, also wahrscheinlich durch Oxydation in diese übergehen kann.

Das Guanin, $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5\text{O}$, kann sich in zweierlei Weise durch Oxydation zersetzen:

1) Unter Stickstoffentwicklung und Wasseraustritt in einen dem Xanthin isomeren Körper, Isoxanthin:



2) Andere Oxydationsmittel zerlegen unter Sauerstoff- und Wassereintritt das Guanin in Guanidin, Parabansäure und Kohlensäure:



Nach dem, was oben über Guanidin und Parabansäure gesagt ist, liegt also auch hier die Zersetzung in der Richtung von Harnstoff und Kohlensäure und damit in Kohlensäure und Ammoniak vor.

Ueber die Inosinsäure ($\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_6$), die im Muskelprotoplasma vorkommt, und die im Hundeharn auftretende Kynurensäure, $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_5$ (?) ist nichts Näheres bekannt.

§ 84.

Eine weitere chemische Betrachtung hat sich mit den Stoffen zu befassen, die durch Synthese im Protoplasma aus Eiweiss gebildet werden.

Das Haemoglobin,*) das bis jetzt nur im Körper der Wirbelthiere und einiger Schnecken (Paludina) gefunden worden ist, ist ein Compositum aus einem, dem Globulin sehr ähnlichen (aber durch O nicht löslichen) Eiweiss und einem eisenhaltigen Farbstoff, dem Haematin, dessen Constitution nicht bekannt ist. In diese beiden Stoffe spaltet es sich nämlich sehr leicht durch alle Einfüsse, die Eiweisskörper coaguliren und fällen, sowie durch Einwirkung auch der schwächsten Säuren und der Alkalien. Die procentische Zusammensetzung des Haematins ist $C_{68}H_{70}N_8Fe_2O_{10}$. Im freien Zustande kommt es im Körper nicht vor.

Eine weitere Zersetzung erleidet das Haematin in sauren Lösungen, indem es in einem eisenfreien Körper das Hämatoidin (auch Haematoporphyrin genannt) $C_{68}H_{74}N_8O_{12}$, offenbar durch Hydrolyse übergeht. Dieses Hämatoidin ist fast oder vielleicht ganz identisch mit dem in der Galle auftretenden Bilirubin dem man die Formel $C_{16}H_{18}N_2O_3$ giebt (diese Zahlen 4 mal genommen geben fast die obige Formel des Haematoidins) und welches man deshalb neben anderen Gründen als das erste Zersetzungsprodukt des Hämatins betrachtet. Aus dem Bilirubin entsteht (aber wahrscheinlich nicht im Körper) durch Oxydation und Hydrolyse das Bilverdin ($C_{16}H_{20}N_2O_5$), im Körper dagegen geht das Bilirubin unter Aufnahme von H_2O über in Bilifuscin ($C_{16}H_{20}N_2O_4$) und dieses durch Aufnahme von $H_2O + O$ über in Biliprasin ($C_{16}H_{22}N_2O_4$).

An diese Gallenfarbstoffe schliessen sich die Harnfarbstoffe, die theils eisenfrei, theils eisenhaltig sind (Urobilin, Urohaematin, Urrhodin, Uroerytherin) an. Sie sind entweder direkt Umsatzprodukte des Hämatins oder Umsatzprodukte der Gallenfarbstoffe; das eine, das Urobilin, kommt wenigstens in der Galle regelmässig vor.

Als Melanin bezeichnet man schwarze oder braune eisenhaltige Farbstoffe, die sicher Umsatzprodukte des Haematins sind.

Von den spezifischen thierischen Farbstoffen sind nur sehr wenige gekannt und noch weniger sind die Chromogene derselben ermittelt, jedenfalls bilden die letzteren einen integrirenden Theil des Keimprotoplasmas der Thiere.

*) Anm. Hierdurch ist das Bd. I in § 24 über den Blutfarbstoff Gesagte ergänzt und berichtigt und durch den folgenden Paragraphen der § 10 des ersten Bandes.

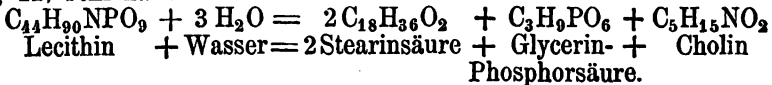
§ 85.

Im Protoplasma der Thiere, und zwar im undifferenzierten der Thiereier (unter den differenzierten Arten besonders im Nervenprotoplasma), findet man verschiedene, zum Theil phosphorhaltige organische Verbindungen, die jedoch noch nicht allseitig und zur Genüge gekannt sind, von denen auch noch nicht bekannt ist, in wieweit sie durch die Assimilationsthätigkeit des Pflanzenprotoplasma vorgebildet werden und in wieweit das thierische Protoplasma die Synthese selbst besorgt. Ein Fingerzeig in ersterer Richtung ist, dass man jetzt in den Samen von Getreide und Leguminosen das Lecithin und in dem Saft unreifer Zuckerrüben sowie im Laube von *Lycium barbarum* einen Stoff gefunden hat, der mit einem der Zersetzungsprodukte des Lecithins, dem Cholin, sehr nahe verwandt ist: das Oxycholin (Betaïn).

Der eine dieser Nervenstoffe ist das phosphorlose Cerebrin dessen Constitution noch nicht bekannt ist (es enthält 66,35 C; 2,29 N; 10,96 H; 20,40 O), das man aber als stickstoffhaltiges Glycosid betrachtet, weil sich Zucker daraus abspalten lässt. Es bildet im Wasser kleisterartige Quellungen, welche die Bd. I. S. 8 abgebildeten Myelinfiguren erzeugen. Seine Zersetzung im Körper ist nicht bekannt.

Das Lecithin ist der wichtigste phosphorhaltige Stoff des thierischen Protoplasmas. Im Eiprotoplasma steht es im Verband mit einem Albuminat (als Vitellin, Ichthin, Ichthidin, Emydin etc.). Im Nervenprotoplasma ist es mit dem Cerebrin enger vergesellschaftet, worüber jedoch die Ansichten auseinander gehen. Nach den einen ist nämlich das von Liebreich als Protagon bezeichnete Extrakts aus der Nervensubstanz ein Gemenge von Cerebrin und Lecithin; nach den andern eine von Cerebrin und Lecithin verschiedene Verbindung, nämlich ein Glycosid des Lecithins. Das letztere hat ähnliche Eigenschaften wie das Cerebrin, d. h. es giebt mit wenig Wasser eine kleisterartige, mit viel Wasser eine durchsichtige Gallerte.

Das Lecithin spaltet sich leicht hydrolytisch in Glycerinphosphorsäure, Cholin und Fettsäuren verschiedener Art, woraus hervorgeht, dass es den echten Fetten (Triglyceriden), Verbindungen von Glycerin mit drei Fettsäuremolekülen, (siehe § 42) sehr nahe steht.



Diaconow betrachtet es deshalb als glycerinphosphorsaures Cholin, wobei aber im Radikal der Glycerinphosphorsäure zwei

Das Glycol enthält die Bedingungen zur Oxydation in $C O_2$ und $H_2 O$, während das Trimethylamin bei der Zersetzung ausserdem noch Ammoniak liefern muss. Für die Geschichte des Lecithins ist es wichtig, dass man in den Pflanzen, wie oben schon gesagt, das Oxycholin oder Oxyneurin findet, während das Cholin in der Galle der höheren Thiere gefunden wird. Wir dürfen also vielleicht annehmen, dass das Oxycholin die Stufe in aufsteigender Entwicklung des Lecithins, das Cholin die Stufe in der rückschreitenden Zersetzung des Lecithins ist. Die weitere Zersetzung des Cholins in dem thierischen Protoplasma ist nicht erforscht.

Die Glycerinphosphorsäure ist Glycerin (s. § 42), in welchem der Wasserstoff der einen der drei Hydroxylgruppen durch Phosphorsäure ersetzt ist. Bei der Zersetzung entstehen phosphorsaure Salze, die im Harn austreten. Die Elemente des Glycerins theilen das Schicksal der Fettzersetzung. Ausserdem ist jedoch auch eine synthetische Bildung der Glycerinphosphorsäure im thierischen Protoplasma, bei Gegenwart von saurem phosphorsaurem Kalk, Alkalien und Fetten, ziemlich ausser Zweifel und dasselbe findet bei der Verdauung der Fette in den Nahrungshöhlen der höheren Thiere statt. Diese Umstände sprechen für eine synthetische Bildung des Lecithins auch im Thierkörper, und man ist deshalb neuerdings geneigt, dem Lecithin überhaupt eine sehr wichtige Rolle bei jeder Protoplasmaabildung zuzuschreiben.

Ueber das Cholesterin, $C_{26}H_{43}(OH)$, das jedenfalls als ein hochatomiger Alkohol zu betrachten ist und im Thier- und Pflanzenprotoplasma getroffen wird, und zwar in ersterem an denselben Orten, wo wir auch das Lecithin und sein Zersetzungsprodukt, das Cholin, finden, wissen wir nach keiner Richtung hin etwas Näheres. Wir können aus der genannten Vergesellschaftung nur die Vermuthung schöpfen, es sei eine Durchgangsstufe des Cerebins oder Lecithins, sowohl bei deren Synthese im Pflanzenprotoplasma, als bei deren Zersetzung im thierischen Protoplasma.

§ 86.

Der dunkelste Punkt des Chemismus im Thierprotoplasma sind die Geschmacks- und Geruchstoffe. Jede Thierart hat ihren spezifischen Geruch, der sich aus allen Protoplasmaarten seines Körpers entwickeln lässt und ein stetes Excret desselben bildet. Die Specificität geht sogar noch weiter: Bei dem Menschen haben nicht blos die verschiedenen Rassen und Völker einen auch für den unentwickelten Geruchssinn des Menschen deutlich ver-

schiedenen Ausdünstungsgeruch, von denen der der Neger, Chinesen, Juden etc. unsere Sinne am auffälligsten berührt, sondern das sichere Auffinden eines Menschen durch seinen Hund, lediglich mittelst des Geruchs, beweist, dass es nicht bloß spezifische, sondern sogar individuelle Geruchsstoffe oder wenigstens Geruchstoffmischungen giebt. Die biologische Beobachtung zeigt uns, dass die weitgehende Differenzirung dieser flüchtigen Stoffe wohl durch die ganze Thierwelt geht, denn bei Thieren fast aller Abtheilungen lässt sich constatiren, dass die Zusammenfindung der Geschlechter, die Erkennung der Familienangehörigkeit etc. auf die Anwesenheit eines ganz bestimmten spezifischen Ausdünstungsgeruchs basirt ist. Bei monogamischen Vögeln ist sogar die Annahme individueller Geruchstoffmischungen unabweisbar.

Weiter lässt sich hierüber sagen, dass die Art der Geruchsstoffe nicht bloß spezifisch bis individuell ist, sondern dass es auch Familien-, Ordnungs- und Classengerüche giebt, d. h. dass die Ausdünstungsgerüche der Arten bei aller Verschiedenheit eine gewisse, den grösseren systematischen Gruppen entsprechende Uebereinstimmung zeigen. Beispiele für Gattungengerüche sind u. a. der Krähengeruch, Geiergeruch, Katzengeruch, Pferdegeruch, Rindergeruch, Antilopengeruch. Die Verwandtschaft der Ausdünstungsgerüche ganzer Ordnungen tritt am schärfsten in die Erscheinung bei dem Nagethiergeruch, dem Affengeruch; Raubthiergeruch, Wiederkäusergeruch, und die der Ausdünstungsgerüche ganzer Klassen bei dem Fischgeruch, Reptiliengeruch, Säugthiergeruch. Ganz dasselbe gilt auch für die Geschmacksstoffe, nur dass hierüber unsere Erfahrungen noch unvollständiger sind.

Man führt gewöhnlich die Verschiedenheit des Ausdünstungsgeruches der Thiere auf die Art ihrer Nahrung zurück, allein so einfach ist die Sache denn doch nicht. Ein insektenfressender Vogel riecht ganz anders als ein insektenfressendes Säugethier, ein insektenfressendes Reptil oder ein insektenfressendes Insekt, das pflanzenfressende Nagethier riecht entschieden anders als der pflanzenfressende Wiederkäuer. Ein Pferd und ein Ochse, denen wir genau die gleichen Futterstoffe geben, haben einen durchaus verschiedenen Ausdünstungsgeruch und das Gleiche gilt von dem Menschen und seinem Hund oder Schwein, auch wenn er letztere mit seinen Küchenabfällen füttert. Andererseits darf nicht gelehnet werden, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Geruche der Nahrung und dem der Ausdünstung besteht. So hat der Ausdünstungsgeruch der Aas fressenden Thiere etwas gemeinsames, ebenso der der Fischfresser, allein wenn man sich gerade hierauf berufen wollte, so kann ich versichern, dass ein Fisch-

reihher, eine Fischotter, ein Taucher, ein Pelikan und ein Seehund, selbst wenn sie lange mit der gleichen Fischspecies gefüttert werden, doch ganz deutlich verschieden riechen.

Aus diesen Gründen, die auf Selbsterfahrung beruhen, geht meine Ansicht dahin, dass der spezifische Ausdünstungsgeruch der Thiere eine Geruchstoffmischung ist, die in folgender Weise zu Stande kommt:

Ein Theil der in der Ausdünstung erscheinenden Geruchstoffe entstammt direkt der jeweiligen Nahrung (Nahrungsgeruch). Hierbei gibt es zwei Fälle: Der Geruchstoff der Nahrung passirt das Protoplasma ohne verändert zu werden, und dieser Fall ist offenbar der seltenste, oder er wird chemisch umgeändert, ein Fall, der sehr häufig und leicht zu beobachten ist. Das in den Körper aufgenommene Terpentin z. B. wird in einen im Harn erscheinenden, veilchenartig riechenden Stoff umgewandelt; nach Genuss von Zwiebeln entsteht bei Mensch und Affe ein ähnlicher, aber von dem der Zwiebeln deutlich verschiedener Geruchstoff. Ganz ebenso gibt es einen gewissen Nahrungsgeschmack.

Ein anderer Theil der Geruchstoffe im Ausdünstungsgeruch ist ein spezifisches Protoplasmaprodukt (Protoplasmageruch) und der Ausdruck einer ganz bestimmten chemischen Zusammensetzung der Protoplasmabestandtheile, welche für die betreffende Thierart ganz charakteristisch und das materielle Substrat der Vererbung ist. Das Molekül der Protoplasmabestandtheile enthält nämlich einen Geruchstoffgenerator (Odorigen), der für die bestimmte Spezies, Gattung, Familie, Ordnung, Klasse etc. ein ganz bestimmtes chemisches Individuum ist, auf dessen Natur die spezifische chemische Beschaffenheit des Thieres mit allen seinen Consequenzen für die Vererbung der physiologischen, morphologischen und biologischen Besonderheit zurückzuführen ist. Ob diese gleiche chemische Verbindung auch der Erzeuger des spezifischen Geschmacks, das Saporigen, oder ob dies eine besondere Substanz ist, entzieht sich zunächst der Beurtheilung.

Da die exakte Chemie uns hier fast vollständig im Stiche lässt, so sind wir in Bezug auf die Odorigene und Saporigene lediglich auf Vermuthungen angewiesen, allein bei der grossen Wichtigkeit dieser Stoffe für die Lehre von der Vererbung des spezifischen Charakters, der Constanz der Art, der biologischen Beziehung der Geschlechter, der biologischen Beziehung zwischen Thier und Nahrung, ist es vielleicht zu entschuldigen, wenn ich einige Erwägungen gebe.

Der einzige feste Boden, den diese unter sich haben, ist die Thatsache, dass unter den Geruchstoffen, die das thierische Pro-

toplasma liefert, flüchtige Fettsäuren (Buttersäure, Ameisensäure, Capronsäure etc.) eine erhebliche Rolle spielen; dies weist darauf hin, dass die Fette bei der Erzeugung der thierischen Geruchsstoffe betheilig sind. Die Fette sind nun aber nicht im strengsten Sinne des Wortes Protoplasmabestandtheile; als solche dürfen wir, wie es scheint, nur die Albuminate und die Lecithinverbindungen ansehen; dagegen kommen die Fette in sofern in Betracht, als das Molekül des Lecithins eine Fettsäure, und das Molekül der Albuminate wahrscheinlich ein fettsaures Glycerid enthält.

Wir haben in § 85 gesehen, dass es ein Palmitinlecithin, ein Oleinlecithin, kurz vielleicht ebensoviele Lecithine giebt, als Fettsäuren oder Combinationen aus zwei Fettsäuren. Auf Grund dessen darf man auch daran denken, dass es ein Palmitinalbuminat, Oleinalbuminat, Stearinalbuminat etc., kurz so vielerlei Albuminate als Fettsäuren und Fettsäurecombinationen giebt. Damit wäre eine Aussicht für die von der Biologie zwingend verlangte Differenzirung der Protoplasmaarten eröffnet. Allein Angesichts der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Thierarten, für die es ebensoviele verschiedene Protoplasmaarten geben muss, ist damit nur ein ganz geringer Theil der Specificität der Protoplasmas erklärt.

Ein anderer Fingerzeig scheint mir in folgendem zu liegen: Wenn diejenigen Recht haben, welche das bekannte Rückbildungsprodukt der Albuminate, das Tyrosin, für ein Glied der aromatischen Verbindungen mit dem Benzol-Kern halten (siehe § 79), so könnten wir in ihm entschieden einen Geruchsstoffgenerator erkennen, wobei wir natürlich verschiedene Tyrosinarten annehmen müssten.

Freilich sind das alles lediglich Vermuthungen, und auch sie eröffnen, sollten sie richtig sein, nur den kleinsten Theil der Wege, auf welchen die Specialisirung des Protoplasmas zu Stande kommt. Die Sache musste aber hier in einer von einem Zoologen verfassten allgemeinen Physiologie besprochen werden, weil auf diesem Gebiete, d. h. dem der Geruchsstoffe (und Geschmacksstoffe), die Brücke zwischen Zoologie und Physiologie geschlagen werden muss. So lange hier noch Dunkel herrscht, ist ein entscheidender Fortschritt weder auf dem Gebiete der Zoologie, noch auf dem der Physiologie zu erwarten. Bei der Wichtigkeit der Sache kann ich mich nicht enthalten, hier die fast ausschliesslich im Dienste der medicinischen Praxis arbeitenden Experimentalphysiologen und physiologischen Chemiker daran zu erinnern, welche ausgedehnte Anwendung die Geschmacks- und Geruchsstoffe, insbesondere die pflanzlichen, in der Heilkunde finden. Ich möchte

sie ferner daran erinnern: Geschmack und Geruch sind unsere chemischen Sinne; alles nun, was auf diese einen Eindruck macht, beweist schon dadurch, dass es von massgebendem Einfluss auf den Chemismus des Protoplasmas ist. Die Thatsache, dass für eine grosse Menge von Stoffen unser Geschmacks- und Geruchssinn ein unendlich feineres Reagens ist, als alle Methoden der Experimentalchemie, beweist, dass diese Stoffe für das Leben und die Verrichtungen des Protoplasmas von der einschneidendsten Bedeutung sind. Es ist ganz richtig, dass für unsere praktischen biologischen Aufgaben die physikalischen Sinne wichtiger sind, allein für die exakte Wissenschaft sind die von den Physiologen so auffallend vernachlässigten Geschmacks- und Geruchsstoffe und die mit ihnen arbeitenden Sinneswerkzeuge unendlich viel wichtiger, und von ihrer Erforschung hängt in erster Linie der Fortschritt der Wissenschaft vom Leben ab.

§ 87.

Was den Chemismus der Gase betrifft, so ist zuerst vom Sauerstoff zu sagen, dass er im Protoplasma wohl total aus dem freien Zustand in den gebundenen übergeht. Eine weitere, jedoch noch näher zu untersuchende Umänderung ist die vorgängige Ozonisirung desselben. Dass das Haemoglobin des Wirbelthierprotoplasmas eine solche hervorbringt, ist sicher, ob dagegen das haemoglobinlose Protoplasma der zahlreichen niederen Thiere das gleiche thut, ist nicht bekannt, aber sehr wahrscheinlich. Durch die Ozonisirung ist der Sauerstoff in einen Zustand gebracht, in welchem der geringste Anstoss genügt, um die Oxydation vorhandener oxydabler Verbindungen — und das sind alle wesentlichen Protoplasmabestandtheile — zu bewirken, was denn auch fortwährend, aber in rhythmischer Weise, geschieht. Aus dem hämoglobinhaltigen Protoplasma der Blutzellen lässt er sich auspumpen, aus andern Protoplasmaarten gelingt dies nicht. Während die letzteren den Blutzellen einen Theil ihres Sauerstoffs entziehen können, verlässt er das gewöhnliche Protoplasma niemals in freier Form, sondern nur gebunden an Kohlenstoff als Kohlensäure, an Wasserstoff als Wasser, an Schwefel als schwefelsaure Salze und in den früher beschriebenen stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten der Albuminate. Der grösste Theil des Sauerstoffs (88—98%), verlässt das Protoplasma in der Kohlensäure.

§ 88.

Ueber die Schicksale der Kohlensäure wissen wir, dass der allergrösste Theil im Protoplasma aus der Oxydation des

Kohlenstoffs der organischen Verbindungen entsteht und dass sie keine weiteren Zersetzungen im thierischen Protoplasma erfährt. In wie weit sich die Kohlensäure der kohlen-sauren Salze an dem Stoffwechsel theiligt, ist noch nicht untersucht. In dem calcigenen Protoplasma der zahlreichen niederen Thiere muss ein Freiwerden von Kohlensäure aus dem doppelkohlen-sauren Kalk, den diese Thiere in sich aufnehmen, vorausgesetzt werden. Der grösste Theil der Kohlensäure verlässt das Protoplasma im freien Zustand, nach den Gesetzen der Gasaushauchung (siehe § 5). Allein Entgasungsversuche mit der Luftpumpe zeigen, dass die Kohlensäure des Protoplasmas in zwei Theile zerfällt, in einen grösseren aus-pumpbaren, und in einen kleineren Theil, der dem Auspumpen widersteht, weil er offenbar fester gebunden ist. Die Entfernung des letzteren Theils setzt eine Auslösung aus seinem Verband durch eine Säure voraus, die stärker ist als Kohlensäure. Solche Säuren entstehen nun, wie wir oben sahen, überall im Protoplasma bei seinem Stoffumsatz, und treiben offenbar einen Theil der fester gebundenen Kohlensäure aus, aber nicht alles; ein Rest, freilich ein geringer, verlässt das Protoplasma in kohlen-sauren Salzen.

Das Stickstoffgas, das $\frac{4}{5}$ der freien atmosphärischen Luft und $\frac{2}{3}$ der Gase im tellurischen Wasser, also die grösste Masse der freien elementaren Gase bildet, verhält sich — so wichtig dieses Element sonst als Constituens der Albuminate ist — ganz indifferent dem Protoplasma gegenüber. Es wird in ihm nicht durch Zersetzungen gebildet und auch nicht zu Synthesen verwendet und deshalb ist bei ihm von einem Chemismus gar keine Rede; es findet sich in dem Protoplasma stets in einer dem Mariotte'schen Gesetze entsprechenden Menge.

Von anderen Gasen, die der Körper höher organisirter Thiere ausscheidet, wie Schwefelwasserstoffgas, Kohlenwasserstoff, Ammoniak, Wasserstoffgas, ist es wahrscheinlich, dass sie extraprotoplasmatischen Stoffzersetzungen entstammen.

Aus dem Obigen erhellt, dass das Protoplasma mehr Gewichtstheile Gase produziirt als absorbiert, weil in ihm eine Menge fixer Verbindungen (Albuminate, Kohlenhydrate und Fette) zum grössten Theil in den gasförmigen Zustand übergeht.

§ 89.

Ueber den Chemismus der Salze giebt es nur Untersuchungen an höheren Thieren und es ist deshalb nicht immer zu unterscheiden, welche ihrer Wandlungen innerhalb und welche ausserhalb des Protoplasmas in den Körperflüssigkeiten stattfinden.

Für das Kochsalz, dessen Bedeutung für die Indifferenz des umspülenden Mediums schon § 53 besprochen wurde, steht die Thatsache fest, dass es mit dem phosphorsauren Kali im Protoplasma eine wechselseitige Zersetzung eingeht, indem Chlorkalium und phosphorsaures Natron entstehen. Diese Thatsache ist besonders in sofern wichtig, als Nahrungsstoffe, die viel phosphorsaures Kali enthalten (solche sind im allgemeinen Pflanzen und unter diesen besonders die Samen der Leguminosen) viel Kochsalz umsetzen, also einen grossen Verbrauch dieses für die Zusammensetzung von Blut und Lymphe unentbehrlichen Stoffes zur Folge haben. Eine weitere Zersetzung, die das Kochsalz erfährt, ist die Zerlegung in freie Salzsäure, die bei den höheren Thieren einen Bestandtheil des vom Labzellenprotoplasma gelieferten Verdauungssaftes ist (während das Natron sich noch zum Theil mit der frei gewordenen Phosphorsäure verbindet). Indem dieselbe sich später wieder mit dem Natron der gallensauren Salze verbindet, entsteht neuerdings Kochsalz.

Was den Zustand des Kochsalzes im Protoplasma betrifft, so ist zu constatiren, dass wohl der grössere Theil mit diesem offenbar in keiner innigen Beziehung steht, sondern sich eben nur als Lösung in der Quellungsfüssigkeit befindet und leicht durch die umspülende Flüssigkeit ausgewaschen wird. Einen andern Theil hält dagegen das Protoplasma energisch fest.

§ 90.

Bei den phosphorsauren Alkalien (Kali und Natron) handelt es sich um mehrere Zersetzungsarten.

Fürs erste haben wir es mit dem Wechsel von sauren, neutralen und alkalischen Salzen zu thun. Wenn die phosphorsauren Alkalien als neutrale oder alkalische zum Protoplasma in Beziehung treten, können sie durch die in letzterem auftretenden freien Säuren, die ihnen einen Theil ihrer Basis entziehen, zu sauren Salzen werden, wie dies ja bei der Speisebreibildung der Wirbelthiere constatirt ist. Andererseits können die sauren Salze in neutrale und alkalische verwandelt werden. Endlich ist auch noch die Abspaltung der Phosphorsäure, die dann zur Bildung der so wichtigen Glycerinphosphorsäure verwendet wird, ein jedenfalls bei höheren Thieren regelmässiger Vorgang. Letztere Säure findet dann ihre Verwendung einerseits bei der Bildung des Lecithins (§ 85), andererseits bei der Bildung der Knochenerde im Protoplasma der Wirbelthiere (und Brachiopoden?), indem sie den milchsauren Kalk zersetzt und den unlöslichen basisch-phosphorsauren Kalk bildet.

Das phosphorsaure Natron ist, wie alle Natronsalze,

ein indifferentes Salz, das vom Protoplasma nicht festgehalten, also leicht durch die umspülende Flüssigkeit ausgewaschen wird. Es ist deshalb auch diejenige Verbindung, in welcher die Phosphorsäure aus dem Protoplasma wieder nach aussen tritt. Dagegen sind drei Wirkungen desselben von Wichtigkeit: 1) vermitteln die alkalischen und neutralen Salze die Löslichkeit der Albuminate (im Thier- und Pflanzenprotoplasma); 2) bindet, wovon schon § 65 die Rede war, das zweibasisch phosphorsaure Natron die freie Kohlensäure und vermittelt so deren Ueberführung; 3) erhält es einige schwerlösliche Stoffe, z. B. den oxalsauren Kalk und die Harnsäure, in Lösung. Von grösster Bedeutung ist ausserdem das alkalische phosphorsaure Natron für die so nöthige Alkalescenz der Ernährungsflüssigkeiten, wodurch die bei der Protoplasmaarbeit entstehenden freien Säuren (Kohlensäure und Milchsäure) und das saure phosphorsaure Kali wieder gesättigt werden.

Ueber das phosphorsaure Kali wurde schon oben bemerkt, dass bei Zusammentreffen mit Kochsalz kreuzweise Zersetzung zu phosphorsaurem Natron und Chlorkalium entsteht. Das phosphorsaure Kali hat wie alle Kalisalze eine grosse Adhäsion an Protoplasma, ist ein heftiger Reiz für dasselbe und wird von ihm im Gegensatz zu den leicht auswaschbaren Natronsalzen sehr festgehalten. Im ruhenden erhaltenen Protoplasma scheint es als neutrales Salz sich zu befinden, während es bei Protoplasmaarbeit durch die hier entstehenden Säuren in saures Salz übergeführt wird, in welcher Form es nach J. Ranke Ermüdungsstoff ist. Es scheint dann auch offenbar nicht mehr so festgehalten zu werden, denn es verlässt das Protoplasma als saures Salz.

§ 91.

Die phosphorsauren Erdsalze (Kalk und Magnesia) stehen insbesondere zu dem osteogenen Protoplasma der Wirbelthiere in höchst wichtiger Beziehung und es handelt sich hierbei wieder um den Wechsel zwischen sauren und neutralen Salzen, um die Abspaltung der Phosphorsäure zur Bildung der Glycerinphosphorsäure und um gegenseitige Zersetzungen mit anderen Salzen. Nach Benecke enthält die Nahrung das neutrale Salz, das unter Einfluss der Säure des Magensaftes zu saurem Salz wird und als solches in Blut und Protoplasma eindringt.

Ausserdem entsteht auch im Protoplasma der phosphorsaure Kalk aus dem eingeführten kohlen-sauren Kalk und der freien Phosphorsäure oder Glycerinphosphorsäure, und zwar entweder direkt oder dadurch, dass aus dem kohlen-sauren Kalk der Nahrung zuerst milchsaurer Kalk (im Magen und Darm),

dieser in den Geweben durch Oxydation der Milchsäure zu kohlen-saurem Kalk und letzterer dann unter Einfluss der Glycerinphosphorsäure zu dem neutralen Erdphosphat wird. Die Löslichkeit des letzteren ist auf das rhythmische Auftreten freier Säuremengen im arbeitenden Protoplasma basirt und tritt im Wirbelthierprotoplasma in eine nähere chemische Beziehung zu dem Collagen der Intercellularsubstanz, wodurch eine relativ bleibende Deponirung des Phosphats als Knochensubstanz bewerkstelligt wird. Von den niederen Thieren halten nur die Brachiopoden die Erdphosphate in grösserer Quantität zurück. Das Protoplasma selbst aber scheint dieselben nicht besonders festzuhalten, sondern nur die plastischen Protoplasmaabsonderungen.

§ 92.

Die schwefelsauren Salze werden mit der Nahrung stets in den Thierkörper eingeführt, schon weil das pflanzliche Protoplasma sie als wichtigen Bestandtheil für die Bildung der Albuminate aufnehmen muss. Im thierischen Protoplasma scheinen sie keinen funktionell wesentlichen Bestandtheil zu bilden, sondern nur eine Rolle als Auswurfstoff zu spielen. Sie entstehen nämlich fortwährend in demselben bei der Zersetzung der Albuminate (siehe § 81). Hierbei ist dann nur folgende Beziehung wichtig: Da alle Schwefelsäure der Albuminate das Protoplasma als neutrales Salz verlässt, so werden damit dem Protoplasma Basen, namentlich Alkalien entzogen. Es ergiebt sich mithin von dieser Seite die Nothwendigkeit einer steten Zufuhr von Alkalien, und es scheint hier insbesondere ein solches Verhältniss zwischen den Phosphaten und der Schwefelsäure aus den Albuminaten zu bestehen, dass die ersteren als neutrale Salze in das Protoplasma eintreten, dann einen Theil ihrer Basen an die Schwefelsäure abgeben und nun als saure Salze das Protoplasma sammt den schwefelsauren Salzen verlassen. Uebrigens können auch die kohlen-sauren Salze die Alkalilieferung besorgen.

§ 93.

Von den kohlen-sauren Salzen sind nicht viele chemische Umwandlungen zu berichten. Bei dem kohlen-sauren und doppelkohlen-sauren Kalk, welcher stets mit Nahrung und Wasser in das Protoplasma gelangen muss, kann es sich nur um die Ueberführung in milchsäuren, fettsäuren und phosphorsauren Kalk und die Deposition des in Wasser unlöslichen kohlen-sauren Kalkes

im Protoplasma oder der Interzellulärsubstanz handeln, was bei gewissen Protoplasmaarten in kolossalem Masstabe geschieht (cal-cigenes Protoplasma, wobei zwischen exocalcigenem und endo-calcigenem Protoplasma zu unterscheiden ist).

Bei den kohlen-sauren Alkalien handelt es sich erstens um solche, die schon fertig in den Körper mit der Nahrung eingeführt werden, zweitens um solche, die aus den pflanz-sauren Alkalien im Protoplasma durch Oxydation der Pflanz-säuren entstehen. Im allgemeinen dürften die kohlen-sauren Alkalien im thierischen Protoplasma als Schlacke angesehen werden im Gegen-satz zu der wichtigen Rolle, welche sie im Pflanzenprotoplasma bei der Assimilation spielen, doch betheiligen sie sich einmal am Transport der Kohlensäure, indem sie in doppelkohlensäure Salze übergehen, ferner tragen sie ihr Theil zur Alkaliescenz der um-spülenden Medien, also zur Neutralisirung der bei der Protoplasma-arbeit auftretenden freien Säuren und sauren Salze bei und leisten Dienste bei der Verseifung der Fette.

§ 94.

Bei dem Chemismus des Protoplasmas spielt natürlich das Wasser eine äusserst wichtige Rolle, und wie wir später sehen werden, gilt ein Gleiches bezüglich der morphogenetischen Eigen-schaften, die wesentlich von dem Grade des Wassergehaltes des Protoplasmas abhängen und zwar so, dass, je geringer der Wassergehalt, um so befähigter das Protoplasma zu sociologischer Composition und Differenzirung ist. Das freie Protoplasma ist das wasserhaltigste; mit der Einkapselung sinkt der Wassergehalt und um so mehr, je gründlicher die Abkapselung ist. Von grossem Einfluss auf den Wassergehalt ist der Gehalt des Protoplasmas und des umspülenden Mediums an Kochsalz; je salzhaltiger, um so wasserhaltiger ist das Protoplasma.

Für den Chemismus gilt: Je wasserhaltiger das Protoplasma, um so labiler ist — unter sonst gleichen Umständen — das chemische Gleichgewicht.

Ferner handelt es sich beim Wasser darum, 1) dass es das Constituens des umspülenden Mediums, das Lösungsmittel für alle Protoplasmabestandtheile, kurz das Vehikel für den ganzen Stoff-wechsel ist; 2) dass es bei den Spaltungsvorgängen, von denen viele hydrolytischer Natur sind, also Eintritt von Wassermole-külen in die Constitution der Spaltprodukte verlangen, als Con-stitutionsfactor figurirt; 3) dass es eine wichtige Rolle im Wärmehaushalt des Protoplasmas der Luftthiere spielt, in-

dem es bei der Verdunstung Wärme bindet; 4) dass von dem Grade des Wassergehaltes der Kraftwechsel in hohem Masse abhängt, wovon später.

Das Wasser tritt natürlich zumeist als solches in das Protoplasma, und wohl das meiste passirt ohne chemische Veränderung. Ausserdem entstehen nicht unbedeutende Mengen von Wasser fortwährend durch Oxydation des Wasserstoffs der Protoplasmabestandtheile, wovon schon früher die Rede war, und zwar um so mehr, je stärker das Protoplasma arbeitet, sodass also Arbeit den Wassergehalt des Protoplasmas zunächst vermehrt. Mithin hat das Wasser auch die Bedeutung einer Schlacke des Protoplasmas.

8. Der Kraftwechsel des thierischen Protoplasmas.

a) Wechselbeziehung zwischen Kraft- und Stoffwechsel.

§ 95.

Aus dem über den Stoffumsatz im thierischen Protoplasma Gesagten geht zur Genüge hervor, dass hierbei fortwährend Spannkkräfte entbunden, d. h. in freie Bewegungen übergeführt werden, dass mithin das thierische Protoplasma im mechanischen Sinne eine Kraftmaschine ist. Es gilt jetzt zu erläutern, in welchem qualitativen und quantitativen Zusammenhang die Erscheinungen der Kraftentbindung mit jenen chemischen Umsetzungen stehen.

Bei der quantitativen Frage handelt es sich natürlich darum, wie viel Kraft entbunden wird, wenn die im Körper zur stufenweisen Oxydation kommenden Albuminate, Fette und Kohlenhydrate zuletzt zu Kohlensäure, Wasser und Ammoniak verbrennen. Man sieht hierbei zunächst von der verschiedenen Form, unter welcher die freien Kräfte auftreten können, ab und nimmt an, dass sie alle in der Form von Wärme erscheinen, bezeichnet diese als Verbrennungswärme und drückt sie in der Summe der Wärmeeinheiten aus, die ein Gramm des betreffenden Stoffes liefert.

Bei der empirischen Bestimmung dieser Grössen erhält man nicht ganz übereinstimmende Werthe und zwar deshalb, weil nicht alle zur Entbindung gelangenden Spannkkräfte als ableitbare Wärmebewegung auftreten, sondern ein, wenn auch kleiner Theil verbraucht wird (also verschwindet), um die dabei in Betracht kommenden Aenderungen des Aggregatzustandes und Atomverschiebungen zu bewerkstelligen, eine Arbeit, die man „Verbrennungsarbeit“

nennt. Die faktisch erhaltene Verbrennungswärme ist also gleich der Summe der im Körper frei werdenden Spannkraft abzüglich der auf Verbrennungsarbeit verwendeten Kraft. Da wir nun nicht im Stande sind, zu bestimmen, wie viel Spannkraft unter den im lebendigen Protoplasma obwaltenden Bedingungen auf Verbrennungsarbeit aufgewandt werden muss, so sind die nachstehenden von Frankland ermittelten Ziffern nur annähernd richtig:

Ein Gramm von	liefert bei Verpuffung mit chloresurem Kali und Manganhyperoxyd
Traubenzucker	3277 Wärmeeinheiten (kleine)
Rohrzucker	3348 "
reines Eiweiss	4998 "
reine Muskelfaser vom Ochsen	5103 "
Ochsenfett	9069 "
Harnstoff	2206 "
Harnsäure	2615 "
Hippursäure	5883 "

Aus dem, was § 26 über das mechanische Aequivalent der Kräfte gesagt worden ist, erhellt, dass die Kräfte, die bei der Oxydation der Stoffe im Protoplasma erzeugt werden, höchst bedeutende sind. So berechnet man, dass die Kraftmenge, welche ein erwachsener Mensch durch den Umsatz seiner Nährstoffe in 24 Stunden erzeugt = 2,3 — 2,7 Millionen (kleiner) Wärmeeinheiten ist, d. i. so viel Wärme als nöthig ist, um 240 Hectoliter Wasser von 0° auf 1° Celsius zu erwärmen. Da eine Wärmeeinheit gleich einer mechanischen Arbeit von 424 Grammeter ist, so repräsentirt diese Wärmesumme eine Arbeit von 1144,8 Millionen Grammeter, also eine Hebung von rund 1,15 Millionen Kilo auf einen Meter in 24 Stunden, was pro Sekunde eine Arbeit von 13,2 Kilogrammeter ist. Nehmen wir das Körpergewicht eines Menschen gleich 75 Klgr., so könnte ein Mensch, vorausgesetzt dass alle Spannkraft als mechanische Arbeit frei würde (was natürlich nie möglich ist), sein eigenes Körpergewicht in 24 Stunden auf 15,333 Meter Höhe erheben.

§ 96.

Aus den Zahlen des vorigen Paragraphen geht weiter hervor, dass das Fett relativ die grösste Summe von lebendigen Kräften entwickelt und zwar etwa 2,7 mal so viel als die gleiche Gewichtsmenge Zucker. Diese Ziffer nennt man, da der meiste Zucker, den das Thier in sich aufnimmt, aus dem Stärkemehl (und dem löslichen Theil der Cellulose) stammt, das Stärkemehläquivalent des Fettes, und sie bedeutet, dass das Fett als Nahrungs-

mittel 2,7 mal mehr werth ist, als das Stärkemehl. In der Praxis stellt sich jedoch das Aequivalent nach neueren Untersuchungen erheblich niedriger. Ferner erhellt aus obigem, dass die Kraft-erzeugung durch die Oxydation der Albuminate eine geringere ist als die aus Zucker, da dieselben im Körper nicht völlig verbrannt, sondern nur in Harnstoff, Harnsäure oder Hippursäure umgesetzt werden, mithin die Verbrennungswerthe dieser Stoffe (wenn auch nicht völlig) von der Ziffer der Albuminate in Abzug gebracht werden müssen.

Endlich erhellt aus jenen Zahlen, dass die Ausnutzung der Spannkkräfte in der Nahrung verschieden ist, je nachdem ein Thier seine Albuminate in Harnstoff oder Harnsäure oder Hippursäure umwandelt. Die beste Ausnützung haben die Säugethiere, die das meiste in Harnstoff umsetzen, während die Ausnützung bei den Vögeln, Reptilien und Insekten geringer ist, weil sie der Hauptsache nach Harnsäure abscheiden. Unter den Säugethieren haben die Fleischfresser, die neben dem Harnstoff noch Harnsäure bilden, eine bessere Ausnützung als die Pflanzenfresser, welche neben dem Harnstoff es nur bis zur Hippursäure bringen. Warum man in der Praxis dennoch die Pflanzenfresser als Arbeitsthiere vorzieht, liegt darin, dass Pflanzennahrung billiger zu beschaffen und die Arbeitsleistung bei den Pflanzenfressern weniger explosiv ist als bei den Fleischfressern. Andererseits erklärt obiges Verhältniss die physische Ueberlegenheit des Fleischfressers über den Pflanzenfresser und giebt dem Menschen Veranlassung, für sich ein grösseres Gewicht auf die Fleischnahrung als auf die Pflanzennahrung zu legen. Einen ziffermässigen Beleg hierfür geben auch die Versuche J. Ranke's an sich selbst: Er lieferte bei Fleischnahrung 2,78 Millionen Wärmeeinheiten, bei gemischter Nahrung 2,2 Millionen, bei stickstoffloser Nahrung 2,06 Millionen.

§ 97.

Nachdem so die eine rein quantitative Beziehung zwischen Kraft- und Stoffwechsel festgestellt ist, müssen wir uns auch noch nach den verschiedenen qualitativen Beziehungen umsehen.

Eine der wichtigsten ist die Beziehung, welche zwischen dem Rhythmus derselben besteht: Wir haben den Rhythmus des Stoffwechsels aus § 70 und 71 als einen Wechsel zwischen zwei Zuständen kennen gelernt: dem des Sattseins, in welchem das Protoplasma gar keinen oder nur einen sehr beschränkten Stoffwechsel mit den umspülenden Medien unterhält, und dem Zustande des Hungers, während dessen ein lebhafter doppelseitiger Stoff-

wechsel, bestehend aus Nahrungsaufnahme (Resorption) und Absonderung (Secretion) stattfindet.

Um die Beziehungen dieses Stoffwechselrhythmus zum Kraftwechsel zu verstehen, soll, den specielleren Erörterungen späterer Paragraphen vorgreifend, in kurzem der Rhythmus des Kraftwechsels geschildert werden.

Derselbe besteht in dem abwechselnden Auftreten von drei verschiedenen Zuständen: 1) Dem Zustand der Thätigkeit oder Arbeit, während dessen sich die später zu schildernden Erregungsvorgänge im Protoplasma abwickeln in Folge einer als Erregbarkeit bezeichneten Eigenschaft des lebendigen Protoplasmas und in Folge einer Einwirkung der das auslösende Moment bildenden „Reize“. 2) Dem Zustand der Müdigkeit oder Arbeitsunfähigkeit, der darin besteht, dass die Erregbarkeit des Protoplasmas ganz aufgehoben oder wenigstens soweit vermindert ist, dass die Stärke der es treffenden Reize nicht mehr zur Erregung ausreicht und somit Ruhe herrscht; die Ursache dieses Zustandes ist, wie wir später sehen werden, Mangel an Sauerstoff und Anwesenheit der sogenannten Ermüdungsstoffe. 3) Dem Zustand der Müssigkeit oder Arbeitsfähigkeit, der darin besteht, dass die Erregbarkeit, also die Fähigkeit zu arbeiten, vollständig vorhanden ist, allein die Abwesenheit von Reizeinwirkungen Ursache ist, dass die Ruhe nicht gestört, somit keine Arbeit verrichtet wird; dieser Zustand scheint bei niedrig-differenzirtem Protoplasma nicht mit völliger Ruhe, sondern mit partieller Thätigkeit verbunden zu sein.

Diese drei Zustände wechseln in der Weise mit einander ab, dass auf den Zustand der Arbeit der Zustand der Müdigkeit folgt; der diesen Zustand herbeiführende Vorgang heisst die Ermüdung. Der Müdigkeit folgt der Zustand der Müssigkeit und der ihn herbeiführende Vorgang wird die Erholung genannt. Der Zustand der Müssigkeit geht wieder in den der Arbeit über, sobald die von aussen kommende Reizung hinzutritt.

§ 98.

Die Beziehung zwischen dem eben geschilderten Rhythmus des Kraftwechsels und dem des Stoffwechsels ist folgende:

Der Zustand des Sattseins fällt zusammen mit dem Zustand der Müssigkeit. Mit dem Eintritt in den Zustand der Thätigkeit oder Arbeit beginnt ein lebhafterer Stoffwechsel der aber vorwiegend negativer Art ist, d. h. es überwiegt die Stoffabgabe über die Aufnahme. Damit ist der Anfang für den Eintritt des

Hungerzustandes gegeben, der in seinem Höhepunkt mit dem Zustand der Müdigkeit zusammenfällt. Mit der Stillung des Hungers (der Sättigung) und der Beseitigung der Müdigkeit (der Erholung) tritt das Protoplasma in den gesättigten und müssigen Zustand zurück.

Für das Verständniss des Lebens und der praktischen Aufgaben der Lebenserhaltung und Erhaltung der Arbeitsfähigkeit ist es von grösster Wichtigkeit zu wissen, dass sich Kraft- und Stoffwechsel auch in ihrem Rhythmus bedingen und zwar nicht nur einseitig, sondern gegenseitig. Man ist nämlich sehr geneigt, als das wichtigste Moment der Lebenserhaltung die Ernährung zu betrachten und den in der Arbeit gegebenen Faktor weniger als Bedingung, sondern mehr als die Folge der Ernährung anzusehen. Dass das nicht richtig ist, dass wir es vielmehr mit gegenseitiger Bedingung zu thun haben, lässt sich aus dem bisherigen in folgender Weise ableiten.

Der Prozess der Ernährung oder Sättigung, welcher den müssigen oder arbeitsfähigen gesättigten Zustand herbeiführt, fällt nicht in den Zustand der Arbeit, sondern in den des Hungers und der Müdigkeit und beide, Hunger und Müdigkeit, werden nur durch die im folgenden Kapitel zu schildernden mechanischen und chemischen Vorgänge herbeigeführt, aus denen sich die Arbeit des Protoplasmas zusammensetzt.

Aus dem Gesagten ergibt sich mit Nothwendigkeit:

1) Dass die Arbeit durch Ruhepausen unterbrochen sein muss, wenn die Arbeitsfähigkeit nicht völlig verloren gehen soll, und dass dieselben lang genug sein müssen, um die Aufnahme des nöthigen Ersatzes für das während der Arbeit verloren gegangene Material zu ermöglichen.

2) Dass die Arbeit bis zum Eintritt stärkerer Müdigkeitsgrade fortgesetzt werden muss, um dem Stoffwechsel, der zur Erholung führen soll, die nöthige Energie zu geben.

Bei der praktischen Wichtigkeit der Sache sollen im folgenden zwei nach entgegengesetzten Seiten von der Mittelnorm abweichende Fälle in ihren Folgen besprochen werden.

§ 99.

Unter äusseren Bedingungen, welche in Rücksicht auf die Ernährung möglichst günstig sind, dagegen möglichst ungünstig in Bezug auf Kraftwechsel, also z. B. in dem Zustand, welchen wir bei unserem Mastvieh absichtlich herbeiführen, tritt allmählich eine Veränderung in der Zusammensetzung des Protoplasmas ein, die

wir als fettige Degeneration bezeichnen. Sie besteht in einer Zunahme des Fettgehaltes und entsprechender Abnahme des Gehaltes an Eiweiss. Da das Eiweiss der den Sauerstoff anziehende und aufspeichernde Theil des Protoplasmas ist, so ist mit der Abnahme des Eiweisses eine wesentliche Bedingung der Erregbarkeit vermindert. Da ferner das Fett in Form kleiner, regellos im Protoplasma zerstreuter Körper auftritt, so wird dasselbe zu einer Hemmung für den linear fortschreitenden Erregungsvorgang, wie dies aus dem folgenden klar werden wird, und das ist wieder eine Beeinträchtigung der Erregbarkeit. So wird in dem Masse, als die Fettaufspeicherung und Verarmung an Albuminaten zunimmt, die Erregbarkeit successive sinken, bis sie schliesslich ganz erlischt und damit das Leben überhaupt.

Eine weitere Veränderung betrifft die physikalische Qualität des Protoplasmas; da seine elastischen Cohäsionskräfte von den Eiweisskörpern abhängen, so vermindern sich seine elastischen Eigenschaften und seine Festigkeit, womit die mechanische Leistungsfähigkeit vermindert ist.

Die eben geschilderten, der Lebenserhaltung ungünstigen Veränderungen sind auch der Grund, warum wir das Schlachtvieh vor der Tötung mästen: seine Qualität als Nahrungsmittel wird nämlich chemisch und physikalisch verbessert.

Chemisch insofern: Da ein Universalnahrungsmittel nach § 60 eine Mischung von 1 Theil stickstoffhaltiger und 5 Theilen stickstoffloser Nährstoffe (Fett oder Kohlenhydrate) sein soll, so steht das fettig degenerirte gemästete Protoplasma einem Universalnahrungsmittel viel näher als das fast nur stickstoffhaltige Nährstoffe (Eiweiss) enthaltende Protoplasma eines Arbeitstieres.

Physikalisch insofern: Da mit dem Gehalt an Eiweiss auch die Festigkeit abnimmt, ist das brüchige Fleisch des gemästeten Thieres leichter als das zähe feste des Arbeitstieres zu verdauen.

Wir haben § 72 gehört, dass im gesättigten Zustand ein Porenverschluss des Protoplasmas besteht, der erst im Hungerzustand einer Oeffnung der Poren weicht. Darnach können wir uns die Veränderungen bei der Mästung etwa so erklären: Da in Folge des geringen Bewegungsmasses nur spärliche Mengen von Ermüdungsstoffen gebildet werden, so ist die Porenöffnung eine geringere, und dass dies gerade die Aufnahme der Eiweisskörper beeinträchtigen muss, ergibt sich daraus, dass sie unter allen Stoffen die geringste Diffusibilität haben. Während so der Nachschub von Eiweiss in das Protoplasma gehemmt ist, dauert im Organeiweiss eine langsame Zersetzung fort, die darin besteht, dass aus demselben Fett wird; während bei genügend starker Erregung

das aus dem Organismus durch Abspaltung entstehende Fett gewissermassen in statu nascenti sofort weiter oxydirt und zur Arbeitsleistung vorwendet wird, sammelt es sich bei der Mästungsruhe an. Daraus ergibt sich, dass der Mästungszustand auf die Dauer zum Ruin des Protoplasmas führen muss.

§ 100.

Das entgegengesetzte Missverhältniss zwischen Kraft- und Stoffwechsel, d. h. ein übermässig starker Kraftwechsel, führt gleichfalls zum Ruin des Protoplasma durch Uebermüdung, wenn demselben nicht eine in gleichem Masse verstärkte Stoffaufnahme das Gleichgewicht hält. Die wesentlichen Momente sind hierbei folgende:

Die der Arbeitsleistung zu Grunde liegende oxydative Zerstörung trifft in erster Linie die leichten oxydirbaren stickstofflosen Bestandtheile des Protoplasmas (Fette und Kohlenhydrate), allein so bald diese verbraucht sind, wird das Organeiwiss d. h. das aktive Gerüste des Protoplasmas und sein arbeitender Mechanismus angegriffen und successive zerstört. Allerdings tritt zunächst der regulirende Factor dazwischen, dass die hierbei entstehenden Ermüdungsstoffe den Mechanismus vor weiterer Zerstörung schützen, weil sie die Erregbarkeit aufheben, allein da sie als leicht diffundirbare Stoffe rascher ausgewaschen werden, als die schwer diffundirbaren den Ersatz bildenden Eiweisskörper nachdringen können, so muss es successive zur Zerstörung des Protoplasmas kommen, wenn der Kraftwechsel in dem Momente wieder aufgenommen wird, in welchem mit der Auswaschung der Ermüdungsstoffe und der ebenfalls rasch wieder erfolgenden Ladung des Protoplasmas mit Sauerstoff die Erregbarkeit wieder hergestellt ist. Das äussere Symptom dieser Zerstörung ist eine Volumabnahme (Consumption) und wahrscheinlich zuletzt eine Zerstörung des Mechanismus im Protoplasma mit definitiver Vernichtung der Erregbarkeit, worüber allerdings noch nähere Untersuchungen angestellt werden müssen.

Im Ganzen scheinen die Vorgänge dieselben zu bleiben, ob man dem Protoplasma die Nahrungszufuhr gänzlich abschneidet (es aushungert), oder ob man seinen Sollbestand durch übermässige Steigerung des Kräftewechsels in der oben angegebenen Weise schädigt.

§ 101.

Aus dem in den letzten drei Paragraphen Geschilderten ergibt sich nun, dass der Rhythmus von Kraft- und Stoffwechsel sich

auch zeitlich bedingen. Da die Höhe der Arbeitsleistung von der Masse des vorhandenen Kraft erzeugenden Materials abhängt, diese aber, gleiche Energie vorausgesetzt, von der Dauer des Aufnahmeporgangs, so müssen die zwischen den einzelnen Arbeitsperioden liegenden Ruhepausen eine bestimmte Dauer haben. Hierbei kommt ein regulirend wirkender Faktor in Betracht: War die der Pause vorausgehende Arbeit mit einem starken Stoffverbrauch verbunden, so hat sie auch grosse Ermüdung und Hunger erzeugt damit ist die Resorptionsfähigkeit des Protoplasmas gesteigert worden und das ist gleichbedeutend mit einer Abkürzung der zur Sättigung erforderlichen Zeitdauer. Umgekehrt: War die vorhergehende Arbeit gering, so wird zwar ein geringeres Mass von Nachschub nöthig sein, allein da Hunger und Ermüdung nicht den hohen Grad erreicht haben, so ist eben auch die Resorptionsfähigkeit des Protoplasmas geringer. Dieser regulirende Vorgang hat zur Folge, dass (natürlich innerhalb gewisser Grenzen) starke Arbeitsleistungen keine längeren Ruhepausen erfordern als schwache.

§ 102.

Ein langer und eigentlich noch nicht völlig entschiedener Streit betrifft die Rolle, welche die zwei wichtigsten Stoffgruppen des Protoplasmas, einerseits die stickstoffhaltigen (das Eiweiss), andererseits die stickstofflosen (die Kohlenhydrate und Fette) bei der Arbeitsleistung spielen. Zunächst steht jetzt fest, dass beide Stoffgruppen unentbehrlich zur Arbeitsleistung sind, dass einer jeden hierbei eine eigene Aufgabe zufällt, so dass sie im Verhältniss der Arbeitstheilung zu einander stehen, endlich dass eine gewisse, aber nur einseitige Vikarirung stattfindet. Das Nähere besteht in Folgendem:

Das Eiweiss und zwar derjenige Theil, den man Organeiwiss nennt bildet ohne allen Zweifel den eigentlichen arbeitenden Mechanismus, zum Unterschied von dem Cirkulationseiwiss, das in dem umspülenden Medium oder in der Quellungsflüssigkeit in Lösung sich befindet. Jedenfalls können wir uns nicht denken, dass der mechanische Theil der Protoplasmaarbeit, die sogenannte Zuckung, von etwas anderem ausgeht, als von dem Organeiwiss.

Die zweite Aufgabe des Eiweisses ist die Absorption und Aufspeicherung des Sauerstoffs, worüber wohl kein Zweifel mehr besteht.

Die bei der Arbeitsleistung nothwendig eintretende Zerstörung trifft offenbar zuerst die stickstofflosen Verbindungen, die leichter

oxydirbar sind, als Eiweiss und letzteres giebt hierbei seinen Sauerstoff an die zur Oxydation kommenden Stoffe ab. Das Ergebniss der Oxydation sind Verschiebungen in dem aus Eiweiss bestehenden Mechanismus, die mit einer gewissen, von den oxydirten stickstofflosen Verbindungen gelieferten Kraft erfolgen, wozu jedoch nur ein Theil der wirklich frei gewordenen Kraft verwendet wird, während ein anderer Theil in Form von molekularen freien Bewegungen (insbesondere Wärme) auftritt und zur Fortleitung gelangt.

Hierbei wird aber auch eine gewisse Portion Eiweiss mit zerstört, deren Grösse aber unter den gewöhnlichen Verhältnissen sich gleich bleibt, ohne Rücksicht darauf, ob viel oder wenig Arbeit geleistet worden ist.

Dieser Sachverhalt ändert sich aber offenbar unter zwei Umständen dahin, dass das Eiweiss in grösserem Umfang sich oxydativ an der Arbeitsleistung theilnimmt:

1) Wenn im Protoplasma der Vorrath an stickstofflosen Brennstoffen erschöpft wird, dann tritt Eiweisszersetzung vikarirend für die Zersetzung der Brennstoffe ein und leistet so beide Theile der Arbeit.

2) Wenn die Reizstärke sehr gross ist, so scheint auch bei noch vorhandenem Brennstoffmaterial die chemische Constitution des Eiweisses in grösserer Ausdehnung eine Erschütterung zu erfahren. Dieser Fall bedarf aber noch der Bestätigung, während der erste kaum mehr bezweifelt werden kann, wenn man die Veränderungen beim Hungerstoffwechsel und bei zu Tode gehetzten Thieren in Betracht zieht.

§ 103.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass die günstigsten Bedingungen für das Mass der Kraftleistung folgende sind:

1) Ein gewisses mittleres Verhältniss von Eiweiss und Brennstoffen. Mit der Abnahme der Brennstoffe und Zunahme des Eiweisses wird zwar die momentane Kraft der Arbeit steigen, allein auf Kosten der Dauer der Arbeit; es tritt bald Erschöpfung des Brennstoffvorrathes ein. Umgekehrt, bei Zunahme des Fettes über den günstigen Mittelbetrag hinaus, wird, wie das schon § 99 gesagt wurde, die Kraft der Arbeit abnehmen, ohne dass die Ausdauer gewinnt, weil das körnig vertheilte Fett eine Hemmung für den Erregungsvorgang bildet, mithin Verkürzung der mechanischen Leistung unter Auftreten von Reibungswärme.

2) Für die Ausdauer der Arbeit ist die günstigste Be-

dingung die, wenn in dem umgebenden Medium Brennstoffe genug bereit liegen um sofort den Ersatz zu liefern namentlich aber wenn dies Fette sind, weil diese einen höheren Brennwerth haben als die Kohlenhydrate. Damit stimmt die Thatsache, dass die Holzhauer im Gebirge in ihrer Nahrung grosse Mengen von Fett aufnehmen, geradezu Schmalz trinken, und dass die Gemsjäger das löslichste Kohlenhydrat, den Zucker, mitnehmen, um sich die nöthige Ausdauer zu sichern und sich möglichst schnell neue Kräfte zuzuführen. Die Aufnahme des Fettes erfordert aber eine stärkere Porenöffnung des Protoplasmas, also stärkere Ermüdungsgrade als die Aufnahme des leicht diffundirbaren Zuckers. Deshalb passt letzterer für leichtere, ersteres für schwere Arbeit besser.

§ 104.

Die im thierischen Protoplasma freiwerdenden Kräfte treten, gerade so wie in den unbelebten Körpern, in all den verschiedenen Formen zu Tage, die wir § 21 beschrieben haben: als Wärmebewegung: thierische Wärme, als elektrische Bewegung: thierische Elektrizität, als Lichtwellen: thierisches Licht, als Schallwellen thierische Geräusche und Töne, als Massebewegung: thierische Contraktivität.

Die allgemeinsten dieser Bewegungsformen sind die Wärme und elektrische Bewegung, die wohl keinem Protoplasma fehlen. Nicht so allgemein ist die Contraktivität. Dem undifferenzirten Protoplasma scheint sie ganz allgemein zuzukommen, während unter den differenzirten Protoplasmaarten die einen (wie das Muskelprotoplasma) sie in hohem Grad, andere (wie das Nervenprotoplasma) sie, soweit ersichtlich, gar nicht besitzen. Die Lichtbewegung kommt nur gewissen Protoplasmaarten bestimmter Thiere, die man deshalb Leuchtthiere nennt, zu. Die Schallbewegung entsteht bei vielen Thieren mittelbar aus dem Zusammenwirken kontraktiler und schwingungsfähiger Theile, ist also in diesem Fall eine sociologische Erscheinung. Ausserdem tritt sie auch direkt im Protoplasma selbst auf als Protoplasmageräusch, ist aber bis jetzt nur an dem stark kontraktilen Muskelprotoplasma (Muskelgeräusch) beobachtet worden.

Da die Erscheinungen des Kraftwechsels hiernach ziemlich komplizirt sind, so müssen wir sie in einige besondere Berachtungsreihen zerlegen.

6. Der Kraftwechsel des thierischen Protoplasmas.

b) Die Erregbarkeit, die Reize und der Erregungsvorgang im Allgemeinen.

§ 105.

Wie wir bereits § 97 erfuhren, ist das Charakteristische des Kraftwechsels ein rhythmisches Schwanken zwischen einem Zustand der Ruhe (bei welchem wir Müdigkeit und Müßigkeit unterschieden haben) und einem Zustand der Thätigkeit. Die Fähigkeit in den Zustand der Thätigkeit überzugehen, wird die Erregbarkeit genannt. Dieselbe ist am höchsten entwickelt in dem Zustande der Müßigkeit, nimmt während des Thätigkeitszustandes allmählig ab und ist im Müdigkeitszustand auf ihrem niedrigsten Niveau angekommen. Die molekularen Vorgänge, auf welchen die Thätigkeit beruht, werden die Erregungsvorgänge genannt und der Akt der Ueberführung des Protoplasmas aus dem müßigen in den thätigen oder erregten Zustand heisst Erregung. Die bewirkende Ursache der Erregung wird der Reiz genannt.

Im Folgenden betrachten wir zuerst die Erregbarkeit, dann die Reize, weiter die Erregungsvorgänge im Ganzen und endlich die einzelnen Bestandtheile des komplizirten Erregungsvorgangs.

§ 106.

Mass und Form der Erregbarkeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, bei einem und demselben Protoplasmastück eine wechselnde, je nach den drei Kraftwechselzuständen, so dass wir von verschiedenen Erregbarkeitsstadien sprechen können. Ausserdem werden wir später sehen, dass die Erregbarkeit auch eine verschiedene bei den verschiedenen Protoplasmaarten ist: spezifische Erregbarkeit der besonderen Protoplasmaarten, bei welcher es sich um zweierlei Momente, das qualitative und das quantitative, handelt. Die quantitativen Unterschiede der spezifischen Erregbarkeiten bezeichnet man als spezifische Erregbarkeitsstufen, die qualitativen als spezifische Erregbarkeitsformen.

Die Punkte, welche bei der Erregbarkeit in Betracht kommen sind folgende:

- 1) Die Zeit, welche zwischen der Einwirkung des Reizes und

dem Eintritt der Erregung verstreicht: Dauer der latenten Reizung.

2) Die Dauer des Erregungszustandes an der vom Reiz getroffenen Stelle des Protoplasmas: Erregungsdauer.

3) Die Geschwindigkeit, mit welcher der Erregungsvorgang von der getroffenen Stelle über zusammenhängende Protoplasmassen sich fortpflanzt: Erregungsleitung.

4) Die Höhe der minimalen Reizstärke, die eben noch hinreicht, eine Erregung hervorzubringen und die man den Schwellenwerth des Reizes nennt, ist ein Masstab für die Leichtigkeit der Erregung.

5) Die Ausgiebigkeit des Erregungsvorgangs bei einer und derselben Reizstärke: Erregungsstärke.

6) Die Länge der Zeit, während welcher das Protoplasma bei Fortdauer der Reizung seine Erregbarkeit bewahrt, ohne in den Zustand der Müdigkeit zu verfallen: Ermüdbarkeit.

§ 107.

Die allgemeinen chemischen Bedingungen der Erregbarkeit sind folgende:

1) Die Grösse und Ausgiebigkeit derselben steht in geradem Verhältniss zu der Menge des in dem Protoplasma vorhandenen d. h. locker gebundenen Sauerstoffs.

2) Je reicher (innerhalb gewisser Grenzen) das Protoplasma an Albuminaten ist und zwar an Organeiweiss, und je ärmer (natürlich wieder innerhalb gewisser Grenzen) an Wasser und Fett, desto erregbarer ist es. Wie bereits § 102 angegeben, hat dies seinen Grund darin, dass nach Hennebergs Untersuchungen die so wichtige Sauerstoffaufspeicherung vom Eiweiss ausgeht, sowie darin, dass offenbar die electromotorisch wirksamen Theile aus Albuminaten bestehen.

3) Die Rolle des Fettgehaltes bei der Erregbarkeit ist ebenfalls schon § 99 kurz präzisirt: Mit der Menge des verfügbaren Fettes nimmt die Ermüdbarkeit des Protoplasmas ab, allein die Einlagerung des Fettes in das Protoplasma setzt die Erregungsstärke offenbar herab und zwar um so mehr, je weniger fein es darin vertheilt ist (siehe auch später).

4) Die Erregbarkeit ist an einen bestimmten mittleren Wassergehalt gebunden; eine Aenderung desselben nach beiden Richtungen hin alterirt die Erregbarkeit sehr erheblich.

5) Die Erregbarkeit steht im umgekehrten Verhältniss zur Anwesenheit einer Gruppe von Stoffen, die man aus diesem Grunde

als Ermüdungsstoffe bezeichnet. Festgestellt ist diese Beziehung (hauptsächlich durch J. Ranke) für die Kohlensäure, die Milchsäure und das saure phosphorsaure Kali.

Ueber das Verhalten der übrigen Protoplasmastoffe zur Erregbarkeit ist noch wenig bekannt. Von den Kohlenhydraten weiss man, dass dieselben ein wichtiges Material für die Entbindung freier Kräfte sind, also eine ähnliche Rolle spielen wie das Fett. Von den rückgebildeten Stoffen und Auswurfstoffen besitzt man einige Anhaltspunkte dafür, dass sie als Ermüdungsstoffe wirken, d. h. dass sie die Erregbarkeit vermindern und schliesslich vernichten.

§ 108.

Ueber die allgemeinen physikalischen Bedingungen der Erregbarkeit ist folgendes bekannt:

1) Dieselbe ist an eine bestimmte Temperatur in der Weise gebunden, dass eine Abweichung von derselben sowohl nach abwärts als nach aufwärts die Erregbarkeit herabsetzt.

2) Die Erregbarkeit ist nach Qualität und Quantität abhängig von dem physikalischen Bau. Darauf beruht die grosse Verschiedenheit im funktionellen Verhalten der verschiedenen Protoplasmaarten, deren jede ihre spezifische Erregbarkeit besitzt. Wir werden im Folgenden Gelegenheit haben, hierauf näher einzugehen.

3) Die Erregbarkeit ist an einen bestimmten Aggregatzustand der Albuminate geknüpft, von denen gewisse im flüssigen, andere im festen Aggregatzustand sich befinden. Wenn die ersteren faserig gerinnen, so ist die Erregbarkeit vernichtet. (Siehe hierüber auch das was in § 34 über Starre gesagt wurde)

4) Die Erregbarkeit ist von bestimmten elektromotorischen Eigenschaften des Protoplasmas abhängig, welche in dem Kapitel von der thierischen Elektrizität näher geschildert werden sollen.

§ 109.

Die auslösenden Momente für den Kraftwechsel sind die sogenannten Reize, welche die Erregung veranlassen. Als Reize funktionieren alle Einwirkungen, welche eine plötzliche Störung des chemischen oder physikalischen Gleichgewichts im Protoplasma erzeugen und hierzu sind sowohl chemische als kinetische Einwirkungen befähigt.

Bei dieser Störung des Gleichgewichts handelt es sich a) um chemische Zersetzungen, namentlich Oxydationen; b) um Störungen

des Aggregatzustandes, also Gerinnung flüssiger Stoffe und Verflüssigung fester; c) um Störung des mechanischen Gleichgewichts durch Druck, Zerrung, Quellung oder Schrumpfung; d) um Störung des elektrischen Gleichgewichts, worüber näheres bei Schilderung der thierischen Elektrizität.

Aus der Thatsache, dass die Erregung die Störung einer Gleichgewichtslage ist und dass jede Störung einer solchen mit der Annahme einer neuen Gleichgewichtslage endet, die Ruhe ist, geht hervor, dass stetige, d. h. in ihrer Intensität sich gleichbleibende Einwirkungen nur im Moment ihres Auftreffens auf das Protoplasma erregend einwirken, diese Eigenschaft aber sofort verlieren, sobald die neue Gleichgewichtslage gefunden ist. Daraus folgt, dass die Erregung nur durch einzelne Stösse zu Stande kommt, welche gegen das labile chemisch-physikalische Gebäude des Protoplasmas geführt werden. Für die einzelnen Reize ergibt sich demnach folgendes:

Massenbewegungen wirken nur, insofern sie Stoss- oder Druckschwankungen sind. Von den molekularen Bewegungen wirken am nachhaltigsten die, welche aus Schwingungen bestehen, weil jeder Schwingung ein Stoss entspricht; dahin gehören die Schall-, Licht- und Wärmeschwingungen. Die elektrische Bewegung, welche keine Oscillation, sondern eine stetig fließende ist, wirkt nur bei ihrem Eintritt in das Protoplasma (Schliessungsreiz), bei ihrem Aufhören (Oeffnungsreiz) und dann, wenn und so oft der elektrische Strom Dichtigkeitschwankungen ausführt. Weiter ist für alle diese als Reiz wirkende Stösse erforderlich, dass sie mit einer gewissen Plötzlichkeit, d. h. ruckweise wirken; langsam erfolgende Zustandsveränderungen wirken nicht erregend.

Von den chemischen Reizen gilt dasselbe: Als Reize wirken nur solche, welche plötzliche Gleichgewichtsstörungen und zwar Störungen des chemischen Gleichgewichts, Störungen des Aggregatzustandes oder Störungen des mechanischen Gleichgewichtes hervorrufen. Dahin gehören vor allem Säuren, organische wie unorganische, viele Metallsalze, unter diesen besonders die Kalisalze, die Natronsalze erst in hoher Concentration, dann alle Stoffe, die dem Protoplasma rasch Wasser entziehen (z. B. Kochsalz in fester Form, Alkohol, heisse Körper etc.) oder rasch stärkere Quellung hervorrufen, wie destillirtes Wasser.

§ 110.

Ein weiterer Punkt ist das Verhalten des Protoplasmas gegen die quantitativen Verschiedenheiten der Reize.

Zuerst ist zu sagen, dass ein Reiz, um eine Erregung zu erzeugen, eine gewisse Stärke haben muss. Dieses Minimalmass bezeichnet man als den Schwellenwerth des Reizes, von der Vorstellung ausgehend, dass ein Reiz, wenn er Erregung hervorgerufen soll, in das Protoplasma eindringen, über die Schwelle desselben treten muss. Dieser Schwellenwerth richtet sich natürlich nicht bloß nach der Natur des Reizes, sondern nach dem Grad der Erregbarkeit des Protoplasmas: er muss bei geringer Erregbarkeit grösser sein als bei hoher.

Von dem Schwellenwerth angefangen steigt mit dem Zunehmen der Reizstärke die Stärke der Erregung bis zu einem Maximum, über das hinaus keine Steigerung der Erregung, sondern eine totale Zerstörung des Protoplasmas eintritt: Todeswerth des Reizes.

Innerhalb dieser Werthgrenzen ist jedoch noch ein Unterschied zu machen. Reizstärken des unteren Theils der Skala rufen bei dem hochdifferenzirten leitenden Protoplasma der Nerven *E m p f i n d u n g*, die Stärken des oberen Theils der Skala Schmerz hervor. Die Reizstärke, bei welcher die Empfindung in Schmerz übergeht, wird Schmerzwerth des Reizes genannt. Das Eintreten des Schmerzes fällt wohl mit dem Eintritt der Zerstörung des Organeiwisses zusammen. Nähere Untersuchungen hierüber fehlen noch.

§ 111.

Ueber die qualitativen Unterschiede der Reize ist folgendes zu sagen:

1) Es giebt allgemeine Reize, welche jedes Protoplasma erregen. Dahin gehören alle kinetischen Vorgänge, welche mit den molekularen Eigenbewegungen des Protoplasmas nicht synchron sind (siehe § 112) und alle chemischen Reize, welche den Aggregatzustand, Spannungszustand und das chemische Gleichgewicht der allgemeinen Protoplasmabestandtheile (Albuminate, Fette, Kohlenhydrate etc.) stören.

2) Es giebt spezifische Reize und zwar quantitativ und qualitativ spezifische Reize, d. h. Reize, welche nicht jedes Protoplasma reizen oder bei denen verschiedene Werthe nothwendig sind, um verschiedene Protoplasmaarten zu reizen. Das Verhalten des Protoplasmas in dem Punkt bildet einen Bestandtheil der schon § 106 angeführten spezifischen Erregbarkeit desselben. So giebt es spezifische Reize für Nervenprotoplasma, Muskelprotoplasma, Drüsenprotoplasma, Insektenprotoplasma, Wir-

belthierprotoplasma etc. etc. (Vgl. auch das § 60 über die verschiedenen Gifte gesagte). Unter den spezifischen Reizen spielen insbesondere die chemischen Reize eine Hauptrolle, so dass wir sagen können: Spezifische Reize sind solche, welche das chemische (und, wiewohl seltener, physikalische) Gleichgewicht der spezifischen Protoplasmabestandtheile, worunter wohl insbesondere die spezifischen Geschmacks- und Geruchsstoffe zu verstehen sind, stören.

Ueber die Qualität der spezifischen Reize, die der Hauptsache nach zu den chemischen gehören, ist folgendes zu bemerken:

Ein chemischer Stoff verhält sich entweder indifferent gegen das Protoplasma d. h. er erregt es nicht; oder er ist ein adäquater (angenehmer) Reiz, d. h. er ruft erst bei verhältnissmässig starker Concentration Schmerz oder Tod hervor; oder es ist ein inadäquater Reiz, entweder weil sein Todeswerth ein sehr niedriger ist (giftige Stoffe) oder weil sein Schmerzwerth ein sehr niedriger ist (widrige Stoffe).

Ob ein Stoff sich indifferent adäquat oder inadäquat verhält, hängt natürlich einmal von seiner eigenen Zusammensetzung ab und dann von der chemischen Struktur der bestimmten Protoplasmart d. h. ob dessen allgemeine oder spezifische Stoffe von ihm alterirt werden. Diese spezifische chemische Beschaffenheit des Protoplasmas wird sein chemischer Instinkt genannt.

§ 112.

Allen Reizen gegenüber besitzt das Protoplasma (freilich innerhalb gewisser Grenzen) die Fähigkeit der Gewöhnung. Mit der grossen Labilität seines Gleichgewichts ist nämlich eine hohe Fähigkeit, neue Gleichgewichtslagen anzunehmen, also mit solchen Einflüssen, die sonst das Gleichgewicht stören, sich ins Gleichgewicht zu setzen, verbunden. Dies hat natürlich zur Folge, dass die Erregung durch anhaltende, gleichmässig wirkende Reize zunächst an Stärke abnimmt und schliesslich ganz ausbleibt. Derartige Beobachtungen lassen sich an Gehör-, Gesicht- und Tastsinn machen: z. B. monotone Geräusche wirken schliesslich nicht mehr als Reiz, wohl aber ihr plötzliches Aufhören oder Stärkeschwankung. Das Gleiche gilt von einem lange Zeit gleichbleibenden Lichtreiz und von Tastreizen mit monotonem Rhythmus, z. B. dem Pulsschlag. Bei der geleiteten Wärme liegt die Gewöhnung klar zu Tage: sie besteht hier darin, dass das Protoplasma die gleiche Temperatur wie das Medium annimmt d. h. dass jetzt die Moleküle des Protoplasmas denselben Wärme-

bewegungsrhythmus annehmen, den die des umgebenden Mediums haben. Aehnlich haben wir uns dann wohl auch die Gewöhnung an Schallschwingungen, Lichtschwingungen etc., als Annahme eines synchronen Rhythmus seitens der molekularen Bewegungen des Protoplasmas zu denken. Wir müssen dann die Lehre von der Reizwirkung dahin ergänzen, dass wir sagen: Als Reize wirken rhythmisch schwankende kinetische Reize nur so lange, als ihr Rhythmus mit dem Rhythmus der Eigenbewegungen des Protoplasmas nicht synchron ist; die Synchronie tritt aber bei gleichbleibendem Reizrhythmus (innerhalb gewisser Grenzen) mit der Zeit ein, in Folge einer Fähigkeit des Protoplasmas, die wir Anpassungsfähigkeit oder Gewöhnungsfähigkeit nennen.

Dass es auch den chemischen Reizen gegenüber eine Anpassungsfähigkeit giebt, zeigen die Erfahrungen des Geruchs- und Geschmackssinnes: z. B. heftige Gerüche wirken schliesslich nicht mehr als Reiz, wenn sie lange Zeit in gleich bleibender Stärke einwirken oder sie verlieren wenigstens bedeutend an Reizungsfähigkeit.

Die Physiologen haben die Erscheinung der Gewöhnung, die im praktischen Leben eine so wichtige Rolle spielt, und für die wissenschaftliche Zoologie von grösstem Interesse ist, bisher theils gar nicht beachtet, theils für Wirkung der nachher zu besprechenden Ermüdung gehalten. Allein schon eine oberflächliche Erwägung lehrt, dass zwischen Ermüdung und Gewöhnung scharf unterschieden werden muss: die physikalische Gewöhnung ist ein Akt der Anpassung des Rhythmus und beruht sicher nicht auf Bildung von Ermüdungsstoffen. Die chemische Gewöhnung ist noch völlig dunkel.

§ 113.

Ein zweiter Anpassungsvorgang ist die Uebung. Bekanntlich bringt wiederholte und namentlich kräftige, von genügenden Erholungspausen unterbrochene und durch entsprechend reichliche Ernährung unterstützte Thätigkeit in dem Protoplasma eine Beschaffenheit zu Wege, welche sich als erhöhte Arbeitsfähigkeit äussert, d. h. bei gleicher Reizstärke fällt die Erregung nach Kraft, Ausdauer und Leitungsgeschwindigkeit stärker aus und es nimmt auch der Schwellenwerth des Reizes ab, kurz die Erregbarkeit ist in allen ihren Faktoren erhöht.

Diese Erscheinung ist Folge einer continuirlichen, durch die Thätigkeit selbst bewirkten chemischen und physikalischen Veränderung, die in folgendem zu bestehen scheint:

1) Die chemische Veränderung ist die entgegengesetzte von der in § 99 geschilderten: Zunahme des Gehaltes an Eiweiss und Abnahme an Fett und Wasser. Der wichtigste negative Faktor scheint hierbei die Entwässerung zu sein, da die Erscheinungen der Uebung um so rascher eintreten, je mehr die Umstände auf das Protoplasma entwässernd wirken. Der Akt der Entwässerung ist noch nicht aufgeklärt. Während der Arbeit nimmt zunächst, was über jeden Zweifel erhaben ist, der Wassergehalt zu, allein eben so sicher ist durch Analysen festgestellt, dass das geübte Protoplasma wasserärmer ist als ungeübtes. Mir scheint die Entwässerung darauf zu beruhen, dass die Vermehrung des Eiweissgehaltes eine kräftigere Contraction des Protoplasmas am Schluss der Erholung d. h. der Auswaschung der Ermüdungsstoffe zur Folge hat und hierdurch wird das Protoplasma stärker ausgepresst. Ob der Gehalt des Protoplasmas an Salzen durch die Uebung verändert wird, ist noch nicht untersucht, überhaupt der ganze praktisch und sicher auch hygienisch äusserst wichtige Prozess der Uebung noch nicht genügend studirt.

2) Die physikalischen Veränderungen bei der Uebung bestehen bei dem kontraktilen Protoplasma zunächst in einer Zunahme der Festigkeit d. h. der elastischen Kräfte: Geübter Muskel ist fester und deshalb belastungsfähiger, ob seine Hubhöhe also der Maximalwerth der Verkürzung zunimmt, ist nicht untersucht, aber wahrscheinlich.

Eine weitere Veränderung betrifft die hemmenden Theile des Protoplasmas, die mit der Struktur gegeben sind. Der Erregungsvorgang ist, wie wir später sehen werden, für die Hemmnisse ein zerstörender Akt und dann vollzieht er sich in linear fortschreitender Richtung. Eine genügend oft wiederholte Durchleitung des Erregungsvorgangs ist also wohl von ähnlicher Wirkung auf die Hemmnisse, wie das Befahrenwerden einer Strasse auf die daselbst das Hemmniss bildenden Beschlagsteine, 1) werden sie verkleinert 2) in lineare Lagerung gebracht, so dass zwischen ihnen Fahrgeleise entstehen, in denen die Hemmnisse auf das mindeste Mass reduziert sind. In der That zeigt uns das durch Kraft und Geschwindigkeit des Erregungsvorgangs so hoch ausgezeichnete Protoplasma des quergestreiften Muskels und des Nervenaxencylinders eine einer befahrenen Strasse ähnliche Struktur in den regelmässigen linearen Lagerungen der Protoplasmakörner. Wir werden später noch einmal auf die Sache zurückkommen.

§ 114.

Ein gleichfalls eingehender Untersuchung noch sehr bedürf-

tiger Anpassungsvorgang ist die bis jetzt nur an dem leitenden Protoplasma der Nervenfasern beobachtete, also wahrscheinlich für diese Differenzierungsstufe spezifische Fähigkeit, welche ich die Stimmungsfähigkeit des Protoplasmas nennen möchte. Sie äussert sich, soweit bis jetzt bekannt, in Folgendem: Wenn ein Nerv so gelagert ist, dass sein Ende, aussergewöhnliche Umstände abgerechnet, immer nur von einer einzigen Reizsorte getroffen werden kann, also z. B. nur von Lichtstrahlen, oder nur von Schallwellen, oder nur von Druckschwankungen, so bildet sich zwischen Reiz und dem Protoplasma ein eigenthümlicher Zustand der Adäquatheit aus, der bei den Specialsinnesnerven in Folgendem sich äussert: Wenn man z. B. künstlich den Sehnerven, der im Normalzustand nur von Lichtstrahlen getroffen wird, für den also diese der adäquate Reiz sind, mechanisch oder elektrisch reizt, so verändert sich dadurch die Qualität des Erregungsvorgangs, von der offenbar die Qualität der Empfindung unserer Centralorgane abhängig ist, nicht; es tritt gleichfalls Lichtempfindung ein.

Zu dieser Thatsache gesellt sich die zweite, dass das leitende Protoplasma der physikalischen Sinnesnerven, wie uns die Selbstbeobachtung lehrt, in seinen Erregungsvorgängen nicht bloß eine quantitative sondern auch eine qualitative Uebereinstimmung mit dem Reiz zeigt, denn anders kann die Thatsache nicht ausgedrückt werden, dass wir verschiedene Farben sehen und verschiedene Töne hören. Die wissenschaftliche Untersuchung dieser verschiedenen Reizsorten hat uns gelehrt, dass der Unterschied zwischen den Farben und den Tonhöhen nur in einer verschiedenen Länge der betreffenden molekularen Schwingungen, kurz in einer Verschiedenheit des Bewegungsrhythmus besteht.

Die schon früher angezogene Beobachtung Bernsteins, dass die Tonhöhe des Muskelgeräusches gleichen Schritt hält mit der Zahl der Reizstöße, die der Muskel empfängt, beweist, dass der Erregungsvorgang im Protoplasma einen Rhythmus annehmen kann, der mit dem Rhythmus des Reizes übereinstimmt. Daraus ergibt sich für die Ausbildung der in Frage stehenden Adäquatheit des Protoplasmas gegenüber von kinetischen Reizen folgende Anschauung:

Wenn ein Protoplasma nur von einem Reiz mit stets gleichbleibendem Rhythmus getroffen wird, so vollzieht sich in ihm ein Anpassungsvorgang. Dieser lässt sich offenbar nur mit der bei musikalischen Instrumenten bekannten Thatsache vergleichen, dass die resonirenden Theile allmählig die Fähigkeit

gewinnen, auf bestimmte Töne mit besonderer Leichtigkeit in gleichen Eigenschwingungen zu antworten. Sie werden durch Molekularveränderungen, welche die sie erregenden Töne allmählich hervorrufen, auf die betreffende Tonhöhe gestimmt, so dass ihnen jetzt ein Eigenton zukommt. Bei den aus Holz gefertigten resonirenden Theilen eines solchen Instrumentes können wir uns diesen Vorgang etwa so vorstellen, dass die einzelnen Holzfasern oder Holzfaserbündel gleichsam Saiten vorstellen, die, wenn sie stets von demselben Ton getroffen werden, allmählig die dem betreffenden Tone entsprechende Spannung annehmen, kurz sich in eine auf eine bestimmte Tonhöhe (oder einen entsprechenden Oberton derselben) gestimmte Saite verwandeln. Wir können uns dadurch auch vorstellen, warum gerade das Holz sich so sehr zur Verwendung als resonirender Bestandtheil eines Instrumentes eignet: weil es aus zahlreichen, durch weiche Theile getrennten einzelnen härteren Fasern besteht, die einzelnen Saiten gleichen; so kann es sich allmählig durch den Prozess des Ausspielens gewissermassen in ein Saiteninstrument mit adäquat gestimmten Saiten verwandeln.

Suchen wir uns nun aus dem vorigen eine Vorstellung von der Stimmung des Protoplasmas zu machen, so ist klar, dass hier von Stimmung durch verschiedene Spannung nicht gesprochen werden kann. Vielmehr werden wir hier an das Phänomen der Chladni'schen Klangfiguren denken müssen. Diese kommen bekanntlich so zu Stande: Bestreut man eine Glasplatte mit kleinsten Körperchen und lässt die Platte erklingen, so bleiben nur die Körperchen, welche auf den Schwingungsknoten liegen, ruhig, die anderen werden abgeschleudert.

Wie wir später sehen werden, ist das Protoplasma von feinsten Körperchen durchsetzt, die ein Hinderniss für den Erregungsvorgang bilden. Nehmen wir nun an, wozu uns die Ergebnisse an den Sinnesnerven zwingen, dass der Erregungsvorgang einen dem Reizrhythmus synchronen Schwingungsrhythmus hat, so werden wir bei dem Erregungsvorgang von Erregungsknoten analog den obigen Schwingungsknoten zu sprechen haben. Da die Erregung, wie wir später sehen werden, ein ihre Hindernisse vernichtender, beziehungsweise vermindender Vorgang ist, so gewinnen wir jetzt folgende Vorstellung von der Stimmung des Protoplasmas:

Letztere besteht darin, dass an den Erregungsknoten die Erregungshindernisse intakt bleiben, im Zwischenraum zwischen zwei Erregungsknoten vermindert werden. Dies hat zweierlei zur Folge: 1) Ein Reiz, dessen Rhythmus mit der Vertheilung der Erregungs-

hindernisse harmonirt, wird leicht geleitet und ist der adäquate Reiz; 2) ein Reiz dagegen, dessen Rhythmus mit der Vertheilung der Erregungshindernisse collidirt, also inadäquat ist, wird gar nicht mit seinem spezifischen Rhythmus weiter geleitet, sondern der durch ihn eingeleitete Erregungsvorgang nimmt den Rhythmus an, welcher der Vertheilung der Erregungshindernisse entspricht, ähnlich wie eine Saite, die auf einen Eigenton gestimmt ist, diesen ertönen lässt, man mag sie reizen wie man will. 3) Weiter ist dann begreiflich, dass ein solcher inadäquater Reiz auch sehr leicht den Charakter eines widrigen Reizes gewinnt, denn wenn er stark genug ist, um sich seine Wege zu bahnen, so müssen Collisionen entstehen, die stärkere Zerstörungen zur Folge haben, so dass der Reiz den Schmerzenswerth erreicht oder überschreitet, während bei dem adäquaten Reiz solche Collisionen gar nicht eintreten.

Da, wie wir später wahrscheinlich machen werden, die Hindernisse, um die es sich hierbei handelt, sichtbar sein werden, so geben vielleicht histologische Untersuchungen seiner Zeit näheren Aufschluss über die Richtigkeit dieser Theorie von der Stimmung des Protoplasmas.

§ 115.

Die Stimmungsfähigkeit des Protoplasmas ist offenbar auch die Basis der seelischen Funktionen desselben. Nehmen wir an, dass das Protoplasma der centralen Ganglienzellen eben so Stimmungsfähig ist, wie das der Nervenfasern und dass im Gehirn sociologische Einrichtungen bestehen, welche bewirken, dass ein Reiz von einem ganz bestimmten Rhythmus immer nur in eine und dieselbe Ganglienzelle oder Ganglienzellengruppe geleitet wird und alle Reize von anderartigem Rhythmus von der Zuleitung ausgeschlossen sind, so muss sich auch in ihr Adäquatheit für einen ganz bestimmten Reizrhythmus ausbilden. Dann werden Erregungen, die von anderer Seite z. B. auf den die Ganglienzellen unter einander verbindenden Bogenfasern anlangen, einen Erregungsvorgang auslösen, der 1) in seinem Rhythmus dem Reiz entspricht, der die Stimmung des Protoplasmas erzeugt hat, 2) sich leicht zentrifugal auf das Sinneswerkzeug in derjenigen Nervenfasern fortpflanzen wird, durch welche die Stimmung erfolgt ist.

Wir können uns so wenigstens einermassen eine mit den bekanntesten physikalischen Vorgängen übereinstimmende Vorstellung davon machen, auf welche Weise das Seelenorgan zu einem Abklatsch der auf dasselbe einwirkenden Reize wird. Auf der

Stimmungsfähigkeit der Ganglienzellen beruht das Gedächtniss, auf dem Rückläufigwerden der Erregung auf der zuleitenden Nervenfaser der Prozess der Vorstellung, die, wenn die Erregung bis in das betreffende Sinnesorgan ausläuft, zur Hallucination sich steigert, und die Association der Vorstellungen ist die Cirkulation einer Erregung auf den intermediären, die Ganglienzellen verbindenden Bogenfasern, welche in diesen den Erregungsrhythmus hervorruft, auf den sie gestimmt sind.

§ 116.

Wie schon früher in § 109 gesagt wurde, sind die Reize qualitativ sehr verschieden; es sind theils kinetische Vorgänge, theils chemische Einwirkungen und auf das Verhalten des Protoplasmas gegen diese verschiedenen Reizarten bezieht es sich, wenn wir von verschiedenen Sinnen des Protoplasmas sprechen. Die Fähigkeit von Lichtreizen erregt zu werden, nennen wir seinen Lichtsinn oder den Gesichtssinn, das Verhalten gegen Schallwellen den Gehörsinn, das gegen Wärmeschwingungen den Wärmesinn, das gegen Druckschwankungen den Tastsinn und das gegen chemische Einwirkungen den chemischen Sinn, wobei Geschmackssinn das Verhalten gegen gelöste Stoffe, Geruchssinn das gegen gasförmige bezeichnet.

Unter den physikalischen Sinnen ist wohl der Wärmesinn der allgemeinste und am wenigsten an gesonderte Einrichtungen gebunden. Die Erregung tritt hier ein, sobald die Wärme des umspülenden Mediums mit einer gewissen Geschwindigkeit und um einen gewissen Betrag von der Eigenwärme des Protoplasmas abweicht. Ueber die Grenzen der erlaubten Temperaturen ist schon früher gesprochen worden.

Lichtsinn ist in seiner Stärke sehr variabel und wird von verschiedenen Umständen beeinflusst. Im allgemeinen ist er um so stärker, je weniger durchsichtig d. h. lichtleitungsfähig das Protoplasma ist. Deshalb sehen wir überall, wo der Lichtsinn gesteigert ist, das Protoplasma durch Einlagerung von Pigmentkörnern undurchsichtig gemacht. Die Lichtwahrnehmung beruht also auf Lichthemmung oder, wie man sich auch ausdrückt, auf Lichtabsorption, wobei die Lichtbewegung in eine andere Molekularbewegung (Wärme und elektrische Bewegung) übergeht. Ferner scheint die Stärke des Lichtsinns und speciell der Farbensinn von der Fähigkeit des Protoplasmas zur Annahme eines so ungeheuer raschen Erregungsrhythmus wie der des Lichtes ist, abzuhängen. Bei grobkörnigem und grob-

gebautem Protoplasma werden wir deshalb wohl keinen speciellen Lichtsinn annehmen dürfen, sondern hier wirkt das Licht dann wohl nur insoweit als Reiz, als dasselbe sich bei der Absorption in Wärme umsetzt, so dass bei dem undifferenzirten Protoplasma Wärmesinn und Lichtsinn zusammenfallen dürften.

Ein ähnliches Verhältniss besteht wohl für Tastsinn und Gehörsinn. Erst wenn das Protoplasma Anlagerungen oder Einlagerungen von besonders schwingungsfähigen Festgebilden erhält, so steigt seine Empfindlichkeit für Schallwellen; bei dem undifferenzirten Protoplasma werden die Schallwellen eben wie Druckschwankungen wirken. Der Tonsinn, d. h. die Fähigkeit zur Unterscheidung von Tönen sowie der Farbensinn beruhen auf dem § 114 beschriebenen Anpassungsvorgang der Stimmung.

Von den zwei chemischen Sinnen ist wohl der Geschmacksinn, d. h. die Fähigkeit von chemischen Stoffen, die im umspülenden Medium gelöst sind, gereizt zu werden, der allgemeinste und elementare, der Geruchssinn dagegen das Ergebniss der Anpassung an andere äussere Bedingungen. Für die Erregbarkeit durch chemische Stoffe ist die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas offenbar entscheidender als der physikalische Bau.

§ 117.

Mit Bezug auf die allgemeine Wirkung der Reize ist zuerst die Thatsache sammt ihrer Consequenz zu besprechen, dass dieselbe in einer Verminderung bis Vernichtung der Erregbarkeit des Protoplasmas besteht. Dieser auf den ersten Blick sonderbare Sachverhalt findet seine einfache Erklärung, wenn man bedenkt, dass die Erregbarkeit eine Funktion des unveränderten Zustandes des Protoplasmas, d. h. desjenigen Zustandes ist, den ich als den der Müssigkeit bezeichnet habe, und dass die in der Erregung frei werdenden lebendigen Kräfte ihre Entstehung nur der oxydativen Zerstörung von Protoplasmabestandtheilen verdanken. Dieses wird also nothwendig durch die Erregung in einen zerstörten, also solchen Zustand versetzt, in welchem die Fähigkeiten des müssigen Zustande herabgemindert sind und diese sind eben die, welche wir mit dem Wort Erregbarkeit bezeichnen.

Suchen wir uns ein Bild von den bei der genannten Zerstörung stattfindenden molekularen Vorgängen zu machen, so müssen wir zuerst die Thatsache voraussenden, dass es nur auf die Reizstärke ankommt, ob ein Reiz die Erregbarkeit des Protoplasmas total vernichtet, d. h. dasselbe tödtet, oder nur ab-

schwächt. Der Unterschied zwischen den beiden Fällen besteht darin, dass im ersten Fall eine totale Zerstörung derjenigen physikalischen Konstruktion, auf der die Erregbarkeit beruht, stattfindet, im zweiten nur eine partielle. Das Partiellein der Zerstörung besteht nun wahrscheinlich in Folgendem:

1) Die Zerstörung ist qualitativ beschränkt, d. h. sie trifft nur eine gewisse Sorte von Protoplasmabestandtheilen und zwar diejenigen, welche leichter zerstörbar sind. Das sind, wie schon § 102 gesagt wurde, offenbar die stickstofflosen Bestandtheile (Fette und Kohlenhydrate). Dies geht aus der experimentell erhärteten Thatsache hervor, dass bei einer innerhalb gewisser Grenzen sich haltenden Steigerung der Reizung die Analyse der Auswurfstoffe ein Plus an stickstofflosen Verbindungen ergibt, während die stickstoffhaltigen Auswurfstoffe erst bei einer hohen Steigerung der Reizstärke, welche den Schmerzwerth überschreitet, auftreten (Vermehrung des Kreatingehaltes im Fleisch zu Tode gehetzter Thiere). Dass bei mässiger Reizstärke vorzugsweise die stickstofflosen Protoplasmabestandtheile zerstört werden, und erst bei hoher Reizstärke die Albuminate, geht auch daraus hervor, dass die in der Starre zum Ausdruck kommende Gerinnung der Albuminate erst eine Wirkung hoher Reizstärken ist.

2) Bei mässiger Reizstärke ist die Zerstörung der Protoplasmabestandtheile quantitativ beschränkt. Dies ergibt sich daraus, dass die Erregbarkeit durch den Reiz nicht auf einmal vernichtet wird, sondern auch ohne vorgängige Zufuhr neuer Stoffe der Erregungsvorgang eine grosse Reihe von Wiederholungen erfahren kann.

3) Bei mässiger Erregungsstärke ist die Zerstörung auch eine Frage des Umfangs und des Ortes. Die Thatsache, dass der Erregungsvorgang sich von der Einfallstelle des Reizes auf das ganze Protoplasmastück fortpflanzt, beweist, dass die Zerstörung nicht auf den Einfallsort beschränkt ist, d. h. dass sie sich über das ganze Protoplasmastück erstreckt. Auf der andern Seite aber weist die qualitative und quantitative Beschränkung der Zerstörung, die oben dargethan wurde, darauf hin, dass die Verbreitung der Zerstörung über das ganze Protoplasmastück keine absolut gleichmässige, sondern eine räumlich parzellirte ist, d. h. dass dieselbe sich auf einzelne in dem Protoplasmastück zerstreute Punkte, die ich Erregungsmittelpunkte nennen will, beschränkt. Welches diese sind, davon soll später, wenn von den Zuckungserscheinungen gesprochen wird, näher die Rede sein. Ich will hier andeuten, dass sie meiner Ansicht nach in optisch wahrnehmbaren Strukturelementen des Protoplasmas zu suchen sind.

Ein weiterer Faktor, um zum mechanischen Verständniss des Erregungsvorgangs zu kommen, ist folgender: Bei der Zerstörung handelt es sich um die Oxydation bestimmter Protoplasmabestandtheile, d. h. darum, dass die schwachen Affinitäten der betreffenden chemischen Elemente durch stärkere, namentlich durch die zum Sauerstoff, ersetzt werden. Dies setzt die Lösung des von den schwachen Affinitäten gebildeten Verbandes voraus, was nur durch eine Vermehrung der centrifugal wirkenden Bewegungen der betreffenden Atome, also durch Steigerung der § 25 geschilderten Dissociationsbewegungen, derselben möglich ist.

Setzen wir das in Zusammenhang mit dem, was oben über die Parzellirung des Erregungsvorgangs auf bestimmte Erregungsmittelpunkte gesagt wurde, so besteht der Erregungsvorgang darin, dass durch denselben an bestimmten Punkten des Protoplasmas die Dissociationsbewegungen der Atome des Kohlenstoffs und Wasserstoffs so gesteigert werden, dass der Sauerstoff seine stärkere Affinität geltend machen kann.

Halten wir das Gesagte mit dem zusammen, was § 112 über die Gewöhnung gesagt wurde, so kommen wir zu folgendem Ergebniss für das Wesen des Erregungsvorgangs:

Erregung tritt ein, wenn Bewegungen in das Protoplasma eindringen oder sonst wie in ihm erzeugt werden, welche mit seinen eigenen Molekularbewegungen nicht synchron sind. In diesem Fall entstehen in dem Protoplasma räumlich zerstreute Collisionsknoten, in welchen das Aufeinanderprallen zweier entgegengesetzten Molekularbewegungen Reibungswärme erzeugt. Diese nimmt die Form von Dissociationsbewegung an und wenn freier Sauerstoff vorhanden ist, so erfolgt in diesen Erregungsmittelpunkten oxydative Zerstörung der Protoplasmabestandtheile unter Entbindung derjenigen freien Kräfte, welche durch die Differenz der alten und neuen Affinitätsstärken ausgedrückt ist. Sobald sich aber eine Harmonie des Rhythmus der Eigenbewegungen des Protoplasmas und der Bewegungen des reizenden Faktors ausgebildet hat, wozu das Protoplasma die Fähigkeit besitzt, kommen keine Collisionsknoten mehr zu Stande und damit bleibt die in oxydativer Zerstörung bestehende Erregung aus.

§ 119.

Aus der Thatsache, dass die Erregbarkeit eine Eigenschaft des Protoplasmas ist, die durch den Vorgang der Erregung abgeschwächt oder ganz aufgehoben wird, ergibt sich mit Nothwendigkeit ein Kraftwechselrhythmus, wie es bereits § 97 kurz als der rhythmische Wechsel zwischen drei Zuständen, dem müssigen, thätigen, und ermüdeten geschildert wurde. Dem, was in jenem Paragraphen über diesen Rhythmus gesagt wurde, soll nun noch Folgendes hinzugefügt werden:

Die Ermüdung, also der Vorgang, durch welchen der thätige Zustand in den ermüdeten übergeht, ist ein allmählicher, d. h. er wird durch eine in kurzem Rhythmus sich wiederholende Reihenfolge von Erregungsakten hervorgebracht, mit deren Zahl die Tiefe der Ermüdung zunimmt.

Die Veränderungen, welche die Ermüdung herbeiführen, sind negativer und positiver Art. Die negative ist die Abnahme des verfügbaren Sauerstoffes und der verfügbaren Brennstoffe. Diese Seite wird aber von der positiven Veränderung übertroffen; die letztere bewirkt, dass die Müdigkeit ihre grösste Tiefe lange vor Verbrauch sämtlicher Brennstoffe erreicht und künstlich herbeigeführt werden kann, ohne dass der Brennstoffvorrath angegriffen wird. Dieser positive Theil besteht darin, dass die mit dem Erregungsvorgang verknüpften chemischen Zersetzungen Stoffe liefern, deren Anwesenheit die Ermüdung d. h. die allmähliche Abnahme der Erregbarkeit bedingt. (Vgl. § 107).

Die Vorgänge, welche das ermüdete Protoplasma in den müssigen Zustand zurückführen, und die wir als Erholung bezeichnen, bestehen gleich der Ermüdung ebenfalls aus einem positiven und einem negativen Theil, nur dass hier der negative oder die Entfernung der Ermüdungsstoffe überwiegt. Diese Entfernung ist theils ein chemischer, theils ein physikalischer Akt. Der physikalische ist die Auswaschung der Ermüdungsstoffe durch das umspülende Medium, was durch die mit der Ermüdung eintretende Oeffnung des Porenverschlusses erleichtert wird. Der chemische Akt beruht darauf, dass die wesentlichsten Ermüdungsstoffe Säuren und saure Salze sind, die ihre ermüdende Wirkung verlieren, sobald sie neutralisirt sind. Eine solche Neutralisirung findet statt, wenn alkalische reagierende Stoffe vorhanden sind. Solche sind, wie wir später sehen werden, 1) innerhalb des Protoplasmas, das im müssigen Zustand eine schwach alkalische Reaktion zeigt, vorhanden, so dass letzteres bis zu einem gewissen Grade aus eigenem Vorrath der Ermüdung entgegenwirkt. Ist jedoch der Vorrath von Alkales-

cenzen erschöpft, was sich darin zeigt, dass das Protoplasma im Ganzen eine saure Reaktion angenommen hat, so kann 2) die chemische Erholung von dem umspülenden Medium ausgehen, sofern dieses verfügbare Alkalien in Lösung enthält. Dies gilt von Blut und Lymphe, deren Alkalinität mithin eine sehr wesentliche Eigenschaft für die Erfüllung der diesen Flüssigkeiten obliegenden sociologischen Funktionen ist. Dieser Umstand ist auch der Grund, warum für freies Protoplasma eine leichte Alkaleszenz des umspülenden Mediums der Erhaltung der Erregbarkeit günstiger ist als das Gegentheil; dies lässt sich z. B. bei Flimmerzellen und Samenfäden sehr deutlich experimentell zeigen.

Die positive Seite der Erholung ist die Zufuhr der Stoffe, die während des Erregungsvorganges zerstört worden sind, wobei es sich um den Sauerstoff und die fixen Protoplasmabestandtheile handelt. Für die Aufnahme der letzteren unterliegt es nach den Versuchen über den Unterschied in der Quellungsfähigkeit zwischen müssigem und ermüdetem Protoplasma kaum einem Zweifel, dass diese am energischsten im ermüdeten Zustande stattfindet, während im müssigen Zustande die Resorptionskraft wenn nicht gleich Null, so doch bedeutend geschwächt ist. Auch in Bezug auf die Aufspeicherung des Sauerstoffs findet ein Intensitätsunterschied zwischen dem ermüdeten und dem müssigen Zustand statt, denn Voit und Pettenkofer fanden, dass die während des Schlafes stattfindende Sauerstoffaufspeicherung nach einem ermüdenden Arbeitstage stärker ist als nach einem Ruhetag.

§ 120.

Was die formalen Verhältnisse der Erregungsvorgänge betrifft, so haben wir zunächst zwischen den einzelnen Erregungsakten und der Cumulation von solchen zu unterscheiden.

Jedem Stoss, der gegen das labile Gebäude des Protoplasmas von einem Reiz geführt wird, entspricht ein Erregungsakt. Dieser folgt aber dem Stoss nicht sofort, sondern es liegt zwischen beiden Momenten, was schon mehrfach angedeutet, ein bei geringeren Erregbarkeitsgraden oft erheblich langer Zeitraum, den man die Dauer der latenten Reizung oder die Latenzdauer nennt. In diese Zeit fällt die Schwächung des natürlichen Zusammenhaltes im Protoplasmagebäude und der Erregungsakt ist gleichsam der durch diese Schwächung ermöglichte partielle Einsturz des Protoplasma-baus.

Der Erregungsakt selbst lässt sich mit einer Schwingung oder einer Welle vergleichen und experimentell als eine Curve

aufschreiben, die uns zeigt, dass der Akt aus zwei Theilen, einem ansteigenden und einem absteigenden Theil besteht, zwischen denen ein Maximum der Erregungsstärke liegt. Der ansteigende Theil ist kürzer als der absteigende.

Bei der Messung des Erregungsakts ist die Höhe der Curve das Mass für die Stärke der Erregung, die Länge der Curve das Mass für die Dauer des Erregungsaktes.

Ein weiterer Punkt ist, dass die Erregung an dem Einfallspunkt des Reizes auftritt und die Erregungswelle sich von hier aus mit einer für die verschiedenen Erregbarkeitsstufen verschiedenen Geschwindigkeit fortpflanzt: Geschwindigkeit der Erregungsleitung. Aus dieser Thatsache ergibt sich, dass nur die Erregung der vom Reiz direkt getroffenen Stelle eine direkte Wirkung des Reizes ist, für die Erregung aller folgenden Querschnitte aber besteht der Reiz in dem Erregungsakt des nächstvorhergehenden Querschnittes.

§ 121.

Die Stärke des Erregungsaktes nimmt einerseits zu mit der Stärke des Reizes und mit ihm steigt auch die Geschwindigkeit der Erregungsleitung. Andererseits ist die Stärke des Erregungsaktes auch ein Produkt der Masse des Protoplasma; je grösser die Masse, um so grösser der Gesamteffekt. Hierbei führt der Umstand, dass der Erregungsakt nicht in allen Querschnitten des Protoplasmas gleichzeitig erfolgt, sondern fortgeleitet wird, zu der Erscheinung des lawinenartigen Anschwellens der Erregung. Dieses ist jedoch nur bei der grossen Leitungsfähigkeit, wie sie dem Nervenprotoplasma zukommt, deutlich ausgesprochen und hier auch näher untersucht. Prüft man nämlich an einem langgestreckten Nerven, der an seinem einen Ende von einem Reiz erregt wird, die Stärke des Erregungsvorgangs auf verschiedenen Querschnitten zwischen beiden Enden, so ergibt sich eine stetige Zunahme desselben von dem gereizten Ende bis zum entgegengesetzten.

Wir müssen uns das wohl so vorstellen: Der Reiz repräsentirt eine von seiner Stärke abhängige Kraft, die mit dieser in das Protoplasma eintritt. Die Kräfte, die er dort entbindet, sind grösser als seine eigenen und diese übernehmen nun die Rolle des Reizes für die nächstanstossende Stelle, deren Erregung mithin um das stärker ausfällt, um was der primäre Reiz von der durch ihn ausgelösten Bewegung übertroffen wird. Dies wiederholt sich von Querschnitt zu Querschnitt, so dass in jedem neuen

Querschnitt zu der Erregungsstärke des vorhergehenden eine neue Summe freier Kraft sich addirt.

§ 122.

Eine weitere Erscheinung ergibt sich aus einer Cumulation einzelner Erregungsakte, wenn wiederholte Reizstöße erfolgen. Sobald die Intervallen zwischen den einzelnen Stößen so kurz werden, dass die Erregungswelle nicht mehr ablaufen kann, ehe ein neuer Reizstoss folgt, tritt eine Summirung der Erregungsstärken ein und je rascher die Reizfolge wird, um so mehr verwandeln sich die einzelnen Erregungsakte in einen dauernden Zustand, dem man den Namen Tetanus giebt. Derselbe ist nach aussen hin scheinbar ein Ruhezustand, dagegen ist er im Innern von gesteigerter Intensität aller mit dem Erregungsakt verbundenen molekularen Vorgänge begleitet. Den Beweis dafür liefern die im Tetanus gesteigerten chemischen Umsetzungen, die Anwesenheit der für den Erregungsakt charakteristischen physikalischen (elektrischen und elastischen) Veränderungen und, namentlich beim kontraktilen Protoplasma, die Dauer der mit dem Erregungsakt verbundenen Formveränderung, wovon bei Betrachtung der Contractilität und Elektrizität gesprochen werden soll.

§ 123.

Im § 106 wurde darauf hingewiesen, dass die Erregbarkeitsverhältnisse nicht bei allen verschiedenen Protoplasmaarten die gleichen seien, dass wir spezifische Erregbarkeitsformen und Erregbarkeitsstufen zu unterscheiden haben. Im folgenden sei eine Uebersicht über die wichtigsten dieser Erregungsformen gegeben mit dem Bemerken, dass wir auf die Sache noch einmal zurückkommen werden, wenn von dem wichtigsten, nämlich dem mechanischen Theil der Erregungsvorgänge, der sogenannten thierischen Contractilität, gesprochen werden wird.

Ferner ist noch vor auszuschicken, dass die Differenz in den spezifischen Erregbarkeitsformen sowohl mit chemischen als physikalischen Unterschieden im Bau des Protoplasmas zusammenhängt und dass wir im Stande sind, eine gewisse Skala von Erregbarkeitsstufen aufzustellen, die in Harmonie steht mit den morphologischen Differenzierungsstufen, welche das Protoplasma bei seiner ontogenetischen und phylogenetischen Differenzirung successive erreicht. Wir werden deshalb ein drittes Mal auf den Gegenstand zurückzukommen haben, wenn von den continuirlichen, d. h. nicht rhythmischen

Veränderungen zu reden ist, deren quantitativer Theil die Wachstums- und Theilungserscheinungen, deren qualitativer die Formungs- und Anpassungsvorgänge sind.

§ 124.

Als primäre Erregbarkeit bezeichne ich das Verhalten des sogenannten amöboiden Protoplasmas. Quantitativ ist sie dadurch charakterisirt, dass alle Vorgänge der Erregung mit äusserster Langsamkeit und geringer Stärke vor sich gehen: Lange Dauer der latenten Reizung, sehr langsamer Verlauf des Erregungsaktes, äusserst geringe Leitungsgeschwindigkeit für den Erregungsvorgang, geringe Kraftentfaltung, geringe Absonderung. Qualitativ charakterisirt sie das Vorhandensein von zweierlei Contraktionsformen, einer totalen, in allgemeiner Kugelung sich äussernden Contraction und partiellen, regellosen Contractionen welche zur Bildung wandelbarer Protoplasmafortsätze (Pseudopodien, Wurzelfüsse, Scheinfüsse etc.) führt, die bei totaler Contraction wieder eingezogen werden, so dass zwischen beiden Contraktionsformen ein Verhältniss der Ausschliessung besteht. Ferner ist dieser Stufe eigenthümlich, dass offenbar das Müsiggkeitsstadium fehlt: Wenn das Protoplasma nicht ermüdet ist, so ist es stets erregt, entweder total oder partiell.

Bei der primären Erregbarkeit können wir noch zwei Unterformen unterscheiden:

1) Die Erregbarkeit des undifferenzirten hochamöboiden Protoplasmas.

2) Die des Protoplasmas primärer oder nur in sehr geringem Grade differenzirter Zellen, die ich schwachamöboid nenne.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Formen ist jedoch nur ein gradweiser und dahin festzustellen: Bei dem hochamöboiden Protoplasma ist die Erregbarkeit entschieden geringer, die Erregungsvorgänge sowie die latente Reizung wickeln sich langsamer ab, als bei dem schwachamöboiden Protoplasma. Qualitativ besteht der Unterschied darin, dass bei dem schwachamöboiden Zellprotoplasma in der Excursionsweite der partiellen Contractionen, die entschieden geringer sind, ein hemmender Einfluss zur Erscheinung kommt, der offenbar von dem Zellkern ausgeht. Uebrigens ist zu bemerken, dass der genannte Unterschied nicht sehr durchgreifend ist. Man findet undifferenzirtes Protoplasma, dessen amöboide Erscheinungen schwach sind, und Zellprotoplasma, bei dem

sie sehr ausgiebig sind, allerdings nie so extrem, wie sie bei ersterem beobachtet werden können.

§ 125.

Als sekundäre Erregbarkeit bezeichne ich die, mit welcher das Phänomen der Flimmerung verbunden ist. Sie stimmt mit der vorhergehenden Stufe darin überein, dass neben der totalen, als Kugelungsbestreben sich äussernden Contraction der Zelle, die namentlich bei den freilebenden Wimperzellen (der Wimper- und Geißelinfusorien sowie der Samenfäden) gut entwickelt ist, ebenfalls, wie bei der primären Erregbarkeit, noch partielle Contractionen verbunden sind. Diese bestehen in rhythmischen Schwingungen stabiler d. h. nicht einziehbarer Protoplasmafortsätze. Damit fehlt auch hier das Müsiggkeitsstadium, denn die Flimmerung wird nur durch Ermüdung unterbrochen.

Was das quantitative Element dieser spezifischen Erregbarkeitsstufe betrifft, so weist die Beobachtung, dass die Dauer der latenten Reizung bei Flimmerzellen bis zu fünf Sekunden betragen kann und die Erregung den Reizungsmoment ziemlich lang überdauert, auf eine niedrigere Erregbarkeitsstufe oder auf einen langsamen Verlauf des allgemeinen Erregungsvorgangs hin sowie darauf, dass wir es hier mit einer Differenzirung der Erregbarkeit in zweierlei Erregbarkeiten, die der Flimmerhaare und die des Zellprotoplasmas zu thun haben. Die des letzteren scheint mit der des schwachamöboïden Protoplasmas übereinzustimmen, während die der Flimmerhaare weit höher ist. Ueber das Mechanische der Flimmerung soll in dem Abschnitt von der Contraktilität gesprochen werden.

§ 126.

Als tertiäre Erregbarkeit bezeichne ich die der Muskelzellen. Quantitativ unterscheidet sie sich von den zwei vorhergehenden Stufen durch entschieden lebhaftere Abwicklung der Vorgänge und Entfaltung grösserer mechanischer Kräfte, qualitativ durch das Fehlen der unmüssigen partiellen Contractionen; es kommt nur die Totalkontraktion vor. Uebrigens zerfällt diese Erregbarkeitsstufe in zwei ganz erheblich verschiedene Formen:

- 1) Die der sekundären (glatten) Muskelfasern.
- 2) Die der tertiären (quergestreiften) Muskelfäden.

Der qualitative Unterschied zwischen diesen beiden Formen der tertiären Erregbarkeit ist nicht sehr erheblich und ergibt sich daraus, dass die glatte Muskelfaser offenbar nur einen Erregungsmittelpunkt

hat, ihren Kern, während bei der tertiären viele Erregungsmittelpunkte vorhanden sind, worüber später ausführlicher. Um so beträchtlicher ist der quantitative Unterschied in Zeit und Kraft. Die quergestreifte Muskelfaser entfaltet viel bedeutendere mechanische Kräfte und die Erregungsvorgänge verlaufen viel rascher, als bei der glatten, die in diesem Punkt die sekundäre Erregungsform nicht sehr hoch übersteigt. Die Dauer der latenden Reizung ist bei der tertiären Muskelfaser nur 0,01 Sekunden, die Dauer der Erregungswelle 0,8 Sekunden, während diese Zeitmasse bei der glatten Faser mehr als hundertmal grösser sind.

§ 127.

Die quaternäre Erregbarkeit ist die der Nervenfasern. In quantitativer Beziehung ist sie durch die grosse Geschwindigkeit, welche hier der Erregungsvorgang erreicht, ausgezeichnet. Darüber, ob bei dem Nerv die Dauer der latenten Reizung kürzer ist als beim quergestreiften Muskel, wo sie 0,01 Sekunde beträgt, finde ich keine Angabe, dagegen ist die Erregungswelle der Nerven namentlich in ihrem absteigenden Theil kürzer als die des Muskels und die Geschwindigkeit der Erregungsleitung um mehr als das zehnfache grösser als beim Muskel. In qualitativer Hinsicht ist der Mangel der Contraktivität charakteristisch. Endlich sehen wir gerade bei dieser Erregbarkeitsstufe die § 114 beschriebene Stimmbarkeit am höchsten entwickelt.

§ 128.

Uebersichten wir noch einmal die in den vorigen Paragraphen geschilderten Erregbarkeitsformen, um ihr Verhältniss zu einander näher ins Auge zu fassen.

Zunächst finden wir einen Gegensatz zwischen den zwei ersten und den zwei letzten Formen. Die letzten kommen nur bei Protoplasma vor, das im Innern vielzelliger Organismen eingeschlossen ist, während das frei lebende Protoplasma nur die zwei ersten Erregbarkeitsformen besitzt, ohne dass dieselben jedoch auf das freilebende Protoplasma beschränkt wären.

Die zwei ersten Erregbarkeitsformen zeigen ausser allgemeiner Contraktion partielle unmüssige Contraktionen, die bei den zwei letzten fehlen, so dass bei diesen ein ausgesprochenes Müsstigkeitsstadium vorkommt. Die Entstehung der beiden letzteren ist offenbar, wovon später die Rede sein wird, Wirkung sociologischer Anpassung und es ist eine hübsche Analogie, dass nicht blos in

der Vergesellschaftung der Individuen, sondern auch in der der Zellen Müßiggang nur möglich ist und entsteht unter dem Schutze der Gesellschaft.

Ferner ist das genetische Verhältniss zu erwähnen: Der Ausgangspunkt für die Entwicklung aller ontogenetischer Anpassung entspringenden Erregbarkeitsformen ist die primäre Erregbarkeit und von deren beiden Formen ist die hochamöboide die anfängliche, die schwachamöboide die sekundäre. Die andern drei Formen stehen offenbar im Verhältniss der Ausschliessung, d. h. die primäre Erregbarkeit geht entweder über in die sekundäre oder in die tertiäre oder die in quaternäre, in Folge von Anpassungsvorgängen, die später geschildert werden sollen.

Ein anderer Gegensatz unter den verschiedenen Erregbarkeitsformen ist der zwischen der quaternären Erregbarkeit (der Nerven), bei der die Erregung ohne Contraktionserscheinungen verläuft, und der aller übrigen, bei denen die Erregung immer von mechanischen Verschiebungen d. h. Contraktilitätserscheinungen begleitet ist. Offenbar steht damit im Zusammenhang, dass das Nervenprotoplasma eine weit höhere Leitungsfähigkeit für den Erregungsvorgang hat als die leitungsfähigste aller kontraktilen Protoplasmaarten, die des quergestreiften Muskels. Ich möchte diesen Unterschied damit fixiren, dass ich mit Bezug auf das Verhalten zur Erregung das Nervenprotoplasma leitendes, das kontraktile Protoplasma hemmendes nenne. Auch auf diesen Punkt werden wir später noch einmal zurückkommen müssen, da er für die Theorie der Erregung sehr wichtig ist.

§ 129.

Im bisherigen ist die Erregung als ein einheitlicher Akt behandelt und sind ihre allgemeinen Bedingungen geschildert worden; nun handelt es sich aber bei der Erregung um complizirte Veränderungen chemischer und physikalischer Natur und um complizirte Effekte, die wieder theils chemisch, theils physikalisch sind.

Der chemische Effekt der Erregung ist die Bildung und Absonderung (Secretion) von sogenannten Auswurfstoffen, von denen wir gesehen haben, dass ein Theil (die Ermüdungstoffe) vor ihrer Absonderung die Erregbarkeit nachtheilig beeinflussen.

Der physikalische Effekt der Erregung ist ein noch weit komplizirterer, da es sich hierbei einestheils um die Veränderung der elektrischen und elastischen Eigenschaften, theils um die Entbindung von freien Bewegungen mechanischer und molekularer

Art handelt, die nur dann verstanden werden, wenn wir jede dieser Veränderungen einzeln besprechen, was in den folgenden Kapiteln geschehen soll. Hier wäre nur noch als allgemeiner Punkt voranzuschicken, dass der chemische (sekretorische) und physikalische (kinetische) Gesamteffekt, wie es aus dem vorigen Kapitel erhellt, immer in geradem Verhältniss zu einander stehen, dass aber in sociologischer Beziehung bald der eine bald der andere in den Vordergrund tritt, so dass man wohl von vorzugsweise sekretorischem und vorzugsweise kinetischen Protoplasma sprechen kann, worunter aber also durchaus nicht verstanden werden darf, dass die eine Sorte blos secernirt, die andere blos freie Bewegungen erzeugt.

10. Der Kraftwechsel des thierischen Protoplasmas.

c) Die thierische Electricität.

§ 130.

Nach allem, was wir jetzt wissen, ist der wichtigste Theil der Lebenserscheinungen das ganz eigenthümliche electricische Verhalten des Protoplasmas, weshalb auch das Studium der thierischen Electricität gegenwärtig den Brennpunkt der Bestrebungen der Experimentalphysiologen bildet. Bahnbrechend waren die Untersuchungen von E. du Bois-Reymond, an welche sich die von Helmholtz, Pflüger, J. Ranke, Bernstein, Donders etc. anschliessen. Das missliche für den in vorliegender Schrift eingeschlagenen Weg genetischer Darstellung ist, dass die Ausschlag gebenden Untersuchungen der genannten Forscher nicht am primären d. h. undifferenzirten Protoplasma, sondern gerade an denjenigen zwei Protoplasmaarten angestellt worden sind, welche die fortgeschrittenste ontogenetische Differenzirung erfahren haben: an Muskel und Nerv. Der Grund ist einfach der, dass das undifferenzirte Protoplasma technisch ein ungemein viel schwierigeres Untersuchungsobjekt ist und dass nur im Muskel- und namentlich im Nervenprotoplasma die elektrischen Erscheinungen durch Massenwirkung und durch eine besondere chemisch-physikalische Disposition jene Stärke gewinnen, welche sie unseren eben relativ noch sehr unvollkommenen Präzisionsinstrumenten zugänglich macht.

Wenn nun trotzdem hier, wo es sich nur um allgemeine, jedem Protoplasma zukommende Eigenschaften handelt, von dem elektrischen Verhalten gesprochen wird, so geschieht dies

deshalb, weil theils direkte Beobachtungen, theils Analogieschlüsse darüber keinen Zweifel lassen, dass die eigenthümlichen elektrischen Erscheinungen nicht Privilegien jener hochdifferenzirten Protoplasmaarten sondern Gemeingut alles lebendigen Protoplasmas sind. Einerseits hat man nämlich an einigen auf niederer Differenzirungstufe stehenden Protoplasmaarten, wie den Flimmerzellen und dem Drüsenzellenprotoplasma, ähnliche elektrische Vorgänge nachweisen können. Andererseits ist an Muskel und Nerv das vollständige Zusammenfallen der Veränderungen im elektrischen Verhalten mit den übrigen Erregungserscheinungen und zwar sowohl nach der Seite des Rhythmus als nach der Seite der Intensität so überzeugend für den causalen Zusammenhang, dass wir auch da, wo wir nur den der Beobachtung so leicht zugänglichen contractilen Theil der Erregungsvorgänge kennen, das Vorhandensein der elektrischen Veränderungen annehmen müssen. Wenn man es freilich versucht, aus den Ergebnissen der Untersuchungen über das Muskel- und Nervenprotoplasma das, was Eigenschaft jeder Protoplasmaart ist, von dem, was spezifische Eigenthümlichkeit der zwei hochdifferenzirten Protoplasmaarten ist, zu scheiden, so muss im Voraus auf die Möglichkeit eines Irrthums aufmerksam gemacht werden.

§ 131.

Die elektrischen Erscheinungen an Muskel und Nerv sind der Art, dass wir sie erklären können, wenn wir annehmen, das Protoplasma bestehe aus kleinsten elektromotorischen Theilchen, zwischen denen sich eine leitende Flüssigkeit befindet, oder anders gesagt, die in einer leitenden Flüssigkeit liegen (physikalische Theorie der thierischen Elektrizität von Du Bois-Reymond) oder sie enthalten kleinste feste Theile, die sich in einem elektrischen und deshalb elektromotorisch wirksamen Gegensatz gegen die Grundmasse, in der sie eingelagert sind, befinden, und dieser elektrische Gegensatz beruhe auf einer differenten chemischen Beschaffenheit, indem die festen Theilchen saure, die flüssigeren alkalische Reaktion besitzen, entsprechend der bekannten Thatsache, dass Säuren sich negativ elektrisch zu Alkalien verhalten, indem bei der Elektrolyse von Salzen die ersteren an der positiven Elektrode (Anode), die Alkalien an der negativen (der Kathode) austreten (chemische Theorie der thierischen Elektrizität von J. Ranke).

§ 132.

Zur physikalischen Theorie ist folgende Erläuterung zu geben:

Die elektromotorischen Elemente kann man sich wie ein cylindrisches Stück Zink (positivelektrisch) denken, das an beiden Enden eine Platte von (negativelektrischem) Kupfer trägt, so dass also der Querschnitt negativ elektrisch ist gegen die Peripherie oder, wie man sich ausdrückt, gegen den Längsschnitt (Fig. 1 A). Einen solchen Körper nennt man peripolar (d. h. die Peripherie ist polar gegen den Querschnitt) im Gegensatz zu einem dipolaren Körper, bei welchem ein polarer Gegensatz zwischen den beiden Enden oder den beiden Querschnitten besteht. Ein dipolarer Körper ist z. B. ein Zinkcylinder, der nur auf einer Seite eine Kupferplatte trägt. Begreiflicherweise kann man sich einen peripolaren Körper auch so denken, dass man zwei dipolare mit ihren gleichnamigen Seiten zusammenlegt, z. B. zwei Zinkcylinder, deren jeder nur an einer Seite eine Kupferplatte trägt, so dass sich Zink und Zink berühren (Fig. 1 B).

Liegt ein solcher peripolarer Körper in einer leitenden Flüssigkeit, so müssen in ihm fortwährend elektrische Ströme nach zwei entgegengesetzten Richtungen kreisen, so wie es nebenstehende Figur 1 A u. B zeigt, nämlich von dem positiven Zink ausserhalb durch die leitende Flüssigkeit beiderseits nach den negativen Kupferplatten, und von diesen innerhalb des Körpers zu dem Zink. Dass dem so ist, kann man mittelst eines stromprüfenden Apparates an einem künstlichen Modell aus Zink und Kupfer constatiren, indem man die beiden Elektroden an verschiedenen Punkten anlegt. Dabei zeigt sich, dass die Multiplikatornadel verschieden starke Ströme oder gar keine anzeigt, je nachdem die Berührungspunkte der Elektrode, gewechselt werden. Die wichtigsten Anordnungen der Berührungspunkte mit den Elektroden zeigt das in Fig. 2 gegebene Schema.

1) Wählt man die durch punktirte Linien dieser Figur verbundenen Punkte, so erhält man gar keinen Strom, weil in dem Multiplikatorkreis zwei gleich starke entgegengesetzte Ströme eintreten, die sich aufheben: unwirksame Anordnung.

2) Wählt man zwei der durch feine Linien in der Figur verbundenen Berührungspunkte, so erhält man einen Strom, aber derselbe ist schwach, weil in den Kreis zwei entgegengesetzte Ströme

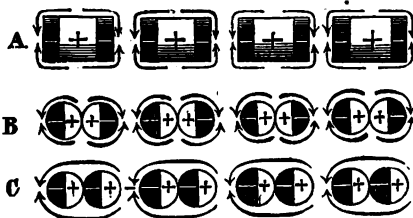


Fig. 1.

Schema des elektrischen Verhaltens des Protoplasmas: A. Reihe einfacher peripolarer Elemente; B. dipolare Elemente in paarweiser peripolarer Anordnung C. dipolare Elemente in dipolarer d. h. säulenartig polarisierter Anordnung.

eintreten, von denen nur der eine stärker ist als der andere; was auf die Magnetnadel des Stromprüfers wirkt, ist nur die Differenz zwischen den Stärken dieser beiden Ströme.

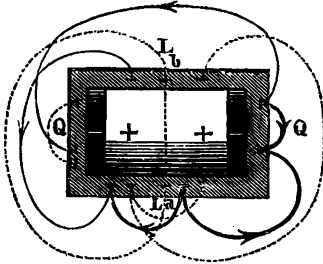


Fig. 2.

Ein peripolares Element in einem flüssigen Leiter. Die Bogen geben die verschiedenen Anlegungsweisen eines stromprüfenden Apparats: die punktirten Bogen sind die unwirksamen Anordnungen, die schwachlinigen Bogen die schwachwirksamen, die starklinigen die starkwirksamen Anordnungen. L Längsschnitt Q Querschnitt a b elektrischer Aequator.

3) Wählt man die durch starke Linien verbundenen Punkte, so zeigt der Stromprüfer starke Ströme an, da in diesem Fall nur ein einziger Strom in den Multiplikator tritt.

Damit ist bewiesen, dass ein solcher peripolarer Körper einen elektrischen Aequator (a b der Figur) besitzt, von welchem Ströme nach entgegengesetzten Richtungen abfließen, wie es bei der Fig. 1. A u B angenommen wurde.

Untersucht man nun einen lebendigen Muskel oder Nerv im müssigen Zustand mit dem Stromprüfer, so erhält man das ganz gleiche Ergebniss wie an dem Zinkkupfermodell; man findet den elektrischen Aequator und die entgegengesetzten Ströme und dieser Befund ergibt nicht blos der ganze Muskel und Nerv, sondern

jedes, selbst das kleinste noch untersuchbare Stück, so dass man zu der Annahme genöthigt ist, diese Gebilde seien nicht ein einziger peripolarer Körper, sondern seien aus einer Unzahl von kleinsten derartigen Elementen zusammengesetzt. Von seinen Entdeckern wurde dieses eigenthümliche elektrische Strömungsverhältniss „ruhender Nerven- und Muskelstrom“ genannt. Ich möchte ihn, da er seine grösste Intensität im Zustand der Müssigkeit hat, den Müssigkeitsstrom nennen.

Von der höchsten Wichtigkeit ist ferner die Thatsache, dass mit dem Schwund des Lebens auch dieses eigenthümliche elektrische Verhalten verschwindet und dass jede Lebensäusserung d. h. jeder Thätigkeitsvorgang von einer Veränderung des genannten Verhaltens begleitet ist.

§ 133.

Ueber die chemische Theorie J. Ranke's ist folgende nähere Erörterung zu geben:

Die Mikroskopiker benutzen längst das karminsaure Ammoniak zur Sichtbarmachung der feineren Struktur des Protoplasmas, in-

dem bei Behandlung hiermit gewisse feinste Theile desselben stark und dauerhaft gefärbt werden, andere gar nicht oder wenigstens nicht dauerhaft. Eine Färbung mit dem karminsäuren Ammoniak, die durch Wasser nicht wieder ausgewaschen werden kann, setzt, da das karminsäure Ammoniak in Wasser löslich ist, die Anwesenheit einer freien Säure voraus, welche das Ammoniak von der in Wasser unlöslichen Karminsäure trennt und letztere niederschlägt. Dies beweist nun, dass die sich färbenden Strukturelemente des Protoplasmas eine freie Säure enthalten, die sich nicht färbenden zunächst keine. Da aber das lebende Protoplasma im Ganzen eine alkalische Reaktion hat, so sind wir zur Annahme gezwungen, dass die sich nicht färbenden Theile die Träger der alkalischen Reaktion sind. Da Säuren und Alkalien zu einander im Verhältniss der elektromotorischen Spannung stehen (die Säure negativ, das Alkali positiv), so hätten wir uns vorzustellen, das Protoplasma sei aufgebaut aus peripolaren Elementen, in welchen die mit Karminsäure sich nicht färbenden alkalischen Strukturtheile die Rolle des positiven Zinks, die sich färbenden, also sauer reagirenden Theile die Rolle des negativen Kupfers spielen. Die Säuren, die in Betracht kommen können, sind die Kohlensäure, die Fleischmilchsäure und die Säure des sauren phosphorsauren Kali.

Beim Nerv ist der sich färbende, also saure Theil der Axencylinder, der sich nicht färbende, also alkalische Theil die Markscheide; beim Muskel färbt sich die flüssigere Grundsubstanz, ungefärbt bleiben die festeren Fleischprismen; in dem indifferenten Protoplasma färbt sich, wie im Muskel, die weichere Grundsubstanz, farblos bleiben die festeren Protoplasma Körner; in den Zellen besteht der gleiche Gegensatz in der Reaktion zwischen dem Zellkern und dem Zellprotoplasma, worüber später näheres.

Bestätigend für die Ranke'sche Theorie ist, dass das Absterben des Protoplasmas und das Aufhören des peripolar-elektrischen Verhaltens genau mit dem Uebergang der alkalischen Reaktion des Protoplasmas in die saure Hand in Hand gehen: indem jetzt auch die alkalisch reagirenden Strukturelemente sauer werden, ist der das elektrische Verhalten bedingende elektromotorische Gegensatz zwischen sauren und alkalischen Theilen verschwunden. An dem Protoplasma des Frosches kann man durch Tränkung mit den genannten, die saure Reaktion bedingenden Stoffen und Wiederauswaschen und Neutralisiren abwechselnd den peripolar-elektrischen Zustand verschwinden lassen und wieder herstellen, was J. Ranke bewiesen hat.

Die Ranke'sche Theorie schliesst begreiflich die physikalische

von Helmholtz nicht aus, sondern vervollständigt sie. Die von Helmholtz aus theoretischen Gründen angenommenen elektromotorischen Moleküle sind durch Ranke zu sichtbaren Strukturbestandtheilen des Protoplasmas geworden. Damit ist die Möglichkeit eröffnet, die Eigenthümlichkeiten des protoplasmatischen Kraftwechsel und die Modifikationen desselben, welche uns die verschiedenen Protoplasmasorten zeigen, in ursachlichen Zusammenhang mit der optisch wahrnehmbaren Struktur zu bringen, wozu ein Versuch im Verlauf dieser Schilderungen gemacht werden soll.

§. 134

Ausser dem in den vorhergehenden Paragraphen beschriebenen peripolar elektrischen Zustand kann das Protoplasma in rhythmischer Weise in einen zweiten Zustand elektrischen Verhaltens übergehen, welchen man als den dipolar elektrischen oder elektrotonischen bezeichnet. In der Weise, wie derselbe jetzt geschildert werden soll, hat man ihn allerdings nur am Nervenprotoplasma gefunden; allein der Umstand, dass alle Einwirkungen, welche im Nerven Elektrotonus erzeugen, in anderen Protoplasmaarten die Erscheinungen der Erregung hervorrufen, lassen schliessen, dass ein ähnlicher Zustand in allen Protoplasmaarten auftritt, wenn sie aus dem müssigen in den thätigen Zustand übergehen.

Auf künstliche Weise erzeugt man diesen Zustand am leichtesten, wenn man durch das Nervenstück einen constanten elektrischen Strom schickt. Den hierbei stattfindenden inneren molekularen Vorgang muss man sich ganz ähnlich vorstellen, wie den bei der Elektrolyse einer Flüssigkeit, z. B. der des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff mittelst des constanten Stroms, wobei der Wasserstoff an der negativen Elektrode (der Kathode), der Sauerstoff an der positiven (der Anode) sich abscheidet. Zur Erklärung dieses Zersetzungs Vorgangs nimmt man bekanntlich an, der constante Strom übe derart eine Richtkraft auf die Wassermoleküle aus, dass alle zwischen den beiden Polen befindlichen Moleküle eine bestimmte gleichartige Stellung, mit ihrer Wasserstoffseite gegen die negative Elektrode, mit ihrer Sauerstoffseite nach der positiven Anode einnehmen. Nennt man die Sauerstoffseite negativ und die Wasserstoffseite positiv, so wäre das Wassermolekül ein dipolarer Körper, ähnlich einem Zinkcylinder, der nur auf der einen Seite eine Kupferplatte trägt. Stehen solche dipolare Körper in einer Reihe, so dass sie alle ihre gleichnamigen Seiten nach der gleichen Richtung sehen, so nennt man eine solche Anordnung eine säulenartige Polarisation (Fig. 1 C).

In einem ganz ähnlichen Zustand befindet sich, wie die Prüfung der ableitbaren Ströme ergibt, das Protoplasma, wenn es von einem constanten elektrischen Strom durchflossen ist und dieser Zustand heisst Elektrotonus. Jedoch würde man sich die Sache viel zu einfach vorstellen, wenn man sich jetzt das Protoplasmastück als eine Voltaische Säule dächte, in welcher nach Verbindung ihrer beiden Enden durch einen Leiter ein einziger, von einem Ende zum anderen fortschreitender Strom sich bewegt, und annehmen wollte, dass von den entgegengesetzten Strömen des peripolaren Zustandes, die man kurzweg als Nervenstrom bezeichnet, im dipolaren Zustand nichts mehr vorhanden wäre; im Gegenteil: Man hat es jetzt mit zweierlei Strömungen im Protoplasma zu thun (Fig. 3), 1) dem ursprünglichen Nervenstrom, welcher aus zwei vom Aequator a b entgegengesetzt fliessenden Strömen 'N' und 'N' besteht, 2) dem neuen Elektrotonusstrom E, der nur in einer Richtung, von z zu y, läuft.

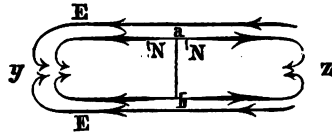


Fig. 3.

Schema des elektrischen Verhaltens der Nerven im Elektrotonus. a b elektrischer Aequator 'N' 'N' die vom Aequator nach entgegengesetzten Richtungen gehenden Theile des Nervenstroms. E, Elektrotonusstrom.

Hieraus ergibt sich, dass das Protoplasmastück nicht mehr in zwei gleiche nur umgekehrt durchflossene Stücke zerfällt, sondern in zwei ungleiche: In dem Stück vom Aequator bis y laufen beide Ströme in gleicher Richtung, in dem Stück vom Aequator a b bis z laufen sie entgegengesetzt. Man sagt jetzt, die erste Strecke befinde sich in der positiven Phase des Elektrotonus, die zweite Strecke in der negativen.

Soviel über das qualitative Verhalten des elektrotonischen Zustandes. Was das quantitative betrifft, so könnte man sich zunächst vorstellen die elektrischen Erscheinungen seien jetzt verstärkt, da man zweierlei Ströme im Protoplasma hat, allein dem ist nicht so. Hat man nämlich an das Protoplasmastück, so lange es im peripolaren Zustand sich befindet, die Elektroden eines Stromprüfers angelegt, so zeigt die Nadel im Multiplikatorkreis in dem Augenblick, in welchem das Protoplasma in den Elektrotonus übergeht, eine negative Schwankung, zum Beweis, dass die Gesamtstärke der beiden Ströme im Protoplasma geringer ist als die des müssigen Nervenstroms allein. Wir werden später sehen, dass dieser Abnahme der Stromstärke im Elektrotonus eine Kräfteumwandlung d. h. eine innere Arbeit entspricht.

§ 135.

Eine weitere Eigenthümlichkeit des elektrotonischen Zustandes ist, dass auch abgesehen von der verschiedenen Richtung der Ströme in den zwei Hälften des Protoplasmastückes, der elektromotorische Zustand des Protoplasmas an den beiden Berührungspunkten, an welchen der polarisirende, den Elektrotonusstrom erzeugende constante Strom einwirkt, nicht gleich ist.

An der negativen Elektrode des polarisirenden Stromes (der Kathode) wird die Erregbarkeit des Nerven, d. h. die Leichtigkeit, mit welcher er aus dem peripolaren Zustand in den elektrotonischen übergeht, erhöht und die Erregbarkeit nimmt nach Entfernung des polarisirenden Stromes zuerst ab (negative Modification), dann zu, bis er in eine positive Modification übergeht, die erst allmählich in den ursprünglichen Zustand abklingt. Diesen Zustand nennt man Katelectrotonus.

Umgekehrt: An der positiven Elektrode (der Anode) wird die Erregbarkeit vermindert und nach Beseitigung des polarisirenden Stromes steigt sie (positive Modifikation), um allmählich in den vorhergehenden Zustand zurückzukehren. Dieser Zustand heisst Anelectrotonus.

Diese beiden Zustände sind an dem von dem betreffenden Elektroden berührten Punkte am stärksten ausgebildet und ihre Stärke nimmt von hier aus nach beiden Richtungen hin, d. h. sowohl gegen die andere Elektrode hin (intrapolare Strecke), als auch, sofern man die Elektroden nicht an den Enden des Nerven, sondern auf beliebige Punkte des Verlaufs aufgesetzt hat, nach der entgegengesetzten Seite, also auf der extrapolaren Strecke allmählich ab.

Bezüglich der intrapolaren Strecke ist noch folgendes zu sagen: Da an der Anode die Erregbarkeit vermindert, an der Kathode erhöht ist, so muss auf ihr ein Punkt existiren, wo sie unverändert ist: Indifferenzpunkt. Dieser Punkt hat nun nicht in allen Fällen die gleiche Lage gegenüber den Berührungspunkten beider Elektroden: Bei schwachen Strömen liegt er näher an der Anode, d. h. die Strecke, auf welcher die Erregbarkeit erhöht ist (zwischen Kathode und Indifferenzpunkt) ist länger als die Strecke auf welcher er vermindert ist (zwischen Indifferenzpunkt und Anode), woraus sich ergibt, dass die Erregbarkeit der ganzen intrapolaren Strecke zusammengenommen erhöht ist. Bei starken Strömen liegt der Indifferenzpunkt der Kathode näher, jetzt ist die Strecke mit gesteigerter Erregungsfähigkeit kürzer als die mit vermindert, also ist die Erreg-

barkeit der gesamten intrapolaren Strecke vermindert. Natürlich bei mittelstarker, wobei der Indifferenzpunkt in der Mitte liegt, ist die Summe der Erregbarkeitsstärken gleich, also dieselbe im ganzen gleichgeblieben.

§ 136.

Für die Erklärung des Elektrotonus hatte man eine Zeitlang nur die physikalische Theorie von Helmholtz. Nach ihr bestehen die peripolaren Elemente des Protoplasmas aus zwei mit ihren gleichnamigen Polen verbundenen dipolaren Elementen (Fig. 1 B.) Der Elektrotonusstrom entsteht nach dieser Theorie, wenn die beiden dipolaren Elemente ihre Stellung zu einander im Sinne der säulenartigen Polarisierung verändern, d. h. dass sie sich nicht mehr die gleichnamigen, sondern die ungleichnamigen Seiten zuwenden (Fig. 1 C). Denken wir uns das eine der dipolaren Elemente feststehend, so müsste das zweite zum Zweck der säulenartigen Polarisierung sich 180° um seine eigene Axe schwenken und die verschiedene Stärke, in welche der Elektrotonus auftreten kann, wäre dadurch erklärt, dass diese Drehung des einen dipolaren Elementes nicht stets das Maximum (180°) erreicht.

J. Ranke hat nun nachgewiesen, dass der Elektrotonus auch mit chemischen Veränderungen verläuft und durch chemische Einwirkungen eben so gut hervorgerufen werden kann, wie durch den constanten Strom, dass es sich hier wieder um den elektromotorischen Gegensatz der negativen Säuren und der positiven Alkalien handelt und dass sich daraus alle Erscheinungen erklären.

Legt man die Elektroden eines polarisierenden Stromes an, so zeigt derselbe nach Beseitigung der Elektroden an der Anlagerungsstelle der Anode eine saure Reaktion, an der der Kathode eine verstärkte alkalische Reaktion.

Macht man eine kurze Strecke des Nerven oberflächlich sauer reagierend, so sinkt hier die Erregbarkeit gerade so, wie wenn man die Anode angelegt hätte: Anelektrotonus. Macht man eine kleine Strecke durch Kali oberflächlich alkalisch, so steigt die Erregbarkeit, als hätte man Kathode angelegt: Katelektrotonus.

Auch die negative Schwankung im abgeleiteten Strom erklärt sich, weil durch Versuche Ranke's festgestellt ist, dass Tränkung des Protoplasmas mit Säuren sowohl als mit Alkalien den Nervenstrom vermindert oder ganz aufhebt.

Endlich erklären sich hieraus die oben erwähnten positiven

und negativen Modifikationen der Erregbarkeit nach Entfernung der Elektroden des polarisirenden Stroms: So lange der Strom geschlossen ist, liegen die Produkte der Elektrolyse (Säure und Alkali) oberflächlich; nach Entfernung der Elektroden dringen sie in die Tiefe und rufen die Modifikationen hervor.

§ 137.

Die bisher an Muskel und Nerv angestellten Versuche haben nun ergeben, dass die rhythmisch auftretenden Thätigkeitsercheinungen des Protoplasmas, die sich als mechanische Bewegungen, Wärmebewegungen (Lichtbewegungen) und chemische Zersetzungen äussern, in dem Augenblick auftreten, in welchem das Protoplasma aus dem peripolar-elektrischen in den elektrotischen (oder einen ihm sehr ähnlichen) übergeht. Weiter haben sie ergeben, dass die Fähigkeit des Protoplasmas, diesen Wechsel des elektrischen Verhaltens vorzunehmen, in genauem Verhältniss zu seiner Erregbarkeit steht, und dass alle Reize, welche eine Erregung verursachen, auch diesen Wechsel des elektrischen Verhaltens hervorrufen. Demnach ist die Erregbarkeit offenbar nichts anderes als die Fähigkeit zu diesem Wechsel und das Wesentliche des Erregungsvorganges ist eben dieser Wechsel des elektrischen Verhaltens.

Dass dem so ist, lehrt am besten die Vergleichung von Muskel und Nerv. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass die Erregung sich im Nerven in gar nichts anderem äussert, als in der negativen Schwankung des Müssigkeitsstromes, während im Muskel derselbe von einer mechanischen Bewegung, der sogenannten Zuckung, begleitet ist. Die weitere Thatsache, dass die Erregung im Nerven, wo sie von keiner Zuckung begleitet ist, rascher geleitet wird als im Muskel, wo die Zuckung hinzukommt, beweist, dass die Zuckung das Ergebniss einer Hemmung des elektrischen Vorgangs ist, also die dabei entfalteten Effekte elektrodynamische sind. Wir werden auf diesen Umstand bei der Lehre von der Contraktilität zurückkommen. Hier handelt es sich nur darum, zu constatiren, dass das grundwesentlichste des Erregungsvorgangs, von dem die Erklärung aller Erregungsformen ausgehen muss, der Wechsel des elektrischen Verhaltens ist.

§ 138.

Um noch einige Eigenthümlichkeiten des elektrischen Ver-

haltens kennen zu lernen, muss noch auf folgende Erscheinung hingewiesen werden. Experimentirt man mit dem constanten elektrischen Strome an einem lebenden Nervenmuskelpräparat, d. h. an einem Nerven, der mit seinem Muskel noch in Verbindung steht oder einem Muskel nur anliegt, so überzeugt man sich, dass der Muskel nicht blos bei der Schliessung des constanten Stroms, sondern auch bei der Oeffnung desselben und ebenso bei jeder Dichtigkeitsschwankung des Stromes zuckt.

Durch Pflüger ist die Sache noch genauer dahin präzisirt worden: Erregung tritt ein, wenn in einer Nervenstrecke Katelektrotonus entsteht oder zunimmt, oder Anelektrotonus verschwindet oder abnimmt (Pflügers Zuckungsgesetz).

Aus dem Umstand, dass im Anelektrotonus die Erregbarkeit herabgemindert, im Katelektrotonus erhöht ist, was für letztere den Werth hat, dass er als stärkerer Reiz wirkt, d. h. letzterer ein stärkerer Reiz ist, als ersterer; aus dem weitem Umstand, dass zu geringe Reizstärken nicht mehr wirken und zu starke die Erregungsfähigkeit für einige Zeit vollständig vernichten und dass zweierlei Versuchsanordnungen an einem Nervenmuskelpräparat (absteigender, also in der Richtung gegen den Muskel fließender Strom, und aufsteigender) möglich sind, ergeben sich für den Eintritt der Zuckung resp. Erregung folgende Fälle: 1) Ist der Strom schwach, so entsteht nur bei der Schliessung eine Zuckung und zwar bei auf- und absteigendem Strom, d. h. es ist nur der blos bei der Schliessung wirkende Katelektrotonus noch im Stande eine Zuckung zu bewirken, der nur bei der Oeffnung wirksame Anelektrotonus dagegen ist hierzu zu schwach; 2) ist der Strom mittelstark, so entsteht bei beiden Stromesrichtungen Oeffnungs- und Schliessungszuckung; 3) ist der Strom stark, so entsteht beim aufsteigenden Strom nur Oeffnungszuckung, beim absteigenden nur Schliessungszuckung, weil an der Anode die Erregbarkeit so vermindert ist, dass die vom Katelektrotonus ausgehende Erregung nicht durchdringt.

§ 139.

J. Ranke stellt nun folgende Ansicht über den Zusammenhang der elektrischen Eigenschaften des Protoplasmas mit seiner Erregbarkeit auf (S. 677 seines Handbuchs).

Da beim Elektrotonus in der katelektrotonischen Strecke die Erregbarkeit erhöht und der ableitbare Strom vermindert, in der anelektrotonischen Strecke die Erregbarkeit vermindert und der Nervenstrom verstärkt ist, so stehen Erregbarkeit und

Stärke des Müssigkeitsstromes in umgekehrtem Verhältniss, d. h. der Müssigkeitsstrom, den wir im müssigen Muskel und Nerv kennen lernten, ist, wenn wir die Erregung als Bewegung auffassen, eine Bewegungshemmung. Soll also Erregung eintreten, so muss der Müssigkeitsstrom abgeschwächt werden. Daher erklärt sich jetzt die von v. Bezold und Bernstein gefundene Thatsache, dass die in der negativen Schwankung des stromprüfenden Apparates erkennbare Abschwächung des Müssigkeitsstroms nicht mit der Zuckung zusammenfällt, sondern ihr vorausgeht, d. h. in die schon früher besprochene Zeit der latenten Reizung fällt.

Weiter erklärt sich daraus die Thatsache, dass alle Einflüsse, welche den Müssigkeitsstrom in seiner Energie mindern, wie z. B. höherer Wassergehalt des Protoplasmas, umfänglichere saure Reaktion, kurz alle die Einflüsse, welche in ihrer Steigerung das Absterben des Protoplasmas zur Folge haben, oder anders gesagt, alle Einflüsse, welche die Lebensenergie des Protoplasmas schwächen, die Erregbarkeit steigern. Daraus erklärt sich z. B. die Thatsache, dass unmittelbar vor dem Absterben die Erregbarkeit gesteigert ist, dass sie bei kranken und geschwächten Personen gesteigert ist, so dass schon geringe Reize bei ihnen die heftigsten Krämpfe hervorrufen können. Diesen Gründen J. Ranke's möchte ich noch den weiteren Umstand hinzufügen, dass lebendiges Protoplasma die Elektrizität schlechter leitet als totes, ein Beweis, dass der dem lebendigen Protoplasma zukommende Müssigkeitsstrom die Bedeutung einer Hemmung hat.

Weiter ist noch hervorzuheben, der genannte Strom ist ein müssiger, d. h. keine Arbeit nach aussen vollbringender, weil er aus zwei entgegengesetzten, also gegenseitig sich aufhebenden Strömen besteht. Ihm gegenüber können wir den elektrischen Vorgang der Erregung einen Thätigkeitsstrom nennen, weil derselbe eine nach einer bestimmten Richtung fortschreitende molekulare Bewegung ist.

10. Der Kraftwechsel des thierischen Protoplasmas.

d) Die thierische Contraktilität.

§ 140.

Alles undifferenzierte Protoplasma und von den differenzierten Protoplasmaarten alle mit einziger Ausnahme des Nerven sind

im Stande, unter Einwirkung der Reize, mechanische Bewegungen auszuführen, eine Fähigkeit, welche man die thierische Contractilität nennt. Früher schrieb man diese Eigenschaft nur einer einzigen Protoplasmaart, dem Muskel zu, der allerdings diese Fähigkeit in ganz besonders hohem Masse nach Raum, Zeit und Lastbewegung besitzt, während man jetzt dieselbe als elementare Eigenschaft des Protoplasmas kennen gelernt hat, die z. B. dem Keimprotoplasma allgemein zukommt und auf dem Wege der Anpassung einerseits zu hoher Vollkommenheit (Muskel) entwickelt, andererseits (im Nerv) zu Gunsten einer schnelleren Leitung des elektrischen Bewegungsvorgangs verloren gehen kann.

§ 141.

Die Contractilitätserscheinungen sind mehrfacher Art:

1) Aeussern sie sich als Contour- und Durchmesseränderungen des ganzen Protoplasmastückes, und zwar so, dass gewisse Durchmesser sich vergrössern, während andere sich vermindern, wodurch natürlich die Conturen sich ändern.

2) Finden — wahrscheinlich überall — Volumsänderungen statt, die manchmal sehr erheblich sind und sich daraus ergeben, dass bei der Zusammenziehung unter Volumsabnahme Portionen der Quellungsflüssigkeit ausgepresst, bei der Erschlaffung unter Volumszunahme neue Mengen aus dem umspülenden Medium aufgenommen werden.

3) Sind die Contraktionserscheinungen mit Verschiebungen oder Formveränderungen der sichtbaren Strukturelemente des Protoplasmas verbunden. Bei den starkwasserhaltigen, dünnflüssigen, nicht oder wenig differenzirten Protoplasmaarten lehrt die sichtbare Lageveränderung der Protoplasmakörner, dass Strömungsvorgänge hierbei stattfinden, die man als Saftcirculation bezeichnet hat. Bei dem wasserärmeren kompakteren Protoplasma der quergestreiften Muskeln sieht man keine fortschreitende Bewegung der prismatischen Protoplasmakörner, sondern eine Formveränderung, die im Stadium der Erschlaffung wieder rückgängig wird.

4) Ist wenigstens für den quergestreiften Muskel nachgewiesen, dass die Contraction mit einer Abnahme der Elasticität verbunden ist: derselbe ist im contrahirten Zustand dehnbarer geworden.

§ 142.

Wie schon § 124—126 gesagt wurde, sind die Contraktionserschei-

nungen nicht bei allen Protoplasmaarten ganz gleich, sondern sie unterscheiden sich in quantitativer und qualitativer Hinsicht. In letzterer kann man von drei Hauptformen sprechen:

1) Die primäre Contractilität, weil dem undifferenzierten Protoplasma zukommend, ist die Form, welche die amöboide Bewegung erzeugt. Diese wird so genannt, weil man sie zuerst bei den Amöben (einzelligen Wasserthieren, siehe Bd. I Fig. 16 u. 17) studirt hat. In Bezug auf die Durchmesseränderungen unterscheidet sie sich von der tertiären dadurch, dass jeder beliebige Durchmesser, und mehrere zugleich, sich verändern können. Ein zweiter und zwar der auffälligste Unterschied ist, dass dieses Protoplasma zweierlei Contraktionszustände zeigt: einen allgemeinen und einen partiellen.

Bei absoluter Ruhe nimmt das amöboide Protoplasma ungefähr Kuchengestalt an, d. h. es verhält sich wie ein von der Schwerkraft abgeplatteter Tropfen einer zähflüssigen Substanz. Die allgemeine Contraction, wie sie durch stärkere Reize hervorgerufen wird, besteht in einem allseitigen Kuglungsbestreben unter mehr oder weniger deutlicher Volumsabnahme, das langsam auftritt, ziemlich lange anhält und langsam wieder verschwindet. Die partiellen Contractionen, als deren Veranlassung wir wohl schwache und deshalb nur gewisse Parthien treffende Reize ansehen müssen, äussern sich in dem Auftreten und Wiederverschwinden von beliebig vielen, nach Form und Grösse wechselnden Protoplasmafortsätzen, die man Pseudopodien, Scheinfüsse oder Wurzelfüsse nennt (siehe Bd. I Fig. 16 u. 17). Diese Erscheinung ist von den in Nr. 3 des vorigen Paragraphen genannten Strömungsvorgängen im Protoplasma begleitet und zwar in der Art, dass solche Strömungen in die Protoplasmafortsätze hineingehen, an deren Spitze umbiegen und wieder rückläufig werden, kurz dass es sich um Strömungskreise handelt, die schlingenartig in den Protoplasmafortsätzen hinlaufen. Man erklärt sich das Auftreten dieser Fortsätze durch partielle ringförmige Contractionen, wodurch die im Centrum des Ringes liegende Protoplasmapartie hügelartig emporgehoben und der Hügel durch eine, allmählich von der Basis zur Spitze fortschreitende Contraktionswelle zu einer grösseren Länge ausgepresst wird. Sobald ein stärkerer Reiz allgemeine Contraction veranlasst, werden alle Fortsätze wieder eingezogen.

Die primäre Contractilität ist an eine bestimmte Beschaffenheit des Protoplasmas gebunden, die man kurzweg amöboid nennen kann. Im einzelnen setzt sie sich zusammen 1) aus einem höheren Grad von Wassergehalt und daraus sich ergebender grö-

serer Duktilität 2) aus einer bestimmten Struktur, die in der Lagerung der sichtbaren Protoplasmakörner zum Ausdruck kommt: In allen amöboiden Protoplasma sind die Körner regellos zerstreut im Gegensatz zu der regelmässigen Anordnung in den Protoplasmaarten mit hochentwickelter Kontraktilität.

In quantitativer Beziehung ist das eigenthümliche der primären Kontraktilität 1) die grosse Latenzdauer der Reizung 2) die extreme Langsamkeit der Bewegungsvorgänge, die selbst bei starken Vergrösserungen noch nicht den Eindruck der Bewegung macht.

Die amöboide Befähigung des Protoplasmas ist einer bedeutenden Differenzirung fähig: Als hochamöboid bezeichnet man sie, wenn die Fortsätze sehr lang, fein und verästelt sich entwickeln können, als schwachamöboid, wenn dieselben kurz, stumpf und unverästelt sind. Eine der Ursachen dieses Unterschiedes scheint der Wassergehalt zu sein; hochamöboides Protoplasma ist offenbar wasserhaltiger als schwachamöboides, doch fehlen hierüber noch exakte Analysen. Ist diese Vermuthung richtig, so wäre die Hemmung der amöboiden Bewegung in der Strengflüssigkeit des Protoplasmas zu suchen. Ausserdem kommen noch folgende andere hemmende Momente in Betracht,

1) Schwachamöboides Protoplasma unterscheidet sich von hochamöboidem öfters durch bedeutendere Grösse und Zahl der Protoplasmakörner. Dies ist z. B. charakteristisch für das in der Regel schwachamöboide Eiprotoplasma, dessen Dotterkörner und Fettkugeln wir deshalb wohl als hemmendes Material betrachten dürfen und namentlich auch deshalb, weil wir sehen, dass die amöboiden Bewegungen in der an solchen Einlagerungen ärmeren Dotterrinde entschieden lebhafter sind. Es ist auch einleuchtend, dass die Verschiebung der Körner um so schwieriger werden muss, je grösser und je zahlreicher sie sind.

2) Wie schon § 124 angeführt wurde, müssen wir als eine weitere Hemmung für die amöboiden Bewegungen den Zellkern betrachten und zwar einfach deshalb, weil das Zellenprotoplasma die amöboiden Bewegungen nie in so excessivem Masse zeigt, wie das undifferenzierte Protoplasma. Der Einfluss des Zellkerns ist jedoch nicht bloss ein quantitativ beschränkender, sondern auch qualitativ bestimmender, indem er veranlasst, dass die Masseverschiebungen mehr in der Richtung des Radius erfolgen.

3) Zuletzt ist noch zu sagen: Wenn amöboides Protoplasma in starre Zellmembranen eingeschlossen ist, so kann sich die amöboide Kontraktion nicht in der Entwicklung von Wurzelfüssen

äussern, sondern nur als kreisende Massenverschiebung, die man Saftcirkulation nennt.

§ 142.

Als sekundäre Kontraktilitätsform bezeichne ich die Flimmerungscontraktilität, die sich an eigenartigen bleibenden d. h. nicht wie die Wurzelfüße und Höcker des amöboiden Protoplasmas wieder einziehbaren Protoplasmafortsätzen zeigt. Man unterscheidet zweierlei solcher Fortsätze, Geisseln (Flagellum), Flimmerhaare (Cilien), und spricht von Geisselbewegung und Flimmerbewegung. Als sekundär bezeichne ich diese Contraktionsform, weil sie ontogenetisch und phylogenetisch später auftritt als die amöboide Form. Sie fehlt dem gänzlich indifferentirten Protoplasma der niedersten Organismen, sowie dem Keimprotoplasma der Eier, das nur primäre Kontraktilität besitzt, sondern tritt erst bei dem, zu einer Zelle gewordenen (nucleogen differenzirten) Protoplasma auf, gehört also einer höheren Differenzierungsstufe des Protoplasmas an, welche ich die flagellogene und ciliogene Differenzierungsstufe nenne. Ueber die für diese Stufe charakteristische chemisch-physikalische Protoplasmabeschaffenheit liegen keine exakten Untersuchungen vor und ich muss mich auf die Andeutung beschränken, dass im allgemeinen der Wassergehalt dieser Differenzierungsstufe geringer, das Protoplasma also strengflüssiger zu sein scheint, als auf der amöboiden Differenzierungsstufe.

Was das Verhalten von flagellogener und ciliogener Differenzierungsstufe betrifft, so möchte ich aus comparativen Erwägungen die erstere für die niedrigere Stufe halten.

Mit der amöboiden Bewegung hat die Geissel- und Flimmerbewegung das gemein, dass sie eine elementare, d. h. von sociologischen Einflüssen unabhängige Bewegungsform des Protoplasmas ist. Man trifft sie deshalb bei solitärlebenden Zellen so gut, wie bei solchen, die in geselligem Verband leben und bei den letztern dauert sie auch nach der Loslösung aus der Gemeinschaft der übrigen Zellen noch ziemlich lange fort, insofern die allgemeinen Lebensbedingungen für das Protoplasma noch vorhanden sind. Auffallend verschieden ist dagegen die Geissel- und Flimmerbewegung dadurch von der amöboiden, dass sie ausserordentlich viel rascher, bei den Cilien meist so rasch ist, dass man deren Conturen nicht festhalten kann. Eine weitere Uebereinstimmung dieser Kontraktilitätsform mit der amöboiden ist, dass man ebenfalls zwischen einer allgemeinen anhaltenden Contraction

und den partiellen rhythmischen Kontraktionen der Fortsätze zu unterscheiden hat. Die allgemeine anhaltende Kontraktion ist aber hier auf die Hauptmasse des Protoplasmas beschränkt und pflanzt sich auf die Flimmerhaare wohl nur in der Weise fort, dass sie den Rhythmus derselben beeinflusst.

Die Bewegung der langen Geisseln, deren an einer Zelle meist nur eine einzige, selten einige wenige vorkommen, ist schlängelnd peitschenartig und erfolgt, ohne dass dabei das Protoplaststück, an welchem die Geissel sitzt, eigene Formveränderungen oder Verschiebungen seiner Strukturtheile zeigen würde. Ferner ist Thatsache, dass die Bewegung der Geissel auch noch erfolgen kann, wenn dieselbe von der Zelle, an der sie sass, abgetrennt ist, ein Beweis, dass die Bewegung eine aktive und keine passive ist. Bei den Geisselzellen der Spongien hat Häckel ein Einziehen der Wimpergeisseln und amöboide Bewegungen der Zelle selbst beobachtet, so dass dieses Protoplasma eine Zwischenstufe zwischen amöboidem und flagellogem Protoplasma wäre.

Die Flimmerhaare sind im allgemeinen viel kürzer als die Geisseln und ihre Bewegungen bestehen in abwechselndem Niederbiegen gegen die Haftfläche und wieder Aufrichten, Schwingungen, die ungefähr 12 mal in der Sekunde erfolgen. Als Ursache nimmt man einseitige Kontraktionen an, die nach Engelmann mit einer Geschwindigkeit von 0,24 Mm. in der Sekunde über das Haar hinlaufen, und von rascher Erschlaffung gefolgt sind. Die Erschlaffungsdauer ist übrigens wie das auch bei andern Kontraktilitätsformen der Fall ist, grösser als die Dauer der Kontraktion. Starke Reize sistiren diese Schwingungen, indem sie allgemeine anhaltende Kontraktion herbeiführen, schwächere Reize verstärken die Lebhaftigkeit der Flimmerung, wobei aber eine ziemlich lange, bis zu 5 Sekunden gehende Latenzdauer beobachtet wird. Im übrigen dauert die Flimmerung automatisch fort, sofern sie nicht, was bei manchen Thieren beobachtet worden ist, dem regulirenden Einfluss von hemmenden Nervenerregungen unterworfen ist.

Eine eigenthümliche, nur bei niederen Thieren beobachtete Modifikation des Flimmerphänomens sind die Flimmerblättchen oder undulirenden Membranen. Man stellt sich ihre Bewegung am besten vor, wenn man annimmt, dass sie durch seitliche Verlöthung einer Reihe von Flimmerhaaren entstanden sind, welche sich nicht gleichzeitig bewegen, sondern eins nach dem andern, so dass eine Beugungswelle von einem Ende der Membran bis zur andern hinläuft.

§ 143.

Die tertiäre Kontraktilität, welche ich die Zuckungs-kontraktilität nennen möchte und die wir bei den Muskelzellen finden, unterscheidet sich von den zwei niedrigeren Formen in folgender Weise:

1) Die Bewegungsrichtung ist polarisirt, d. h. bei der Kontraktion verkürzt sich stets nur ein bestimmter Durchmesser, und zwar der Längsdurchmesser der Zelle, während die andern sich vergrössern.

2) Die Kontraktion ist (fast) immer eine totale wie bei dem Tetanus des amöboiden Protoplasmas. Partielle Kontraktionen, wie sie für die amöboide und flimmernde Bewegung charakteristisch sind, kommen hier nicht vor; man hat nur insofern partielle, aber dann nicht rhythmisch unterbrochene (idiomusculäre) Kontraktion beobachtet, wenn durch stärkere Ermüdungsgrade die Reizung auf die direkt getroffene Stelle sich beschränkt, weil sie an der Fortleitung gehemmt wird. Unter normalen Verhältnissen pflanzt sich die Kontraktion stets über das ganze Protoplaststück fort, ein allseitiges Kuglungsbestreben derselben hervorruhend, worauf nach einiger Zeit, jedoch nur unter Einwirkung von dehnenden Einflüssen, die allerdings nur sehr schwach zu sein brauchen, eine Wiederausdehnung des Längsdurchmessers erfolgt. Wir nennen diese Art von Bewegung eine Zuckung.

3) Mit dem Wegfall der partiellen rhythmischen Kontraktionen fällt auch das automatische unmüssige Element fort: Das Muskelprotoplasma bewegt sich nur auf einen bestimmten Reiz und geht ohne diesen müssig. Unter normalen Verhältnissen ist der Reiz nur sociologischer Natur, wie denn überhaupt die Zuckungskontraktilität nur bei social lebendem Protoplasma vorkommt, also ein Produkt ontogenetischer Anpassung ist, wovon später.

§ 144.

Die Zuckung ist an gewisse Zeitverhältnisse gebunden und erfolgt mit einer gewissen nicht unbedeutenden Kraft. Die Befähigung hierzu ist die Zuckungsfähigkeit. Von ihr giebt es zwei quantitativ verschiedene Grade.

Die primäre Zuckungsfähigkeit ist die der sogenannten glatten odeer sekundären Muskelzellen (siehe Bd. I. § 45), die sekundäre Form zeigt uns die quergestreifte Muskelfaser. Der Unterschied ist folgender: Die Dauer der latenten Reizung beträgt bei der sekundären Zuckungsfähigkeit nur etwa 0,01 Sekunde, bei der primären ist sie mehr als das hundertfache davon. Dieser Unterschied in der Schnelligkeit erstreckt sich

auch auf den Verlauf der Zuckung selbst: Während beim quergestreiften Muskel die Zuckung in etwa 0,8 Sekunden abgelaufen ist, braucht sie bei der glatten um ein vielfaches mehr. Qualitativ zeigt übrigens die Zuckung bei beiden Muskelarten dasselbe Verhalten: Die Verkürzung erreicht in einer bestimmten Zeit ein Maximum und darnach dehnt sich das Protoplasma beträchtlich langsamer wieder auf seine ursprüngliche Länge. Die beiden Zeitabschnitte der Zusammenziehung und Erschlaffung verhalten sich ungefähr wie 7 : 31.

Der Ablauf der Zuckung wird durch Kälte und Ermüdung verlangsamt, durch den Prozess der Uebung sonder Zweifel beschleunigt, worüber jedoch noch genaue Untersuchungen anzustellen sind.

Wenn, wie das die Regel, der Zuckungsreiz eine bestimmte Stelle des Muskelfadens getroffen hat, so schreitet die Formveränderung, auf welcher die Zuckung beruht mit einer bestimmten Geschwindigkeit, einer Welle gleich, über den Faden hin (Zuckungswelle). Beim quergestreiften Muskel hat man für sie eine Sekundengeschwindigkeit von 1—3 Meter gefunden und konstatiert, dass die Einflüsse, welche den Ablauf der Zuckung verlangsamen, auch die fortschreitende Bewegung derselben hemmen. Bei primärer Zuckungsfähigkeit ist ein solches Fortschreiten nicht beobachtet.

§ 145.

Es ist begreiflich, dass die mit der Zuckung gegebene Verkürzung des Protoplasmastückes eine mechanische Arbeit leisten wird, sobald die beiden Enden des sich verkürzenden Durchmessers so fixirt sind, dass die Verkürzung nur nach Ueberwindung eines Widerstandes eintreten kann. Denkt man sich diesen Widerstand als ein an den senkrecht aufgehängten Muskelfaden befestigtes Gewicht, so setzt sich die Arbeit aus der Hubhöhe und der Grösse des gehobenen Gewichtes zusammen. Die Hubhöhe ist von zwei Faktoren abhängig: 1) Von der prozentisch auszudrückenden Verkürzung des Muskelfadens: Diese kann alle möglichen Grade annehmen bis zu einem Maximum, das man bis jetzt bei sekundärer Zuckungsfähigkeit = 65—85% der Länge des ruhenden Muskels gefunden hat; innerhalb dieser Grenzen hängt der Verkürzungsgrad von der Stärke des Reizes ab. 2) Von der Länge des Muskelfadens: Je länger derselbe, desto höher kann der Hub erfolgen. 3) Von seiner Elastizität, über die sogleich näheres gesagt werden soll.

Der zweite Faktor der Arbeit, die Grösse des gehobenen Ge-

wichtiges, ist abhängig 1) vom Querschnitt: je grösser dieser, desto hubfähiger ist der Muskel, 2) von der Grösse seiner Elastizität, d. h. je dehnbarer der Muskel ist, desto geringer die Last, die er zu heben vermag (und um so geringer die Hubhöhe.)

§ 146.

Die elastischen Eigenschaften des Muskelprotoplasmas sind von grösstem Einfluss auf das Mass der Arbeitsleistung. Die Muskelfäden haben eine sehr vollkommene Elastizität, d. h. sie ziehen sich nach Dehnung vollständig wieder auf ihre natürliche Länge zusammen. Ihre Elastizität ist aber sehr gering, d. h. sie sind sehr dehnbar. Die Dehnung erfolgt durch Belastung nicht gleichmässig: Je stärker die Dehnung bereits eingetreten ist, desto grösseren Widerstand leistet der Muskel einer weiteren Dehnung bis zu einem bestimmten Maximum, bei welchem weitere Belastung keine Dehnung, sondern eine ZerreiSSung zur Folge hat.

Die Dehnungsfähigkeit ist nicht bei allen Muskelarten und unter allen Verhältnissen gleich, worüber allerdings noch genauere Untersuchungen fehlen. Aus der Thatsache, dass die Uebung einerseits die Dehnungsfähigkeit des Muskels vermindert und andererseits den Wassergehalt desselben herabsetzt, darf geschlossen werden, dass die Dehnungsfähigkeit von dem Wassergehalt abhängt und somit alle Einflüsse, welche denselben vermehren, die Arbeitsfähigkeit herabsetzen und umgekehrt. Eine ähnliche Rolle spielt offenbar das Fett, durch dessen Anwesenheit die Dehnbarkeit des Muskels derart verändert wird, dass er sich leichter dehnt und bei geringerer Belastung zerreisst: Genaue Untersuchungen hierüber liegen zwar nicht vor, allein dass es so sein muss, lehren schon die Erscheinungen an gekochtem Muskelfleisch.

Daraus ergibt sich, dass die Tragkraft des Muskels von seinem Gehalt an Albuminaten (und Albuminoiden, aus welchen das Sarcolemma besteht) abhängig ist, womit es übereinstimmt, dass die Arbeitsfähigkeit eines Thierkörpers in geradem Verhältniss zu seinem Eiweissreichtum steht.

§ 147.

Für die durch die Zuckung geleistete Arbeit muss ferner darauf hingewiesen werden, dass die molekulare Veränderung, die der Zuckung zu Grunde liegt, die Tragfähigkeit des Muskels schwächt. Ihre mechanische Wirkung beruht also nur darauf, dass der Muskel unter ihrem Einfluss mit elastischen

Kräften aus der langgestreckten Müßigkeitsform in die verkürzte Thätigkeitsform übergeht, und, wenn man diese Verkürzung hindert, er sich verhält, wie ein elastischer Körper, der um eben so viel gedehnt worden ist, als die Verkürzung betragen hätte. Dass der Zuckungsvorgang die Tragfähigkeit des Muskels vermindert, bedingt die Erscheinung bei der Ueberlastung: Wenn man an den müßigen Muskel ein Gewicht hängt, welches er nicht zu heben vermag, so verlängert er sich in dem Moment der Zuckung. Darauf beruht auch zum Theil die Erscheinung der Ermüdung: Jede Zuckung vermindert die Tragfähigkeit des Muskels, so dass diese successive abnimmt und mit der Zeit für jedes, selbst das kleinste Gewicht der Augenblick eintritt, in welchem dasselbe die Erscheinung der Ueberlastung, d. h. eine Dehnung des Muskels hervorruft.

§ 148.

Eine weitere Erscheinung bei der Zuckungscontraktilität wird in dem Falle des schon § 122 geschilderten Tetanus hervorgerufen. Dieser wird erzeugt, wenn die einzelnen Zuckungen in Folge entsprechend rascher Aufeinanderfolge der Reizstöße so schnell sich folgen, dass der Muskel zwischen den einzelnen Zuckungen keine Zeit hat, sich wieder auszudehnen. In diesem Fall summiren sich zunächst die Verkürzungseffekte der einzelnen Zuckungen bis zu einem unüberschreitbaren Maximum, in welchem der Muskel verharret, so lange die Reizung fort dauert, aber natürlich mit der durch die allmähliche Ermüdung gegebenen Einschränkung. Dieser Zustand ist jedoch nicht der völliger Ruhe, was sich daraus ergibt, dass man ein Geräusch (Muskelgeräusch) hört, dessen Tonhöhe, wie Helmholtz nachgewiesen hat, mit der Zahl der elementaren Zuckungen, aus denen sich der Tetanus zusammensetzt, übereinstimmt. Bei dem vom Willen erzeugten Tetanus der menschlichen Kaumuskel, den jeder an sich selbst nach Schliessung der Ohren beobachten kann, hat nach Helmholtz der Muskelton 19,5 Schwingungen in der Sekunde. Mittelst eines Inductionsapparats lässt sich die Höhe dieses Tones durch die Zahl der Unterbrechungen bis zu 1200 Schwingungen in der Sekunde steigern, wird aber von da ab unbestimmbar.

§ 149.

Die eben beschriebene Zuckungscontraktilität ist abhängig von einer bestimmten Beschaffenheit des Protoplasmas. Als diese ist offenbar einmal ein geringerer Grad von Wassergehalt, als er bei amöboider und Flimmerungscontraktilität nöthig ist, zu bezeich-

nen, und der Unterschied zwischen primärer und sekundärer Zuckungsfähigkeit scheint gleichfalls eine Differenz im Wassergehalt vorauszusetzen.

Ferner ist sie an eine bestimmte Struktur des Protoplasmas gebunden. Diese kann allerdings zunächst nur negativ bestimmt werden als Abwesenheit von ungeordneten Protoplasmakörnern. Positiv besteht ein grosser Strukturunterschied zwischen den glatten Muskelfasern mit primärer Zuckungsfähigkeit und der quergestreiften mit sekundärer. In den ersteren sieht man gar keine weitere Struktur als die Differenzierung des Protoplasmas in eine homogene Rindensubstanz und einen Kern, und die Zuckung ist hier vielleicht nur auf eine Aenderung der elektromotorischen Beziehung zwischen Kern und Rindensubstanz zurückzuführen. Für diese Auffassung spricht die Thatsache, dass der die Erregung zuleitende Nervenfasern nach den Angaben mehrerer Forscher in dem Kern endigt (siehe Bd. I pag. 156 Fig. 79). Man kann sich denken, dass die durch den Reiz erzeugte chemische Veränderung der Kernsubstanz (Säurebildung?) durch Vermehrung des elektrischen Anziehungsverhältnisses zwischen Kernsubstanz und Rindensubstanz das Kugelungsbestreben hervorruft.

Bei dem quergestreiften Muskelprotoplasma ist die Bd. I § 45 beschriebene Struktur die Grundlage der Zuckungsfähigkeit. Das Wesentlichste derselben scheint der chemische und damit auch elektrische Gegensatz zwischen der das Licht einfach brechenden Grundsubstanz und den prismatischen doppelbrechenden Körpern, den Disdiaklassen zu sein. Die Zwischensubstanz spielt hier die Rolle des Kerns bei der glatten Muskelfaser insofern als der Reiz sie primär trifft und ihre chemische und physikalische Zusammensetzung ändert, da ein direkter Zusammenhang der Nerven mit den Disdiaklassen nicht nachgewiesen, auch im höchsten Grade unwahrscheinlich ist, und weil sich die Zwischensubstanz gegen Carmin gerade so verhält wie der Zellkern der glatten Muskelfaser und der Axencylinder in der Nervenfasern: sie färbt sich stärker als die Disdiaklasten, ist also Säurebildungsheerd.

§ 150.

Was das Motiv der Formveränderung bei der Zuckung der quergestreiften Faser betrifft, so knüpft die Theorie von Hermann daran, dass die Starre und die Zuckung in den wichtigsten Erscheinungen mit einander übereinstimmen und dass bei ersterer notorisch eine Albuminatgerinnung mit beteiligt ist. Er schreibt deshalb die Zuckung einer gelatinösen Gerinnung des Muskelfaserstoffes, des Myosin zu, wobei es sich aber nicht blos

um eine Aenderung des Aggregatzustandes, sondern auch eine chemische Zersetzung handle. Im ruhenden Muskelprotoplasma befinde sich ein gelöstes Albuminat, das ein Compositum aus Myosin und einem stickstofflosen Paarling sei (Hermann giebt ihr den Namen inogene, krafterzeugende, Substanz). In Folge der Erregung zersetze sich diese Substanz; der stickstofflose Paarling liefere Kohlensäure, Fleischmilchsäure, vielleicht Glycerinphosphorsäure, kurz die Zersetzungsprodukte, deren Entstehung bei dem Zuckungsvorgang nachgewiesen ist, das Myosin aber scheide sich als gelatinöses Gerinsel ab, dem ein Kugelungsbestreben zukomme. Der Vorgang der Erschlaffung beruht nach demselben auf einer Wiederauflösung des Myosingerinsels, wobei dasselbe wieder zu inogener Substanz umgebildet werde. Diese Restitutionssynthese der inogenen Substanz soll vom Blut ausgehen.

Falls diese Theorie richtig ist, erfordert sie jedenfalls eine Ergänzung, da keine Zuckungstheorie die Struktur des Protoplasmas unberücksichtigt lassen darf; denn dass die Zuckung von der Struktur bedingt ist, erhellt daraus, dass die Zuckungsfähigkeit sofort gestört ist, wenn die Struktur sich ändert. Auch ist daran festzuhalten, dass das erschlaffende Moment nothwendig im Protoplasma selbst und nicht, wie Hermann behauptet, bloß in dem umspülenden Medium (dem Blut) zu suchen ist, denn auch der völlig blutleere Muskel zuckt und erschlafft. Für eine Zuckungstheorie denkt man deshalb wohl zuerst an den chemischen und den daraus sich ergebenden elektrischen Gegensatz zwischen der Grundsubstanz und den Disdiaklasten und nimmt vorläufig folgendes an: In der ersteren, die ohnedies der Säureheerd ist, ruft die Erregung unter Säurevermehrung eine Gerinnung hervor und die Disdiaklasten sind der Sitz einer Alkalescenz, welche die Säure wieder vermindert und dadurch die Lösung des Gerinsels herbeiführt. Dies wiederholt sich so lange, als die Alkalescenz der Disdiaklasten ausreicht, dann tritt völlige Ermüdung ein.

Hieraus folgt, dass die Disdiaklasten die Zuckungsmittelpunkte sind, d. h. dass der Zuckungsvorgang eine Contactwirkung zwischen ihnen und der sie concentrisch umgebenden, in Folge dessen gerinnenden Grundsubstanz ist. Die sichtbaren Veränderungen der Struktur, welche die Zuckung hervorruft und die darin bestehen, dass die Disdiaklastenreihen einander näher rücken und die Disdiaklasten selbst kürzer und breiter werden, also ein Kugelungsbestreben zeigen, widersprechen dieser Auffassung nicht, lassen aber natürlich die Frage unentschieden, ob diese Formveränderung eine aktive oder passive ist, d. h. ob die supponirte Gerinnung in ihnen oder in der sie umgebenden Grundsubstanz

erfolgt. Der Umstand übrigens, dass Säuren viel entschiedener gerinnend auf die Albuminate wirken, Alkalien mehr lösend, sowie dass das Myosin ein Säurealbuminat ist, sprechen eher dafür, dass der Gerinnungsvorgang seinen Sitz nicht in den Disdiaklasten, sondern in der Grundsubstanz hat.

§ 152.

Eine weitere Erörterung muss an die Thatsache anknüpfen, dass im quergestreiften Muskel die Disdiaklasten eine völlig regelmässige Lagerung haben (während in dem amöboiden Protoplasma die sichtbaren Körner völlig regellos zerstreut sind), sowie daran (vergl. § 137), dass die Zuckung eine Hemmung des Erregungsvorgangs ist. Wir müssen uns letztere als eine gradlinig sich fortpflanzende Bewegung denken; stellen sich einer solchen unregelmässig zerstreute Hindernisse entgegen, so muss Folgendes geschehen:

1) An den Widerständen wird der Erregungsvorgang die mannigfachsten Reflexionen und Richtungsänderungen erfahren, so dass er sich nach den verschiedensten Richtungen des Raumes bewegen wird; sind die Widerstände dagegen regelmässig gelagert, so dass nach bestimmten Richtungen durchlaufende freie Wege vorhanden sind, so wird der Erregungsvorgang, indem er diese freien Wege einschlägt, gradlinig fortschreiten. Offenbar hängt damit der Unterschied der regellosen, nach allen Richtungen des Raums und nach den verschiedensten Richtungen gleichzeitig erfolgenden partiellen Contraktionen des amöboiden Protoplasmas gegenüber der polarisirten, d. h. nur nach einer Richtung des Raumes erfolgenden Erregung in der tertiären Muskelfaser zusammen.

2) Wo die Widerstände unregelmässig liegen, muss die Verzögerung, die ein gradliniger Bewegungsvorgang erfährt, eine viel bedeutendere sein, als wo jene so regelmässig geordnet sind, dass zwischen ihnen gradlinige Bahnen, gleichsam Fahrgeleise offen stehen. Damit steht offenbar der grosse Unterschied in der Geschwindigkeit, der bezüglich der Fortpflanzung der Contraktion zwischen amöboidem Protoplasma und quergestreiftem besteht, in Zusammenhang.

3) Da jede Hemmung des Erregungsvorgangs auch eine Abschwächung desselben ist, so erklärt sich aus dem Unterschied in der Vertheilung der Widerstände auch die Thatsache, dass bei dem quergestreiften Protoplasma der Erregungsvorgang — den Fall der Ermüdung abgerechnet — stets ganz durchschlägt, d. h.

eine allgemeine Contraction hervorruft, während bei dem amöboiden Protoplasma nur stärkere Reize durchschlagen und allgemeine Contraction zur Folge haben, schwächere dagegen nur die partiellen Contractionen hervorrufen, die sich als Bildung von lokalen Protoplasmafortsätzen äussern.

§ 153.

An das vorstehende muss die Erörterung des Unterschieds zwischen kontraktilen und nicht kontraktilen Protoplasma angereicht werden. Es wurde schon früher gesagt, dass eine Protoplasmaart, die der Nerven, sich dadurch von allen unterscheidet, dass der Erregungsvorgang in ihm keine Contractionerscheinungen hervorruft. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen Muskel und Nerv besteht in der Geschwindigkeit, mit welcher der Erregungsvorgang in beiden vor sich geht: Beim Muskel beträgt dieselbe 1—3 Meter in der Sekunde, beim Nerv (und zwar beim motorischen) ist sie am Frosch zu 26—27 Meter, am Menschen zu 40 Meter gefunden worden, sie ist also im Nerv mindestens zehn mal so gross als im Muskel.

Dieser Unterschied in der Leitungsgeschwindigkeit setzt natürlich einen Unterschied in den Widerständen, welche die Erregung findet, voraus. Da die Erörterung in früheren Paragraphen uns schon darauf hingewiesen hat, dass die Widerstände für die Erregungsleitung sichtbarer Natur sind, so stimmt mit der grossen Leitungsfähigkeit des Nerven, dass in seinem Protoplasma, im Gegensatz zum amöboiden und quergestreiften Protoplasma, keine grössern Körner sichtbar, sondern entweder, mit unsern jetzigen optischen Hilfsmitteln, gar keine Struktur oder nur äusserst feine Elemente zu sehen sind, welche — was für die Erregungsleitung wieder von grösster Wichtigkeit ist — auf eine lineare fahrgeleisenähnliche Anordnung der etwa noch vorhandenen Widerstände hinweisen.

Dieser grosse Unterschied in dem sichtbaren Theil der Struktur zwischen dem rasch leitenden und nicht zuckenden Nerv und dem langsamer leitenden und stark zuckenden Muskel, begründet die Vermuthung, dass Zuckung und Hemmung, weil parallel gehend, auf ein und dasselbe Element der Struktur, also auf die körnigen, das Licht doppelt brechenden Einstrahlungen zurückzuführen sind.

§ 154.

Nach dem Obigen können wir uns die Sache nun allenfalls so vorstellen:

Die Leitung der Erregung geht von der durch ihr Verhalten zu Karmin als Säureträger sich manifestirenden Grundsubstanz des Protoplasmas aus, und die Erregung besteht in einer diese Substanz durchziehenden, mit vermehrter Säurebildung verbundenen negativen Schwankung des Müssigkeitsstromes. Dieser Vorgang bedingt an und für sich noch keine Contraktionserscheinungen, dieselben treten erst ein, wenn in dieser Grundsubstanz jene größeren körnigen Einstreuungen liegen, welche durch ihr Verhalten gegen Karmin zeigen, dass sie im Zustande der Müssigkeit der Sitz einer gewissen Alkalinität sind.

1) Sie hemmen schon mechanisch und dann chemisch durch ihre Alkaleszenz den in Säurebildung bestehenden Erregungsvorgang und zwar um so mehr, je weniger regelmässig sie liegen.

2) Zwischen ihnen und der Grundsubstanz besteht wegen der chemischen Differenz ein gewisses Anziehungsverhältniss, dessen Richtung das Protoplasmakorn zum Mittelpunkt hat. Die durch den Erregungsvorgang bewirkte Verschärfung des elektromotorischen Gegensatzes hat eine Verstärkung dieses Anziehungsverhältnisses zur Folge, welche sich als ein, mit einer gewissen Kraft erfolgendes Kugelungsbestreben sowohl der Grundsubstanz als des betreffenden Protoplasmakorns um den Mittelpunkt des letzteren äussert. Ich will die Sache so ausdrücken: Das Protoplasmakorn ist das Zuckungscentrum.

Der Totaleffekt der Leistungen der einzelnen Zuckungscentra hängt ab:

1) Von der Form der letzteren: Sobald selbige von der Kugelform erheblich abweicht, wie das bei den gestreckten Disdiaklasten des quergestreiften Protoplasmas der Fall ist, führt die Kuglung der einzelnen Zuckungscentren zu einer beträchtlicheren Veränderung des Gesamtdurchmessers, als wenn sie schon von Hause aus nahezu Kugelgestalt hätten.

2) Von der Regelmässigkeit der Lagerung der einzelnen Zuckungscentren: Wenn dieselben nämlich anisodiametrisch sind und ihre längeren Durchmesser sämmtlich parallel liegen, so muss der Vorkürzungseffekt ein viel ausgiebigerer sein, als wenn dieselben nach verschiedenen Richtungen des Raums orientirt sind. Das erstere ist bei dem quergestreiften Protoplasma der Fall, so dass dessen spezifische Leistung durch obige Annahme von der Natur der Disdiaklasten als der Zuckungscentra und der einfach brechenden Grundsubstanz als des Erregungsleiters nach Qualität und Quantität in völliger Harmonie mit der sichtbaren Struktur steht.

3) Von der physikalischen Beschaffenheit der Grund-

substanz: Ist diese nämlich sehr strengflüssig, wie bei dem quergestreiften Protoplasma, so kann es nur sehr schwer zu einer Veränderung der Lage oder einer Totalverschiebung der einzelnen Zuckungscentra kommen, während dies bei dünnflüssiger Grundsubstanz leicht erfolgen kann, sobald eine Störung der mechanischen Gleichgewichtslage erfolgt. Ob eine solche Störung des Gleichgewichts eintritt, ist natürlich davon abhängig, ob die Formveränderung der einzelnen Zuckungscentren gleichzeitig erfolgt oder nicht. In ersterem Falle findet keine weitere Störung des Gleichgewichts statt als die, welche eben durch die Kuglung der einzelnen Centren selbst gegeben ist. Zucken dagegen nur einzelne Centren, so müssen bei leichter Verschiebbarkeit derselben Verschiebungen an einander eintreten, ähnlich denen, welche wir bei der Saftirkulation im Pflanzenzellen- und Knorpelprotoplasma sowie im amöboiden Protoplasma wahrnehmen. Unterstützt müssen diese aber noch durch die in §. 22 geschilderten Wärmebewegungen werden.

Auf eine solche Ungleichzeitigkeit der Erregung der einzelnen Zuckungscentren deuten offenbar die partiellen, zur Scheinfüsschenbildung führenden Kontraktionen des amöboiden Protoplasmas. Da die Gleichzeitigkeit der Funktion der einzelnen Zuckungscentren davon abhängt, ob sie von der Erregung gleichzeitig getroffen werden oder nicht, diese aber wesentlich von der Regelmäßigkeit der Lagerung der Widerstände abhängt, so scheint mir der Unterschied zwischen der Zuckung des quergestreiften und den Kontraktionserscheinungen am amöboiden Protoplasma jetzt völlig als eine Funktion der Struktur erklärt zu sein und zwar so:

Bei der regelmässigen Anordnung der Zuckungscentren im quergestreiften Muskel, die freie geradlinige Bahnen für die Erregung zwischen sich lassen, werden von einem in der Längsrichtung des Muskelfasers hinziehenden Erregungsvorgang alle Zuckungscentren, die im gleichen Querschnitt liegen, gleichzeitig getroffen und so läuft die Zuckung einer Bergwelle gleich über den Muskelfaden hin. Bei dem amöboiden Protoplasma, dessen Zuckungscentren durch einander liegen, ist eine gleichzeitige Aktion nur bei einer heftigen; die Widerstände rascher überwindenden Erregung möglich.

§ 155.

Eine weitere Konsequenz der Anschauung der vorigen Paragraphen ist folgende.

Da v. Bezold und Bernstein nachgewiesen haben, dass die § 139 als negativ elektrische Schwankung geschilderte Ab-

schwächung des Müssigkeitsstromes in die Zeit der latenten Reizung fällt, also der Zuckung vorausgeht, so ist, wie gleichfalls schon öfter angeführt, der letztere etwas dem Erregungsvorgang entgegengesetztes oder, wie J. Ranke es nennt, eine Bewegungshemmung. Mit Bezug auf die Contraktilität möchte ich mich so ausdrücken: Da der Erregungsvorgang eine Verkürzung ist, so ist der Müssigkeitsstrom das Motiv der Verlängerung, was sich sofort auch mechanisch begreifen lässt, wenn wir wissen, dass derselbe aus zwei von einem Aequator in entgegengesetzter Richtung fließenden elektrischen Strömen besteht. Da uns der optische Befund nach dem Obigen zwingt, den Mittelpunkt der Zuckung in die als Disdiaklasten bezeichneten Strukturtheile zu verlegen, die im Ruhezustand gestreckt d. h. in einer bestimmten Richtung verlängert sind und bei der Zuckung sich zu kugeln bestreben, so kommen wir zu der Folgerung, dass der Müssigkeitsstrom das ist, was die Zuckungscentren dehnt.

Von hier aus gelangen wir offenbar auch zu der Erklärung der bisher eben so sicher erhärteten, als unverständlich gebliebenen Thatsache, dass während der Zuckung die Dehnbarkeit des Muskelfadens zu-, oder seine Cohäsion abnimmt und zwar so:

Indem der Reiz den Müssigkeitsstrom, der sich der Kuglung der Zuckungscentren entgegenstellt, schwächt, vermindert sich deren Zwangslage; sie werden selbständiger und folgen ihrem eigenen, auf ihren Privatmittelpunkt sich beziehenden Anziehungsbestreben. Dem parallel geht eine Verminderung des Anziehungsverhältnisses, welches zwischen einem Zuckungscentrum und seinen Nachbarn besteht und das ist eine Lockerung der Cohäsion.

§ 156.

Von hier müssen wir noch einmal zu dem Unterschied zwischen dem rasch leitenden und nicht zuckenden Nervenprotoplasma und dem schwächer leitenden, dagegen stark zuckenden quergestreiften Muskelprotoplasma zurückkehren. Wir können nicht annehmen, dass der Erregungsvorgang des Nerven etwas von dem des Muskels wesentlich verschiedenes sei, da beide Protoplasmaarten in ihrem elektrischen Verhalten so völlig übereinstimmen. Wir werden also auch für die Nerven den Erregungsvorgang als eine um kleinste Strukturmittelpunkte vor sich gehende Bewegung zu betrachten, also (vergl. § 117) zerstreute Erregungscentra anzunehmen haben. Der Unterschied im Gesamteffekt muss also

in dem Unterschied dieser minimalen Erregungscentren liegen und diesen möchte ich wieder auf die Differenz in Grösse und Form zurückführen. Das Ausbleiben der Zuckung beim Nerv lässt darauf schliessen, dass die Erregungscentren bei der Erregung ihre Form nicht ändern, weil sie von Hause aus kugelig sind, also die Vergrösserung des Kugelungsbestrebens an der Form nichts ändern kann. Dies setzt natürlich voraus, dass der Müsigkeitsstrom wohl die Erregungscentren des quergestreiften Muskels, nicht aber die des Nerven zu strecken vermag und dafür möchte ich den Grösseunterschied verantwortlich machen; die grossen Disdiaklasten können offenbar leichter gedehnt werden als die winzigen Körner des Nerven.

Ein weiterer Grund für das Ausbleiben der Zuckung beim Nerv ist, dass keine Gerinnung dabei stattfindet, also kein Körper entsteht, der mit elastischen Kräften eine andere Form anzunehmen sucht.

Den Unterschied in der Leitungsgeschwindigkeit zwischen Nerv und Muskel möchte ich in Folgendem suchen:

1) Wir haben oben gesehen, dass die Zuckung als eine Hemmung der Erregungsleitung aufzufassen ist und es fragt sich, wie das mit der Qualität der Zuckungscentren in Zusammenhang zu bringen ist. Experimentell ist am Nerven erwiesen, dass ein auf den Querschnitt desselben ausgeübter mechanischer Druck eine Hemmung für die Fortleitung des Erregungsvorgangs ist. Ein solcher liegt nun bei der Zuckung des quergestreiften Protoplasmas aus folgendem Grunde vor: Dasselbe ist in einer elastischen Röhre, dem Sarcolemma, eingeschlossen, das sich der aus der Formveränderung der Zuckungscentra sich ergebenden Vergrösserung seines Querdurchmessers mit elastischen Kräften widersetzt, was einem auf den Querschnitt ausgeübten Seitendruck gleichkommt und die Erregungsleitung mechanisch beeinträchtigt.

2) Wie gleichfalls schon früher angedeutet wurde, liegt in der Zuckung auch eine chemische Hemmung des Erregungsvorgangs vor und zwar dadurch, dass die hemmenden Protoplasmakörner durch ihre Alkaleszenz den als Säurevermehrung zu betrachtenden Erregungsvorgang abschwächen.

Hieran muss sich die weitere Thatsache reihen, dass die fettige Degeneration, die in dem Auftreten von Fettkörnern besteht, den Kräftewechsel in höchst empfindlicher Weise beeinträchtigt; sie vermindert die Energie der Zuckung und die Geschwindigkeit der Erregungsleitung. Die Erklärung dieser Thatsache liegt wohl in Folgendem: Das Fettkorn hemmt den Erregungsvorgang zunächst mechanisch, gerade so wie das aus Eiweiss bestehende Protoplasmakorn, allein da es aus neutral reagirendem Fett besteht, also

keinen elektromotorischen Gegensatz zu der Grundsubstanz besitzt, so ist es kein Zuckungscentrum, für die Zuckung daher unproduktiv. Ausserdem hemmt es die Zuckung der benachbarten Zuckungscentra mechanisch, d. h. durch Druck und Belastung.

Warum ein Fettkorn die Fortleitung des Erregungsvorgangs stärker hemmt als ein Eiweisskorn, lässt sich allenfalls so erklären: Das Eiweisskorn hemmt zwar den Erregungsvorgang nicht nur mechanisch, wie das Fettkorn, sondern auch chemisch durch Säureneutralisirung, allein dieser anfänglichen Hemmung entspricht eine sich im Zuckungsakt neu bildende Säuremenge, wodurch der Erregungsvorgang seine ursprüngliche Stärke wieder gewinnt, ja, wie das bei dem lawinenartigen Anschwellen der Erregung im Nerv zum Ausdruck kommt, sogar verstärkt aus der Affaire hervorgeht. Daraus gewinnen wir auch eine Ergänzung unserer Vorstellung von dem Verhältniss von Zuckung und Erregung: Erstere ist allerdings eine Hemmung der letzteren, aber weniger im Sinne einer Abschwächung als einer Verzögerung. Die Abschwächung tritt blos darin zu Tage, dass das bei dem Nerven so ausgesprochene lawinenartige Anschwellen der Erregungsstärke beim zuckenden Muskelprotoplasma ausbleibt. Bei dem Fettkorn dagegen haben wir es mit einer im geraden Verhältniss zur Verzögerung stehenden Abschwächung zu thun.

12. Der Kraftwechsel im thierischen Protoplasma.

e) Thierische Wärme und thierisches Licht.

§ 157.

Dass die bei der Oxydation der Protoplasmabestandtheile frei werdenden Spannkräfte auch die Form von Wärmebewegung annehmen werden, ist schon deshalb zu erwarten, weil bei den Oxydationen ausserhalb des Protoplasmas der grösste Theil der Spannkräfte diese Form der molekularen Bewegung annimmt. In der That entwickelt auch das thierische Protoplasma, so lange es lebt, fortwährend Wärme, im Gegensatz zu der Pflanze, die in der Regel Wärme absorbiert (siehe § 52), und diese Wärmeentwicklung ist ein integrierender Bestandtheil der Lebensvorgänge, dauert mit ihnen, hört mit ihnen auf und zeigt einen ähnlichen Rhythmus wie alle übrigen Lebensvorgänge.

Jedoch wäre es irrig, sich die Sache einfach so vorzustellen, als sei alle Wärme ein unmittelbares Ergebniss der früher be-

schriebenen Oxydationen, vielmehr sind bei der Entstehung der Wärme zweierlei Quellen zu unterscheiden, die direkte und die indirekte. Die direkte ist die chemische Umsetzung der Protoplasmabestandtheile, diese Wärme ist also Oxydationswärme. Die indirekte ist damit gegeben, dass ein sehr grosser Theil der freien Kraft, die in statu nascenti mechanische Bewegung ist, nachträglich in Wärme umgewandelt wird, diese ist dann als Reibungswärme aufzufassen. Sie ist bei vielzelligen Thieren zum Theil eine sociologische Erscheinung, indem die gegenseitige Verschiebung der gröberen Körpertheile und die Bewegung der Ernährungsflüssigkeiten an den Wänden auf Widerstände stösst, bei deren Ueberwindung Reibungswärme entstehen muss. Auf der anderen Seite scheint mir aber auch die Annahme unabweislich, dass eine gewisse Portion von Reibungswärme im Protoplasma selbst als elementare Erscheinung bei der Protoplasmaarbeit auftritt, und zwar deshalb, weil die Contraktionserscheinungen mit Verschiebung der im Protoplasma liegenden feinsten Theile gegen einander und in der Grundsubstanz verbunden sind, was ohne Reibung nicht denkbar ist. Hiezu kommt die wichtige, leicht zu beobachtende Thatsache, dass Uebung der kontraktilen Theile (Muskelübung) ein Thier in einen Zustand versetzt, in welchem bei gleicher Arbeit eine geringere Wärme Steigerung auftritt als bei einem andern ungeübteren Thiere; sicher handelt es sich zwar hierbei auch um eine sociologische Erscheinung, d. h. um die Herbeiführung einer grösseren Verschieblichkeit der gröberen morphologischen Theile gegeneinander, allein diese reichen offenbar nicht aus, die grossen diesbezüglichen Effekte der Uebung zu erklären und wir müssen noch zur Annahme einer Steigerung der Verschieblichkeit der mikroskopischen Protoplasmabestandtheile greifen.

Einen weiteren Grund für die Annahme elementarer Reibungswärme finde ich in den absoluten Wärmeunterschieden der verschiedenen Thiere. Die Warmblüter sind von den Kaltblütern nicht blos dadurch unterschieden, dass erstere eine fast unveränderliche Eigenwärme festhalten, letztere nicht, sondern sie sind auch absolut wärmer als die Kaltblüter. Ich möchte dies mit dem Unterschied im Protoplasmawassergehalt in Zusammenhang bringen. In dem wasserärmeren, kompakteren Protoplasma der Warmblüter sind die Widerstände, welche sich der Verschiebung der Protoplasmatheilchen entgegensetzen, offenbar unter sonst gleichen Umständen grösser als in dem wasserhaltigeren und deshalb weicheren Protoplasma der Kaltblüter. Ist dies der Fall, so muss in ersterem eine grössere Summe von Reibungs-

wärme entstehen als in letzterem. Weitere Gründe folgen in nachstehendem Paragraphen.

§ 158.

Die Menge der erzeugten Wärme hängt ab von der Menge der in der Zeiteinheit zur Oxydation gelangenden Protoplasmabestandtheile und diese wiederum von dreierlei: 1) Von der Menge des verfügbaren Sauerstoffs; 2) von der Menge und Art der oxydablen Stoffe, d. h. ob genügend oxydable Stoffe vorhanden sind, ob diese Stoffe leichter oder schwieriger oxydabel sind und ob sie eine hohe oder niedere Verbrennungswärme besitzen; 3) von der lebhafteren Thätigkeit der auslösenden Momente, d. h. der Reize, also dem Arbeitsmass des Protoplasmas.

Aus dem dritten Punkt ergibt sich, dass die Wärmeerzeugung qualitativ und quantitativ den Erregungsvorgängen parallel geht, d. h. sie ist um so grösser, je stärker und häufiger die Erregungen stattfinden. Ueberdies zeigt sie einen Rhythmus, d. h. sie ist nicht gleich stark in den verschiedenen Zuständen des Protoplasmas, die § 97 geschildert worden sind. Was man über diesen Rhythmus weiss, ist folgendes:

Wärme wird in allen drei Zuständen des Protoplasmas entbunden, allein im thätigen Zustand mehr als im müssigen und müden. Direkt nachgewiesen ist diese Thatsache durch Haidenhain am Muskel auf thermoelektrischem Wege. Er fand am Froschmuskel für die einzelne Zuckung eine Wärmezunahme von $0,001-0,005^{\circ}$ C., für den Tetanus bis zu $0,15^{\circ}$. Für das Drüsenprotoplasma hat Ludwig eine sehr erheblich vermehrte Wärmebildung während der Thätigkeit (bei der Speicheldrüse um $1,50^{\circ}$ C.) nachgewiesen. Beim Nervenprotoplasma ist eine Wärmesteigerung während des Erregungsvorgangs nicht nachweisbar, was darauf hinweist, dass bei dem Erregungsvorgang die zur Entbindung gelangenden Spannkkräfte nur zum geringsten Theil als Wärme, der Hauptsache nach als elektrische Bewegung auftreten, und dass die Wärmebildung gerade so wie die Zuckung eine Hemmungserscheinung ist, also durch Hemmung aus der elektrischen Bewegung entsteht und elektromotorischer Natur ist. Weiter ergibt sich aus dem Gesagten ein bestimmtes Verhältniss zwischen Zuckung und der dabei gebildeten Wärme. Sie entspringen beide derselben Quelle und die Wärme ist ein Nebenprodukt beim Auftreten der Zuckung, gerade so wie wir jede mechanische Bewegung von einer Bildung von Reibungswärme begleitet sehen. Hierdurch wird das, was im

vorhergehenden Paragraphen über die Natur des Wärmebildungsvorgangs gesagt wurde, unterstützt und dahin ergänzt, dass vielleicht ein grosser Theil der thierischen Wärme nicht Oxydationswärme, sondern Hemmungswärme ist.

Ueber einen quantitativen Unterschied in der Wärmebildung zwischen dem müssigen und ermüdeten Zustande liegen keine direkten Beobachtungen vor. Die Thatsache, dass ein müder Mensch der Kälte weniger widersteht als ein blos müssiger, ist möglicherweise eine sociologische Erscheinung oder weist auf stärkere Wärmeverluste im müden Zustande hin (wovon unten die Rede sein wird), kann aber auch auf einem Unterschied in der Wärmebildung beruhen, da es wohl denkbar ist, dass die Ermüdungsstoffe auch hemmend auf den Wärmebildungsprozess einwirken.

§ 159.

Das, was im vorigen Paragraphen über den Unterschied in der Wärmebildung zwischen dem Nerven und den anderen Protoplasmaarten gesagt wurde, zeigt uns, dass es auch mit Bezug auf diese Kraftentbindungsform eine Differenzirung des Protoplasmas in vorzugsweise calorigenes und acalorigenes giebt. Ferner ergiebt sich, dass der Unterschied zwischen diesen beiden Protoplasmaarten mit dem in § 153 besprochenen Gegensatz zwischen hemmendem und leitendem Protoplasma zusammenfällt: Das erstere ist das calorigene, das letztere das acalorigene oder, genauer gesagt, oligocalorigene. Der Unterschied zwischen beiden Arten ist natürlich kein absoluter, sondern ein gradweiser, wir können aber wohl dreierlei physiogenetische Differenzierungsstufen in Bezug auf Wärmebildungsfähigkeit unterscheiden:

1) Die primäre, d. h. grösste Wärmebildungsfähigkeit wäre die des amöboiden Protoplasmas, also desjenigen, in welchem die Hemmung am grössten ist, weil die Protoplasmakörner regellos zerstreut sind.

2) Die sekundäre, d. h. mindere Wärmebildungsfähigkeit käme dem zuckenden Protoplasma, insbesondere dem des quergestreiften Muskels zu, weil die Hemmung hier eine geringere ist.

3) Die tertiäre, d. h. geringste Wärmebildungsfähigkeit wäre die des Nerven, bei welchem die Hemmung am geringsten ist.

Mit dieser Auffassung harmonirt nicht nur der Mangel nachweisbarer Wärmebildung im erregten Nerven, sondern auch die bedeutende Wärmeentwicklung in thätigen Drüsen, deren Protoplasma bekanntlich amöboid ist.

§ 160.

Da die Lebensvorgänge stets mit Wärmebildung verknüpft sind, andererseits das Protoplasma in Wärmestarre verfällt, sobald die Temperatur in ihm eine gewisse Höhe (siehe § 34) übersteigt, so ist der Fortbestand des Lebens nur möglich, wenn die Wärme fortwährend nach aussen abgeleitet werden kann. Dies setzt voraus, dass die Temperatur des umgebenden Mediums niedriger ist als die Wärmearresttemperatur. Da das Protoplasma ein sehr schlechter Wärmeleiter ist und die vielzelligen Thiere ausserdem noch mit mehr oder minder dicken Schichten lebloser schlechter Wärmeleiter umgeben sind, bei den Luftthieren auch in der Verdunstung ein sehr mächtiger Abkühlungsfaktor gegeben ist, so können dieselben höheren Temperaturen der Umgebung einige Zeit erfolgreich Widerstand leisten, aber nicht auf die Dauer. Umgekehrt verlangen die Lebenserscheinungen einen gewissen, oberhalb des Gefrierpunktes des Wassers liegenden Wärmegrad zu ihrer Abwicklung, mithin erlischt das Leben, sobald die äussere Temperatur so tief unter diesem Punkt liegt, dass der Wärmebildungsprozess die grossen Verluste nicht zu decken vermag.

§ 161.

Die Grösse des Wärmeverlustes hängt von folgenden Umständen ab:

- 1) Von der Tiefe der äusseren Temperatur.
- 2) Von der Oberflächenentwicklung; je grösser die Oberfläche ist im Verhältniss zum Inhalt, um so grösser sind die Verluste.
- 3) Von der Wärmeleitungsfähigkeit des Protoplasmas, die im allgemeinen sehr gering ist, aber nicht unter allen Umständen sich gleich zu bleiben scheint, wovon später.
- 4) Von der Leitungsfähigkeit des umgebenden Mediums, die bei dem Wasser viel grösser ist als bei der Luft, und bei der letzten noch in der Weise variiert, dass ihre Leitungsfähigkeit mit dem Grade ihrer Sättigung mit Wasserdampf zunimmt. Dieser Umstand wird jedoch dadurch compensirt, dass mit dem Sättigungsgrad die Wärmeverluste durch Verdampfung abnehmen.
- 5) Von dem Bewegungszustand des umgebenden Mediums. Dieser Faktor ist von besonderer Wichtigkeit bei den mit Ernährungsflüssigkeiten versehenen vielzelligen Thieren. Wie gesagt, ist das Protoplasma an und für sich ein sehr schlechter Wärmeleiter und die im Innern zusammengesetzter Thierleiber entstehende

Wärme hätte geringe Chancen abgeleitet zu werden, wenn nicht die in äusserst feine Strömchen vertheilten Ernährungsflüssigkeiten ununterbrochen die Gewebe durchzögen, um sich mit der dort entstandenen Wärme zu belasten und sie auf ihrem Kreislauf an die Körperoberfläche zu bringen, wo sie nach aussen abgegeben wird. Die Wärmeabgabe setzt also bei diesen Thieren eine Wärmecirkulation voraus. Uebrigens gilt auch von den natürlichen Aufenthaltsmedien (Luft und Wasser) dasselbe: Je stärker sie bewegt sind, um so mehr Wärme entziehen sie dem Protoplasma und am meisten gilt dies von der Luft, weil ihre Wärmeleitungsfähigkeit so äusserst gering ist, dass sich bei völliger Stagnation rasch eine Schicht warmer Luft um den Thierkörper bildet, der die weitere Wärmeabgabe hemmt. Wir sehen deshalb ganz allgemein, dass die Luftthiere gegen stärkere Wärmeverluste aktiv sich dadurch schützen, dass sie Orte mit ruhiger Luft aufsuchen und passiv dadurch beschützt werden, dass Haar und Federkleider auf ihnen wachsen, welche eine ruhende Luftschicht festhalten.

6) Was von dem Bewegungszustand der Ernährungsflüssigkeiten gesagt wurde, gilt auch von der Säftecirkulation im Protoplasma: Je lebhafter diese ist, um so schneller wird die im Innern erzeugte Wärme an die Oberfläche, die sie abgibt, getragen, während bei geringerer Cirkulation in Folge der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit die Wärme im Innern sich ansammeln kann.

7) Bei den in der Luft lebenden Thieren kommt noch das Mass der Verdunstung dazu, indem diese Wärme bindet und zwar für jedes Gramm Wasser 582 Wärmeeinheiten.

§ 162.

Auch der Wärmeverlust ist kein continurlich sich gleichbleibender, wie schon aus dem obigen erhellt, sondern ein rhythmischer. Im allgemeinen steigt der Wärmeverlust in dem Masse als Wärme gebildet wird, so dass eine Art von Wärmeregulirung schon an und für sich vorliegt, allein dieser Parallelismus ist kein ganz vollkommener, da im thätigen Zustand eine Steigerung der Eigenwärme (Echauffement) eintritt, trotzdem dass die Wärmeabgabe gesteigert ist. Diese Steigerung beruht auf Folgendem:

1) Ein Körper verliert um so mehr Wärme, je mehr seine Temperatur die des umgebenden Mediums übertrifft; da Arbeit die Temperatur des Protoplasmas erhöht, so müssen bei Arbeit die Wärmeverluste steigen.

2) Arbeit vermehrt die Säftecirkulation im Protoplasma, so-

mit wird mehr Wärme aus der Tiefe an die abgebende Oberfläche übertragen.

3) Die mit der Arbeit verbundenen Kontraktilitäterscheinungen setzen das umgebende Medium in Bewegung und dadurch wird die Wärmeabfuhr gesteigert; insbesondere wirksam muss hier die Flimmerbewegung und die Ortsbewegung sein.

4) Mit der Thätigkeit steigt der Wassergehalt des Protoplasmas und da das Wasser ein guter Wärmeleiter ist, so darf wohl angenommen werden, dass durch Arbeit die Leitungsfähigkeit des Protoplasmas für die Wärme zunimmt. Ist diese Vermuthung richtig, so würde sich daraus auch ein Gegensatz zwischen dem müssigen und dem müden Zustand in Bezug auf Wärmeverlust ergeben: im letzteren wäre er relativ am grössten.

§ 163.

Ausser der im vorigen Paragraphen besprochenen, mit dem Zustandswechsel des Protoplasmas gegebenen Regulirung der Eigenwärme giebt es noch eine zweite, die in den äusseren Umständen liegt. Wenn eine Zunahme der Leitungsfähigkeit der umgebenden Medien durch Abnahme ihrer Temperatur eintritt, so steigt die Wärmeproduktion, weil die atmosphärische Luft ihr Volumen vermindert und somit im gleichen Volum Luft (und Wasser) mehr Gewichtstheile Sauerstoff enthalten sind. Ausserdem mindert sich die Wärmeabgabe, weil die Lebhaftigkeit der Säftecirculation mit sinkender Temperatur abnimmt. Umgekehrt mit steigender Wärme mindert sich wegen der Volumszunahme des Sauerstoffs die Oxydation, mithin die Wärmebildung und durch Steigerung der Säftecirculation wird die Wärmeabgabe lebhafter. Bei den Luftthieren kommt die Regulirung in der Verdunstung in Betracht: Je wärmer die Luft, desto lebhafter die Wärmeentziehung durch Verdunstung, weil die Luft Wasserdampf zur Sättigung braucht; umgekehrt, je kälter die Luft, um so geringer der Wärmeverlust durch Verdunstung.

Eine, wie es scheint, auf die warmblütigen Thiere beschränkte Regulirung der Eigenwärme liegt in Folgendem:

Steigt die Wärme der umspülenden Medien über einen gewissen Grad, so wird die Energie der Protoplasmaarbeit herabgesetzt, es tritt das ein, was wir Erschlaffung nennen. Die Erschlaffung setzt natürlich die Wärmeproduktion herab und so wird die Abnahme der Leitungsfähigkeit der äusseren Medien compensirt. Umgekehrt wirkt bei dem Warmblüter Erniedrigung der Temperatur bis zu einem gewissen Grade als Thätigkeitsreiz und steigert so die Wärmeproduktion.

Ein letzter, ebenfalls nur dem Warmblüter eigener Regulator

ist folgender: Abnahme der Wärme steigert das Bedürfniss zur Nahrungsaufnahme und damit ist eine stärkere Wärmebildung im Innern gesetzt, die der äussern Wärmeabnahme entgegenwirkt. Umgekehrt vermindert eine Zunahme der Wärme das Nahrungsbedürfniss und damit die Wärmebildung im Innern.

Offenbar sind es die beiden letzten Regulierungsverhältnisse, welche den deshalb sogenannten warmblütigen Thieren es gestatten, sich zwischen äusseren Extremen von 30° Kälte und 60° Wärme annähernd die gleiche, nur um wenige Grade schwankende Eigenwärme (Säugethiere zwischen 36 und 40° C., Vögel zwischen 40 und 43° C.) zu behaupten. Dass diese Regulierung eine sociologische Erscheinung ist, wurde neuerdings durch ein Experiment bestätigt: Wenn man einem Wirbelthier den Halstheil des Rückenmarks so durchschneidet, dass das Vaguscentrum nicht verletzt wird, so lebt das Thier fort, hat aber seine Warmblütigkeit verloren. Neuerdings ist durch Versuche bei Säugethieren die Anwesenheit eines Wärmeregulierungscentrums im Vorderhirn nachgewiesen worden.

Den warmblütigen Thieren stehen die kaltblütigen oder wechselwarmen gegenüber, deren Temperatur mit der der umgebenden Medien schwankt, und die nur in sofern eine Eigenwärme behaupten, als sie bei niedrigen Temperaturgraden eine mässige, positive Differenz bewahren können. Die Beobachtung zeigt, dass ihnen gerade die für die Warmblüter charakteristischen Regulierungsvorrichtungen fehlen. Bei Insekten, Fischen und Reptilien z. B. steigen nämlich mit der Wärme Lebhaftigkeit und Fresslust und sinken parallel mit Abnahme derselben.

Ein weiterer Punkt ist, dass die Funktionirung der Regulierungsvorrichtungen rhythmischen Schwankungen unterworfen ist, die auch bei gleichbleibenden äusseren Verhältnissen Schwankungen der Eigenwärme zur Folge haben. Die Ursachen sind offenbar meist sociologischer Natur, aber noch nicht vollständig bekannt. Der Rhythmus folgt theils den Tageszeiten, theils den Jahreszeiten, theils dem Rhythmus anderer physiologischer Funktionen, wie der Nahrungsaufnahme, Ruhe und Thätigkeit etc., wovon schon in den früheren Paragraphen die Rede war.

§ 164.

Als letzte Molekularbewegung, die im Protoplasma als Produkt des Erregungsvorganges auftritt, ist das Leuchten, das thierische Licht, zu nennen.

Voraus muss geschickt werden, dass das Leuchten erstens

keine regelmässige Erscheinung des Protoplasmakraftwechsels ist, sondern nur bei verhältnissmässig sehr wenigen Thierarten vorkommt und zweitens, dass das Leuchten nicht in allen Fällen eine Lebenserscheinung ist, sondern auch in verschiedenen toten animalischen Substanzen auftritt. So sind Fälle beobachtet, dass menschliche Leichen, frisches Fleisch von Schlachtthieren, Würste etc. leuchteten. Weiter ist eine sehr bekannte Erscheinung das Leuchten toter Seefische (besonders *Gadus*, *Mullus*, *Trachypterus*) und toter Tintenfische (*Eledone moschata*). Die unter dem Namen „Sternschnuppengallerte“ bekannten, gelegentlich in Wäldern zu findenden faustgrossen leuchtenden Schleimklumpen sind die hochgequollenen Eileiter von Fröschen, die entweder, weil unverdaulich, von dem Raubthier, das den Frosch gefressen hat, wieder ausgebrochen oder beim Verzehren nicht mit verschlungen wurden. Weiter hat Phipson von leuchtenden Scolopendern, dann auch aus lebenden Pflanzen (z. B. *Agaricus*, *Euphorbia*) eine leuchtende Materie isoliren können, die er „*Noctilucina*“ nennt. Für die Fische hat Panceri nachgewiesen, dass die leuchtende Substanz alle Eigenschaften des Fettes hat; die *Noctilucina* Phipsons ist eine stickstoffhaltige Substanz, unlöslich in Wasser, Alkohol und Aether, die beim Gähren in Wasser einen Geruch wie schimmelnder Käse, frisch einen Geruch nach Caprylsäure entwickelt.

Das Leuchten aller dieser toten thierischen Substanzen ist keine regelmässige Erscheinung, sondern tritt nur unter bestimmten Bedingungen auf. Die wichtigste derselben ist Feuchtigkeit: mit der Eintrocknung hört das Leuchten auf, kehrt aber nach Wiederbefeuchtung zurück. Eine zweite Bedingung ist die Anwesenheit gewisser Salze. Das wirksamste Salz ist schwefelsaure Magnesia (nach l'Hulme 1 Theil auf 4 Theile Wasser und 1 Theil Fischfleisch, nach andern soll die Menge des Salzes den 10. oder 8. Theil der Mischung nicht überschreiten). Ebenfalls wirksam ist Kochsalz, weshalb das Leuchten viel häufiger bei Seefischen als bei Süswasserfischen, und bei den gesalzenen Würsten häufiger als beim frischen Fleisch beobachtet wird. Die dritte Bedingung ist Zutritt von Sauerstoff; in Kohlensäure, Stickstoff- und Wasserstoffgas erlischt das Licht, während Zutritt von Sauerstoff es wieder herstellt. Die günstigste Temperatur ist 20—30° C. Bei 50° erlischt das Licht, kehrt aber bei Abkühlung wieder, wenn jener Wärmegrad nicht zu lange unterhalten wurde. Definitiv erlischt es bei Erwärmung auf 100° sowie bei längerer Dauer einer Temperatur von 50° und darüber.

Beim Leuchten lebendiger Thiere hat man zweierlei Modalitäten zu unterscheiden:

1) Die Produktion leuchtender Absonderungen, die auch nach ihrer Ablösung von dem Thiere fortleuchten. Im allgemeinen sind diese Absonderungen von schleimiger Consistenz und das Produkt von Epithelien oder förmlichen Drüsen. Von den hierher gehörigen Fällen ist am besten das Leuchten einer Bohrmuschel (*Pholas dactylus*) von *Panceri* untersucht. Sobald man sie reizt, liefert sie eine Absonderung, die sich wie eine leuchtende Wolke im Wasser verbreitet. Die Produktion geht vom oberen Rand des Mantels und vier umschriebenen Stellen der Athemröhre aus und zwar von einem dort sitzenden eigenthümlichen Flimmerepithel, das von Strecke zu Strecke längere Flimmerhaare besitzt und eine intensiv weisse Schicht bildet. Die Zellen haben eine sehr zerbrechliche Membran, einen granulirten Kern und sind erfüllt mit äusserst kleinen, in Aether löslichen, also wohl fetthaltigen Körnern, die offenbar die leuchtende Substanz sind. Allem nach beruht die Produktion des leuchtenden Schleimes auf einer durch Reizung bewirkten Entleerung des Zellinhaltes.

Auf einer ähnlichen Absonderung leuchtenden Schleimes durch das Epithel der Körperoberfläche oder Drüsen, die mit demselben zusammenhängen, beruht das Leuchten mancher Würmer (*Odonotosyllis*, *Chaetopterus*, *Balanoglossus*, *Polycirrus*) und das von *Moquin-Tandon* gemeldete, von andern vergeblich gesuchte Leuchten der Regenwürmer zur Begattungszeit, das vom Clitellum ausgehen und nach bewirkter Begattung erlöschen soll.

Hier muss ferner angeführt werden, dass man an lebenden Menschen leuchtende Wunden und leuchtenden Schweiss beobachtet hat. Von letzterem ist ein Fall durch *Panceri* veröffentlicht worden: Ein Dr. *Petronio* hatte Abends viel Fische gegessen und bemerkte am folgenden Morgen den Leuchtschweiss. Nach mündlicher Mittheilung meines Collegen Prof. Dr. *Vogel* soll übrigens leuchtender Schweiss in Südrussland während der sogenannten Butterwoche, in welcher grosse Mengen von Fett und Fischen verzehrt werden, eine jedermann bekannte Erscheinung sein. Dadurch wird die Vermuthung *Panceri's* wahrscheinlich, dass der Genuss des so leicht zur Lichtentwicklung neigenden Fischfettes die Leuchtsubstanz liefert.

Endlich ist hier anzuführen, dass der bekanntlich sehr heftig stinkende Urin der Stinkthiere (*Mephitis*) leuchten soll, freilich konnten andere diese Eigenschaft nicht bestätigen.

§ 166.

2) Die zweite Modalität ist das Leuchten lebendigen Protoplasmas. Ein scharfer Unterschied besteht allerdings zwischen dieser und der vorigen Modalität nicht, denn mit dem von Epithelien produzierten Leuchtschleim stimmt die Anwesenheit eines sesshaften Leuchtepitheliums, wie es bei vielen Medusen und Siphonophoren vorkommt, sehr nahe überein. Bei manchen Arten, z. B. bei *Pelagia noctiluca*, leuchtet das ganze Epithel auf der innern und äussern Seite des Körpers, bei andern Medusen nur das über den Randknöpfen oder Tentakeln etc., bei den Siphonophoren insbesondere das der Schwimmglocken. Das Protoplasma dieser Leuchtepithelien ist wie im vorigen Fall mit zahlreichen, äusserst kleinen Körnern durchsetzt, welche die Beobachter für Fett erklären.

Eine weitere Modalität ist das Leuchten des Protoplasmas von tiefer im Innern des Körpers liegenden Zellenmassen.

Unter den Wirbelthieren ist nur eine Haifischart (*Scymnus fulgens*) anzuführen, wobei freilich genauere Angaben über den Sitz des Leuchtvermögens fehlen; es wird nur vermuthet, dass es im Unterhautfett liege.

Zahlreich sind die Fälle bei den wirbellosen Thieren, insbesondere bei Seethieren. Ein Theil dieser Fälle schliesst sich unmittelbar an die an, in welchen Leuchtepithelien den Körper decken und zwar insofern, als die Leuchtorgane dem Exoderm oder Entoderm des Thieres entstammen. Bei den leuchtenden Käfern, (Lampyriden und Pyrophorusarten) liegen die Leuchtzellen dicht unter der an dieser Stelle sehr dünnen und völlig durchsichtigen Chitinhaut, sind also modificirte Exodermzellen. Sie sind vollständig farblos und durchsichtig, ohne Fettkörner und die leuchtende Substanz ist hier offenbar kein Fett, sondern eine stickstoffhaltige eiweissähnliche Substanz, die sich bei Behandlung mit Zucker und Schwefelsäure roth färbt, wodurch sie sich von andern Albuminaten unterscheidet. Hinter den aktiv leuchtenden Zellen liegt eine Schicht aus undurchsichtigen, kreidigweissen Zellen, die diese Färbung der Erfüllung ihres Protoplasmas mit zahlreichen Krystallen von harnsaurem Ammoniak (*Lampyris*) oder einem andern harnsauren Salze (*Pyrophorus*) verdanken. Diese Krystalle zeigen eine äusserst lebhafte Bröwn'sche Molekularbewegung. Der Effekt der „Uratzellenschicht“ ist eine Verstärkung des Lichtes durch Reflexion.

Bei den leuchtenden Ascidiën (*Pyrosoma*) entwickeln sich die Leuchtorgane als eine centripetale Wucherung des Exoderms

und bestehen aus kugligen, locker an einander sitzenden Zellen ohne Kern, mit einem homogenen, sehr durchsichtigen Inhalt, der durch Karmin sich färbt, was auf eiweissartige Natur der Leuchtsubstanz deutet.

Bei den Rippenquallen (Beroë und Cestum) umgeben die Leuchtorgane die sogenannten Gastrovascularkanäle, dürften also Abkömmlinge des Entoderms sein und die Zellen verhalten sich wie die von Pyrosoma. Bei den Seefedern (Pennatuliden) scheinen die acht weissen leuchtenden Stränge, die alternirend mit den Mesenterialfalten liegen, ebenfalls Entwicklungen aus dem Entoderm zu sein. Die Organe bestehen aus drei Elementen: 1) Bläschen ohne Kern mit einer fettigen Masse gefüllt; 2) kernlosen, mit Fettkörnern durchsetzten Zellen mit 1 — 3 Fortsätzen (Nervenzellen?); 3) Bläschen mit einer körnigen weissen anorganischen Masse; die letzteren Elemente betheiligen sich beim Leuchten wohl in derselben passiven Weise wie die Uratzellen der leuchtenden Käfer.

Dass auch das Nervenprotoplasma photogene Beschaffenheit annehmen kann, wird durch die Leuchtorgane von Polynoë (einem Wurm) und Phyllirhoë (einer heteropoden Molluske) demonstrirt. Bei Polynoë findet sich eine Doppelreihe leuchtender Scheibchen entsprechend der Zahl der Elytren. Diese Scheibchen enthalten eine quastenförmige Entfaltung eines Nerven und nach Panceri endigen diese Nerven theils in Form von Knöpfchen, theils in der von Stäbchen, welche letztere bis zur Oberfläche der Elytre in dort befindliche Papillen eindringen. Da die Intensität des Lichtes mit der Dichtigkeit der Nervenendigungen in geradem Verhältniss steht, so ist anzunehmen, dass diese selbst leuchten. Bei Phyllirhoë bedeckt sich bei Reizung die ganze Oberfläche des Körpers mit Myriaden von leuchtenden Punkten. Nun findet man an den Nerven, die sich in der Körperoberfläche vertheilen, Anschwellungen von verschiedener Form, von denen insbesondere die kugligen, die Panceri nach ihrem Entdecker „Müller'sche Zellen“ nennt, als die leuchtenden Theile zu bezeichnen sind. Diese Anschwellungen sind kernhaltig, färben sich lebhaft mit Karmin, Gold und Osmiumsäure und enthalten ausserdem eine in Alkohol und Aether lösliche fettige Substanz. Ausser diesen peripherischen Ganglienzellen leuchten bei Phyllirhoë auch noch Ganglien des Nervenstrahlungs. Zu bemerken ist jedoch, dass das Leuchten dieser Nervenzellen nicht nothwendig mit dem Leben verbunden ist, denn das Licht kann auch an toten, getrockneten oder faulenden Thieren durch Begiessen mit heissem Wasser oder Ammoniak wieder hervorgerufen werden.

Leuchtendes Muskelprotoplasma ist bei Echinodermen

(Ophiura) und einem Wurm (Syllis) beobachtet worden. Das Aufleuchten begleitet die Zuckung. Es leuchten jedoch nicht alle Muskeln dieser Thiere. Bei Syllis entstehen zwei Reihen von Leuchtpunkten, entsprechend der Zahl der Füße, bei den Ophiuren sind es die Muskelbänder, welche die Armglieder verbinden.

Zuletzt ist das Leuchten des indifferentirten Protoplasmas von Infusorien (Peridinium, Cryptomonas), der zu den Wurzelfüßern gehörigen Noctiluca und verschiedener Radiolarien (Collozoum, Sphaerozoum und Collosphaera) zu erwähnen.

§ 167.

Bezüglich der Bedingungen des Leuchtens vom Protoplasma ist folgendes ermittelt:

1) Zutritt von Sauerstoff ist hier eben so unerlässlich wie für das Leuchten toter animalischer Substanzen, und indifferente Gasarten sowie Kohlensäure löschen das Licht.

2) Das Leuchten tritt in der Regel nicht spontan auf, sondern es ist eine Begleiterscheinung von Erregungsvorgängen, wird also im allgemeinen durch alle Protoplasmareize hervorgerufen; merkwürdigerweise reagirt jedoch das photogene Protoplasma auf elektrische Reizung im allgemeinen weniger gut als auf andere Reizarten. Unter den chemischen Reizen ist besonders die heftige Wirkung des süßen Wassers auf die leuchtenden Seethiere, dann die Wirkung von Säuren und Alkalien, unter den physikalischen Reizen die mechanische Reizung hervorzuheben. Dass die Erregungsvorgänge in den Nerven die Lichterscheinung hervorrufen, wird sowohl durch das physiologische Experiment bestätigt, als durch die Thatsache, dass bei den Leuchtkäfern die als Nervengifte bekannten Alkaloide von Nux vomica, Curare, Calabarbohne und Opium entschieden auf das Leuchten einwirken.

3) Bei vielen Thieren ist zwar das Leuchten eine Begleiterscheinung des Lebens, allein es ist nicht nothwendig an dasselbe gebunden, sondern kann auch noch beim toten Thiere durch mechanische und chemische Einflüsse erzeugt werden.

Ueber die Begleiterscheinungen des Leuchtens weiss man so viel, dass jedenfalls keine nennenswerthe Wärmeentwicklung damit verbunden ist, denn auch die Untersuchungen mit sehr feinen thermoelektrischen Apparaten haben keine positiven Werthe ergeben. Was die Elektrizität betrifft, so fand Kölliker beim Auflegen von Leuchtkäfern auf einen stromprüfenden Apparat zu Gunsten der lebenden leuchtenden Thiere im Gegensatz zu toten eine Abweichung der Magnetnadel um 3–7°, womit aber noch nicht be-

wiesen ist, dass das Leuchten von elektrischen Strömen begleitet wird, denn andere Untersuchungen haben ein negatives Resultat ergeben.

In seiner Beschaffenheit erinnert das Licht an das Leuchten des Phosphors und seine Farbe spielt in's blaue, grüne, röthliche, gelbe oder violette. Die von verschiedenen Forschern vorgenommene spektroskopische Analyse ergibt ein continuirliches Spektrum, das von einigen als monochromatisch, von Secchi als polychromatisch bezeichnet wird; die Bande liegt nach Panceri zwischen den Linien E und F des Sonnenspektrums.

§ 168.

Ueber die Quelle des thierischen Lichtes ergibt sich aus dem Beobachteten folgendes:

Dasselbe entspringt der Oxydation einer organischen Verbindung, bei welcher unter allen Umständen Kohlensäure entwickelt wird. Diese Leuchtsubstanz ist in einem Theil der Fälle ein Fettstoff, in einem andern eine stickstoffhaltige Substanz. Mit Phosphor hat das thierische Licht nichts zu schaffen, sondern die photogene Substanz hat nur die Eigenschaft mit dem Phosphor gemein, die Spannkkräfte, die bei der Oxydation zur Entbindung kommen, statt wie gewöhnlich als Wärmebewegung, vielmehr in Form von Lichtschwingungen zu entbinden. Kurz, es ist eine Oxydation, bei der statt Wärme Licht auftritt. Bei dem Leuchten lebendigen Protoplasmas ist auch daran gedacht worden, das Licht könne elektrischen Ursprungs sein. Dagegen sprechen die in vielen Fällen zu Tage tretende Unabhängigkeit des Leuchtens von den Lebensvorgängen und die resultatlosen Untersuchungen auf elektrische Ströme. Deshalb wird auch für das Leuchten des lebendigen Protoplasmas die chemische Theorie die richtige sein und zwar so:

Das Protoplasma gewisser Thiere produziert eine Substanz, die bei ihrer Oxydation leuchtet (photogene Substanz). Der Oxydationsvorgang wird einerseits ausgelöst, wenn diese Substanz in innigen Contact mit dem Sauerstoff kommt und gewissen Frictionen oder chemischen Anstößen unterworfen wird, oder dann, wenn das Protoplasma, in das sie eingebettet ist, von einem Erregungsvorgang durchzogen wird. Die in das Protoplasma eingesprengte Leuchtsubstanz bildet hierbei für den Erregungsvorgang eine Hemmung und da bei jeder Hemmung eine Kraftumwandlung stattfindet, so ist damit ein auslösendes Moment gegeben, aber nur unter der Bedingung, dass der nöthige Sauerstoff vorhanden ist.

Aus dem Gesagten ergibt sich mit Nothwendigkeit, dass das Leuchtphänomen, wie die Beobachtung bestätigt, die Erscheinung der Ermüdung und Erschöpfung und die der Erholung zeigt. Das Leuchten dauert nur so lang, als disponibler Sauerstoff und disponible photogene Substanz vorhanden ist und beides wird durch das Leuchten verzehrt.

Die Frage nach den Bedingungen der Bildung der photogenen Substanz ist noch ganz ungelöst. Man kann nur sagen, sie entspringe in den meisten Fällen einer spezifischen ererbten Qualität des Protoplasmas, die gewissen Thierarten der verschiedensten Thierabtheilungen zukommt, aber fast überall nur einigen wenigen Arten. In anderen Fällen, die in § 164 enthalten sind, besteht die spezifische Eigenthümlichkeit nur in einer Prädisposition zur Entwicklung der Leuchtsubstanz, und diese Prädisposition ist theils eine dauernde, theils eine nur temporäre.

§ 169.

Ausser dem im bisherigen beschriebenen, von Oxydation einer photogenen Substanz herrührenden, also chemischen thierischen Lichte, kommen noch zwei andere Formen von Leuchten bei Thieren vor, die rein physikalischer Natur sind.

1) Das Auftreten von elektrischen Funken im Haarkleid der Säugethiere, wenn dasselbe gerieben wird. Am leichtesten ist die Erscheinung bei Katzen hervorzubringen durch Streicheln gegen das Haar und zwar am besten bei trockner Luft, auch am menschlichen Kopf- und Barthaar ist es zu beobachten. Es handelt sich hier einfach um die Entstehung von Reibungselektrizität an den die elektrische Bewegung so sehr schlecht leitenden Haaren und Entladung derselben unter knisterndem Geräusch.

2) Das Leuchten der Augen der mit einem Tapetum versehenen Wirbelthiere und vieler Insekten, insbesondere der Nachtschmetterlinge. Von diesem Leuchten ist festgestellt, dass es eine bloße Reflexion äusseren Lichtes ist, denn es verschwindet bei absoluter Dunkelheit vollständig.

13. Die Entwicklungsvorgänge des Protoplasmas (continuirliche Funktionen).

§ 170.

Die im bisherigen geschilderten, in kurzem Rhythmus verlaufenden Funktionen haben alle das mit einander gemein, dass sie einen in sich selbst zurückkehrenden Kreislauf von Zustands-

veränderungen bilden. Ausserdem zeigt das Protoplasma noch eine Reihe von Vorgängen als Ausdruck der Lebensthätigkeit, die mehr stetig verlaufen und es in einer gerade fortlaufenden Richtung verändern. Man fasst dieselben als Entwicklungserrscheinungen zusammen und könnte sie im Gegensatz zu den rhythmischen Funktionen *continuirliche* nennen.

Die quantitative Seite dieser Vorgänge wird von dem Wachstum, der Vermehrung und Fortpflanzung gebildet; die qualitative Seite findet in der Differenzirung und Anpassung sowie in der Vererbung ihren Ausdruck.

a) Wachstum.

§ 171.

Nach Virchow unterscheidet man zweierlei Wachstumsformen: das *trophische*, worunter man einfache Volumszunahme des einzelnen Protoplaststückes oder Gewebselementes versteht, und das *numerische* Wachstum der vielzelligen Thiere, das dadurch zu Stande kommt, dass die Zellen durch Theilung und Knospung sich vermehren; wodurch die Masse des Gesamtkörpers vergrößert wird. Passenderweise betrachten wir das numerische Wachstum im Zusammenhang mit den übrigen Vermehrungsvorgängen und erörtern zuerst das *trophische* oder, wie man es auch nennen könnte, das *elementare* Wachstum.

§ 172.

Unter *trophischem* Wachstum im weitesten Sinne des Wortes versteht man jede Massevermehrung des Protoplasmas; allein hierbei sind zwei *physiologisch* und *praktisch* sehr verschiedenwerthige Massevermehrungen zu unterscheiden.

1) *Homotrophisches* Wachstum ist eine Massevermehrung ohne Aenderung der qualitativen Zusammensetzung des Protoplasmas, wobei also weder das Mengeverhältniss, noch die Qualität der Protoplastbestandtheile verändert wird.

2) *Heterotrophisches* Wachstum ist eine Massevermehrung, welche mit einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Protoplasmas verknüpft ist. Hierbei sind hauptsächlich drei Fälle zu unterscheiden:

a) Die als *Mästung* bezeichnete und schon § 99 geschild-

derte Vermehrung des Protoplasmafettes (steatotrophisches Wachstum).

b) Die bei unserem Schlachtvieh als „Aufschwellung“ bezeichnete, allerdings noch nicht exakt untersuchte Volumsvermehrung, bei welcher es sich vorzugsweise um eine Vermehrung des Wassers (samt dessen Salzen und Extraktivstoffen?) handelt. Solches Fleisch ist durch die bedeutende Volumsabnahme gekennzeichnet, die es beim Kochen und besonders beim Braten erfährt. Man kann deshalb diese Wachstumsart als hydrotrophisches Wachstum bezeichnen. Offenbar ist dieser Vorgang ein ganz ähnlicher wie die krankhafterweise so oft zu beobachtende hydropische Anschwellung, allein da sie sicher auch als durchaus normale Entwicklungserscheinung vorkommt (nach meinen Untersuchungen beträgt z. B. der Wassergehalt der zum Auskriechen aus dem Ei fertigen Seidenraupe 68%, der der Erwachsenen nach Haberlandt's Analysen ca. 83%), so haben wir zwischen pathologischem Hydrops und zwischen normalem hydrotrophischen Wachstum wohl zu unterscheiden.

c) Als differenzives Wachstum kann man alle diejenigen sehr mannigfaltigen Massevermehrungen betrachten, bei welchen es sich weniger um eine Veränderung der quantitativen, als der qualitativen chemischen Zusammensetzung handelt, also dasjenige Wachstum, welches die Differenzierungsvorgänge des Protoplasmas begleitet. Da später über die Differenzierung gesondert und ausführlicher gesprochen werden soll, so ist dort das Nähere nachzusehen.

Selbstverständlich gehen diese dreierlei Formen des trophischen Wachstums in den mannigfaltigsten Nüancierungen in einander über.

Ueber die Bedingungen dieser dreierlei Wachstumsformen ist zunächst zu sagen, dass zwar im allgemeinen jede Protoplasmaform alle diese Formen des Wachstums annehmen kann, und dass es wesentlich von den äusseren Verhältnissen abhängt, welche Form des Wachstums eingeschlagen wird, aber der Grad der Befähigung zu einer bestimmten Form ist bei verschiedenen Protoplasmaarten auch unter sonst gleichen Bedingungen nicht gleich gross, weshalb wir von Wachstumsfähigkeit im allgemeinen, von Mastfähigkeit, Differenzierungsfähigkeit etc. im speziellen zu reden haben.

§ 173.

Das trophische Wachstum hat zur Voraussetzung, dass beim

Stoffwechsel die Zufuhr fixer Nährstoffe über den Stoffverbrauch überwiegt. Es wird also durch alle diejenigen Umstände, welche die Stoffzufuhr vermehren, sowie durch alle die, welche den Stoffverbrauch vermindern, gesteigert; allein trotzdem bewegt es sich innerhalb einer gewissen, schwer und in nur geringem Masse verrückbaren, quantitativen Bahn, weil diese Umstände in einem regulatorischen Verhältniss zu einander stehen, was sich aus folgendem ergibt.

Erste Bedingung reichlicher Stoffzufuhr ist, dass in dem umspülenden Medium möglichst viel fixe Nährstoffe vorhanden sind, allein wie viel von diesem Vorrath aufgenommen wird, hängt von der Resorptionsfähigkeit des Protoplasmas ab. Diese ist nun, wie in § 69 geschildert wurde, von dem Arbeitsmass des Protoplasmas in der Weise abhängig, dass stärkere Ermüdungsgrade, wie sie durch stärkere Arbeit gesetzt werden, die Resorptionsfähigkeit erhöhen. Auf der andern Seite haben wir seiner Zeit gesehen, dass die Protoplasmaarbeit die fixen Protoplasmabestandtheile zerstört, also dem Wachsthum entgegenarbeitet.

Dieses Verhältniss, das ich als elementare Wachstumsregulation bezeichne, bewirkt 1) dass das Mass des Wachstums in einem sehr weit gehenden Grade von der Gunst der äusseren Umstände unabhängig ist, dass es also nicht über ein gewisses Mass hinaus gesteigert und beschleunigt werden kann; 2) dass wir von einer spezifischen Wachstumsfähigkeit des Protoplasmas zu sprechen haben, weil der das Wachsthum regulirende Mechanismus nicht bei allen Arten gleich empfindlich arbeitet. Hierbei ist das Verhältniss von Raum und Zeit zu unterscheiden: in Bezug auf ersteren spricht man von Grosswüchsigkeit, in Bezug auf letztere von Schnellwüchsigkeit, was beides durchaus nicht zusammenfällt, denn es gibt schnellwüchsige Protoplasmastücke, die trotzdem klein bleiben, und grosswüchsige, die sehr langsam wachsen. Ein weiterer Unterschied in der spezifischen Wachstumsfähigkeit verschiedener Protoplasmaarten liegt in der Dauer des Wachsthumsvorganges: Langwüchsig, wenn der Wachsthumprocess lange fortdauert, kurzwüchsig, wenn er rasch sein Ende erreicht. Langwüchsig und grosswüchsig ist hierbei durchaus nicht immer gleichbedeutend, z. B. die Knochenzellen scheinen lange Zeit hindurch an Volum zunehmen zu können, jedoch ohne eine erhebliche Grösse zu erreichen, während die langwüchsigen Muskelfäden auch grosswüchsig sind. Hierbei muss übrigens daran erinnert werden, dass bei dem Effekt des Wachstums in Bezug auf die endliche Grösse der Protoplasmastücke die Theilungsvorgänge eine Hauptrolle spielen, wovon später.

§ 174.

Worauf diese Unterschiede in der Wachstumsfähigkeit beruhen, ist bis heute so gut wie gar nicht untersucht und es lässt sich im Voraus sagen, dass die Ursachen äusserst complizirter und mannigfaltiger Natur sein müssen. Bis zu einem gewissen Grade ist es jedoch möglich, auf Verhältnisse hinzuweisen, welche bei der Differenz in der Wachstumsfähigkeit eine Rolle spielen müssen.

1) Ein rein äusserlicher Umstand ist die Zugänglichkeit der Nährstoffe zum Protoplasma: Nacktes Protoplasma wird wachstumsfähiger sein als solches, das in mehr oder weniger dichte Zellhäute eingeschlossen oder durch Zellkittmassen vom Reservoir der Nährstoffe abgeschlossen ist. Hierfür können aus der Wachstumsenergie der verschiedenen Gewebe zahlreiche Beispiele angeführt werden, z. B. die geringe Wachstumsfähigkeit des Knorpel-, Knochen-, Muskel- und Nervengewebes im Gegensatz zu der grossen Wachstumsfähigkeit des vorzugsweise aus nacktem Protoplasma bestehenden Drüsengewebes u. s. w.

2) Auch wo das Protoplasma nackt ist, wird die Grösse der Strukturporen desselben eine bedeutende Rolle spielen müssen, denn je grösser dieselben sind, um so leichter wird unter sonst gleichen Umständen die Stoffzufuhr stattfinden.

3) Von entscheidendem Einfluss muss die Beschaffenheit des den Porenverschluss bestimmenden Strukturtheils sein. Wie wir § 71 sahen, findet im müssigen Zustand Porenverschluss statt, und die durch die Protoplasmaarbeit erzeugten Ermüdungsstoffe erzwingen die Porenöffnung. Je leichter nun diese eintritt, d. h. je weniger umfangreich die durch die Arbeit erzeugte Zerstörung von Protoplasma Stoffen zu sein braucht, um die Porenöffnung herbeizuführen, um so grösser wird die Wachstumsfähigkeit sein. Mit dieser Anschauung stimmt z. B. die Thatsache überein, dass die Thiere in der Wachstumsperiode entschieden ermüdbarer sind, als im ausgewachsenen Zustand. Die Ermüdbarkeit des Porenverschlussapparates muss aber selbst wieder von verschiedenen Umständen abhängen:

a) Seine chemische Zusammensetzung wird nicht ohne Einfluss auf die Empfindlichkeit desselben für die Einwirkung der Ermüdungsstoffe sein.

b) Von ebenso grossem Einfluss werden Unterschiede in seiner physikalischen Beschaffenheit sein: Je dehnbarer die den Porenverschluss regulirenden Strukturtheile sind, um so weniger dicht

und um so leichter zu beseitigen der Verschluss ist, um so wachstumsfähiger wird das Protoplasma sein. Dahin möchte ich die Thatsache deuten, dass unter sonst gleichen Umständen die wasserhaltigen weichen Protoplasmaarten ganz entschieden wachstumsfähiger sind, als die festeren wasserärmeren.

4) Welche eigenthümliche, noch ganz unaufgeklärte Verhältnisse auf die Wachstumsfähigkeit des Protoplasmas einwirken, geht aus der Thatsache hervor, dass Bastarde sehr häufig ein wachstumsfähigeres Protoplasma besitzen als die beiden Elternarten. So habe ich vor kurzem 20 Monate alte Bastarde von Forellen und und Saiblingen gesehen, welche 500 Gramm wogen, während die gleich alten, im gleichen Teiche aufgewachsenen Forellen und Saiblinge von Reinzucht im Durchschnitt nur 35 Gramm Gewicht hatten. Viele solcher Fälle sind bei den verschiedensten Bastarden beobachtet, allein nicht so, dass es allgemeine Regel wäre; Maulesel und Maulthiere halten z. B. in der Wachstumsfähigkeit das Mittel zwischen ihren beiden Erzeugerarten.

5) Trotz der absoluten Unkenntniss der letzten Ursachen ist es nicht uninteressant, einen vergleichenden Blick auf die Wachstumsfähigkeit der Protoplasmaarten der verschiedenen Thierabtheilungen zu werfen. Hier springt z. B. die geringe Wachstumsfähigkeit des chitinogenen Protoplasmas der Gliederthiere, gegenüber dem osteogenen und chondrigenen Protoplasma der Wirbelthiere in die Augen. Es ist der Unterschied jedenfalls zum Theil darauf zurückzuführen, dass das chitinogene Protoplasma durch seine hohe Geneigtheit, sich gegen das Aufenthaltsmedium durch eine sehr wenig nachgiebige und durchlässige Chitinhaut abzukapseln, in seiner Wachstumsfähigkeit beeinträchtigt ist. Die geringe Wachstumsfähigkeit des mucigenen Molluskenprotoplasmas steht wohl ebenfalls mit seiner spezifischen chemischen Mischung in innigem Zusammenhang und zwar insofern, als dieselbe bewirkt, dass Einflüsse, welche bei anderen Protoplasmaarten nur den rhythmischen Wechsel zwischen Sättigungs- und Hungerzustand hervorrufen, hier zu einer Zerstörung der lebendigen Struktur durch Schleimmetamorphose des Protoplasmas führen. Damit stimmt, dass die Mollusken gegen Verwundungen empfindlicher sind als andere Thiere. Uebrigens ist sogleich zu bemerken, dass geringes Totalwachsthum vielzelliger Thierkörper nicht nothwendig ausschliesslich Folge geringer elementarer Wachstumsfähigkeit ist, sondern dass es sich hier auch um die später zu besprechende sociologische Wachstumsregulirung handelt.

§ 175.

Trotzdem die im bisherigen geschilderte Wachstumsfähigkeit das effektive Wachstum souverän beherrscht, so wird letzteres doch durch eine Reihe bestimmter äusserer Verhältnisse erheblich beeinflusst, und man fasst dieselbe zusammen unter der Bezeichnung: Wachstumsbedingungen.

1) Von entschiedenem Einfluss auf das Wachstum ist die Wärme, und zwar sowohl in Bezug auf Geschwindigkeit als auf die endliche Wachstumsgrösse. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt des Wassers stagniren die Wachstumsvorgänge im thierischen Protoplasma fast völlig; von da an nimmt mit steigender Wärme die Wachstumsintensität zu bis zu einem Maximum, über das hinaus eine weitere Steigerung den entgegengesetzten Erfolg hat, weil die Zerstörbarkeit der Protoplasmabestandtheile, die dem Wachstum feindlich ist, bei höheren Temperaturen steigt.

Der auffälligste und bekannteste Theil des Einflusses der Temperatur auf das Wachstum ist der auf die Geschwindigkeit: Je näher am Zuträglichkeitsmaximum sie liegt, desto rascher geht das Wachstum vor sich. Weniger studirt ist der Einfluss auf die endliche Wachstumsgrösse und das Verhältniss beider Einflüsse zu einander. Es scheint, dass es eine Wachstumsbeschleunigung gibt auf Kosten der endlichen Wachstumsgrösse.

Das Zuträglichkeitsmaximum liegt unter allen Umständen stets tiefer, als der Punkt, in welchem Wärmestarre eintritt (siehe § 34). Aber offenbar liegt es nicht für alle Thiere gleich hoch; so besitzt der Meeresgrund noch bei einer constanten Temperatur von minus 1°—2° C. eine reiche Fauna, während für die Luftthiere das Maximum um 25° C. herum liegt. Ebenso hat das Maximum nicht für alle Thiere einen gleich grossen Spielraum: Arten, bei welchen derselbe gross ist, nennt man eurytherme, solche bei denen er eng ist, stenotherme Arten (Möbius).

§ 176.

Das freie Protoplasma der niedersten Thiere, dessen Eigenwärme fast ganz der Temperatur des umgebenden Mediums entspricht, ist natürlich in seiner Wachstumsintensität ganz auf die äussere Temperatur angewiesen. Bei dem Protoplasma der vielzelligen Thierkörper tritt an dessen Stelle die Eigenwärme des Gesamtkörpers, die, wie früher geschildert, bald mehr, bald

weniger unabhängig von der Temperatur der umgebenden Medien ist.

Bei den kaltblütigen oder, wie sie auch genannt werden, wechselwarmen Thieren ist leicht zu constatiren, dass die äussere Temperatur von grösstem Einfluss auf Betrag und Geschwindigkeit des Wachsthumms ist; z. B. in kalten Gebirgsbächen ($6-8^{\circ}$ C.) wachsen die Forellen sehr langsam und erreichen selten ein Gewicht von über $\frac{1}{2}$ Kilogr., während sie in wärmeren Wassern ($15-18^{\circ}$) leicht 3–5 Kgr. schwer werden und das Gewicht von $\frac{1}{2}$ Kgr. schon im dritten Jahre erreichen können. Laubfrösche lernte ich kennen, die, in einem Orchideenhause aufgewachsen, reichlich die Grösse eines Wasserfrosches erreicht hatten.

Vergleichen wir die wechselwarmen Kaltblüter mit den constant warmen Warmblütern (Vögeln und Säugethieren), so tritt bei letzteren, ganz entsprechend der grösseren Unabhängigkeit ihrer Eigenwärme von der äusseren Temperatur, auch eine grössere Unabhängigkeit ihres Wachsthumms von der Aussenwärme zu Tage: Die Wärmeregulation wird zur Wachsthummsregulation. Namentlich auffällig ist, dass der Wachsthummsabschluss des Gesamtkörpers ein weit bestimmterer ist nach Zeit und Raum. Während z. B. bei der Forelle der Wachsthummsabschluss einerseits bei $\frac{1}{2}$ Kgr., andererseits erst bei 3–5 Kgr. Gesamtgewicht erfolgen kann, liegen Minimum und Maximum bei den Warmblütern sehr nahe bei einander, insbesondere nahe bei den Vögeln und den kleineren Säugethieren, und auch der Zeitpunkt des Wachsthummsabschlusses kann durch Unterschiede in der äusseren Temperatur nur in sehr geringem Grade verschoben werden, während bei den Kaltblütern häufig sehr schwer zu bestimmen ist, wann sie ausgewachsen sind.

§ 177.

Bei dem theoretischen und praktischen Interesse, das sich an das Verhältniss von Wärme und Wachstum knüpft, soll in Folgendem über einige Messungsergebnisse berichtet werden, die ich an Warmblütern, insbesondere an Vögeln, also an der Thierklasse erhielt, deren Wachsthummsabschluss die grösste Constanz aufweist.

Das Endergebniss der Messungen ist der Nachweis, dass das Wachstum bei dieser Thierabtheilung in einem unter sonst gleichen Umständen ziffermässig sehr constanten umgekehrten Verhältniss zur Grösse ihres Wärmeverlustes in der Wachsthummsperiode steht.

Bei den Vögeln habe ich als Massstab für die Intensität des Gesamtwachsthumms die Zahl angenommen, die man durch Di-

vision mit dem Eivolumen in das Volumen des Rumpfes (am Skelet gemessen) erhält. (Die natürlichere Vergleichung von Eigewicht und Gewicht des erwachsenen Thieres scheidet an der Unmöglichkeit der Beschaffung ausgiebigen frischen Materials und den enormen Schwankungen des Körpergewichts je nach dem Ernährungszustand).

Die genannte Wachstumsgrösse, so nenne ich diese Ziffer, ist bei den von mir gemessenen Vögeln ganz ungemain verschieden. Sie beträgt z. B. beim Truthahn 111, bei der Hausschwalbe nur 5, und meine Messungen haben als ganz ausnahmsloses Resultat ergeben, dass in einer und derselben Gattung oder Familie die grossen Arten grössere Ziffern aufweisen als die kleinen, z. B. Tag-Raubvögel: Steinadler 36, Sperber 7. Nacht-Raubvögel: Uhu 51, Käuzchen 10; Rabenartige: Kollkrabe 55, Eichelhäher 18. Hühnerartige: Truthahn 111, Wachtel 14; Zahnschnäbler: Schwan 26, Krikenten 17; Steganopoden: Pelikan 85, Cormoran 71; Gattung *Lanius*: *excubitor* 11, *collurio* 8; Gattung *Picus*: *martius* 23, *major* 13; Gattung *Ardea*: *cinerea* 42, *minuta* 9,7 etc.

Angenommen muss werden, dass die sonstigen Wachstumsbedingungen bei zweierlei Arten derselben Gattung wesentlich die gleichen sind, aber offenbar sind die Wärmeverluste bei kleinen Vögeln aus zwei Gründen grösser als bei grossen Arten; 1) weil die Wärmeverluste im geraden Verhältniss zur Oberflächeentwicklung stehen und diese bei kleinen Körpern grösser ist als bei grossen; 2) weil grosse Vögel ein dickeres Gefieder und demgemäss geringere Wärmeverluste haben als kleine Vögel mit ihrem dünneren Gefieder.

Messung und Rechnung bestätigen nun, dass der Unterschied in der Wachstumsgrösse zweier verschieden grossen Arten einer Gattung oder engeren Familie, sofern die äusseren Verhältnisse des Wärmeverlustes gleich sind, genau auf die genannten Faktoren zurückzuführen ist und zwar in folgender Weise:

Hat man zwei gleich geformte, aber verschieden grosse Körper z. B. zwei Würfel, deren einer eine Kantenlänge von 1 Ctm., der andere eine Kantenlänge von 2 Ctm. hat, so ist die Oberflächenentwicklung des ersten (d. h. Oberfläche: Volumen) = $\frac{6}{1}$, die des zweiten = $\frac{24}{8}$. Die Oberflächenentwicklungen verhalten sich also wie 6:3, d. h. wie 2:1, also umgekehrt wie die Durchmesser. Wendet man dies auf die Eier an, so verhalten sich die Oberflächenentwicklungen, also die Wärmeverluste zweier gleichgeformter, aber verschieden grosser Eier ungefähr umgekehrt wie ihre Durchmesser, und da die Wachstumsintensität in umgekehr-

tem Verhältniss zu der Grösse des Wärmeverlustes steht, so steht sie in geradem Verhältniss zum Eidurchmesser. Wäre das nun der einzige Faktor, so müssten bei zwei verschieden grossen Vogelarten die Wachstumsgrössen sich verhalten wie die Eidurchmesser; das ist aber nicht der Fall, weil noch die ungleiche Gefiederdicke hinzukommt. Misst man nun diese und multiplicirt bei jeder Art die Ziffer des Eidurchmessers mit der der Gefiederdicke, so verhalten sich diese Ziffern innerhalb einer Gattung bei allen Arten, den grössten wie den kleinsten, fast genau so wie ihre Wachstumsgrössen; d. h. wenn man mit dem Produkt aus Eidurchmesser und Gefiederdicke in die Ziffer der Wachstumsgrösse dividirt, so erhält man eine Ziffer, welche ich die Wachstumsconstante genannt habe, weil sie bei Thieren gleicher Verwandtschaft und gleicher Lebensweise gleich gross ausfällt.

Dagegen sehen wir, dass die Wachstumsconstante bei solchen Vögeln verschieden gross ist, welche in Bezug auf die Wärmeverluste während der Wachstumsperiode durch Beschaffenheit und Standort des Nestes oder sonstige Aufenthaltsweise sich nicht gleich verhalten. So haben die höchste Wachstumsconstante (6—9) die Höhlenbrüter; ferner ist bei Vögeln mit napfförmigem Nest die Wachstumsconstante grösser (4—5 $\frac{1}{2}$), als bei solchen mit flachem, offenem Horst (1—2). Bei geschütztem Stand des Nestes ist die Constante höher (1 $\frac{1}{2}$ —2) als bei Horsten, die ganz frei stehen (0,6—1); bei den Nestflüchtern sind die Zahlen so wie bei Arten, deren Nest zwar offen und flach ist (die Jungen also nicht zusammenpresst), aber einen geschützten Stand hat. Endlich ist die Zahl bei Vögeln, die früh im Jahre brüten, geringer als bei solchen, die später im Jahre brüten und ebenso bei nordischen Vögeln geringer als bei südlich lebenden.

Bei den Säugethieren habe ich nur einige wenige Messungen ausgeführt, diese weisen aber darauf hin, dass bei ihnen für das postfötale Wachstum das gleiche Gesetz gilt wie für die Vögel. Damit stimmt folgendes überein: Im hohen Norden zeigen Menschen und Hausthiere (Pferde, Rinder) einen kleineren Wuchs als im gemässigten Klima. Bei nordischen Säugethieren und Vögeln ist die Haar- und Federschicht viel dichter, also wärmehaltiger, als bei ihren nächstverwandten südlicher lebenden, und trotzdem zeigen diese nordischen Arten grösseren Wuchs als die südlichen, sondern eher das umgekehrte. Bezüglich der Wirkung der Oberflächenentwicklung wissen die Thierzüchter längst, 1) dass solche Rinder- und Schweinerassen, bei denen durch möglichste Verkürzung der Gliedmassen und durch einen möglichst kreisförmigen Querschnitt des Rumpfes das Verhältniss der Wärme ab-

gebenden Oberfläche zur Wärme erzeugenden Masse abgenommen hat, grosswüchsiger und mastfähiger sind; 2) dass bei grossen, also warmhaltigeren Thieren ein viel geringeres Futterquantum zur Aufrechterhaltung ihres Körpergewichtes nöthig ist. Z. B. ein Mensch muss täglich $\frac{1}{18}$ seines Körpergewichtes zu sich nehmen, eine Maus etwa $\frac{1}{3}$, um nicht abzumagern.

§ 178.

2) Im Anhang an die Wärme muss noch des Lichtes kurz gedacht werden. Bis jetzt sind hierüber noch wenige Untersuchungen angestellt. Wir wissen nur: dass Froschlarven in der Dunkelheit langsamer wachsen; dass die Stoffwechselintensität, soweit sie sich durch Sauerstoff und Kohlensäureumsatz zu erkennen gibt, in der Dunkelheit geringer ist als im Licht (ein Minus von 15—18%) und dass die Kohlensäureausscheidung, in weissem Licht = 100 gesetzt, in violettem Licht 87, in rothem 92, in blauem 103, in grünem 106, in gelbem 126 ist. Daraus lässt sich schliessen, dass der Einfluss des Lichtes auf das Wachsthum ein ähnlicher sein dürfte wie der der Wärme, nämlich dass es ein Zuträglichkeitsmaximum gibt, und dass Abweichung von diesem nach oben durch zu starke Oxydation wachstumshinderlich ist, während Abweichung nach abwärts zuerst das steatotrophische Wachsthum begünstigen wird (die Thierzüchter nehmen an, dass bei Dunkelheit die Mästung besser gelinge), dass weiter abwärts jedoch das Wachsthum eine gewisse, aber jedenfalls nicht sehr erhebliche Hemmung erfährt.

Dafür, dass ein gewisser Lichtreiz wachsthumsförderlich für thierisches Protoplasma ist, spricht auch der Gegensatz zwischen der oberen und unteren Seite der Thiere. Die Rückenhaut der Säugethiere (Cutis und Epidermis) ist dicker als die Bauchhaut, und die Haare und Federn auf dem Rücken sind stärker und länger. Auch muss der Thatsache gedacht werden, dass das continuirliche Wachsthum der Epidermiszellen gegenüber dem entschieden geringeren Wachsthumsbetrag der inneren Schichten des Körpers sich wohl dahin deuten lässt, dass der Unterschied in der Beleuchtung nicht ohne Einfluss hierauf sei, allein zwingend ist das durchaus nicht, so wenig als der Unterschied zwischen Bauch- und Rückenhaut, da es sich in beiden Fällen auch noch um Unterschiede in dem Verdunstungsmass, der Zahl und Intensität der Wärmeschwankungen, der Einwirkung des Sauerstoffs etc. handelt.

§ 179.

3) Unter die Wachstumsbedingungen gehören auch die kinetischen Verhältnisse, die wir unter der Bezeichnung *Gebrauch*-intensität zusammenfassen. Auch hier haben wir es mit einem zuträglichsten *Gebrauch*maximum zu thun, von dem aus Abweichungen nach beiden Richtungen hin einen hemmenden Einfluss auf das Wachstum haben.

Uebermässiger *Gebrauch*, d. h. ein solcher, welcher im Missverhältniss zu der Nahrungszufuhr steht, oder nicht von den zur Erholung (s. § 98) nöthigen Ruhepausen unterbrochen wird, beeinträchtigt das Wachstum und kann nicht blos Stillstand, sondern sogar *Consumption* herbeiführen und zwar um so leichter, je ermüdungsfähiger das *Protoplasma* ist.

Bei Abweichung von dem *Zuträglichkeitsmaximum* nach abwärts, erlangt zwar das Wachstum noch keine quantitative Abnahme, sondern eher eine Zunahme, allein aus dem *homotropischen* Wachstum wird ein *steatotrophisches* (s. *Mästung* § 99). Bei noch weiterer Abnahme tritt auch quantitative *Wachstumshemmung*, sogenannte *Verkümmerung* durch *Nichtgebrauch*, ein.

Ich habe in ähnlicher Weise, wie den Einfluss der Wärme, so auch den Einfluss des *Gebrauches* auf das Wachstum durch Messungen am Skelet von Säugethieren ermittelt und habe das Ergebniss in folgenden Satz zusammengefasst:

Unter sonst gleichen Umständen steht das *Längewachstum* eines Knochens in geradem Verhältniss zu seiner mechanischen Leistung.

Dieser Satz zerlegt sich in zwei Sätze:

1) Das *Längewachstum* steht in geradem Verhältniss zur Höhe der Belastung des Knochens durch das Körpergewicht.

2) Das *Längewachstum* steht in geradem Verhältniss zur Stärke und Häufigkeit des in der Richtung der *Längsaxe* ausgeübten Muskeldruckes.

Dass das gleiche Gesetz für das *Muskelprotoplasma* gilt, zeigt die Volumzunahme der Muskeln durch geeigneten *Gebrauch* und die Volumsabnahme (meist nach vorgängiger *Verfettung*) durch *Nichtgebrauch*. Die *Schwiielenbildung* an Hautstellen, die ausgiebigen *rhythmischen Pressungen* ausgesetzt sind, illustriert die Wirksamkeit des Gesetzes für das *Protoplasma* der *Epidermiszellen*, und auch für das *Drüsenprotoplasma* liegen Beobachtungen in gleichem Sinne vor.

Dass bei dem Einfluss des Gebrauchs auf das Wachstum des Protoplasmas im Leib vielzelliger Thierkörper sociologische Vorgänge in Betracht kommen, ist ausser Zweifel, namentlich steigt mit dem Gebrauch das Durchblutungsmass der gebrauchten Theile, während ruhenden Körpertheilen durch die Arbeit anderer Theile des gleichen Körpers Blut entzogen wird, worauf wir bei Besprechung der Correlation und Discorrelation des Wachstums zurückkommen werden. Allein ausserdem haben wir es auch mit elementaren Vorgängen zu thun.

1) Worauf schon früher hingewiesen wurde, ist Ermüdung des Protoplasmas durch Arbeit gleichbedeutend mit Herbeiführung des Hungerzustandes, d. h. mit Erhöhung der Resorptionsfähigkeit.

2) Die passiven und aktiven rhythmischen Pressungen, welche das contractile Protoplasma bei der Arbeit erfährt, müssen förderlich auf den Stoffwechsel und damit auch auf das Wachstum wirken, da jeder Pressung eine Abfuhr von Stoffen und jeder Erschlaffung eine Aufsaugung entsprechen muss.

Aus dem, was über den Einfluss des Gebrauchs gesagt ist, geht hervor, dass alle Reize, welche das Protoplasma erregen, auch Wachstumsreize sind, sofern ihre Einwirkung nach Mass und Rhythmus das Zuträglichkeitsmaximum nicht überschreitet.

§ 180.

4) Unter den stofflichen Wachstumsbedingungen steht natürlich die Zufuhr der fixen Nährstoffe oben an und es handelt sich hierbei sowohl um Quantität als Qualität.

Bezüglich der Quantität ist festzustellen, dass das Protoplasma (oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Gesamtkörper eines Thieres) ein bestimmtes relatives Quantum von Nahrung in gegebener Zeit bedarf, um sein Volum oder Gewicht auch nur zu erhalten. Dieses Quantum nennt man Beharrungsfutter und berechnet es in Praxi auf den Tag und das Kilo Körpergewicht. Dass die Menge des Beharrungsfutters nicht bei allen Thieren gleich gross, dass sie namentlich bei den Thieren um so grösser sein muss, je kleiner dieselben sind, wurde schon früher angegeben. Für das Wachstum kommt nun blos diejenige Nährstoffmenge in Betracht, welche über das Beharrungsquantum hinaus gefüttert wird: Produktionsfutter. Zwischen letzterem und dem effektiven Wachstumseffekt bestehen ziffermässige Relationen. So hat man ermittelt, dass junge Pferde 100 Kgr. Produktionsfutter (Heu) in 7,34 Kgr. Körpergewicht umsetzen; bei Kälbern erzeugen 100

Kgr. Heu 6,50 Kgr. Massezunahme. Hieraus ergibt sich, dass nicht die gesammte Masse der über das Beharrungsfutter hinaus aufgenommenen Nahrung (auch abgesehen von den unverdaulichen Bestandtheilen) in Protoplasma umgewandelt, sondern dass auch hiervon ein Theil zerstört wird. Dies weist darauf hin, dass nicht nur die Erhaltung des Körpers, sondern auch das Wachsthum das Ergebniss einer mit Stoffverbrauch verbundenen Arbeit ist. Voraussichtlich werden bei verschiedenen Thieren und Thierarten sowie bei verschiedenen Protoplasmaarten eines und desselben Thieres in der Hinsicht Unterschiede bestehen, dass bei den einen das Wachsthum ein geringeres Arbeitsmass, also geringeren Stoffverlust erfordert als bei anderen.

Damit gewinnen wir eine weitere Präzisierung der schon in früheren Paragraphen besprochenen spezifischen Wachsthumfähigkeit. Wie gross hier die Unterschiede zwischen verschiedenen Thierarten sein können, geht aus den von mir gefundenen Wachsthumskonstanten der Vögel (s. § 177) hervor. Den interessantesten Fall liefert der Kukul. Dieser Vogel brütet bekanntlich nicht selbst, sondern legt je ein Ei in das Nest eines kleinen Singvogels; der junge Kukul verdrängt sehr bald die andern Jungen aus dem Neste und empfängt alle Nahrung, die seine Stiefeltern herbeizuschaffen im Stande sind, allein, also das was sich sonst auf 4—5 Junge vertheilt. Ganz conform damit ist die Wachsthumskonstante des Kukuks (17,7) 4—5 mal so gross als die der Sylvienarten, die ihn auffüttern (3,80 — 3,90). Ebenso zeigen andere als „Fresser“ bekannte Vogelarten, z. B. die Pelecaniden, auffallend grosse Wachsthumskonstanten.

§ 181.

Unter den Nährstoffen ist für das homotrophische Wachsthum selbstverständlich das Eiweiss der wichtigste Faktor und es steht fest, dass eiweissreichere Nahrung (engeres Nährstoffverhältniss) förderlicher ist, als eiweissärmere. Jedoch gibt es auch hier ein Zuträglichkeitsmaximum, welches nicht überschritten werden darf, weil die Aufnahme des schwer diffundirbaren Eiweiss daran geknüpft ist, dass die aus der Oxydation der stickstofflosen Bestandtheile entstehenden Ernüdungsstoffe und die Nährsalze nöthig sind, um das Protoplasma in resorptionsfähigen Zustand zu versetzen und die zerstörenden Wirkungen des Sauerstoffs auf das Eiweiss zu paralsiren.

Wenn in der Nahrung der Gehalt an Eiweiss im Verhältniss zu den stickstofflosen Nährstoffen abnimmt, so dass diese über-

wiegen, so sind zunächst die Bedingungen für das steatotrophische Wachstum günstiger als für das homotrophische, und eine Nahrung, bei welcher die Salze und das Wasser relativ überwiegen, begünstigt das hydrotrophische Wachstum.

Ueber die Beziehungen der Salze zum Wachstum ist man so ziemlich auf das schon früher über ihren Einfluss auf die Ernährung Gesagte angewiesen und weiss ausserdem, dass bei den Thieren, welche bei ihrem Wachstum verirdete Gewebe zu bilden haben (Kalkschalen wie die Mollusken, Knochen wie die Wirbelthiere), Armuth der Nahrung an den hierzu gehörigen Erdsalzen auch von nachtheiligem Einfluss auf die Wachstumsvorgänge des Gesamtkörpers, nicht blos auf die der betreffenden Hartgebilde, ist. Dass bei dem hämoglobigenen Protoplasma der Wirbelthiere Armuth der Nahrung an Eisenverbindungen dem Wachstum abträglich ist, steht gleichfalls fest.

§ 182.

Ueber den Einfluss der spezifischen Bestandtheile der Nahrungsmittel (zu denen hauptsächlich die riechenden und schmeckenden gehören) auf das Wachstum, wissen wir nur, dass sie sowohl zum Wachstums-, als zum Erhaltungsstoffwechsel unbedingt erforderlich sind, dass sie die Rolle von Resorptions- und damit auch von Wachstumsreizen spielen, wobei aber vorausgesetzt ist, dass ihnen die Eigenschaft der Adäquatheit zukommt und dass die Reizstärke ein auch hier sicher vorhandenes Zuträglichkeitsmaximum nicht überschreitet. Denn dass eine, durch Zusatz von schmeckenden und riechenden Stoffen „zu reizend“ gewordene Nahrung das Wachstum beeinträchtigt, lehrt die Erfahrung am Menschen; namentlich wird ein wachstumshemmender Einfluss dem Alkohol zugeschrieben. Doch liegen Anzeichen vor, dass beim Alkohol, und vielleicht auch bei andern „erhitzenden“ Gewürzen, die Wachstumshemmung darauf zurückzuführen ist, dass sie die Wärmeabgabe des Körpers erhöhen, also Wärmeverluste erzeugen.

§ 183.

5) Eine dritte, aber noch wenig studirte Wachstumsbedingung ist das Mass der Sauerstoffzufuhr. Was sich bis jetzt sagen lässt, ist, dass es sich auch hier nur um ein Zuträglichkeitsmaximum handeln kann, von dem aus Abweichungen nach beiden Seiten hin das Wachstum beeinträchtigen, und zwar Abweichung

nach aufwärts deshalb, weil reichlichere Sauerstoffzufuhr auch eine umfänglichere Zerstörung von Protoplasmabestandtheilen herbeiführt, Abweichung nach abwärts, weil die Kräfte, welche zur Unterhaltung der Ernährungsvorgänge und der Erzeugung der wachstumsförderlichen Körperwärme gehören, der Oxydation der Protoplasmabestandtheile durch den Sauerstoff entstammen.

Ausserdem ist bezüglich der Sauerstoffzufuhr zu erwähnen, dass eine gewisse Verminderung derselben das steatotrophische Wachstum (die Fettablagerung) ganz entschieden begünstigt, weshalb bei den Mästungsmethoden eine Verminderung der Athmungsfunktion angestrebt wird; man lässt die Thiere wenig Bewegungen ausführen, hält sie in dunklem Raume, und gestattet der Luft nur einen beschränkten Zutritt. Noch weiter gehende Beschränkung der Sauerstoffzufuhr scheint dem Wachstum den Charakter des Hydrotrophischen zu geben.

§ 184.

Das elementare Wachstum hat ausser der besprochenen quantitativen Seite auch noch eine formale.

Bei dem indifferenten Protoplasma kann von einer bestimmten Form kaum gesprochen werden, da die früher beschriebenen amöboiden Bewegungen einen fortwährenden Formwechsel veranlassen; nur im Zustand der totalen Contraction nähert sich alles undifferenzierte Protoplasma mehr oder weniger der Gestalt einer Kugel. Erst bei dem nucleogen-differenzierten Protoplasma (der Zelle) ist das Bestreben, die Kugelform anzunehmen, ein entschiedeneres, weshalb wir auch recht wohl von einer Anziehungskraft des Nucleus, die auf das Zellprotoplasma wirkt und das Centrifugalbestreben der Pseudopodien hemmt (siehe § 142), reden dürfen.

Bei dem völlig indifferenten Protoplasma der niedersten Organismen haben die Wachsthumsvorgänge keinen morphogenetischen Einfluss, die Form wird jederzeit bestimmt 1) von den wechselnden Contraktionszuständen des Protoplasmas, 2) von den Widerständen der Umgebung, 3) von der Erdschwere, weil die Cohäsion bei diesem Protoplasma nicht so stark ist, dass es dieser widerstehen kann.

Bei dem differenzierten Protoplasma dagegen sehen wir im Verlauf des Wachsthum die bestimmten Formen sich herabilden, die im morphologischen Theile (Bd. I. § 38 ff.) beschrieben sind und es handelt sich hier darum, die morphogenetischen Einflüsse zu erörtern.

§ 185.

Da die lebendige Substanz hauptsächlich durch Quellung wächst, so resultirt ein Wachstumsdruck in der Richtung vom Centrum zur Peripherie und das Formende des Vorgangs ist zunächst in dem Satz ausgedrückt:

Das Protoplasma (bezw. die Zelle) wächst stets in der Richtung des geringsten Widerstandes.

Bei den Widerständen handelt es sich um solche, die im Protoplasma selbst, und um solche, die ausser ihm liegen. Unter den ersteren ist der wichtigste die durch den innerlichen Wachstumsdruck erzeugte Oberflächenspannung, die entweder von der Grenzschicht des Protoplasmas selbst ausgeht oder von Membranen, die das Protoplasma auf seine Oberfläche in Gestalt geschlossener Hüllen abgelagert hat. Ist die Oberflächenspannung rundum gleich stark, so wird das Wachstum für sich allein stets eine Kugel mit wachsendem Radius erzeugen. Sobald jedoch die Oberflächenspannung Differenzen aufweist, erfolgt eine stärkere Zunahme des Durchmessers, welcher zwischen dem Punkt der schwächsten und dem der stärksten Oberflächenspannung liegt und damit wird aus der Kugel zunächst die Eiform, dann die Spindel und schliesslich die Fadenform.

Die Ursachen, welche eine Differenz in der Oberflächenspannung herbeiführen, sind mannigfaltiger Natur, lassen sich aber dahin zusammenfassen, dass sie in den Beziehungen des Protoplastückes zu den umgebenden Medien liegen; sobald diese nicht rundum ganz die gleichen sind, so muss eine Gleichgewichtsstörung in der Oberflächenspannung eintreten.

Ein äusserst wichtiges, für die lebendige Substanz völlig charakteristisches, von mir aufgestelltes Wachstumsgesetz lautet:

Die lebendige Substanz wächst in der Richtung der Reizbahn.

Wir haben früher gesehen, dass der durch eine Reizung hervorgerufene Erregungsvorgang ein Zerstörungsprozess ist, der die Cohäsion des Protoplasmas mindert. Ein physikalischer Reiz, der wie Licht-, Wärme-, Schallwellen und mechanischer Stoss geradlinig fortschreitet, trifft natürlich ein Protoplaststück niemals an allen Punkten seiner Oberfläche gleich stark, sondern nur auf der einen Seite und hier nur an einem central gelegenen Punkte mit voller Stärke. Hier muss die Zerstörung am stärksten sein und an einem diesem Punkt diametral gegenüber gelegenen Punkte begreiflicherweise am geringsten oder umgekehrt. Damit ist eine Differenz in der Oberflächenspannung, nämlich ein Maxi-

zum und ein Minimumpunkt gegeben (Wachsthumspole), gegenüber einer hierauf senkrecht stehende Ebene, auf welcher die Oberflächenspannung rundum gleich gross ist (Wachsthumäquator). Jetzt muss das Wachstum, sofern keine äusseren Hindernisse vorliegen, unbedingt so erfolgen, dass der die beiden Wachstumspole verbindende Durchmesser sich am stärksten ausdehnt:

Das Wachstum ist polarisirt in der Richtung der Reizbahn.

Es fragt sich jetzt nur, welche Richtung dieses polarisirte Wachstum einschlägt, ob es sich dem Reiz entgegen oder von ihm hinweg bewegt. Zunächst hängt dies von den äusseren Umständen ab: Wenn ein Protoplasmastück auf einer unnachgiebigen Unterlage sitzt und der Reiz, wie in dem Fall die Regel sein wird, das entgegengesetzte Ende trifft, so kann das Stück nur dem Reiz entgegenwachsen; ist dagegen das dem Reiz zugewendete Ende fixirt so wird die Richtung die umgekehrte sein.

Bestehen in Bezug auf den äusseren Widerstand keine Unterschiede, so wird die Entscheidung, ob das Wachstum sich gegen den distalen oder proximalen Pol bewegt, davon abhängen, welcher Natur die am Ort des Reizeinfalls gesetzte Veränderung der Oberflächenspannung ist. Wird sie dort durch die Zerstörungsprozesse, die den Erregungsvorgang begleiten, vermindert, so wird das Protoplasma dem Reiz entgegenwachsen, wird sie dagegen erhöht durch Auftreten von Gerinnungsprodukten, so wird das Wachstum die gleiche Richtung wie der Reiz haben. Da offenbar das erstere die Regel ist, so wird in der Regel das Protoplasma dem Reiz entgegenwachsen.

Mag nun das Wachstum zwischen den beiden Polen sich hin oder her bewegen, unter allen Umständen ist es für die lebendige Substanz charakteristisch, dass sie in der Richtung der Reizbahn ihre Durchmesser vergrössert, während bei toten und unorganischen Körpern das Gegentheil der Fall ist: Die Durchmesser, die in der Reizbahn liegen, verkürzen sich.

Für die chemische Reizung gilt das gleiche wie für die physikalische. Ist nämlich, was bei den Zellen vielzelliger Thiere sehr häufig vorkommt, die eine Seite des Protoplasmastückes von einem andern oder anders zusammengesetzten Medium begrenzt als die andere Seite, so muss eine Differenz in der Oberflächenspannung zwischen den zwei diametral gegenüber liegenden Seiten entstehen und damit polarisirtes Wachstum.

§ 186.

Ausser der Oberflächenspannung kommt bei der Richtung des

Wachsthum**s** begreiflicher**weise** auch eine Differenz des äusseren Widerstandes in Betracht. Bei einem in einer Flüssigkeit frei suspendirten Protoplasmastück gibt es in dieser Beziehung keine Unterschiede; hier entscheidet nur die Oberflächenspannung über die Form. Dies ändert sich, sobald das Stück auf einer Unterlage festsetzt; hier wird im allgemeinen aus dem, was im vorigen Paragraphen über die Reizwirkung gesagt wurde, die Tendenz zum Auswachsen in der Richtung gegen die Reizquelle gegeben sein und diese Richtung wird mit der Haftaxe, d. h. einer auf der Haftfläche unter irgend einem Winkel stehenden Linie parallel sein. Dies beobachten wir fast bei allen festsetzenden Unicellulaten.

Bei den Multicellulaten haben wir noch, als Richtung gebend für das Wachsthum eines Protoplasmastückes, den Einfluss der dasselbe umgebenden Genossen in Betracht zu ziehen. Dieser kann natürlich ein doppelter sein, entweder ein Druck, der die Ausdehnung hemmt, oder, sofern das Stück rundum mit seinen Angrenzern verklebt ist, ein Zug, der einer Verminderung des Widerstandes gleich kommt.

Diese Einflüsse kombiniren sich natürlich in mannigfaltiger Weise mit denen, welche die eigene Oberflächenspannung beherrschen. Ist das Wachsthum durch Differenz der letzteren polarisirt, so kann ein senkrecht zu dieser Axe stehender Druck das Auswachsen in der Polarisationsaxe befördern, während im Gegentheil ein auf den Aequator ausgeübter Zug zu dem entgegengesetzten Resultat, d. h. zur Verkürzung des Pol-Durchmessers führen wird, das Gleichgewicht zwischen diesen rechtwinklig sich kreuzenden Einflüssen aber das Wachsthum in isodiametrische Bahnen zwingt.

Eine sehr gewöhnliche Formungserscheinung bei Protoplasmastücken, die im geschlossenen Verband mit andern leben, ist die Annahme einer polyedrischen Gestalt. Da eine Kugel eine andere nur in einem Punkte berühren kann, so bleiben unter einer Masse zusammengehäufter Kugeln zwischen den drei Berührungspunkten, mit denen drei in einer Ebene liegende Kugeln sich berühren können, leere Räume, die ein gleichseitiges Dreieck mit concaven Seiten bilden. Streben nun die Kugeln sich auszudehnen, so liegt für alle drei Angrenzer der Punkt des geringsten Widerstandes im Centrum dieses gleichseitigen Dreiecks und indem sie dahin auswachsen, werden sie eine vielflächige Gestalt annehmen, deren Flächen einen Winkel von $\frac{4}{3}$ Rechten mit einander bilden. Da dieser Winkel dem eines Sechseckes entspricht, so wird ein Zwölfflächner sich ergeben, wenn nach allen Seiten hin die gleichen Widerstände durch Angrenzer gegeben sind.

Eine weitere bei gesellig lebenden Protoplasmastücken häufige

formative Wachstumserscheinung ist das stilogene Wachstum, d. h. dass ein Protoplaststück in einer bestimmten Richtung einen dünnen Fortsatz treibt, der sich zwischen die angrenzenden Zellen einschleibt. Dies wird geschehen, wenn aus den oben besprochenen Gründen polarisiertes Wachstum und dabei genügender Druck im Aequator vorhanden ist und am proximalen Ende begrenzende Zellen liegen, welche sich als Ganzes nicht verschieben lassen, zwischen denen aber Spalträume mit weicherer Masse erfüllt sich vorfinden. Hat sich nun das Protoplaststück an seiner Basis mit den unterliegenden Zellen in's Druckgleichgewicht gesetzt, so wird an der Ecke der dort entstandenen polyedrischen Abflächung ein Punkt geringsten Widerstandes sein, weil von hier ein Weg in die Zwischenräume zwischen den angrenzenden Zellen führt. Ist nun das Protoplasma dünnflüssig genug, um die Austreibung eines Fadens zu gestatten, so wird der Wachstumsdruck ihn an diesem Ort des kleinsten Widerstandes hervortreiben. Dies ist wohl der Formungsmodus bei den so verbreitet vorkommenden, einen Wurfelfaden in die Unterlage sendenden Epithelien und den unipolaren sowie multipolaren Ganglienzellen.

§ 187.

Ausser diesen mehr passiven Umständen, welche die Wachstumsrichtung beeinflussen, müssen wir noch der aktiven gedenken. Diese wurzeln in den Contraktilitätserscheinungen, insbesondere ist es die hochamöboide Contraktilität, welche ganz charakteristische Zellformen schafft: Die als Pseudopodien bezeichneten Protoplastfortsätze, die anfangs bald gebildet und ausgestreckt, bald wieder eingezogen werden, können mit der Zeit zu dauerhaften Gebilden werden, namentlich dann, wenn in einer Zellenkolonie die Pseudopodien benachbarter Zellen mit ihren Spitzen sich berühren, so dass ihre Wiedereinziehung gehemmt ist. Auf diese Weise entstehen die bleibenden Zellnetze, die im morphologischen Theil beschrieben worden sind. Selbstverständlich ist, dass eine Entfaltung der Pseudopodien nur stattfinden kann, wenn die Zellen nicht gedrängt liegen, sondern durch flüssige oder wenigstens weiche Intercellularsubstanz getrennt sind.

Ob ausser dieser aktiven Entstehung von Zellnetzen, die der Pseudopodienbildung zu verdanken ist, auch noch eine passive vorkommt, scheint noch nicht ermittelt. Denkbar ist eine solche in folgender Weise: Wenn die Protoplaststücke eines Zellhaufens, die durch eine genügende Menge von verschieblicher Intercellularsubstanz ihre kugelige Form behaupten sich mit ihren Nach-

barn nur je in einem Punkte berühren und hier verschmelzen, so muss eine nachträgliche Zunahme der Intercellularsubstanz, welche die Stücke von einander zu entfernen strebt, die Verlöthungsstellen zu fädigen Brücken ausziehen.

§ 188.

Ein weiterer Formungsvorgang ist das Hervorwachsen bleibender Protoplasmafortsätze, deren wir dreierlei unterscheiden: Wimpergeißeln, Flimmerhaare und Nesselfäden. Die Bepflügelung des Protoplasmas durch ein bewegtes flüssiges Medium ist hierfür zwar keine unerlässliche Bedingung (bei den Samenfäden entwickeln sich die Geißeln auch in einem ruhenden Medium), allein jedenfalls *causa adjuvans*, da wir diese Fortsätze so ungewöhnlich häufig bei frei lebenden Zellen und bei denjenigen Zellen von Multicellulaten beobachten, welche die Körperoberfläche oder inneren Hohlräume begrenzen. Der Hauptsache nach handelt es sich jedoch um eine bestimmte morphogenetische Disposition des Protoplasmas, die wir als flagellogene, ciliogene und urticagene bezeichnen und deren wahrscheinliche Grundlage wir zum Theil schon § 142 besprochen haben.

Die Bildung der Wimpergeißeln steht jedenfalls der Pseudopodienbildung am nächsten, da Häckel bei den Seeschwämmen Wimpergeißeln sah, die wieder eingezogen werden können. Deshalb werden wir wohl die Entstehung derselben mehr auf Rechnung der aktiven Bewegungen als auf Wachstumsdruck mit örtlicher, ganz umschriebener Schwächung der Oberflächenspannung zu setzen haben.

Dafür spricht auch die unzweifelhafte Contraktilität der Wimpergeißeln.

Bei den Flimmerhaaren, die kürzer sind als die Geißeln und immer in Vielzahl gleichzeitig auftreten (an Uebergängen zwischen beiden fehlt es natürlich nicht), ist der Wachstumsvorgang nicht ermittelt, allein bei der kontraktiven Natur der Cilien dürfte wohl auch hier ein aktives Auswachsen stattfinden.

Ueber die Wachstumsvorgänge bei Bildung der hohlen ein- und ausstülpbaren Nesselfäden ist noch nichts ermittelt.

§ 189.

Trotzdem dass das Wachstum durch Quellung oder, besser gesagt, Intussusception das wichtigste und allgemeinste ist, so kommen doch auch *appositionelle* Massevermehrungen vor.

Abgesehen von der bei den Verjüngungsvorgängen zu besprechenden Conjugation, beobachtet man Verschmelzung von Protoplasten und Gewebszellen zu einem einzigen Stück. Ferner

ist die Bildung des Eidotters aus einer Zelle bei vielen Thierabtheilungen, ja vielleicht bei den meisten Thieren ein appositionelles Wachstum, das man fast mit Conjugationserscheinungen in Vergleich setzen könnte. Näheres siehe bei der Eibildung.

Bei dem Wachstum der Samenfäden der Thiere, das später besprochen werden soll, kann man ebenfalls in gewissem Sinne von Apposition sprechen.

Das exoprotoplasmatische Wachstum durch Absonderung von (erhärtender oder flüssig bleibender) Intercellularsubstanz soll an anderem Orte besprochen werden.

14. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma.

b) Theilung und Verjüngung.

§ 190.

Eine der räthselhaftesten Thätigkeiten des Protoplasmas sind die Theilungserscheinungen. Im allgemeinen begleiten sie das trophische Wachstum in der Weise, dass die Theilung eintritt, sobald das Protoplaststück eine gewisse Grösse erreicht hat, so dass sich dann ein rhythmischer Wechsel zwischen Theilung und trophischem Wachstum ergibt. Jedoch ist diese Regel nicht durchgreifend. So erfolgen die primären Theilungen, unter welcher Bezeichnung wir die Dotterfurchung, die Sporenbildung und in gewissem Sinne die Samenfadensbildung zusammenfassen können, ohne Betheiligung von trophischem Wachstum. Die Regel gilt also ausschliesslicher für die secundären Theilungen, die auf die primären folgen und hier bedingen sich beide Vorgänge in der Weise, dass ein lebhaftes trophisches Wachstum auch eine lebhaft Vermehrung durch Theilung im Gefolge hat und dass bei Aufhören des trophischen Wachstums auch die Theilung aufhört.

Ferner stehen die genannten Vorgänge auch in einem genauen regulativen Verhältniss zu einander, so dass die Theilung stets auftritt, wenn durch trophisches Wachstum das Protoplaststück eine bestimmte Grösse (Theilungsgrösse) erreicht hat. Nennen wir den Zustand, in welchem die Theilung eintritt, die Theilungsreife, so müssen wir sagen: Die Theilungsreife ist eine Funktion der Masse. Die Theilungsgrösse ist nicht für jedes Protoplasma gleich gross, so dass wir von einer spezifischen Theilungsgrösse zu sprechen haben. Aber auch die spezifische Theilungsgrösse ist bei einer und derselben Protoplasmaart nicht stets dieselbe, sondern bleibt nur so lange sich gleich, als das Proto-

plasma keine differenzive Veränderung erfährt. Ist nämlich eine solche eingetreten, so liegt gewissermassen eine andere Protoplasmaart vor, die wieder ihre spezifische Theilungsgrösse hat und diese kann ebensogut niedriger als höher sein.

Zum Schluss ist noch zu erwähnen, dass von den verschiedenen Formen des trophischen Wachsthum's hauptsächlich die homotrophische die Theilungsvorgänge begünstigt. Die steatotrophische scheint sie ganz zu verhindern, die hydrotrophische ist ihnen jedenfalls abträglich und ebenso die differenzive, welche es in letzter Instanz auch aufhebt, so dass das Protoplasma auf den höchsten Differenzierungsstufen sich entweder gar nicht mehr theilt (Nervenprotoplasma, Protoplasma der rothen Blutkörperchen, Muskelprotoplasma) oder doch nur sehr träge.

§ 191.

Schon aus dem vorigen ergibt sich, dass die Theilung zunächst die Funktion einer Theilungsfähigkeit ist, die nicht überall und zu allen Zeiten dieselbe ist. Namentlich gilt folgendes: Jeder Protoplasmaform kommt ein Maximum von Theilungsfähigkeit zu, das am Anfang der ontogenetischen Entwicklung liegt (Jugendzustand des Protoplasmas). Hier ist die Theilungsfähigkeit so gross, dass die Theilungen auch ohne die Unterstützung seitens trophischen Wachsthum's vor sich gehen, und das sind eben die obengenannten primären Theilungen (Dotterfurchung, Sporangium und bis zu einem gewissen Grade die Samenfadensbildung).

Von diesem Punkt an nimmt die Theilungsfähigkeit insofern ab, als sie zu ihrer Aufrechterhaltung das trophische Wachstum nicht mehr entbehren kann. In letzter Instanz kann sie ganz erlöschen und zwar entweder unwiederbringlich (hochdifferenzirtes gealtertes Protoplasma) oder so, dass einer der später zu beschreibenden Verjüngungsprozesse (Befruchtung, Conjugation) zu Hilfe kommen muss, um sie wieder herzustellen.

Ueber das Wesen der Theilungsfähigkeit wissen wir sehr wenig. Dass sie nicht eine nothwendige Funktion des Lebens überhaupt ist, geht daraus hervor, dass sie lebendigen Protoplasmaarten (den hochdifferenzirten) vollständig mangelt. Weiter kann man sagen, dass sie bei dem amöboiden Protoplasma ganz entschieden höher ist als bei dem, welches die amöboide Befähigung verloren hat. Die nucleogene Differenzirung scheint kaum wesentlichen Einfluss auf die Theilungsfähigkeit zu haben, wenigstens ist zwischen der Theilungsfähigkeit des undifferenzirten und der des nucleogen differenzirten Protoplasmas kein auffälliger Unterschied; dagegen ist

jede weitere Differenzirung des Protoplasmas der Theilungsfähigkeit abträglich.

Jedenfalls hat die Theilungsfähigkeit eine aktive und eine passive Seite. Die erstere ist eine gewisse Bewegungsfähigkeit vom Charakter der amöboiden, die letztere ist eine gewisse Verschieblichkeit. Diese beruht erstens auf dem Verhältniss zwischen Wasser und festen Stoffen, denn die theilungsfähigeren Protoplasmasorten sind durchgängig wasserhaltiger, weicher als die wenig theilungsfähigen. Zweitens hängt die Verschieblichkeit auch von dem Mass der Belastung des Protoplasmas durch eingebettete fremde Substanzen (Fettkörner, Pigmentkörner etc.) ab, worauf namentlich die geringe Theilungsfähigkeit fett-haltigen Protoplasmas hinweist.

§ 192.

So gewiss es ist, dass die Theilung in theilungsfähigem Protoplasma auch ohne äusseren Anstoss erfolgt, so gewiss ist, dass sie von den äusseren Umständen beeinflusst wird. Die wichtigste Beeinflussung ist die eigentlich schon besprochene durch das trophische Wachstum und deshalb gilt alles was über Wachstumsbedingungen gesagt worden ist, auch für die Theilung. Bei den primären Theilungen, wo nach dem obigen das trophische Wachstum fehlt, ist die wichtigste äussere Bedingung die Temperatur, und hier gilt das, was wir beim Wachstum über das Zuträglichkeitsmaximum der Wärme gesagt haben.

Eine weitere Beeinflussung von aussen zeigt sich namentlich deutlich bei der unter dem Namen Dotterfurchung bekannten Primärtheilung des Keimprotoplasmas. Man hat eine Zeit lang angenommen, dass dieser Theilungsvorgang lediglich eine Folge des später zu beschreibenden Befruchtungsaktes sei, allein schon die Thatsache, dass es eine parthenogenetische Entwicklung gibt, hat diese Anschauung unhaltbar gemacht und hierzu kommt die weitere, dass auch solche Eier, welche zur vollen Entwicklung die Befruchtung nicht entbehren können, auch ohne Befruchtung Theilungsvorgänge, zum Theil in weitgehendem Betrage, zeigen.

Zuerst ist festzustellen, dass das Eiprotoplasma sich in der Regel nicht theilt, so lange es in seinem Bildungsheerd, dem Eierstock, eingekapselt ist, sondern erst wenn es denselben verlassen hat. Daraus dürfen wir zunächst schliessen, dass schon der mit dem Austritt aus dem Eierstock gesetzte Mediumwechsel einen Theilungsreiz bedingt. Folgende Erwägung ergibt auch, dass der Mediumwechsel diese Folge recht wohl haben kann.

Im Ovarium hat sich das Keimprotoplasma während eines stets relativ langdauernden, mehr oder weniger latenten Lebens in eine Art Gleichgewicht mit dem umgebenden Medium gesetzt; mit dem Wechsel des Mediums ist dieses Gleichgewicht gestört und so tritt ein lebhafterer Stoffwechsel ein, der Protoplasmabewegungen auslösen wird. Bei den Eiern der Fische ist dieser Mediumwechsel mit einer Quellung verbunden, die das Volum des Eies um mehr als $\frac{1}{3}$ vermehrt; mithin findet eine Vermehrung des Protoplasmawassergehaltes statt, was insofern bedeutsam ist, als wir bereits oben constatirten, dass jugendliches Protoplasma wasserhaltiger ist, als erwachsenes. Dies erlaubt uns, in der genannten Quellung eine Art von Verjüngungsprozess zu sehen.

Während im Eierstock das Keimprotoplasma vor der Einwirkung aller Lebensreize, chemischer wie physikalischer, in hohem Masse geschützt ist, wird es beim Mediumwechsel in verschiedener Weise gereizt. Selbst wenn es den Leib der Mutter zunächst nicht verlässt, sondern nur aus dem Ovarium in einen Fruchthälter tritt, so ist mit der Fortbewegung eine mechanische Reizung verbunden, die Theilungsbewegungen auslösen kann, und endlich ist ein Ei, das den Leib der Mutter verlässt, trotz seiner Einkapselung in die Eihüllen den Lebensreizen ungleich mehr ausgesetzt, als im Mutterleib.

§ 193.

Hierzu treten noch zweierlei Differenzirungen des Keimprotoplasmas:

1) Die concentrische. Sie besteht darin, dass das Keimprotoplasma sich in eine lichtere Dotterrinde und einen dunkleren Dotterkern sondert. Vergleichen wir das Keimprotoplasma eines Eies mit gewöhnlichem primärem Protoplasma, so gewinnen wir die Vorstellung, dass das Eiprotoplasma während seiner Ruheperiode im Ovarium mit groben, die Verschieblichkeit jedenfalls in hohem Masse beeinträchtigenden Dotterkörnern belastet worden ist, die offenbar mehr die Rolle eines passiven Nahrungsmaterials, als eines aktiven Bildungsmaterials spielen. Die concentrische Differenzirung des Keimprotoplasmas besteht nun darin, dass diese groben Dotterkörner aus der Peripherie verschwinden, wahrscheinlich nicht deshalb, weil sie nach dem Centrum verdrängt werden, sondern deshalb, weil sie dem durch den Mediumwechsel eingeleiteten oben angeführten Stoffwechsel früher zum Opfer fallen als die centralen Körner. Damit ist eine Befreiung der Rindenschicht des Protoplasmas von einem ihre Bewegungen hemmenden Material gegeben und das ist eine Erhöhung der Theilungsfähigkeit, die

sich darin zeigt, dass die Theilungsvorgänge in der lichten Dotterrinde viel lebhafter sind als in dem dunklen Dotterkern.

2) Die geocentrische Differenzirung. Wo man bis jetzt darauf geachtet hat, fand man, dass das Ei schon ganz kurze Zeit nach seinem Austritt und schon vor Beginn der Theilungen eine deutliche geocentrische Differenzirung in eine spezifisch schwerere, stets nach abwärts gewendete und eine spezifisch leichtere, stets nach aufwärts gekehrte Halbkugel erkennen lässt. Verständlich wird dies, wenn wir wissen, dass bei allen Eiern zur Zeit wo der Dotter sich zu furchen beginnt, zwischen diesem und der Eihülle eine Flüssigkeitsschicht sich befindet, welche es dem Dotter ermöglicht, auch dann, wenn das Ei oder dessen Träger seine Orientirung im Raume ändert, seine eigene Orientirung zum Erdmittelpunkt zu behaupten. Aus dem (namentlich von Hühner- und Forelleneiern bekannten) schädlichen Einfluss rüttelnder Bewegungen auf Eier, die im Beginn der Entwicklung sich befinden, dürfen wir entnehmen, dass diese Differenzirung für die Entwicklungsvorgänge von grosser Wichtigkeit ist und dass sie eine Wirkung der Erdschwere selbst ist und zwar so:

Die Dotterkörner haben nicht das gleiche spezifische Gewicht wie die Grundsubstanz, entweder sind sie leichter oder schwerer. Im völlig ruhenden Eierstocke erhalten sie sich in gleichmässiger Vertheilung im Dotter; sobald aber mit dem Mediumwechsel die amöboiden Bewegungen zu Verschiebungen derselben führen, so wird die Richtung ihrer Verschiebung durch die Schwere beeinflusst: Die schwereren sammeln sich in der untern, die leichteren in der obern Hälfte.

Die Wirkung ist natürlich dieselbe wie die der concentrischen Differenzirung: Der von den hemmenden Dotterkörnern gereinigte Theil hat eine höhere Theilungsfähigkeit erlangt, denn nur so ist es zu erklären, dass die Theilungserscheinungen an dem gereinigten Pole stets lebhafter sind als in dem ungereinigten. Man nennt deshalb auch den ersten Pol den animalen Pol, den letztern den vegetativen. In der Regel liegt der animale Pol an dem obern Ende der geocentrischen Axe. Häckel hat uns mit einem entgegengesetzten Fall bei einem Fisch bekannt gemacht, indem hier ein grosser Fetttropfen das Hemmniss bildet und dieser sich als spezifisch leichter an den oberen Pol stellt.

§ 194.

Den grössten Einfluss auf die Theilungsfähigkeit haben die sogenannten Verjüngungsvorgänge. Der bekannteste und

allgemeinste, aber offenbar nicht der primäre, ist die Befruchtung; weniger bekannt und nur auf niedere Organismen beschränkt, deshalb als die primären Verjüngungsvorgänge anzusehen, sind die Conjugation und der Anstoss zur Sporenbildung.

Unter den zwei letztgenannten darf wohl die Sporung als der primitivste Verjüngungsprozess angesehen werden und zwar einfach deshalb, weil er ein Privilegium der niedersten thierischen Organismen ist. Die Ursachen des Vorgangs sind aber völlig dunkel. In manchen Fällen (*Noctiluca*, *Arcella* etc.) scheint der Sporenbildung eine Conjugation voraus zu gehen, so dass also Sporung und Conjugation nicht im Verhältniss der Ausschliessung stehen. In den meisten Fällen fehlt dagegen die Conjugation. Hier ist dann die Einleitung dazu eine mehr oder weniger deutliche Einstellung des trophischen Wachstums, Einkapselung des Protoplasmas durch die rundum erfolgende Absonderung einer erhärtenden Substanz, und Abnahme der amöboiden Bewegungen. Nach einiger Zeit bemerkt man eine grössere Anzahl von Punkten, an denen das Protoplasma sich gewissermassen verdichtet (Sporungsmittelpunkte) und darauf erfolgt ein gleichzeitiger Zerfall der ganzen Protoplasma-masse in ebensoviele Stücke als Sporungsmittelpunkte aufgetreten sind. In sehr vielen Fällen treibt jede Spore sofort eine Wimpergeissel, die ihr als Locomotionswerkzeug dient, und solche Sporen nennen wir Schwärm-sporen. In andern Fällen (z. B. *Gregarinen*) hat man es mit ruhenden Sporen zu thun.

Dass die Sporung ein Verjüngungsakt ist, lehrt der Erfolg: Die vorher erlahmte Fähigkeit zum trophischen und numerischen Wachstum ist in voller Stärke wiedergekehrt.

Da kein äusserer Vorgang bekannt ist, der den Anstoss zur Sporung gibt, so muss eine Erklärung von inneren Zustandsveränderungen aus versucht werden und man kann etwa folgende Meinung aussprechen:

Die Erlahmung der Wachstums- und Theilungsfähigkeit und die Abnahme der Contractilität weisen auf eine (chemische) Veränderung im Protoplasma hin, deren Wesen eine Hemmung der Lebenserscheinungen ist. Nach Analogie der Ermüdungsstoffe kann man sich eine Durchtränkung des Protoplasmas mit einer hemmenden, dem Stoffwechsel entspringenden Substanz denken. Dafür, dass eine solche chemische Veränderung vor sich gegangen ist, spricht auch die Absonderung der Kapsel ganz unabweisbar und es ist gewiss keine gewagte Behauptung als den hemmenden Stoff eben den Schalenstoff anzusehen. Nun bringt es die Struktur des Protoplasmas mit sich, dass diese Durchtränkung keine gleichmässige sein kann und so bleiben für die lebendige Substanz An-

ziehungsmittelpunkte, um welche sie sich sammelt und das führt zum Zerfall. Leicht begreiflich ist, wie das Ergebniss eine Verjüngung ist: Mit dem Zerfall der grossen Protoplasmastücke in eine oft sehr grosse Zahl winziger Sporen ist das Verhältniss von Oberfläche und Inhalt verändert und damit die Zugänglichkeit des Protoplasmas für die Lebensreize genau im umgekehrten Verhältniss zur Abnahme des Durchmessers gesteigert. Damit ist nicht bloss die Möglichkeit exosmotischer Auswaschung des hemmenden Stoffes, sondern auch die der aktiven Auspressung bedeutend erhöht.

Ueber die sonstigen Bedingungen der Sporung wäre allenfalls noch zu erwähnen, dass dieselbe nur dem undifferenzirten Protoplasma zukommt. Man beobachtet sie zwar auch bei nucleogen differenzirtem, allein hierbei scheint jedesmal der Sporung eine Auflösung des Zellkerns, also eine Rückbildung zum undifferenzirten Zustand voranzugehen.

§ 195.

Die Conjugation ist ein Verjüngungsprozess, bei dem eine greifbar äussere Beeinflussung, d. h. eine Vereinigung zweier Protoplasmastücke stattfindet.

Im Thierreiche scheint die Conjugation auf die Protisten und die Unicellulaten beschränkt zu sein, bei den letztern ist sie namentlich eine sehr verbreitete Erscheinung. Schon daraus, dass bei diesen Thierabtheilungen alle Angaben über eine eigentliche Befruchtung sich als irrig zu erweisen scheinen, geht hervor, dass Conjugation und Befruchtung im Verhältniss der Ausschliessung zu einander stehen, also analoge Erscheinungen sind; weitere Gründe hierfür folgen weiter unten.

Die genauen Untersuchungen von Bütschli lassen darüber kaum einen Zweifel, dass die Conjugation mit Sekundartheilung in cyclischer Abwechslung steht. Sie hat eine Steigerung der Theilungsfähigkeit und des trophischen Wachstums zur Folge, ist also ein Verjüngungsprozess, wie Sporung und Befruchtung, und ihr Eintritt ist die Folge einer im Verlauf der Sekundartheilungen allmählig sich einstellenden Zustandsveränderung des Protoplasmas, die sich zuerst als Abnahme ihrer gesammten Vitalität zu erkennen gibt; denn im Zustande der Conjugationsbedürftigkeit sind die Infusorien kleiner und theilen sich langsamer. Dass äussere begünstigende Umstände vorhanden sind, dürfte wohl anzunehmen sein, allein die diesbezüglichen Versuche Bütschli's gaben kein Resultat.

Die Conjugation besteht darin, dass zwei (selten mehrere, z. B. *Actinophrys*) vorher getrennt lebende Protoplasmastücke (einzellige Infusorien) an einander kleben und entweder völlig und bleibend (Vorticellen) oder nur vorübergehend (*andre Infusorien*) mit einander verschmelzen. Im Zustand der Conjugationsbedürftigkeit ist also das Protoplasma *adhäsiv* geworden, was an das Verkleben der rothen Blutkörperchen bei Abnahme ihrer Vitalität erinnert.

Die inneren Vorgänge, welche der Conjugation folgen, sind nicht überall die gleichen, am häufigsten sind Veränderungen am Kern, entweder Verschmelzung der beiden Kerne (*Actinosphaerium*, *Acineten*, *Noctiluca*) oder Verjüngung desselben bei beiden conjugirten Thieren (die meisten Flimmerinfusorien). Letztere haben nämlich stets zwei Kerne, einen grossen (*Nucleus*, sekundärer Kern nach Bütschli) und einen kleinen, neben dem ersteren liegenden (*Nucleolus*, primärer Kern nach Bütschli). Bei einigen Infusorien wird nun der *Nucleus* bei der Conjugation ausgestossen, während der *Nucleolus* sich durch Theilung vermehrt und aus den Theilprodukten durch Wiederverschmelzung ein neuer *Nucleus* entsteht. Bei andern wird nur ein Theil des *Nucleus* ausgestossen, der Rest vereinigt sich mit *Nucleolus*produkten zu einem neuen Kern; bei *Paramaecium bursaria* geht vom alten *Nucleus* nichts verloren, sondern er vereinigt sich mit einem aus dem *Nucleolus* gebildeten neuen.

Auch im übrigen Protoplasma gehen Veränderungen vor in Form reichlicher Bildung feiner dunkler Protoplasmakörner, so dass die Thiere sehr undurchsichtig werden, was eine unverkennbare Aehnlichkeit mit dem Auftreten der Dotterkörner bei der Eibildung hat. Bei einigen Infusorienformen beobachtet man auch äusserliche Veränderungen: Bei den *Euploten* und *Oxytrichinen* geht der grösste Theil des Wimperkleides verloren, um sich gegen Ende der Conjugation neu anzulegen, und auch der Mund bildet sich bei ihnen von neuem. Regel sind jedoch diese äusseren Veränderungen nicht.

Bei den meisten Thierarten, die sich conjugiren, sind die beiden Individuen völlig gleich, bei den *Vorticellinen* dagegen verschmelzen die aus mehrfacher Theilung hervorgegangenen kleinen Knospensprösslinge mit grösseren Individuen. Da diese Conjugation nicht wie bei anderen Infusorien eine vorübergehende, sondern eine definitive ist, so liegt hier ein der geschlechtlichen Befruchtung so ähnlicher Vorgang vor, dass man nicht mit Unrecht die kleinen Individuen männlich, die grossen weiblich genannt hat.

§ 196.

Die Befruchtung schliesst sich eng an diejenige Form der Conjugation an, die so eben von den Vorticellen gemeldet wurde: Sie besteht mit wenigen Ausnahmen in der bleibenden Verschmelzung von zwei, in Grösse, Form und Vitalität erheblich verschiedenen Protoplasmastücken und das Resultat ist eine Verjüngung, d. h. Erhöhung der Wachstums- und Theilungsfähigkeit und der Erregbarkeit. Nur bei einigen Pflanzen ist statt völliger Verschmelzung der beiden Theile eine Befruchtung durch blosse Diffusion durch eine Zellmembran hindurch beobachtet worden. Man hat deshalb zwei Befruchtungsformen, die copulative und die diffusive zu unterscheiden.

Die Befruchtung ist auf das nucleogen differenzirte adhäsive Protoplasma der Multicellulaten beschränkt, und ersetzt hier offenbar die Conjugation mittelst der sich das secessive nucleogen-differenzirte Protoplasma der Unicellulaten verjüngt. Die Befruchtungserscheinung ist jedoch an einen gewissen differenzirten Zustand dieses Protoplasmas geknüpft, dem wir zuerst unsere Aufmerksamkeit schenken müssen.

§ 197.

Die Differenzirung, welche der Befruchtung vorangehen muss, nennen wir die geschlechtliche Differenzirung des Protoplasmas, den weiblichen Theil Dotter, den männlichen Theil Samenfadens, Spermatozoon, Spermatozoid, Samenelement. Was den Ausgangspunkt für die beiden Arten des geschlechtlich differenzirten Protoplasmas betrifft, so hat man sich bisher mit der Vorstellung begnügt, dasselbe sei das Produkt gewisser Organe der fertigen Multicellulaten, der sogenannten Geschlechtsorgane, man nennt sie deshalb Geschlechtsprodukte und denjenigen Theil der Geschlechtsorgane, von dem ihre Bildung ausgeht, Keimepithel (Waldeyer). Diese Auffassung und Benennungsweise, als wäre das geschlechtlich differenzirte Protoplasma ein Produkt des ontogenetisch differenzirten Protoplasmas, kann ich nicht für korrekt halten. Unter der Bezeichnung Epithel darf man zwei physiologisch so himmelweit verschiedene Dinge wie die inneren und äusseren Grenzzellen der Multicellulaten, welche durch einen Prozess rückschreitender Metamorphose zum Untergang verurtheilt sind, und die Ausgangselemente für Ei und Samenbildung auf blosen Grund einer äusserlichen Aehnlichkeit in Gestalt und

Gruppierung nicht zusammenfassen, jedenfalls ist das höchstens vom morphologischen Standpunkt aus erlaubt, vom physiologischen, den wir hier festhalten müssen, nicht. Ein Forscher (Götte), ist in der Auffassung der Eier als Produkt ontogenetischen Keimprotoplasmas so weit gegangen, das Ei als eine tote Masse zu betrachten, die erst später wieder lebendig wird; er nennt das die Discontinuität des Lebens.

Einer solchen Auffassung, dass das geschlechtlich differenzierte Protoplasma ein Produkt des ontogenetisch differenzierten sei, entspringt die von Darwin aufgestellte Lehre von der Pangenesis. Das Keimprotoplasma soll nach ihm dadurch entstehen, dass alle die verschiedenen Sorten des ontogenetisch differenzierten Protoplasmas kleinste Keimchen abgeben und an den Ort der Keimbildung senden, wo sie zu dem Ei, beziehungsweise Samenfaden, zusammentreten.

Diesen Auffassungen gegenüber muss daran festgehalten werden, dass der Ausgangspunkt der Geschlechtsprodukte lebendiges Protoplasma ist, welches niemals aufhört lebendig zu sein und ebensowenig jemals an dem ontogenetischen Differenzierungsprozess des Mutterthiers so sich betheilt hat, dass es den Funktionen der Selbsterhaltung dienstbar gewesen wäre. Ich stelle deshalb der Lehre von der Discontinuität des Lebens und der von der Pangenesis die Lehre von der Continuität des Keimprotoplasmas durch alle Generationen hindurch in folgender Weise gegenüber:

Bei der Ontogenese (d. h. der Entwicklung des Multicellulaten-Individuums) spalten sich die Theilungsprodukte des Keimprotoplasmas in zwei Gruppen: Die ontogenetische, welche das Einzelwesen aufbaut, und die phylogenetische, welche reservirt wird, um zu geschlechtlichem Protoplasma langsam heranzureifen. Die ontogenetische Gruppe und die phylogenetische stehen in concentrischem Verhältnisse zu einander, d. h. erstere kapselt die letztere ein und darin liegt eben der Unterschied in der Differenzierung. Die ontogenetische Gruppe ist den Reiz-Einwirkungen der Aussenwelt wegen ihrer Lage weit mehr ausgesetzt und passt sich diesen Existenzbedingungen an; das eingekapselte phylogenetische Protoplasma ist dagegen den unmittelbaren Einwirkungen der Aussenwelt entrückt und bewahrt so, einen rein vegetativen Stoffwechsel pflegend, die embryonide Beschaffenheit, allerdings mit den sogleich zu besprechenden Abänderungen.

Bei denjenigen Multicellulaten, deren Protoplasma überhaupt eine geringe Differenzierungsfähigkeit besitzt, wie z. B. dem der Coelenteraten. sind die Unterschiede zwischen ontogenetisch

und phylogenetisch differenzirtem Protoplasma sehr gering und dem entspricht auch späteres Auftreten und ein geringerer Grad von Einkapslung des phylogenetischen Protoplasmas. Je differenziver dagegen das Protoplasma ist, um so früher beginnt und um so tiefer geht die Einkapslung. Wir müssen die Sache etwa so ansehen:

Auf der einen Seite steht die Differenzirungsfähigkeit des Protoplasmas, auf der andern stehen die Differenzirungsursachen d. h. die Einflüsse der umgebenden Medien. Je grösser die Differenzirungsfähigkeit des Protoplasmas ist, desto weiter nach innen erstreckt sich die ontogenetische Differenzirung, so dass immer nur der innerste Kern des Thieres (nicht morphologisch, sondern physiologisch gesprochen) embryonide Eigenschaften behalten kann. Ob dies aber wirklich eintritt, hängt davon ab, ob so viel ontogenetisches Material produziert worden und dies so beschaffen ist, dass es zum Schutze des innern Kerns ausreicht; ist es ungenügend, so bleibt das Thier primär unfruchtbar, ein Fall, der jedenfalls sehr selten sein wird, da die Eigenschaft der primären Unfruchtbarkeit sich nicht vererben kann.

§ 198.

Die im vorhergehenden Paragraphen vorgetragene Lehre von der Continuität des Keimprotoplasmas muss auf Grund der wichtigen Untersuchungen von Beneden's, die Fol bestätigt hat, dahin eingeengt werden:

Das Keimprotoplasma macht nach diesen Forschern einen Theil der ontogenetischen Differenzirung mit, nämlich die Sonderung in das Exoderm und Entoderm, und wenn von Beneden's Angaben sich bestätigen, so ist dies der erste Grund der Differenzirung in zwei Arten geschlechtlichen Protoplasmas (weibliches und männliches), indem das weibliche aus reservirten Entodermzellen, das männliche aus reservirten Exodermzellen hervorgeht. Der Vorgang der Reservirung und Einkapslung besteht dann darin, dass die zu reservirenden Zellen von der Oberfläche in die Tiefe verdrängt und somit von den Einwirkungen der Aussenwelt abgeschlossen werden.

Es erreichen jedoch nicht alle reservirten Zellen das obenbezeichnete Ziel. Ein Theil fällt noch nachträglich der ontogenetischen Differenzirung zum Opfer (Follikel epithel) und bei der Eibildung gehen auch noch zahlreiche Zellen, welche durch ihre Grössезunahme schon den Anspruch auf den Namen von Ureiern sich erworben haben, nachträglich abortiv zu Grunde, ohne zu

Nacheiern zu werden. So schätzt man die Zahl der Ureier im Eierstock eines neugeborenen Säugethiers auf 36—400,000, während höchstens einige hunderte zur Reifung gelangen. Beim Alpensalamander findet sogar unter den Nacheiern noch eine Auswahl statt, indem in jedem Eileiter nur ein Ei befruchtet wird und alle übrigen bloß Futter für die aus dem einen sich entwickelnde Larve abgeben.

Zwischen Eibildung und Samenbildung besteht auch noch der Unterschied, dass die erstere sehr frühzeitig zu einer gewissen Höhe gelangt, während die Umwandlung der reservirten männlichen Keimzellen in Samenfäden meist erst in einem sehr vorgeschrittenen Zustand der Ontogenese (Geschlechtsreife) eintritt.

§ 199.

Die Vorgänge in dem eingekapselten phylogenetischen Protoplasma sind verschieden, je nachdem es sich zu weiblichem oder männlichem Protoplasma differenzirt. Die Entstehung des ersteren nennen wir die Eibildung, die des letzteren die Samenfadeneibildung.

Die Eibildung ist die allgemeinste Form geschlechtlicher Differenzirung. Hiebei ist aber sogleich anzumerken, dass das Produkt dieses Vorgangs von zweierlei Art sein kann, entweder ein wahres, d. h. nur nach vorgängigem Befruchtungsakt sich entwickelndes Ei (ovum verum), oder ein Trugei (Pseudovum), das zur Entwicklung des Befruchtungsprozesses nicht bedarf. Ein Unterschied, der jedoch, wie die zahlreichen Uebergänge beweisen, nur als ein gradweiser aufzufassen ist (siehe später).

Im allgemeinen besteht die Eibildung in einer eigenen Art von Mästung des reservirten Keimprotoplasmas, die allerdings nicht überall in gleicher Weise verläuft. Bei der einen Gruppe von Thieren handelt es sich um eine Massezunahme, die dem trophischen Wachsthum ganz ähnlich ist: Das neue Material wird ins Innere des Protoplasmas aufgenommen und dort deponirt. Bei einer andern Gruppe von Thieren wird es dagegen mehr von aussen aufgelagert, ist also das Ergebniss eines appositiven Wachstums. Im letzteren Fall ist das neue Material entweder ein Absonderungsprodukt angrenzender ontogenetischer Protoplaststücke oder geht aus einem Zerfall solcher hervor, oder es fließt aus entfernter liegenden Theilen des Mutterthieres, sogenannten Dotterstöcken (Egelwürmer) oder Dotterbildungszellen (Blattläuse), zu. Nennt man die ganze Eimasse Dotter, so unterscheidet man wohl das neu hinzugekommene Material als Nahrungs-

dotter (Deutoplasma van Beneden's) von dem reservirten Keimprotoplasma, das Bildungsdotter heisst. Früher unterschied man Eier mit und ohne Nahrungsdotter. Diese Unterscheidung ist aber nicht ganz zutreffend, denn alle Eier haben Nahrungsdotter; der Unterschied ist nur der, dass in dem einen Fall die Menge des Nahrungsdotters gering und derselbe mehr oder weniger gleichmässig in den Bildungsdotter eingelagert ist (Eier ohne Nahrungsdotter), während er im andern Falle massenhafter und dem Bildungsdotter mehr nur auf- oder angelagert ist (Eier mit Nahrungsdotter).

Das Wesentliche des neuen Materials sind die Dotterkörner, grobe Körner, welche häufig krystallinische Formen haben und ihrer chemischen Natur nach eine gepaarte Verbindung eines Albuminats mit Lecithin, also Nuclein (Vitellin, Emydin, Ichthulin etc.) sind. Daneben finden sich auch noch in grösserer oder geringerer Menge käsige Elemente (Dotterkugeln), die fettiger Natur sind, eingelagert, bei manchen Eiern endlich noch grosse Oeltropfen.

Vor der Zumischung des Nahrungsdotters heisst das Ei Ürei Primordialei (Protovum), nach der Zumischung Nachei (Deutovum). Das Protovum ist anfangs noch im Besitz der Theilungsfähigkeit und, wie es scheint, erst wenn diese erloschen ist, erfolgt die Umbildung zum Deutovum.

Die Massevermehrung, welche das Ürei erfährt, bezieht sich hauptsächlich auf das Periprotoplasma, während der Kern sich nicht erheblich verändert, er nimmt allerdings auch etwas an Masse zu und heisst im Nachei Keimbläschen, sein Kernkörperchen Keimfleck. (Bei dem letzteren sind deutliche amöboide Bewegungen wahrgenommen worden.) Nach Hertwig soll jedoch noch vor der Befruchtung das Keimbläschen sich auflösen und der Keimfleck jetzt die Stelle des Eizellenkerns übernehmen.

Wohl in den meisten Fällen geht das Nachei einfach durch Massezunahme aus einer einzigen Zelle hervor, doch werden auch von mehreren Seiten conjugationsartige Prozesse berichtet. So sagt Balbiani, dass das Nachei durch die Conjugation eines Ureies mit einer Follikelepithel-Zelle entstehe. Die Thatsache, dass die Ureier bei manchen Thieren, z. B. den Würmern, aus einer mehrkernigen Protoplasma-masse durch Zerfall in einkernige Massen entstehen, ist wohl so zu deuten, dass eine reservirte Keimzelle zuerst unter fortgesetzter Keimtheilung sich vergrössert und erst später das Periprotoplasma in den Theilungsvorgang mit einbezogen wird.

Immerhin ist der Vorgang der Eibildung der, dass wir das Nachei eine einkernige Riesenzelle zu nennen haben.

Bei manchen Thieren bleibt die Eizelle nackt, bei den meisten jedoch treten Hüllen hinzu, deren man folgende unterscheidet (Hubert Ludwig):

1) Primäre Hüllen: Dotterhaut, ein Produkt der Eizelle selbst, und Chorion, eine Absonderung der Epithelzellen des Eifollikels.

2) Sekundäre Hüllen, die theils aus der Verschmelzung des Follikel epithels entstehen, theils erst von den Wänden der Eileiter abgesondert und dem Ei aufgelagert werden (Chitinschalen, Hornschalen, Kalkschalen, Eiweisschüllen).

Auf die grosse morphologische Mannigfaltigkeit dieser Bildungen kann hier nicht eingegangen werden.

§ 200.

Die Samenfadensbildung ist in gewissem Betracht der Eibildung entgegengesetzt. Können wir das Ei eine Riesenzelle nennen, so verdient der Samenfaden die Bezeichnung „Zwergzelle“.

Dem Urei entspricht die Samenbildungszelle. Ein auffallender Unterschied zwischen beiden ist das Mengenverhältniss von Kern und Protoplasmamantel (Periprotoplasma). Beim Urei überwiegt der letztere und nimmt fortwährend so an Masse zu, dass der Kern entschieden in den Hintergrund tritt. Bei der Samenbildungszelle ist der Kern gross, das Periprotoplasma gering und im Vergleich zum Dotter feinkörnig.

Ein weiterer, jedoch nicht genügend untersuchter Gegensatz ist ein höherer Grad von amöboider Befähigung der Samenbildungszelle gegenüber der trägen Eizelle. Parallel damit geht ein viel höherer Grad von Theilungsfähigkeit bei der Samenbildungszelle. Das Endergebniss der fortgesetzten Theilung, die in sehr mannigfaltiger Weise verläuft, so dass sich die Angaben der Forscher noch sehr widersprechen, ist in letzter Instanz entweder eine einkernige Zwergzelle, die zu einem Samenfaden auswächst, oder eine vielkernige Zelle, deren Kerne je einen Samenfaden liefern.

§ 201.

Ueber die Vorgänge bei Umbildung der letzten Samenbildungszelle in den Samenfäden bietet die Literatur noch manche sich nicht gut zusammenreimende Angaben. In den meisten Fällen geht der Kern der Samenbildungszelle direkt in den Kopf des Samenfadens über. In andern Fällen (Flusskrebs, Fliege) soll

neben dem alten Kern ein neuer selbständig entstehen und den künftigen Kopf des Samenfadens bilden. Nach Merkel besteht der Anfang der Samenfadenbildung in einer Veränderung des Kerns: Die eine Hälfte der Membran des Kerns verdicke sich erheblich und nehme einen starken Glanz mit deutlichen doppelten Conturen an, während die andere Hälfte unverändert bleibe. An der verdickten Hälfte trete ein kleiner Höcker (Spitzenknopf) auf und während diese Abtheilung bei Anwendung von wasserentziehenden Mitteln schrumpfe, bleibe der andere Theil unverändert. Diese Erscheinung ist also eine Polarisirung des Kerns in zwei chemisch und physikalisch verschiedene Substanzen. Hierauf beginnt eine Polarisirung auch im Periprotoplasma, indem es als fadenförmiger Anfang centrifugal in der Axe der Kernpolarisirung auswächst. Es geht jedoch meist nicht alles Periprotoplasma in der Bildung des Schwanzfadens auf, sondern es bleibt eine dickere Schicht an dem als Mittelstück bezeichneten Wurzeltheile des Anhangs und eine dünnere Schicht an dem fadenförmigen Endtheil, zuweilen auch noch eine Schicht um den Kopf (Kopfkappe). Hierzu kommt dann noch ein Centrifaden, der bei den Wirbelthieren das Ganze der Länge nach durchziehe (Eimer), was eine der Kerndifferenzirung ähnliche concentrische Differenzirung wäre. Man fasst deshalb den Samenfaden als eine Geißel-, beziehungsweise Wimperzelle auf, deren Zellkern der Kopf, deren Periprotoplasma das Mittelstück und deren Geißel der Schwanz ist.

§ 202.

Ueber die Ursachen der Umbildung der Samenbildungszelle in den Samenfäden besitzen wir einmal eine Angabe von Balbiani, welcher eine Conjugation vorausgehen lässt. Wie in den Eifollikeln meist zweierlei Zellen, das centrale Urei und die Follikel-epithelzellen, liegen, so finden sich auch in den Hodenschläuchen zweierlei Zellen: centrale mit grossem Kern und grossen glänzenden Kernkörperchen, die dem Urei entsprechen (die Samenbildungszellen der Autoren), und parietale (die Stützzellen der Autoren), die lappige Fortsätze zwischen die grobkörnigen centralen hineinsenden und den Follikel-epithelzellen der Eifollikel entsprechen würden. So wie Balbiani bei der Eibildung eine Conjugation der beiden Zellformen annimmt, thut er es auch bei der Samenbildung; es sei entweder eine wirkliche Conjugation oder ein Contact beider Zellen mit diffusiven Vorgängen nöthig. Balbiani lässt dann die Samenfäden aus Abkömmlingen der lappigen Fortsätze der Wandzellen hervorgehen und nimmt mit v. Ebner und v. Mi-

halkovics an, dass sich hierbei diese Lappen in ährenförmige Spermatoblasten umwandeln. Die centralen runden Zellen erklärt Balbiani für ächte Eier, so dass also der Hoden ursprünglich eine Zwitterdrüse wäre. Diese „Eier“ sollen aber, statt sich zu entwickeln, sich furchen und zu Grunde gehen.

Dem gegenüber sagt Merkel: Die Samenfäden gehen aus den centralen Zellen hervor; er läugnet die Bildung von Spermatoblasten, nimmt aber auch eine Beeinflussung beider Zellformen an. Nach ihm lagern sich die centralen Zellen in Buchten, die an den lappenartigen Fortsätzen der Wandzellen entstehen, ein, und so komme das Bild von ährenförmigen Spermatoblasten zu Stande. Diese Einlagerung sei aber nothwendig, um die centralen Zellen zur Umbildung in Samenfäden zu veranlassen; ohne das verändern sie sich nicht.

Diese Anschauung Merckels hat entschieden das für sich, dass mit der Einlagerung in die Buchten ein polarisirend wirkender Faktor, d. h. ein Gegensatz zwischen Haftfläche und freier Fläche, gegeben ist, und in der That wächst auch der Kopfanhang des Samenfadens in der Richtung der Haftaxe, also genau so wie bei den Geiselepithelzellen hervor.

Dies gestattet uns folgende Anschauung: Wenn primäre Zellen sich mit einer Seite an lebendes Protoplasma anlegen, so ist damit ein polarisirender Faktor gegeben, der bei genügender Amöboidität zur Bildung einer Geißel, bei geringerer zur Bildung von Cilien führt, sofern auf der freien Seite die Voraussetzung hierzu, d. h. ein flüssiges Medium gegeben ist. So würde die Samenfadensbildung unter denselben Gesichtspunkt fallen, wie die Bildung von Geißel- und Flimmerepithelien.

Damit würden wir noch folgenden Anhaltspunkt für den Unterschied in der Ei- und Samenbildung gewinnen:

Das Ei bleibt überall gleichmässig von andern unter sich gleichartigen Gewebszellen eingeschlossen, d. h. völlig gleichmässig eingekapselt, ohne an der ontogenetischen Differenzirung irgendwie sich zu betheiligen und ohne polarisirt zu werden. Bei den Samenbildungszellen hört zur Zeit der Geschlechtsreife die gleichmässige Einkapselung auf, die Samenbildungszellen gelangen in die Situation von Epithelzellen und werden so in den Prozess der ontogenetischen Differenzirung hineingezogen. Erst hierdurch verliert ihr Protoplasma die Fähigkeit zu selbständiger Weiterentwicklung durch Theilung (die Samenfäden theilen sich nicht mehr), weil eine chemische Umänderung, eine Störung des zur Entwicklung offenbar nothwendigen concentrischen Verhältnisses von Kern und Periprotoplasma und eine Störung des eben-

falls nöthigen Mengeverhältnisses zwischen Kernsubstanz und Periprotoplasma eintritt. Letzteres nimmt unter beträchtlicher Aufhellung an Masse ab, woraus sich auch, anknüpfend an das über das Verhalten der Protoplasmakörner zur Bewegungsfähigkeit Gesagte (§ 152) die Steigerung der Bewegungsfähigkeit bei den Samenfäden im Gegensatz gegen die trägen Samenbildungszellen erklärt.

Im Gegensatz hierzu bewahrt das Ei sein concentrisches Verhältniss von Kern und Periprotoplasma (die excentrische Verschiebung des Kerns ist keine Aufhebung des concentrischen Verhaltens). Das Mengeverhältniss wird zwar auch geändert, aber in umgekehrter Richtung, d. h. zu Gunsten des Periprotoplasmas. Was dem Ei die Fähigkeit zur selbständigen Entwicklung (bekanntlich nur in den meisten Fällen) raubt, ist die Belastung des Periprotoplasmas mit den Elementen des Nahrungsdotters, denn zu dessen Ueberwindung reicht die in der Beziehung zwischen Kern und Periprotoplasma gegebene Quelle lebendiger Kräfte nicht mehr aus, weil die Kernsubstanz nicht entsprechend vermehrt worden ist.

Was aus dieser Anschauung für das Wesen der Befruchtung gefolgert werden kann, soll später gesagt werden.

Bei der Samenbildung muss auch noch darnach gefragt werden, warum die Samenfäden nicht bleibend als Geisel- oder Wimperzellen an den Lappen der Stützzellen hängen bleiben und so in der ontogenetischen Differenzirung aufgehen. Hier giebt die Beobachtung Mieschers beim Lachs einen Anhaltspunkt: er findet, dass zur Zeit der Samenreife der Hoden auffallend blutleer werde. Das ist natürlich eine Art Aushungerung, die recht wohl die Ursache sein kann, dass es nicht zu einer dauernden Festsetzung kommt.

§ 203.

Was die feineren chemischen Vorgänge betrifft, so ist nach neueren Angaben die Differenz zwischen Ei und Samen nicht so sehr gross. Nach Mieschers Untersuchungen am Fischsamen ist auch hier die wichtigste Substanz, ebenso wie das Vitellin der Eier, eine Verbindung des phosphorhaltigen Lecithin mit einem Albuminat: sogenanntes Nuclein. Miescher geht aber offenbar zu weit, wenn er das Nuclein der Samenfäden und die Dotterstoffe des Eies, die er Eiernucleine nennt, für identisch hält, denn die Thatsache, dass das Samennuclein im Kern enthalten ist, das Eiernuclein in körniger Vertheilung im Periprotoplasma, deutet doch zu sehr auf eine, wenn auch nicht sehr grosse Verschiedenheit. Wir können also sagen: Die Bildung des geschlecht-

lichen Protoplasmas ist bei beiden Formen eine Nucleinmetamorphose, allein bei dem Ei wird das Nuclein im Periprotoplasma deponirt, bei der Samenbildungszelle im Kern, wie das bei den ontogenetisch sich differenzirenden Zellen stets der Fall ist. Der Samenfaden stünde also darnach einer Gewebszelle viel näher als das Ei, was mit dem in § 202 Gesagten harmonirt. Wir kommen dann zu der Vorstellung, dass der relativ gelähmte Zustand des Eies nicht in dem Mangel an Kernsubstanz, sondern darin liegt, dass letztere nicht als ein einheitlicher kompakter Körper in Gegensatz zu einem kernsubstanzfreien Periprotoplasma steht, sondern emulsiv im Periprotoplasma so vertheilt ist, dass ein einheitlicher Anziehungsmittelpunkt fehlt.

Die Untersuchungen Mieschers geben auch einen interessanten Beitrag zu der spezifischen Differenz der Samenfäden verschiedener Thiere; ein Theil dieser Angaben wird zwar von anderen bestritten, aber das ändert an der sehr interessanten Thatsache nichts, dass die chemische Untersuchung zwischen dem Samen so nahestehender Thiere wie Lachs und Karpfen ganz bedeutende Unterschiede ergab und das ist für die Vererbungslehre von grösster Wichtigkeit.

§ 204.

Die Befruchtung besteht darin, dass die Samenelemente in den Dotter des Eies eindringen und beide Theile sich bleibend mit einander vermischen.

Das zuerst von Keber entdeckte, von andern Forschern anfangs bestrittene Eindringen der Samenfäden in das Ei ist jetzt von so vielen Forschern bei so vielen Thierarten beobachtet, dass es nicht mehr bezweifelt werden kann, dagegen ist es möglich, dass auch bei einzelnen Thierarten die bei einigen Pflanzen beobachtete diffusive Befruchtung vorkäme und dass wir dann so zu sagen hätten:

Nicht alle Bestandtheile des Samenfadens sind Befruchtungsstoff, sondern der Samenfaden ist nur der Träger desselben und die Befruchtung findet statt, wenn er diesen Stoff dem Ei beimischt, was durch Eintreten als Ganzes (Regel) oder Diffusionsverkehr (Ausnahme) geschieht.

Bei dem Eintreten des Samenfadens in das Ei wirken mehrere Umstände zusammen. Wo der Dotter in eine Eischale eingekapselt ist, ermöglicht entweder eine einzige Oeffnung, die dann Micropyle heisst, den Zutritt, oder es sind deren viele vorhanden.

An der Mechanik des Befruchtungsvorgangs betheiligen sich beide Befruchtungs-Elemente. Eine wenn auch nicht allerwärts

wissen wir wenig Positives. Newport und andere nehmen an, dass der Eintritt eines Samenfadens nicht genüge, um die Entwicklungsfähigkeit völlig herzustellen, solche Eier gingen nach Durchlaufung eines Theils der Ontogenese zu Grunde. Darnach gäbe es eine quantitativ ungenügende Befruchtung. Ob auch ein Zuviel vorkommen kann, wissen wir nicht, a priori ist es denkbar.

§ 205.

Bezüglich der qualitativen Verhältnisse der Befruchtung wissen wir positiv:

1) Nicht jeder Samen kann jedes Ei befruchten, sondern nur das der gleichen Thierart oder einer davon nicht sehr verschiedenen Thierart. Den ersten Fall nennen wir spezifische Befruchtung, den zweiten Bastardbefruchtung. Verträglich mit der Continuität des Keimprotoplasmas ist nur die erstere; aus Bastardbefruchtung gehen Thiere hervor, die in der Regel unfruchtbar sind oder deren Fruchtbarkeit nicht durch eine unbegrenzte Reihe von Generationen anhält. Die Unfruchtbarkeit der Bastarde ist natürlich zunächst davon abhängig, welche Thierarten gekreuzt worden sind, allein auch bei gleichen Arten ist sie nicht immer gleich gross; entweder sind gar keine oder nur rudimentäre, nicht befruchtungsfähige Geschlechtsprodukte vorhanden, oder dieselben sind befruchtungsfähig aber ungenügend, so dass die Früchte abortiv absterben (bei einer Mauleselin beobachtet von Panceri), oder es kommt einmal ein Fall vor, wo ein Bastard ausnahmsweise fruchtbar ist, oder sie sind gegenseitig nicht befruchtungsfähig, dagegen befruchtungsfähig mit dem entsprechenden Element des Erzeugers. Daraus schliessen wir, dass die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit hauptsächlich von einer gewissen gegenseitigen Aadaequatheit abhängt.

2) Auch innerhalb einer Spezies ist die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit nicht gleich gross: Es können zwei Individuen gegen einander unfruchtbar sein, trotzdem dass jedes mit einem andern der gleichen Art fruchtbar ist. Dass der Unterschied kein absoluter, sondern ein relativer ist, geht daraus hervor, dass es günstigere und ungünstigere Befruchtungsverhältnisse giebt, was sich theils in der Zahl, theils in der Qualität (Constitutionskraft) der Nachkommenschaft ausspricht.

§ 206.

Ueber diese Unterschiede innerhalb des spezifischen Befruchtungsverhältnisses wissen wir soviel, dass eine zu weit gehende

Gleichheit der beiden Eltern ein ungünstiges Verhältnis ist.

Die erste Rolle spielt der Grad der Blutsverwandtschaft: Je enger diese ist, desto ungünstiger ist das Befruchtungsverhältnis. Die Praxis unterscheidet als Incestverhältnis das Befruchtungsverhältnis zwischen Geschwistern sowie das zwischen Eltern und Kindern. Ist das Verhältnis der Blutsverwandtschaft weiter, so spricht man von Inzuchtverhältnis; ist die Blutsverwandtschaft sehr gering, besteht namentlich Rassendifferenz zwischen beiden Erzeugern, so ist das Verhältnis der sogenannten Blutauffrischung gegeben. Am ungünstigsten ist das Incestverhältnis, bei welchem fortgesetzte Versuche mit Schweinen schliesslich völlige Unfruchtbarkeit gegen einander ergeben, trotzdem dass die Fruchtbarkeit nach aussen nicht aufgehoben war. Am nächsten dem Incest steht das Geschwisterkindverhältnis. Die Ungunst spricht sich hier in dem häufigen Vorkommen schwächerer Constitution bis Kretinismus bei den Zuchtprodukten aus. Weitere Grade des Inzuchtverhältnisses lassen die Ungunst erst nach Reihen von Generationen erkennen. Das günstigste Verhältnis ist das Blutauffrischungsverhältnis, d. h. Abwesenheit näherer Blutsverwandtschaft: die Nachkommenschaft wird zahlreicher und kräftiger.

Diese Steigerung der Befruchtungsfähigkeit mit Zunahme der Verschiedenheit der Erzeuger überschreitet sogar in vielen Fällen die Grenzen des Speciesverbandes, so dass Bastardirungen vorkommen (z. B. zwischen Saibling und Forelle, schwarzem und weissem Schwan), bei denen die Bastarde bedeutend kräftiger und grösser sind, als die beiden Elternarten. Halten wir dies mit dem unter § 205 1) Gesagten zusammen, so ergibt sich, dass die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit bei einer gewissen Differenz der beiden Erzeuger ihre Maximalhöhe hat und von da an nach beiden Richtungen hin abnimmt. In den meisten Fällen liegt dieser Maximalpunkt innerhalb des Speciesrahmens, in andern ausserhalb desselben.

§ 207.

Die Differenz zweier Erzeuger ist jedoch offenbar nicht bloss von dem Grade genealogischer Verwandtschaft abhängig, sondern auch von der Differenz der Existenzbedingungen, unter denen die beiden Erzeuger gelebt haben; denn wir wissen ganz bestimmt, dass Verschiedenheit der Ernährung, des Klimas, des Standortes, der Beschäftigungsintensität Differenzen in der Körperbeschaffenheit erzeugt. Dass diese Differenzen nicht ohne Einfluss auf das

geschlechtliche Protoplasma und somit auf die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit sind, geht aus folgenden Beobachtungen am Menschen hervor:

Unfruchtbare Ehen verwandeln sich mitunter in fruchtbare, wenn eine längere Ortsabwesenheit der einen Ehehälfte eine grosse und länger dauernde Existenzdifferenz zwischen beiden setzt. Bei fruchtbaren Ehen sind öfters Kinder, die nach einer solchen räumlichen Trennung erzeugt wurden, kräftiger als die übrigen. Ehen, bei welchen die beiden Theile unter sehr differenten Verhältnissen leben, sind (*ceteris paribus*) fruchtbarer und ihre Produkte kräftiger, als da, wo beide Ehehälften sehr übereinstimmend leben. Obige Erscheinungen könnten allerdings auch so gedeutet werden, dass Einschränkung des ehelichen Verkehrs eine bessere Ausreifung der Geschlechtsprodukte, namentlich der männlichen, begünstige, allein es liegen Erfahrungen, namentlich bei Thieren vor, dass die Nachtheile der Inzucht ganz entschieden geringer werden, wenn die beiden Theile unter ganz verschiedenen Verhältnissen aufgewachsen sind.

Aus dem Obigen ergibt sich also 1) dass die Befruchtungsfähigkeit eine absolut verschiedene ist, sowohl nach dem Reife- oder Sanitätsgrad, als nach Umständen, die uns ganz unbekannt sind; 2) dass die relative, oder, wie man auch sagen kann, gegenseitige Befruchtungsfähigkeit verschieden ist nach dem Grade der Differenz von Ei und Samen, so dass der höchste Grad der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit an einen ganz bestimmten Differenzgrad gebunden ist, von dem aus Abweichungen nach beiden Seiten hin der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit abträglich sind. Bei dieser Differenz handelt es sich nicht blos um angeborene, sondern auch um erworbene Qualitäten.

§ 208.

Ueber die Natur der Unterschiede, von denen die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit abhängt, liegen keine positiven Anhaltspunkte vor. Wir können nur sagen, es werden hier folgende Umstände in Betracht kommen:

1) Die mechanische Möglichkeit des Eindringens der Samenfäden in das Ei. In dieser Richtung ist die Thatsache interessant, dass die Grösse der Mikropyle des Eies und die Grösse des Samenfadens bei einer und derselben Thierart genau harmoniren.

2) Da nach dem früher Gesagten die Lebensvorgänge im Protoplasma wesentlich auf das elektromotorische Spannungsverhältniss zwischen zwei verschiedenen, im Protoplasma emulsiv gemischten

Stoffen basirt sind und deren Energie dann offenbar von dem Grad dieser Spannung und dieser wieder von dem Grad der Differenz der beiden Stoffe abhängt, werden wir sagen dürfen: Die gegenseitige Befruchtungsfähigkeit ist auch abhängig von der Stärke der elektrischen Spannung zwischen den beiden Befruchtungsstoffen.

3) Der Grad der elektrischen Spannung hängt selbst wieder ab von der chemischen Differenz der beiden Befruchtungsstoffe, die also in letzter Instanz das wichtigste Element bei der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit, namentlich aber der specifischen, ist.

In letzterer Beziehung ist bestätigend, dass sowohl die Eier der verschiedenen Thiere, als auch, wie Miescher gefunden, der Samen verschiedener Thiere erhebliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung besitzt. Auch ohne chemische Analyse, ja noch viel sicherer als mit dieser, können wir mit Hülfe unseres Geschmacks- und Geruchssinnes die chemische Specifität der Befruchtungselemente erkennen, denn die Eier der verschiedenen Thiere haben einen ebenso specifischen Geschmack und Geruch wie das Fleisch derselben.

Da die Befruchtung der Thiere stets in einem tropfbar flüssigen Medium vor sich geht, so müssen seitens der schmeckenden Stoffe ebensogut wie der riechenden (das Sperma jedes Thieres hat einen ganz specifischen, sehr charakteristischen und penetranten Geruch) Distanzwirkungen ausgehen, die den Befruchtungsvorgang im Falle der Adäquatheit erleichtern, im Falle der Inadäquatheit hemmen.

Untersuchungen darüber sind zwar, so viel mir bekannt, noch nicht angestellt worden, allein es kann sich hierbei sehr wohl um folgendes handeln:

1) Der eigenthümliche starke Geruch des männlichen Samens hat die früheren Physiologen veranlasst von einer *Aura seminalis*, als dem eigentlich befruchtenden Princip, zu sprechen. Mit der Entdeckung, dass die Samenfäden in das Ei eindringen, ist natürlich diese Deutung hinfällig, allein wenn die *Aura seminalis* gleich andren Protoplasmareizen (siehe § 69) die Quellungs-fähigkeit des Dotters erhöht, so ist das gleichbedeutend mit einer vom Dotter auf die Samenfäden ausgeübten Anziehung. Bei Inadäquatheit würde das Gegentheil, d. h. Abnahme der Quellungs-fähigkeit, eintreten.

2) Auf der andern Seite können vom Ei oder dem Medium, in welchem es sich befindet, stoffliche Wirkungen auf die Samen-fäden ausgehen, welche die Lebensdauer derselben verlängern und die Lebhaftigkeit ihrer Geisselbewegung erhöhen. In dieser Richtung wissen wir wenigstens, dass im Uterinalschleim die Samen-

fäden ihre Beweglichkeit länger bewahren als in jeder andern Flüssigkeit.

Dies erlaubt uns von einem Befruchtungsinstinkt zu sprechen, dessen Träger die schmeckenden und riechenden Stoffe des Samens und Eidotters sind, gerade so wie diese Stoffe die Träger des Nahrungsinstinktes sind (siehe § 86).

§ 209.

Ausser der absoluten und relativen Befruchtungsfähigkeit kommt bei der Befruchtung noch eine zweite Eigenschaft, die Befruchtungsbedürftigkeit, in Betracht.

Die Samenfäden scheinen absolut befruchtungsbedürftig zu sein, denn es ist kein Fall beobachtet, bei dem der Verdacht gegründet wäre, dass ein Samenfaden sich so vollständig zu einem Individuum entwickeln könnte, wie wir das von den so ähnlichen Schwärmsporen wissen.

Bei den Eiern dagegen ist schon in § 199 darauf hingewiesen worden, dass nicht alle der Befruchtung bedürfen, weshalb man von *Ova vera* und *Pseudova* spricht. Auch das ist schon gesagt worden, dass es sich bei der Befruchtungsbedürftigkeit nicht um einen absoluten Gegensatz handelt, sondern darum, dass diese Eigenschaft eine gradweise verschiedene Ausbildung zeigt.

Ein geringerer Grad von Befruchtungsbedürftigkeit gibt sich z. B. darin zu erkennen, dass bei solchen Thieren im Fall von Ausschluss der Befruchtung ein Theil der Eier sich völlig entwickelt, ein anderer Theil taub bleibt (Seidenraupe). Eine noch geringere Stufe der Befruchtungsbedürftigkeit zeigen Thiere, bei welchen das Befruchtungsbedürfniss sich erst nach Ablauf mehrerer Generationen einstellt (Blattläuse, *Cypris*). Umgekehrt besteht der höchste Grad von Befruchtungsbedürftigkeit darin, dass das Ei ohne Befruchtung gar keinen Versuch zu ontogenetischer Entwicklung macht. Nach den wenigen Untersuchungen, die hierüber vorliegen, scheint dieses Maximum nicht die Regel zu sein, indem die Eier der meisten Thiere auch ohne Befruchtung, blos in Folge der in § 192 angeführten Entwicklungsanstösse, einen gewissen Entwicklungsgang durchlaufen.

Ueber die Natur der Befruchtungsbedürftigkeit besitzen wir einige Anhaltspunkte. Wir werden sagen können, dass die Befruchtungsbedürftigkeit eine Funktion der Zeit und der Qualität ist. Der Zeit insofern, als es scheint, die Bedürftigkeit sei um so grösser, je länger die Einkapselung des reservirten Keimprotoplasmas dauere. Dafür spricht, dass bei Thierarten, deren Eier

eine geringe Befruchtungsbedürftigkeit haben, die Ontogenese sehr kurz dauert, also die Generationen sich rasch folgen. Am auffallendsten tritt dies bei den Blattläusen und Flohkrebse zu Tage, bei denen die rasch sich folgenden Generationen von Sommeriern gar nicht befruchtungsbedürftig, dagegen die lang im Latenzzustande bleibenden Wintereier befruchtungsbedürftig sind.

Im allgemeinen werden wir sagen dürfen: Die Befruchtungsbedürftigkeit wird um so grösser sein, je weiter sich das weibliche Keimprotoplasma von der Beschaffenheit des jugendlichen Protoplasmas entfernt und je weiter die Nucleinbildung vorschreitet.

§ 210.

Ueber das Schicksal des eingedrungenen Samenfadens im Ei hat man lange Zeit nur gewusst, dass er dort als abgegrenztes Gebilde verschwindet. Die erste genaue Angabe verdanken wir Hertwig. Bei einem Seeigel sah er nach der Befruchtung im Dotter eine kleine helle, einen kleinen Körper enthaltende Stelle, um die sich die Dotterkörper strahlig gruppirt. Die strahlige Figur und der Eikern bewegten sich dann gegeneinander und letzterer verschmolz mit dem kleinen Körper der strahligen Figur, der nach Hertwig nichts anderes wäre als der Samenfaden, wahrscheinlich aber nur dessen Kopf, d. h. der Kern der Samenzelle.

Diese Angabe bedarf natürlich noch der Bestätigung und der Constatirung bei anderen Thierabtheilungen. Sie stimmt aber so gut zu allem übrigen, was wir über die Befruchtung wissen und vermuthen dürfen, dass man diese Angabe wohl zum Ausgangspunkt einer Befruchtungstheorie machen darf.

Zunächst steht fest: Die Befruchtung ist deshalb nöthig, weil die zur Bildung der Geschlechtsprodukte reservirten Keimzellen, die im Augenblick ihrer Reservirung die volle Entwicklungsfähigkeit besaßen, dieselbe im Laufe der Differenzirung zum Ei resp. Samen ganz oder theilweise verloren haben und zwar in entgegengesetzter Richtung. Das gemeinschaftliche ist, dass das Menge- und Lagerungsverhältniss von Kernsubstanz und Periprotoplasma in der § 199 ff. angegebenen Weise gestört worden ist. Der Erfolg der Befruchtung ist nichts anderes, als die Wiederherstellung des ursprünglichen Verhältnisses, wie es in einer Embryonalzelle besteht. Dies wird dadurch erreicht, dass im Ei der Kern vergrössert, beziehungsweise verjüngt wird und deshalb stimmt Hertwig's Beobachtung über die Vereinigung des Kopfes vom Samenfaden, der Kernsubstanz ist, mit dem Eikern vortrefflich zu dem übrigen bekannten. Auch das Auftreten der strahligen Figur von

Dotterkörnern um den eingetretenen Samenfaden stimmt damit, dass bei dem nucleogen differenzirten Protoplasma Kernsubstanz und Periprotoplasma in einem Anziehungs- und Kraftentbindungsverhältniss stehen, das wahrscheinlich auf eine gegenseitige elektromotorische Spannung zurückzuführen ist; also das gleiche Verhältniss, in welchem die optisch verschiedenen Protoplaststoffe überhaupt zu einander stehen und das, wie aus den früheren Schilderungen hervorgeht, aller Wahrscheinlichkeit nach die Grundlage aller Lebenserscheinungen ist.

Weiter stimmt hierzu, dass einer der ersten Akte nach der Befruchtung bei den meisten bisher untersuchten Thieren die später zu schildernde partielle Ausstossung eines Theils des alten Eikerns ist. Demnach hat der Eikern während der Differenzirung des Ureies zum Nachei eine Degeneration erfahren, welche ihn unfähig macht, seine früheren Funktionen auszuüben. Sonach wäre die Befruchtung nicht bloss eine Vermehrung der Kernmasse durch Conjugation, sondern auch eine Verjüngung des Kerns und damit sekundär eine Verjüngung der ganzen Zelle.

Dazu stimmen ferner die Beobachtungen Bütschli's über die Conjugation der Infusorien (s. § 193), welche ergaben, dass das Wesentlichste der Conjugation die Schaffung eines neuen und die Eliminirung oder Verjüngung des alten Kerns ist.

Daraus lässt sich auch etwas für die Natur der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit entnehmen. Wenn die Lebenserscheinungen des nucleogen differenzirten Protoplasts in ihrer Energie von dem Grade der elektromotorischen Spannung zwischen Kernsubstanz und Periprotoplasma abhängig sind, so wird die Befruchtungsfähigkeit, wie schon § 208 gesagt wurde, unter anderem auch davon abhängig sein, dass diese Spannung eine gewisse Grösse besitzt. Ist die Spannung zu gering, so wird entweder die Entwicklungsfähigkeit gar nicht hergestellt, oder insofern ungenügend, als das aus dem Ei sich entwickelnde Thier eine geringe Wachstums- und Arbeitsenergie (geringe Kraft- und Stoffwechselenergie) haben wird. Ist umgekehrt die Spannung zu gross, so wird die Befruchtungsfähigkeit dadurch beeinträchtigt werden, dass die Lebhaftigkeit der Kraftentbindung zu einer vorzeitigen stofflichen Consumption führt, weshalb dann die Bastardbefruchtung eine Grenze haben muss. Damit stimmt vollkommen die Erfahrung und Praxis der Thierzüchter: Wollen sie träge, zu Fleisch-, Milch-, oder Woll-, also zur Stoffproduktion geeignete Thiere, so treiben sie Inzucht; handelt es sich dagegen um die Erzeugung von Arbeitsthieren mit lebhaftem Temperament, die wenig Masse, dafür um so mehr lebendige Kraft produziren (z. B.

Rennpferde), so greifen sie zur Blutauffrischung. Weiter stimmt zu dieser Anschauung die Erfahrung, dass bei Menschen und Hausthieren Kreuzung von weit auseinander liegenden Rassen Produkte liefert, bei welchen der Charakter der Zähmheit in den der Wildheit, d. h. ungebändigten Leidenschaftlichkeit und hohen Erregbarkeit, übergegangen ist. Beispiele beim Menschen sind die Mischlinge von Weissen und Negern, bei den Thieren die Bastarde von Haus-Ente und Bisam-Ente.

§ 211.

Der Erfolg der Befruchtung ist äusserlich betrachtet ein dreifacher:

1) beginnt eine Veränderung des Eidotters insofern, als die Dotterkörner einer allmählichen Auflösung anheimfallen (siehe später).

2) beginnen die unter dem Namen der Dotterfurchung bekannten Theilungen der Eizelle, die in ihrer Lebhaftigkeit gleichen Schritt mit der Auflösung der Dotterkörner halten (siehe später).

3) findet, wenigstens bei sehr vielen darauf untersuchten Eiern, eine Ausstossung des alten Kerns oder wenigstens eines Theils desselben statt und zwar immer am obern Ende der geocentrischen Axe. Der ausgestossene Kern wurde, ehe sein Herkommen bekannt war, Richtungsbläschen genannt. Dasselbe fällt meist nach vorgängiger Theilung der Zerstörung anheim. Der Vorgang der Ausstossung ist nach Bütschli etwa so:

Der Kern wird spindelförmig und zeigt eine aus parallelen Fasern bestehende Hülle. An den beiden Spitzen der Spindel entsteht eine helle Stelle (Centralhof), um die sich die Dotterkörner strahlig gruppieren. Die Kernspindel steigt mit ihren Centralhöfen aus der Tiefe des Dotters in die Höhe und wird ausgestossen (Siehe pag. 218. Fig. 4^b). In den Centralhöfen entstehen neue Kerne und diese schmelzen zuerst wieder zu einem neuen Kern, dem Furchungskern, zusammen. Erst von diesem Kern gehen die als Dotterfurchung benannten Theilungen, die im folgenden geschildert werden sollen, aus.

§ 212.

Der Erfolg der geschilderten Verjüngungsprozesse ist die Zurückversetzung des Protoplasmas in den Zustand, welchen wir den jugendlichen oder bei den Multicellulaten den embryonalen nennen, und der durch erhöhte Fähigkeit zu trophischem

Wachstum und erhöhte Theilungsfähigkeit ausgezeichnet ist. Das auffälligste sind die Theilungsvorgänge.

Bei den Sporen geht diesen eine Grössezunahme und meist auch eine Umformung der Gestalt voraus; bei der Conjugation und der Befruchtung bleibt dies aus, die Theilung beginnt sofort.

Infusorien, die sich durch Conjugation verjüngt haben, theilen sich ohne weiteres in zwei gleiche Stücke (wobei der Kern den Anfang macht), die sich räumlich von einander trennen, was wir so bezeichnen können, dass wir ihr Protoplasma ein secessives nennen. Der Effekt ist dann eine ungeschlechtliche Individuenvermehrung.

Bei der Befruchtung verlaufen die Theilungen zuerst unter dem Bilde der sogenannten Dotterfurchung, die in den nächsten Paragraphen beschrieben werden soll. Der Effekt ist hier keine räumliche Trennung der Theilungsprodukte, sondern sie verkleben zu einem vielzelligen Wesen, das durch fortgesetzte Vermehrung der Theilstücke wächst. Man nennt dies: numerisches Wachstum. Solches Protoplasma können wir, im Gegensatz zu dem secessiven, als adhäsives bezeichnen.

Daraus folgt, dass die ungeschlechtliche Vermehrung der einzelligen und protoplasmatischen Thiere und das numerische Wachstum der Multicellulaten ganz analoge Vorgänge sind und sich nur durch den Effekt unterscheiden.

§ 213.

Ueber die Ursache des Unterschiedes zwischen Adhäsion und Secession lässt sich etwa folgendes sagen:

1) Es kommt dabei auf die äusseren Umstände an; ist ein Protoplaststück so eingekapselt, dass sich die Theilstücke nicht von einander entfernen können, wie das bei den meisten Eiern der Fall ist, so kann eine mehr oder weniger innige Wiederverklebung stattfinden. Diese tritt insbesondere ein, wenn in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Protoplaststücken gerinnender oder sonst wie fester Zellkitt abgesondert wird, wie das bei der Gewebsbildung der Multicellulaten der Fall ist. Im Gegensatz hierzu wird die Adhäsion verhindert oder erschwert, wenn das sich theilende Protoplaststück nicht eingekapselt ist, wie bei den meisten Protisten und Unicellulaten, und noch dazu die Theilstücke in einem flüssigen nicht klebfähigen Medium liegen. Letzterer Fall ist auch bei der Bildung der Ernährungsflüssigkeiten (Blut und Lymphe) im Körper der Multicellulaten gegeben und hier

kommt noch die fließende Bewegung des Mediums hinzu, um die Verklebung der Blut- und Lymphzellen zu verhindern.

2) Es hängt von Qualitäten des Protoplasmas selbst ab. Die Secession wird begünstigt, wenn das Protoplasma ein aktives Lokomotionsvermögen besitzt. Die Hauptrolle spielt dabei amöboide Contraktilität und zwar je höher amöboid das Protoplasmastück ist, um so leichter tritt bei der Theilung Secession ein, sofern sie nicht durch die sub 1) erwähnten Umstände verhindert wird.

Tritt bei amöboidem Protoplasma eine passive Behinderung der Secession ein, so kommt es wesentlich auf Menge, Beschaffenheit und passiven Bewegungszustand der Intercellularsubstanz an, was weiter geschieht.

Bleibt die letztere flüssig, ist sie reichlich und fortdauernd bewegt, so bleibt die Adhäsion aus. So entstehen z. B. die Bd. I § 103 geschilderten Ernährungsflüssigkeiten.

Ist die Intercellularsubstanz reichlich und flüssig oder wenigstens nicht zu fest und verhartet sie im Ruhezustand, so verkleben die getrennten Protoplasmastücke meist nur mit den Spitzen ihrer Wurzelfüße zu einem Netzwerk. Auf diese Weise entstehen die in Bd. I § 52,³ geschilderten tertiären Bindegewebsformen.

Eine zweite Ursache der Secession bildet die Flimmercontraktilität, weil die Flimmerbewegung lokomotiv auf das Protoplasmastück wirkt. Darin dürfen wir z. B. den Grund dafür suchen, dass die Flimmer- und Geisselinfusorien es nicht zur Erbauung eines vielzelligen Körpers bringen.

Die aktive Adhäsivität des Protoplasmas beruht nun selbstverständlich einmal auf der Abwesenheit der eben geschilderten secessiven Eigenschaften und dann entweder auf einer gewissen Klebfähigkeit des Protoplasmas selbst oder auf der Fähigkeit, verklebende Absonderungen zu erzeugen. Wir können die Sache demnach so ausdrücken:

Amöboides, insbesondere hochamöboides Protoplasma, sowie ciliogenes und flagellogenes Protoplasma neigen zur Secession; schwachamöboides, plastogenes und klebfähiges Protoplasma zur Adhäsion.

§ 214.

Die Dotterfurchung, welche bei den Eiern der Multicellulaten der erste Effekt der Befruchtung ist, verläuft bei den verschiedenen Thieren durchaus nicht in gleicher Weise, namentlich unterscheidet man zwischen Totalfurchung und partieller Furchung.

Bei ersterer theilt sich der ganze Eidotter in zwei Stücke, jedes wieder in zwei und so fort, was eine Vermehrung in geometrischer Progression ergibt.

Bei der Partialfurchung besteht entweder schon von Hause aus ein Gegensatz zwischen Furchungs- oder Bildungsdotter und nicht sich furchendem Nahrungsdotter (Vögel, Reptilien, Cephalopoden etc.), oder es bildet sich erst nach der Befruchtung ein solcher Gegensatz (z. B. bei den Insekteneiern).

Ein Mittelglied zwischen Totalfurchung und Partialfurchung ist die inegale Furchung, d. h. die Differenzirung des Eidotters in Stücke, die sich rasch theilen und solche, die sich träge theilen.

Daraus folgt, dass es sich um eine verschiedener Ausbildung fähige Eigenschaft des Dotters, um seine Furchungsfähigkeit handelt. Diese beruht, dem Augensohne nach zu schliessen, auf dem quantitativen Verhalten von Keimprotoplasma und Dotterkörner: Je stärker das erstere mit Dotterkörnern belastet ist, desto geringer ist seine Furchungsfähigkeit, bis sie endlich gleich Null wird. Ob im letztern Falle das Keimprotoplasma völlig fehlt oder nur ein spärliches Netzwerk zwischen den Dotterkörnern bildet, kann dahin gestellt bleiben.

§ 215.

Die Differenz in der Furchungsfähigkeit ist ausserdem an gewisse räumliche Verhältnisse gebunden.

1) Die Furchungsfähigkeit ist am grössten in der Peripherie des Dotters, am geringsten im Centrum. Diese concentrische Differenzirung beweist, dass äussere Einwirkungen die Furchungsfähigkeit steigern, und wahrscheinlich rührt dies daher, dass die Reizeinwirkungen, die aus dem umspülenden Medium stammen, wie Einwirkung des Sauerstoffs, der molekularen Bewegungen (Licht und Wärme) etc., die Zerstörung der die Furchung hemmenden Dotterkörner befördern.

2) Die Furchungsfähigkeit zeigt ausser der concentrischen Differenz auch noch die bereits § 193 erwähnte geocentrische Differenz, d. h. sie hat an dem einen geocentrischen Pol ihr Maximum, am andern ihr Minimum. Diese Differenz ist entweder von Hause aus d. h. schon vor der Befruchtung vorhanden, oder sie wird erst nach der Befruchtung erworben, entweder in Folge einer Differenz im spezifischen Gewicht zwischen Keimprotoplasma und Dotterkörnern, oder weil die intensivere Einwirkung von Licht und Wärme, die am obern geocentrischen Pol bei allen frei sich

entwickelnden Eiern stattfindet, hier die hemmenden Dotterkörner rascher zerstört. Der Umstand jedoch, dass es Fälle gibt, bei denen das Maximum der Furchungsfähigkeit nicht wie gewöhnlich am obern Pol, sondern am untern liegt (siehe § 193), spricht dafür, dass die Differenz im spezifischen Gewicht die Hauptursache sein mag.

§ 216.

Unter den Umständen, welche die Furchungsvorgänge begünstigten (Furchungsbedingungen), spielt die Temperatur wohl die wichtigste Rolle, insofern es ein Zuträglichkeitsmaximum für sie gibt. Das Licht spielt jedenfalls eher eine negative als eine positive Rolle, doch ist dieser Einfluss noch wenig studirt; man weiss nur, dass Eier, welche gewöhnlich im Dunkeln sich entwickeln (z. B. Salmonideneier), Belichtung nicht ertragen.

In stofflicher Beziehung ist für die Furchung einmal die Zufuhr von freiem Sauerstoff absolut unerlässlich; wenn man z. B. Eier mit einer für die Luft undurchgängigen Schicht (Firnis, Oel) überzieht, so sterben sie ab. Hand in Hand damit geht, dass auch die Möglichkeit zur Abgabe von Kohlensäure vorhanden ist, kurz, dass die Furchung davon abhängt, ob das Ei athmen kann.

Bezüglich des Wassers ist nur so viel bekannt, dass die frei sich entwickelnden Eier der Luftthiere eine beträchtliche Wasserabgabe erkennen lassen, Seidenraupeneier z. B. verlieren während der Furchung viel Wasser, auch für die Vogeleier ist Wasserverlust festgestellt. Die Furchung ist mithin an die Möglichkeit dieser Wasserabgabe geknüpft und wenn dieselbe nicht gegeben, so sterben die Eier ab.

Bei denjenigen Eiern, die in der freien Luft sich entwickeln, ist ein Wechsel fixer Stoffe offenbar nicht vorhanden, das Ei bestreitet den Aufwand für die Furchungsarbeit aus eigenem Vorrath und diesen Vorrath bilden wahrscheinlich die Dotterkörner, beziehungsweise der Nahrungsdotter. Auch die in freiem Wasser sich entwickelnden Eier scheinen alles aus eigenem zu bestreiten, indem ihr Volumen sich ebensowenig vermehrt wie bei den vorigen, aber sehr wahrscheinlich scheint mir, dass sie ausser der Kohlensäure noch fixe Stoffe abscheiden. Bei den Eiern, welche in Fruchthältern sich entwickeln, namentlich bei denen der Säugethiere, sehen wir dagegen sehr bald eine beträchtliche Volumszunahme, so dass hier offenbar sehr früh die Nothwendigkeit einer Zufuhr von fixen Nährstoffen vorliegt, während bei den frei sich entwickelnden Eiern ein solches Bedürfniss erst nach der Geburt sich geltend macht.

§ 217.

Die wesentlichen Vorgänge bei der Dotterfurchung verlaufen am durchsichtigsten bei der Totalfurchung, weshalb hier diese beschrieben werden soll und zwar an der Hand der Untersuchungen Bütschli's.

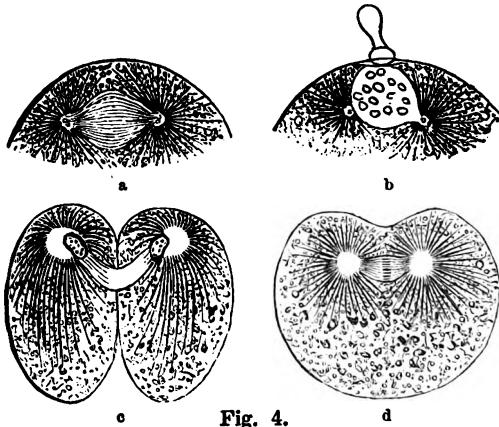


Fig. 4.

Totale Dotterfurchung bei *Limnaeus auricularis* nach Bütschli. b) Ausstossung des Eikerns nach der Befruchtung. a, c, d) Drei aufeinander folgende Stadien der ersten Furchung.

Kerns sich verlängert hat und das Periprotoplasma bereits die Furchung beginnt, bei Figur c endlich hat sich an jedem Ende der Kernspindel am Centralhof der karyolitischen Figur ein neuer Kern gebildet und das Periprotoplasma ist durchfurcht, so dass zwei gleiche sogenannte Furchungskugeln; jede mit einem Kern, gebildet sind. Die alte in Fig. d noch vorhandene Kernspindel geht hierbei unter, so dass also nicht eigentlich von einer Theilung des Kerns gesprochen werden kann, wie man ein Zeit lang annahm.

Wenn die Furchung vollendet ist, verschwindet die karyolitische Figur, aber bald wiederholt sich in jeder Furchungskugel das Spiel aufs neue und sofort.

Wie die nebenstehende Figur (4 a) zeigt, ist der erste Akt eine Polarisation des Furchungskerns, wobei seine Rindenschicht eine fasrige Differenzirung zeigt und sich an jedem Pol des Kerns durch strahlige Lagerung der Dotterkörner eine Figur bildet, welche ihr erster Entdecker (Strasburger) die karyolitische Figur nennt. Figur d zeigt ein weiteres Stadium, bei welchem die Spindelform des

§ 218.

Bei der Furchung ist also das erste die Bildung zweier Kerne an Stelle des einen, und erst darauf folgt die Theilung des Periprotoplasmas in der Weise, dass man sie das Produkt einer von jedem neuen Kern ausgehenden, als Kuglungsbestreben sich äussernden Anziehung nennen darf. Da wir früher sahen, dass auch die Contractionen des Protoplasmas als Kuglungsbestreben um einen Zuckungsmittelpunkt sich zu erkennen geben, so beruht vielleicht die Theilung des Periprotoplasmas auch auf einer Contraction, wobei die zwei Kerne die Contraktionsmittelpunkte sind.

Völlig dunkel ist dagegen die Ursache der Vorgänge am Kern. Wir können nur formal dieselben als einen 1) concentrisch differenzirenden und 2) polarisirenden Faktor denuncziren. Der erstere liegt in der Beziehung zwischen Kernsubstanz und Periprotoplasma, die als Contactwirkung bezeichnet werden kann, absolut dunkel ist dagegen der letztere, wir können nur sagen, hier liege eine Funktion des Centrums und nicht eine der Peripherie vor.

Mit der Furchung geht Hand in Hand eine chemische Veränderung, die sich in dem allmählichen Verschwinden der Dotterkörner, in der fortdauernden Absorption von Sauerstoff und der fortdauernden Aushauchung von CO_2 mit Abgabe von Wasser äussert. Das Protoplasma wird aufgehellt und sobald das geschehen ist, sprechen wir nicht mehr von Furchungskugeln, sondern von Embryonalzellen.

Bei der partiellen und inegalen Dotterfurchung ist das charakteristische, dass der Erfolg eine Einkapslung des wenig oder gar nicht furchungsfähigen Theils durch den furchungsfähigeren ist.

Bei der Wiederholung der Furchungen ist es charakteristisch, dass die Schnittrichtungen der folgenden Furchungen die vorhergehenden immer winklig durchschneiden, theils so wie die Meridiane eines Globus sich schneiden, theils so wie die Meridiane durch die Parallelkreise geschnitten werden, so dass es für alle diese Richtungen eine centrale Axe gibt und diese Axe ist eine geocentrische.

§ 219.

Ist aus dem Dotter im Verlauf der Furchung durch Zerstörung der Dotterkörner embryonales Protoplasma geworden, so dauert das numerische Wachstum durch Theilung fort, jedoch in etwas modifizirter Weise.

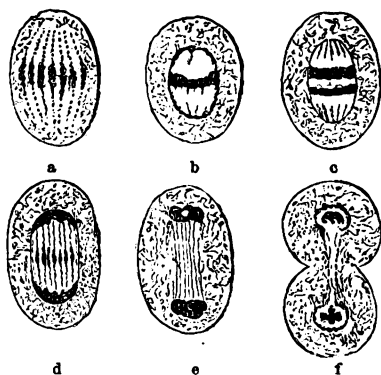


Fig. 5.

Theilungsstadien eines embryonalen rothen Blutkörperchens vom Hühnchen nach Bütschli.

1) Es sind bei diesen Sekundärtheilungen keine karyolitischen Figuren mehr wahrzunehmen.

2) Die Kernspindel wird, wie es scheint, nicht mehr als Ganzes bei Seite geschoben und der Vernichtung preisgegeben, sondern sie theilt sich nach vorgängigem sanduhrartigem Ausgezogenwerden, aber wahrscheinlich auch nur, um dann zu verschwinden, während die zwei neuen Kerne sich an den Polen der Kernspindel bilden (siehe nebenstehende Figur).

3) Bei den Sekundärtheilungen treten Specialisirungen auf; zu der, der Furchung im Allgemeinen sehr ähnlichen Zweitheilung, wie sie obenstehende Figur aufweist, treten weitere Vermehrungsformen:

a) Die Vermehrung durch Knospung: Sie besteht darin, dass der Kernvermehrung die Theilung des Periprotoplasmas nicht auf dem Fusse folgt. Oft erst, nachdem eine Mehrzahl von Kernen entstanden ist, bewegen die Kerne sich centrifugal, einen Theil des Periprotoplasmas vor sich herstülpend. Durch das Bestreben des letztern, sich um den Kern zu kugeln, beginnt der Verband zwischen dem kernhaltigen Auswuchs des Periprotoplasmas und dem Muttertheil des letztern sich zu verschmälern, um schliesslich ganz zu zerreißen.

b) Die unvollständige Theilung, bei welcher sich nur der Kern, und zwar oft mehrmals theilt, ohne dass das Periprotoplasma an dem Theilungsvorgang partizipirt; so entstehen die vielkernigen Zellen, die meist Riesenzellen sind.

c) Die Kernverzweigung, wobei sich zwar der Kern und zwar wiederholt und nach verschiedenen Richtungen polarisirt, aber ohne dass die Polarisation bis zur Trennung des Zusammenhangs fortschreiten würde. Das Endprodukt sind gleichfalls Riesenzellen mit lappig verzweigtem Kern (siehe Fig. 98 Bd. I pag. 219).

Diese Verschiedenheiten lassen sich so formuliren: Die Theilungsfähigkeit des Protoplasmas ist nicht nur insofern verschieden stark als der zeitliche Rhythmus derselben grosse Unterschiede aufweist, sondern auch insofern als die Theilungsfähigkeit auch formal verschieden weit greift. Ist sie gering, so reichen

die Wirkungen derselben nur zur Polarisirung, aber nicht zur Trennung des Zellcentrums, ist sie grösser, so wird letztere erreicht, aber im Periprotoplasma erlahmt die Theilungsfähigkeit. Erst bei höchster Entwicklung greift sie auch durch das Periprotoplasma hindurch und zwar bei der Knospung in verzögerter, bei der Zweitheilung in prompter Weise. Dies ist ein weiterer Beleg für die Annahme, dass die primären Ursachen der Theilung im Centrum und nicht in der Peripherie liegen.

15. Entwicklungsvorgänge im Protoplasma.

c) Anpassung und Differenzirung.

§ 220.

Bei der Anpassung sind zwei wesentlich verschiedene Vorgänge, die direkte (ontogenetische) und die indirekte (phylogenetische), Anpassung zu unterscheiden. Die erste vollzieht sich im Laufe jeder Ontogenese und besteht darin, dass das primäre (Keim-) Protoplasma successive Veränderungen durchmacht, in dem Masse und der Art, als sich hierbei die Existenzbedingungen successive ändern (Uebergang des Keimprotoplasmas in Muskel-Nerven-, Drüsenprotoplasma). Sie zerfällt wieder in die elementare Anpassung, welcher alle Protoplaststücke, auch die freilebenden, unterworfen sind, und in die sociologische, welche nur dann eintritt, wenn viele Protoplaststücke zu einer organisirten Gesellschaft (Multicellulatenleib) sich vereinigen.

Die phylogenetische Anpassung vollzieht sich ganz allmählich im Laufe vieler Generationen und besteht in einer allmählich eintretenden Veränderung des reservirten Keimprotoplasmas, welche zur Folge hat, dass die Bahn der Ontogenese ein von dem früheren abweichendes Entwicklungsziel verfolgt. Dieses Ziel ist eine Anpassung an die Bedingungen, von denen die Existenz des gesammten Individuums abhängt. Hier betrachten wir nur die ontogenetische Anpassung, die phylogenetische wird im biologischen Theile gewürdigt werden.

Beiden Vorgängen gegenüber spielt die Vererbung die Rolle eines regulirenden und hemmenden Faktors in der Weise, dass sie die ontogenetische Anpassung in eine bestimmte Bahn einengt und so indirekt die phylogenetische Anpassung hemmt oder wenigstens ebenfalls in eine bestimmte enge Bahn einzwängt.

§ 221.

Die ontogenetische Anpassung basirt auf der Anpassungsfähigkeit des Protoplasmas d. h. der Fähigkeit, unter dem andauernden Einfluss veränderter Stoff- und Kraftwechselbedingungen, abgesehen von den rhythmischen Zustandsveränderungen, die in den früheren Abschnitten beschrieben wurden, neue adäquate Gleichgewichtslagen seines chemisch-physikalischen und morphologischen Aufbaues anzunehmen, ohne dabei seine Vitalität einzubüssen.

Die Anpassung ist mithin eine Umwandlung eines Zustands in einen anderen und kann in dieser Hinsicht auch als Metamorphose bezeichnet werden. Der Erfolg ist, dass die Vitalitätsäusserungen des Protoplasmas sich gleichfalls ändern und meist sind auch noch formale Veränderungen damit verbunden.

Die Anpassungsfähigkeit hat ihre physikalische und chemische Seite, die gesondert zu betrachten sind.

§ 222.

Am handgreiflichsten ist die grosse mechanische Anpassungsfähigkeit, die mit der als colloid bezeichneten Eigenschaft der das Protoplasma bildenden Albuminate gegeben ist. Während die Moleküle der krystalloiden Substanzen jede Störung ihrer Gleichgewichtslage mit Lösung ihres Zusammenhangs beantworten, ist es charakteristisch für die colloiden, dass sie die Störung des Gleichgewichts zuvor mit einer Lageveränderung d. h. mit Distanzierungen beantworten, allein ohne das Cohäsionsverhältniss, in dem sie stehen, ganz aufzugeben.

Damit ist eine ungeweine Anpassungsfähigkeit des Mischungs Zustandes in Bezug auf den Wassergehalt gegeben. Während bei den krystalloiden Verbindungen der feste Zustand an die Anwesenheit einer ganz bestimmten Menge von Wasser (Krystallisationswasser) geknüpft ist, ist das Protoplasma im Stande, die verschiedensten Mengen von Wasser festzuhalten, ohne aufzuhören, ein zusammenhängender Körper zu sein, und wenn die Aenderungen des Wassergehaltes nicht zu rasch erfolgen, auch ohne hiebei seine Erregbarkeit zu verlieren.

Dass durch diese Aenderungen des Wassergehaltes wesentliche Veränderungen in den Verhältnissen des Kraft- und Stoffwechsels und in dem morphogenetischen Verhalten eintreten, ist an mehreren Orten bereits hervorgehoben worden und es soll weiter unten noch weiteres hinzugefügt werden.

§ 223.

Eine weitere physikalische Grundlage der Anpassungsfähigkeit ist die schon früher erwähnte bedeutende Grösse der Eiweissmoleküle, also auch der Poren, die sie beim Zusammentreten zu einer Membran zwischen sich lassen. Dadurch ist das Protoplasma befähigt, einer grossen Menge niederatomiger Verbindungen den Eintritt in sein Molekulargewebe zu gestatten und, sofern sie adhäsive Beziehungen zu Bestandtheilen des Protoplasmas haben, sie dort festzuhalten; kurz, es ist die grosse Fähigkeit der Albuminate, durch Intussusception sich verschiedenartige andre chemische Verbindungen auf mechanischem Wege einzulagern (Farbstoffe, Fettkörner, verschiedenartige Salze und sonstige organische und unorganische Verbindungen), wodurch natürlich mannigfaltige morphologische und funktionelle Protoplasmodifikationen entstehen können.

Ferner ist die colloide teigigweiche Beschaffenheit des Protoplasmas die Ursache, dass sich Lageveränderungen, Verschiebungen seiner Massetheilchen sowie Formveränderungen im Ganzen sehr leicht ausführen lassen, was bei krystalloiden Verbindungen nicht möglich ist. Darauf beruht die grosse formale Plastizität des Protoplasmas und die Fähigkeit bestimmte Strukturen anzunehmen z. B. eine ungeordnete Struktur mit einer geordneten zu vertauschen wie das früher beschrieben worden ist.

§ 224.

Die chemische Seite der Anpassungsfähigkeit besteht, soweit wir jetzt einen Einblick haben, in einer ähnlichen Schmiegsamkeit, Duktilität und Intussusceptionsfähigkeit der das Eiweissmolekül aufbauenden Atomketten. Die äusserst komplizierte Struktur des Moleküls gestattet Verschiebungen und Distanzierungen des Gewirres der Atomverkettungen, verbunden mit Einlagerungen und Anlagerungen der mannigfaltigsten und verschiedensten Atomgruppen, ohne dass dabei die zwischen den Atomen bestehenden Cohäsions- und Adhäsionsbeziehungen gestört und die Atome aus ihrer Verbindung gelöst werden und ohne dass das Molekül seine allgemeine Fähigkeit, den Bestandtheil einer belebten Membran zu bilden, verliert.

Hiebei handelt es sich nun darum, dass wirkliche neue chemische Verbindungen entstehen, die theils isomer, theils homolog sich zu einander verhalten. Bekannt ist in dieser Beziehung über die Befähigung des Eiweissmoleküls folgendes:

- 1) Dasselbe kann durch Abscheidung gewisser, uns freilich noch

nicht bekannter Atomketten die seiner Zeit beschriebenen albuminoiden Substanzen liefern.

2) Es kann ohne seinen Charakter als Albuminat zu verändern, bald saure, bald alkalisch reagirende Atomgruppen sich anfügen (Säurealbuminate, Alkalialbuminate).

3) Es ist befähigt, durch Aufnahme von complicirteren Atomketten neue chemische Verbindungen zu bilden; welchen die allgemeine Eigenschaft der Albuminate, einen integrierenden Bestandtheil lebendigen Protoplasmas zu bilden, zukommt. Dahin gehört das Nuclein (Albuminat + Lecithin), das Hämoglobin (Albuminat + Hämatin) und offenbar liegt bei diesen Synthesen die Möglichkeit zahlreicher Isomerien vor.

Fassen wir kurz zusammen: Das Molekül der Albuminate besitzt sogenannte Anpassungspunkte, an denen äusserst leicht bei Veränderungen der Existenzbedingungen andere Atomketten ein- und austreten und sich ersetzen oder verschieden gruppieren können. Diesen Anpassungspunkten stehen die sogenannten Vererbungspunkte gegenüber, an denen Atomketten hängen, die fester gebunden sind, und, wie wir später sehen werden, nicht ausgewechselt werden können, ohne dass die Spezifität des Albuminats verloren geht, denn diese Atomketten sind spezifischer Natur; hierher gehören insbesondere die schmeckenden und riechenden Stoffe.

Ferner handelt es sich aber auch offenbar um sogenannte Imprägnierungen, d. h. dass in die Struktur des Moleküls Atomgruppen eintreten können, ohne dass sie andere Atomgruppen substituieren und diese zum Austritt zwingen, also ohne dass eigentlich eine neue chemische Verbindung entsteht: die Atomgruppen werden mehr mechanisch als chemisch festgehalten. Die Zahl dieser Stoffe, die man dieser Eigenschaft wegen differente Stoffe nennt (§ 000), ist ganz ausserordentlich gross, und umfasst sowohl einfache bekannte chemische Stoffe, als das Meer der meist in ihrer Zusammensetzung unbekanntem organischen Geschmack- und Geruchstoffe.

§ 225.

Die Anpassungsfähigkeit ist zwar eine allgemeine Eigenschaft eines jeden Protoplasmas, allein dieselbe ist nicht überall und zu allen Zeiten gleich gross.

1) Sie unterliegt einer zeitlichen Veränderung, indem sie beim verjüngten primären Protoplasma am entwickeltsten ist und im Verlauf der Ontogenese allmählich abnimmt, beziehungsweise in immer engere Bahnen eingeschlossen wird. Das primäre

Keimprotoplasma eines Multicellulaten kann sich z. B. in Muskel-, Nerven-, Drüsenprotoplasma etc. umwandeln, allein ist es einmal z. B. durch Anpassung Muskelprotoplasma geworden, so ist ihm nach allem die Möglichkeit Nervenprotoplasma etc. zu werden, benommen: es bleibt ihm bloß der Weg rückwärts zu fettiger Degeneration, oder vorwärts vom wenig geübten zum geübteren Zustande übrig.

2) Es gibt gradweise Verschiedenheiten bei der Anpassungsfähigkeit, insofern als der Betrag der Abänderung, welche die Anpassung erzeugt, nicht bei allen Thieren gleich gross ist. Die Abstufungen sind zwar in dieser Richtung sehr zahlreich und fein nuancirt, aber wir können doch folgende drei Hauptstufen unterscheiden:

Die primäre d. h. niederste, wohl allen Protoplasmen zukommende Anpassungsfähigkeit ist die Gewöhnungsfähigkeit. Ihre chemische Seite besteht darin, einem im Sinne von § 51 differenten Medium gegenüber einen Zustand zu gewinnen, in welchem die Differenz ganz verschwindet oder beträchtlich geringer wird, die physikalische darin, mit einem kinetischen Reize sich so ins Gleichgewicht zu setzen, dass derselbe entweder ganz aufhört als Reiz zu wirken oder einen grösseren Schwellenwerth haben muss, um Erregung auszulösen. Eine andre Seite der primären Anpassungsfähigkeit ist die Uebungsfähigkeit, d. h. die Befähigung, die Hindernisse, welche sich den Erregungsvorgängen entgegenstellen, zu vermindern.

Die sekundäre d. h. höhere Anpassungsfähigkeit ist die Ordnungsfähigkeit, d. h. die Eigenschaft, eine geordnete Struktur anzunehmen. Da nicht alles Protoplasma hierzu befähigt ist, so unterscheiden wir ordinatives und inordinatives Protoplasma. Die Ordnungsfähigkeit ist eine bedeutende Steigerung der Uebungsfähigkeit, indem jetzt die Möglichkeit vorliegt, das Mass der Hemmung nicht bloß durch Verkleinerung der Widerstände, sondern auch durch zweckmässige Ordnung derselben zu vermindern.

Als tertiäre Anpassungsfähigkeit ist diejenige zu bezeichnen, auf welcher die in § 114 beschriebenen Stimmungsvorgänge beruhen (Stimmungsfähigkeit). Sie ist eine Consequenz und Steigerung der Ordnungsfähigkeit.

§ 226.

Ob die Anpassungsfähigkeit eine primäre, sekundäre oder tertiäre ist, hängt natürlich wieder von Eigenthümlichkeiten der chemisch physikalischen Struktur ab.

So z. B. ist der spezifische Quellungsgrad, der eine Consequenz

des spezifischen Gehaltes an Salzen und andern chemischen Stoffen ist, gewiss von entscheidendem Einfluss darauf, ob das Protoplasma ordinativ oder inordinativ ist, und zwar deshalb:

1) Je weicher das Protoplasma, je verschieblicher also seine Theile, um so schwieriger wird eine bleibende Ordnung zu erzielen sein, indem sie zu leicht wieder gestört wird.

2) Die Ordnung ist, wie wir früher sahen, ein Produkt der Erregungsleitung. Da vermehrter Wassergehalt zwar die Erregbarkeit erhöht, aber die Leitungsfähigkeit für den Erregungsvorgang vermindert, so wird sich bei stärkerem Quellungsgrad weit schwieriger eine bleibende Ordnung erzielen lassen: das Protoplasma hat eine zu grosse mechanische Labilität.

Ob das Protoplasma blos ordnungsfähig oder zugleich auch stimmungsfähig ist, hängt von seiner Fähigkeit ab, Protagon zu bilden.

Das sind jedoch nur einige Andeutungen; im allgemeinen sind diese Verhältnisse noch äusserst unvollständig bekannt.

§ 227.

Die allgemeinen Anpassungsursachen sind alle Einwirkungen der Aussenwelt, welche das chemische und physikalische Gleichgewicht des Protoplasmas andauernd beeinflussen. Also zunächst die Qualität des umspülenden Mediums, sofern dieses seinen Stoffwechsel qualitativ und quantitativ beeinflusst: Jede nicht zu plötzlich erfolgende und einen gewissen Werth nicht überschreitende andauernde Aenderung in der chemischen Zusammensetzung und dem Bewegungszustand des Mediums, beantwortet das Protoplasma, sofern es überhaupt oder noch anpassungsfähig ist, mit einer mehr oder weniger grossen Aenderung seines chemisch physikalischen Baues: Es bildet sich ein neuer, der Beschaffenheit des Mediums adäquater Gleichgewichtszustand aus (chemische Gewöhnung).

Dasselbe gilt von dem Kraftwechsel: Sobald sich die Kraftwechselverhältnisse qualitativ oder quantitativ ändern und diese Aenderung allmählig und innerhalb gewisser Grenzen vor sich geht und länger andauert, so sucht das Protoplasma, vermöge der ihm eigenen Schmiegsamkeit seines chemisch-physikalischen Baues, durch adäquate Aenderung desselben einen neuen Gleichgewichtszustand zu erreichen (physikalische Gewöhnung).

Ueber die speziellen Anpassungsursachen ist folgendes zu bemerken:

1) Die Uebung, bei welcher der Widerstand gegen die

Erregungsvorgänge sich mindert, wird durch fortgesetzte, in passender Weise rhythmisch unterbrochene Hervorrufung der Erregungsvorgänge erzeugt, wie dies bereits § 113 geschildert wurde.

2) Die Ordnung des Protoplasmas im Sinne von § 113 wird nur dann eintreten, wenn das Protoplasma stets in einer einzigen und zwar stets gleichen Richtung von dem Erregungsvorgang durchzogen wird, dagegen wird eine Ordnung unmöglich sein, selbst wenn die Fähigkeit hierzu vorliegt, sobald die Reizungen von verschiedenen oder von allen Seiten zugleich erfolgen.

3) Die Stimmung im Sinne von § 114 wird nur dann eintreten, wenn eine andauernde, sich gleichbleibende Erregung von spezifischem Rhythmus mit Ausschluss jeder andern Erregung stattfindet, so wie dies bei den Nerven der höheren Sinneswerkzeuge notorisch der Fall ist.

§ 228.

Die Konsequenz der Anpassung ist eine Veränderung in der Art und Weise, wie sich die rhythmischen Funktionen des Protoplasmas abwickeln. Die Stoffwechselfunktionen ändern sich nach Grad und Qualität und dasselbe gilt für die Kraftwechselforgänge. Am einschneidendsten sind für die letzteren folgende:

Die Verminderung des Quellungsgrades verändert die Verhältnisse der Erregbarkeit und Erregungsleitung in entgegengesetztem Sinne und begünstigt die Kontraktilität, worüber schon früher das Nähere angegeben ist.

Die chemische wie die physikalische Gewöhnung haben ein anderes Verhalten gegen die Lebensreize zur Folge: Die Erregbarkeit gegenüber den Reizen, welche die Gewöhnung bewirkt haben, nimmt ab, den andern Reizen gegenüber kann sie dabei gleich bleiben oder auch abnehmen oder erhöht werden, kurz es ändern sich nur die Spezifitäten der Erregbarkeit. Hierher gehören beispielsweise die Umstimmungen des Protoplasmas, welche durch fortgesetzte Darreichung von Arzneimitteln hervorgebracht werden. Im allgemeinen können wir diese Aenderungen als solche des Instinkts bezeichnen.

Die Uebung hat, wie mehrfach geschildert, eine Erhöhung der Erregbarkeit, eine Zunahme der Leitungsfähigkeit für die Erregungsvorgänge, und eine grössere Leistungsfähigkeit in Bezug auf den Erregungseffekt zur Folge.

Die mit der Ordnung und Stimmung gegebenen Strukturänderungen geben den Kraftwechselforgängen den Charakter der Spezifität, und erhöhen, wie die Uebung, die quantitative Leistungsfähigkeit.

Spezifisch physiologische Qualitäten werden durch das Auftreten der Albuminatsynthesen (Nuclein und Haemoglobin) und Lecithinverbindungen erzeugt. Im Nerv ist die Leitungsfähigkeit auf Kosten der Contractilität erhöht, im Haemoglobinprotoplasma sind die Adhäsionsverhältnisse für den Sauerstoff geändert, die Erregbarkeit beträchtlich vermindert, die Quellungsfähigkeit erhöht.

Das Auftreten der albuminoiden Stoffe im Protoplasma oder um dasselbe herum wirkt herabsetzend auf die Erregbarkeit, und die Erregungsleitung wirkt auf letztere bald hemmend, bald isolirend.

Ganz auffallend werden auch die morphogenetischen Eigenschaften durch die Anpassungsvorgänge beeinflusst (Aenderung der Adhäsivität, der Festigkeit, Plastizität etc).

§ 229.

Eine weitere Consequenz der Anpassungsfähigkeit ist die Differenzirung, d. h. die Thatsache, dass ein und dasselbe Protoplasma unter differenten Existenzbedingungen eine differente Beschaffenheit annimmt. Hierbei haben wir es mit zweierlei Modalitäten zu thun.

Die elementare Differenzirung ist die, welche sich an einem und demselben Protoplasmastück vollzieht, wenn nicht alle seine Theile in gleiche Beziehungen zu den umgebenden Medien treten, mithin partielle Anpassungen stattfinden. Diese Differenzirung schafft theils Gegensätze zwischen Peripherie und Centrum (elementare concentrische Differenzirung), theils polare Gegensätze zwischen verschiedenen Punkten der Oberfläche (elementare polare Differenzirung).

Eine weitere Differenzirung knüpft an die Theilungsvorgänge an. Wenn ein Protoplasmastück sich in zwei Stücke theilt, so sind die beiden Stücke gleich (die Ausnahmen bei der Dotterfurchung kommen hier nicht in Betracht). Gelangen nun die beiden Theilstücke unter differente Existenzbedingungen, so bildet sich eine Verschiedenheit zwischen ihnen aus, indem sich jedes seiner eigenen Existenzbedingungen anpasst.

Bei den Unicellulaten, bei denen die beiden Theilprodukte sich räumlich entfernen, kommt es zu keiner Differenzirung, weil die Existenzbedingungen für beide Theile gleich bleiben, dagegen ist es bei dem adhäsiven Protoplasma der Multicellulaten meist unmöglich, dass für alle die zu einer Zellgesellschaft zusammentretenden Protoplasmastücke die Existenzbedingungen gleich bleiben. So sehen wir denn Differenzirungen eintreten in Folge von Anpassungen an differente Existenzbedingungen, die mehr oder weniger das ganze

Protoplasmastück betreffen, also totale Anpassungen sind (im Gegensatz zu den mehr partiellen bei der elementaren Differenzierung). Diese Differenzierungsart ist die sociologische Differenzierung. Wir betrachten hier nur die elementare, die sociologische findet in einem späteren Abschnitt ihre Schilderung.

§ 230.

Die Beobachtung lehrt uns, dass die Differenzen, welche unter den im vorigen Paragraphen geschilderten Umständen eintreten, nicht bei allen Protoplasmen gleich gross ausfallen. Wir haben es also mit einer Eigenschaft, der Differenzivität, zu thun, welche ganz erhebliche Unterschiede aufweist. Das Protoplasma der Protisten z. B. müssen wir geradezu indifferentiv nennen, da es weder zeitlich noch räumlich sich in irgend erheblichem Grade ändert. Diesem indifferentiven Protoplasma steht das differenzierte der übrigen Thiere gegenüber, aber in der Weise, dass die Differenzierungsfähigkeit eine gradweise Steigerung von den niedrigsten Organismen bis zu den höchsten hinauf erfährt.

Dieser Unterschied in der Differenzierungsfähigkeit tritt uns sowohl bei der elementaren, wie bei der sociologischen Differenzierung entgegen. Der Gegensatz in der Differenzierungshöhe zwischen einem Rhizopoden und einer Vorticelline ist fast ebenso gross, wie der zwischen den niedersten, nur aus zweierlei Zellformen aufgebauten Multicellulaten und den höchsten, bei welchen aus dem einheitlichen Keimprotoplasma sich während der Ontogenese eine ganze Menge der verschiedenartigsten Gewebstücke differenzieren.

Die grösseren Unterschiede in der Differenzierungsfähigkeit tragen im allgemeinen einen typischen Charakter, so dass wir das Thierreich in einige wenige Gruppen von typisch verschiedener Differenzierungsfähigkeit zerlegen können. Daneben gibt es noch feinere spezifische Unterschiede, deren Schilderung ins Gebiet der speciellen Zoologie gehört.

§ 231.

Der Grad der Differenzierungsfähigkeit wird wohl im allgemeinen von zwei Eigenschaften des Protoplasmas abhängen:

1) Von dem Grade seiner Empfindlichkeit gegen die Anpassungsursachen bez. gegen die stofflichen und kinetischen Einwirkungen der umgebenden Medien (Lebensreize). Je grösser die Empfindlichkeit ist, um so leichter werden schon die geringfügigsten Aenderungen in den Existenzbedingungen Anpassungsvorgänge herbeiführen.

2) Von der Leitungsfähigkeit des Protoplasmas für die Einwirkung der äusseren Existenzbedingungen und zwar so: Je leistungsfähiger das Protoplasma ist, um so geringer wird seine Differenzivität sein. Das beste Beispiel zum Verständniss bildet die concentrische Differenzirung. Ist die Leitungsfähigkeit für die Einwirkung der Existenzbedingungen so gross, dass diese ungeschwächt bis in das Centrum des Protoplaststückes sich geltend machen können, so stehen gewissermassen alle Theile des Stückes unter gleichem Einfluss und werden somit einen gleichartigen Charakter behalten. Ist dagegen die Leitungsfähigkeit gering, d. h. wird die Einwirkung der Existenzbedingungen auf ihrem Weg durch das Protoplasma rasch und stark abgeschwächt, so bestehen für die Peripherie andere Existenzbedingungen als für das Centrum und indem sich das erstere dieser, das letztere jener Existenzbedingung anpasst, muss eine Differenzirung in Rinde- und Kernprotoplasma eintreten.

Bei dieser Leitungsfähigkeit handelt es sich nicht blos um die Leitung der freien Bewegungen (Licht, Wärme, Elektrizität, mechanische Bewegung), sondern auch um die stoffliche Leitungsfähigkeit, d. h. die Quellbarkeit und die Durchgängigkeit für Gase und gelöste fixe Stoffe wie für feste körperliche Gebilde.

§ 232.

Eine der wichtigsten physikalischen Ursachen, die den Unterschied in der Höhe der Differenzivität bedingen, ist wohl der Wassergehalt bezw. der Quellungsgrad des Protoplasmas; denn so werden wir die Thatsache zu deuten haben, dass die schwächer differenziven Thierarten durchgängig ein wasserhaltigeres weicherer Protoplasma haben als die hochdifferenziven. Leider besitzen wir noch keine vergleichenden Bestimmungen des Wassergehaltes der Eier verschiedener Thiere, sondern nur solche von den fertigen Thieren in toto, aus denen freilich mit absoluter Sicherheit auf den Wassergehalt des Keimprotoplasmas nicht geschlossen werden kann. Den Analysen entnehme ich die Skala: Qualle 99,8% Wasser, Auster 84,5, Wegschnecke 87,0, Frosch 80,0, Maus 70,8, Mensch 58,5.

Die Art, wie der Wassergehalt die Differenzivität beeinflusst, lässt sich wenigstens theilweise übersehen.

1) Mit dem Wassergehalt nimmt die Leitungsfähigkeit für den chemischen Einfluss der umgebenden Medien zu, d. h. das Protoplasma ist durchlässiger für wässrige Flüssigkeiten und damit werden die Stoffwechselbedingungen sich nicht so leicht differenziren können.

2) Mit Zunahme des Wassergehaltes nimmt, wie wir § 226 sahen, die Ordnungsfähigkeit des Protoplasmas ab, so dass die daraus sich ergebenden Differenzen sich gar nicht oder nur unvollkommen entwickeln können.

3) Gewisse chemische Modifikationen des Protoplasmas, sowohl albuminoide (Keratinbildung) als synthetische (Nuclein- und Hämoglobinbildung), sind in ihrem Auftreten von einem geringern Wassergehalte abhängig.

4) Die wasserhaltigeren Protoplasmen sind wegen ihrer Festigkeit viel weniger geeignet, höhere sociologische Complicationen hervorzurufen, so dass eine grössere Mannigfaltigkeit in den sociologischen Existenzbedingungen sich bei ihnen nicht entwickelt.

In welcher Weise die andern spezifischen Mischungsverhältnisse der Protoplasmen die Differenzivität beeinflussen, ist noch ganz dunkel. Man kann nur nach der einen Seite hin sagen, dass sie indirekt wirken, weil von ihnen der spezifische Wassergehalt abhängt; über die direkte Wirkung sind kaum Vermuthungen möglich.

Es sollen nun in Folgendem die wichtigsten elementaren Differenzirungen genauer besprochen werden.

§ 233.

Unter den elementaren d. h. an einem einzigen Protoplasmastück sich vollziehenden Differenzirungen ist die concentrische die erste und allgemeinste; sie fehlt nur den niedersten Organismen, deren Protoplasma so wasserhaltig ist, dass sich keine Differenzen zwischen Peripherie und Centrum ausbilden können.

Die wichtigsten Formen dieser Differenzirung sind die nucleogene, die membranogene und die corticogene.

Die erstere besteht darin, dass sich ein Protoplasmastück in einen Kern (Nucleus) und einen Protoplasmanmantel (Periprotoplasma) sondert; die zweite darin, dass das Periprotoplasma sich mit einer leblosen d. h. nicht erregbaren Hülle umgiebt, die dritte darin, dass die oberflächliche Lage des Protoplasmas, ohne ihre Vitalität d. h. ihre Erregbarkeit zu verlieren, andere Qualitäten annimmt, als die zunächst darunter liegende.

Diese Differenzirungsformen können theils jede für sich allein vorkommen, theils sich combiniren. Im letzteren Fall ist in der Regel die nucleogene Differenzirung die primäre, die membranogene und corticogene die sekundäre. Die zwei letzteren Formen stehen in der Regel im Verhältniss der Ausschliessung.

§ 234.

Bei der nucleogenen Differenzirung ist das Wesentliche das Auftreten einer neuen chemischen Verbindung im Centrum, die einen formell wohl abgegrenzten Körper bildet. Die Substanz wird Nuclein genannt und ist das Produkt einer Synthese von Eiweiss und Lecithin. Der Kern baut sich, nach den Untersuchungen an den Eiterzellen des Menschen, bei denen sich das Periprotoplasma durch lange fortgesetztes Waschen mit sehr verdünnter Salzsäure entfernen lässt, aus einer unlöslichen und einer löslichen Nucleinmodifikation, freiem Lecithin, freiem Albuminat, Spuren von Fett und Salzen auf (Hofmann). Dass der Kern selbst wieder einer concentrischen Differenzirung in Kern, Kernkörperchen und Kernmembran anheim fallen kann, ist schon im morphologischen Theil erwähnt, chemisch ist über diese Differenzirung nichts bekannt.

Dass der Kern keine leblose Absonderung, sondern lebendiges d. h. erregungsfähiges Protoplasma (Nucleinprotoplasma) ist, geht aus dessen mehrfach beobachteter Contraktilität hervor und auch die oben angegebenen chemische Zusammensetzung spricht dafür. Im Gegensatz hierzu müssen wir das Periprotoplasma der Zellen und das indifferentirte Protoplasma als Albuminatprotoplasma bezeichnen.

§ 235.

Bei der Kernbildung hat man zweierlei Formen, die neogene (Kerneubildung) und die conservative (Kernreservirung) zu unterscheiden. Letztere begleitet die § 217 u. ff. geschilderten Theilungen, erstere scheint nur dem ganz frisch verjüngten Protoplasma zuzukommen, aber auch hier, wie aus den Beobachtungen Bütschli's (§ 217) hervorgeht, nicht so allgemein zu sein, wie man eine Zeitlang annahm, so dass wir also, wie beim Keimprotoplasma, von einer Continuität des Kernprotoplasmas sprechen können.

Die Ursache der Kernbildung bzw. Kernreservirung ist natürlich einerseits das Produkt einer Eigenschaft des Protoplasmas (nucleogene Differenzivität), andererseits das der Einwirkung von äusseren Einflüssen. Wir können darüber etwa folgendes sagen:

Jedes Protoplasma enthält ausser den Albuminaten noch Lecithin, zwischen denen eine Synthese zu Nuclein möglich ist,

aber nur wenn die Bedingungen zur Synthese gegeben sind. Aus der primär centralen Lage des Kerns muss geschlossen werden, dass diese Bedingungen eine Frage des Raumes sind d. h. dass sie im Centrum bestehen, in der Peripherie fehlen. Dies diktiert uns folgende Anschauung: In der Peripherie ist es die stärkere Einwirkung der Lebensreize, welche die Nucleinbildung hindert; letzter tritt nur im Centrum ein: vorausgesetzt, dass das Periprotoplasma im Stande d. h. dicht genug ist, das Centrum vorder, nicht synthetischen, sondern zersetzenden Einwirkung der Lebensreize zu schützen.

Damit stimmt die § 197 besprochene Thatsache, dass die Beschützung und Einkapslung, welche die Eibildungszellen geniessen, gleichfalls eine vermehrte, sogar auf das Periprotoplasma ausgedehnte neogene Nucleinbildung zur Folge hat; ebenso die § 193 besprochene Thatsache, dass die erste Einwirkung der Lebensreize auf die Eizellen eine Zerstörung der aus Nuclein bestehenden Dotterkörner in der Peripherie ist.

§ 236.

Das Resultat der Kernbildung ist nicht nur rein morphologisch, sondern auch eine Modifikation der physiologischen Fähigkeiten des Protoplasmas.

In § 124 ist darauf hingewiesen worden, dass der Kern einen hemmenden Einfluss auf die Pseudopodienbildung des amöboiden Protoplasmas ausübe, dass er also der Sitz einer centripetalen Anziehung des Periprotoplasmas, kurz ein Anziehungsmittelpunkt sei.

Dies ergibt sich aus der Rolle, die der Kern bei den Theilungen spielt (§ 219).

Ferner haben wir früher gesehen, dass der Kern, im Gegensatz zu dem in der Regel alkalisch reagirenden Periprotoplasma, in der Regel sauer reagire. Daraus ergibt sich in Consequenz der Ranke'schen Theorie (§ 133), dass Kern und Periprotoplasma im Verhältniss der elektromotorischen Spannung stehen, woraus weiter folgt, dass der Kern die Rolle eines Erregungsmittelpunktes und bei den contractilen Zellen die eines Zuckungsmittelpunktes spielt. Dies ist aber nicht so zu verstehen, als ob der Kern der einzige Erregungs- bzw. Zuckungsmittelpunkt wäre — solche sind auch in zahlreicher Menge im Periprotoplasma und Kernprotoplasma vorhanden — allein der Kern ist offenbar ein Haupterregungsmittelpunkt, dem gegenüber die im Periprotoplasma zerstreuten Neben-erregungsmittelpunkte sind.

Daraus ergibt sich eine physiologische Centrirung des Protoplasmas, die sich als Hemmung der beim indifferenten Protoplasma so stark zu Tage tretenden centrifugalen Strebungen des Protoplasmas sowie als eine Verstärkung der Erregbarkeit äussert, die Jedem frappant entgegentritt, der die Erregbarkeit der einen Kern führenden Unicellulaten mit der kernlosen Protisten vergleicht.

§ 237.

Die corticogene Differenzirung hat, soweit bekannt, die nucleogene zur Voraussetzung und besteht darin, dass sich das Periprotoplasma in eine Rindenschicht und eine Binnenschicht sondert. Die Differenzen sind bald äusserst gering (grössere Festigkeit der Rindenschicht), bald sind sie auffälliger, wie z. B. der bei Unicellulaten und Multicellulaten (Muskel mancher wirbelloser Thiere) vorkommende Fall, dass das Rindenprotoplasma die Beschaffenheit eines geordneten Muskelprotoplasmas annimmt, während das Binnenprotoplasma im ungeordneten Zustande verharrt. In chemischer Beziehung handelt es sich bei dieser Differenzirung wohl um die Bildung des für das Muskelprotoplasma charakteristischen Myosins.

§ 238.

Ist die Kernbildung das Resultat einer Albuminat-Synthese, so ist die Membranbildung das einer Zersetzung und zwar beim thierischen Protoplasma in den meisten Fällen einer Albuminatzersetzung. Die hiebei auftretenden Membranbildner sind colloide Stoffe von niedrigerem Atomgewicht als die Albuminate. Wenn solche in löslicher Modification im Protoplasma entstehen, so können sie sich ihres kleineren Moleküls wegen nicht halten, sondern werden entweder durch Diffusion abgeführt oder, was das wahrscheinlichere ist, durch einen von der Contraktivität des Protoplasmas ausgehenden Filtrationsdruck mechanisch ausgepresst.

Eine Membranbildung erfolgt übrigens nur dann, wenn entweder das umgebende Medium kein Lösungsmittel für den betreffenden Stoff ist oder wenn er ihn aus der Lösung auszufällen vermag. Die chemischen Stoffe, die beim Thier als Membranbildner auftreten, sind Elastin, Collagen, Chondrigen, Chitin und verwandte Stoffe.

Dass diese Colloidmembranen sich durch Aufnahme von Erden inkrustiren können, ist schon früher hervorgehoben worden.

§ 239.

Die Membranbildungsfähigkeit ist eine sehr allgemeine Eigenschaft des Protoplasmas, weil mehrere Zersetzungsprodukte der Albuminate colloider und gerinnungsfähiger Natur sind, allein sie ist beim thierischen Protoplasma entschieden geringer als beim Pflanzenprotoplasma; letzterem kommt sie sehr allgemein zu, während sie bei ersterem total oder relativ nach Zeit und Umständen fehlen kann. Ferner besteht ein qualitativer Unterschied: Die Membranen der Pflanzen bestehen aus der stickstofflosen Cellulose, die das Produkt einer synthetischen Assimilations-thätigkeit ist. Die thierischen Zellmembranen bestehen aus stickstoffhaltigen, einer Albuminatzersetzung entspringenden Substanzen, die aber nicht immer den gleichen chemischen Charakter tragen.

Man kann deshalb mehrerlei spezifisch verschiedene membranogene Fähigkeiten unterscheiden:

1) Albuminoidogenes Protoplasma, das Membranen aus Albuminoiden (Collagen, Elastin und (?) Modifikationen dieser Stoffe) bildet.

2) Chitinogenes Protoplasma, bei dem die Membranen aus Chitin und verwandten Stoffen bestehen. Bei dieser Sorte ist die Membranbildungsfähigkeit entschieden geringer entwickelt als bei ersterem.

3) Crustogenes Protoplasma, das Membranen liefert, die sich mit Erdsalzen (kohlen-saurem oder phosphorsauren Kalk) oder Kieselerde inkrustiren.

Im Gegensatz zu dem membranogenen Protoplasma steht das lymphogene, das nur flüssig bleibende colloide Absonderungen zu liefern vermag.

§ 240.

Die Ursachen der Membranbildung sind die Einwirkungen der umgebenden Medien.

1) Von deren Einwirkung auf das Protoplasmasekret hängt es ab, ob es aus der gelösten Modifikation in die unlösliche übergeht.

2) Die von dem umgebenden Medium ausgehenden Lebensreize sind die Ursache der chemischen Zersetzung, aus welcher der membranbildende Stoff hervorgeht.

Dies äussert sich darin, dass die Membranbildung nicht bei

jedem dazu befähigten Protoplasma jederzeit stattfindet, sondern erst unter bestimmten äusseren Umständen; so kann die Einkapslung der Infusorien durch Membranstoff durch Veränderung der Beschaffenheit des Mediums gehemmt und beschleunigt werden. Genauer sind jedoch diese Bedingungen nicht studirt, so wenig als die letzten Bedingungen der spezifischen Membranbildungsfähigkeit.

§ 241.

Die Folgen der Membranbildung für das Protoplasma beziehen sich theils auf den Stoffwechsel, theils auf den Kräftewechsel.

Der Stoffwechsel muss insofern eine Beeinträchtigung erfahren, als die Poren einer Albuminoidmembran enger sind als die einer Eiweissmembran. Diess muss nach zwei Seiten wirken:

1) Exosmotisch insofern, als der Austritt der löslichen Eiweissmodifikationen aus dem Protoplasma in noch höherem Masse erschwert ist als vorher und dass auch Albuminoide nicht mehr diffundiren können. Treten solche auf, so müssen sie sich zwischen Membran und Protoplasma lagern, wo sie dann in der Regel zu einer neuen Membranlage werden.

2) Endosmotisch insofern, als nicht nur die Albuminat- und Albuminoidlösungen, sondern höchstwahrscheinlich auch das emulsive Fett vom Eintritt ausgeschlossen sind.

Weiter ist durch die Membran die § 66 geschilderte Aufnahme grösserer Fremdkörper in das Protoplasma ausgeschlossen, sofern nicht grössere Strukturporen vorhanden sind, wie dies bei den Eihüllen (Micropyle) und bei den Kalkmembranen der Rhizopoden der Fall ist.

§ 242.

Der Kraftwechsel wird durch die Anwesenheit einer Membran ebenfalls entschieden beeinflusst. Was die quantitative Seite betrifft, so muss zunächst die Membran hemmend auf die Lebensreize wirken, also zu einem Schutz des Protoplasmas werden. Diese Beschützung demonstirt uns ganz besonders das in so hohem Grade membranogen differenzive Pflanzenprotoplasma. Unter dem Schutz dieser Membran bewahrt das Pflanzenprotoplasma seine embryonide Beschaffenheit in so hohem Grade, dass die Pflanzen in ihrer Fortexistenz von den bei den Thieren unerlässlichen Verjüngungsvorgängen sich ganz emanzipiren können (Fortpflanzung durch Ableger etc.), und dass die bei den höheren Thieren bei der

Ontogenese sofort auftretende Reservierung von Keimzellen selbst bei den höchsten Pflanzen erst am Schluss der Ontogenese einzutreten braucht. Auch die Knorpelzellen der Wirbelthiere sind ein Beweis für die beschützende Wirkung der Einkapselung durch Zellmembranen, denn dieselben behalten ein durchaus embryonides Protoplasma.

Am greifbarsten ist die Beeinflussung der Contraktilitätserscheinungen durch die Membran. Sobald diese eine starre unnachgiebige Kapsel bildet, wie bei den Pflanzenzellen und Knorpelzellen, so sind die Verschiebungen der Protoplasmaheile nicht mehr im Stande, Formveränderungen des gesammten Gebildes zu Wege zu bringen, sondern nur das, was die Botaniker die Rotation des Zellsaftes genannt haben.

Ist die Membran nachgiebig und elastisch, so hemmt sie nur die Pseudopodienbildung, schmiegt sich aber den von den Protoplasmaüberschiebungen ausgehenden Formveränderungen des ganzen Stückes an und stellt nur einen diese regulirenden Faktor vor, indem sie durch die ihr innewohnenden elastischen Kräfte ihre durch Protoplasmaüberschiebungen gestörte Gleichgewichtslage wieder einzunehmen strebt.

Ferner kommt die Membran bei dem contraktilen Protoplasma noch insofern in Betracht, als sie die Belastungsfähigkeit desselben verstärkt.

Bezüglich der elektrischen Erscheinungen ist der Einfluss der Membran noch nicht genügend erforscht; nur so viel scheint schon a priori gewiss, dass sie ihnen gegenüber eine hemmende Rolle spielt: Der Erregungsvorgang kann die Membran als solcher nicht durchschreiten, weil diese selbst der Erregbarkeit entbehrt. Aber eine völlige Undurchdringlichkeit besteht, wie die Versuche an den Nerven lehren, bei den Stoffen, welche die Zellmembranen bilden, nicht: Die negativ elektrische Stromesschwankung in dem leitenden Protoplasma eines Nerven ist im Stande, auch in einem andern anliegenden Nervenfasern einen Erregungsvorgang auszulösen, so dass es also keine völlig isolirte Erregungsleitung gibt, sondern nur eine gewisse Hemmung derselben durch die das Protoplasma einhüllenden Substanzen, wozu die Zellmembranen jedenfalls gehören.

Von einem Einfluss der Membran auf die Verhältnisse des Wärmehaushaltes ist nichts bekannt. Zu einem weiteren Ausspruch bezüglich der Wirkung der Membran zwingt der Vergleich von Thier- und Pflanzenzelle. Die ausserordentliche Befähigung des Pflanzenprotoplasmas, die niederatomige Kohlensäure und das niederatomige Ammoniak auf synthetischem Wege in immer höher-

atomige Verbindungen überzuführen (Assimilation), ist meiner Ansicht nach auch eine Folge der festen Einkapslung des Pflanzenprotoplasmas in starre Membranen. Hierdurch wird es im hohen Grade vor den zersetzend, anstatt synthetisch, wirkenden Einflüssen des Mediums geschützt (mechanische Reizung ist z. B. ganz ausgeschlossen). Im Gegensatz hierzu ist bei dem ganz nackten oder in weiche, durchgängige Membranen eingeschlossenen thierischen Protoplasma der zersetzenden Einwirkung der Lebensreize Thür und Thor geöffnet, und so überwiegt bei diesem die Zersetzung über die synthetische Assimilation, gerade so wie bei den Pflanzen das Umgekehrte der Fall ist.

§ 243.

Eine weitere elementare Differenzirung ist die ciliogene und flagellogene, bei welcher auf der Oberfläche des Protoplaststückes bleibende erregbare Protoplastfortsätze auftreten.

Ueber die Natur der hier in Frage kommenden Protoplasteigenschaft haben wir direkt keine Kenntniss. Lediglich die vergleichende Betrachtung erlaubt uns zu sagen, dass es sich um einen Zustand handelt, der von dem embryonalen (verjüngten) Zustand des Protoplasmas sich nicht sehr weit entfernt; andererseits, dass die flagellogene und ciliogene Differenzivität eine höhere Differenzirungsstufe ist als die nucleogene und letztere stets zur Voraussetzung hat, also nie bei kernlosem Protoplasma vorkommt. Auch steht sie im Verhältniss der Ausschliessung zu der membranogenen Differenzivität. Ferner ist gewiss, dass das ciliogene Protoplasma stets die Struktur des amöboiden Protoplasmas hat (ungeordnete Protoplastmakörner) sowie eine mehr oder weniger ausgesprochene amöboide Contraktivität.

Ein wesentlicher Punkt bei der ciliogenen Differenzivität scheint mir der Wassergehalt zu sein und zwar in folgender Weise:

Da ein höherer Wassergehalt die Erregbarkeit erhöht, aber die Erregungsleitung beeinträchtigt, so tritt ein Zustand ein, bei welchem die Erregung auf die Peripherie beschränkt bleibt und lokale Protoplastfortsätze treibt. Ist der Wassergehalt, also die Verschieblichkeit der Theile, zu gross, so verschwinden diese Fortsätze wieder (Wurzelfussbildung); hat er dagegen ein gewisses mittleres Mass, so sind sie bleibend, und da das sie bildende Protoplasma jetzt in Folge der grossen Oberflächeentwicklung von den umgebenden Medien anders, namentlich energischer beeinflusst wird als das übrige, so tritt eine Differenzirung ein.

Leider liegen keine Analysen vor, aus denen der spezifische

Wassergehalt der Flimmerzellen zu ersehen wäre. Allein soweit der Augenschein und die Vergleichung lehrt, scheint das ciliogen differenzierte Protoplasma einen geringeren Wassergehalt zu besitzen als das hochamöboide indifferenzierte, aber einen höheren als die Protoplasmen, welche ordnungsfähig sind.

Bezüglich der chemischen Seite der ciliogenen Differenzierungsfähigkeit wissen wir negativ, dass sie dem chitinogenen Protoplasma fehlt; bei den Gliederfüßlern kommt keine Flimmerhaarbildung vor. Positiv ist anzugeben, dass die Flimmerhaarbildung am entwickeltesten bei dem Protoplasma ist, welches Schleim zu bilden und abzusondern befähigt ist (mucigenes Protoplasma). Damit stimmt das häufige Auftreten derselben auf Schleimhäuten und bei den Mollusken.

Ueber die äusseren Umstände, unter denen Flimmerhaar- und Geißelbildung eintritt, gibt die vergleichende Betrachtung nur in der Richtung Aufschluss, dass eine Umspülung seitens eines flüssigen Mediums unerlässliche Bedingung ist. Man beobachtet deshalb diese Differenzierung auf der äusseren Körperoberfläche nur bei Wasserthieren und bei solchen Luftthieren, welche soviel Schleim produciren, dass ihre Körperoberfläche stets mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht bedeckt ist z. B. den Landschnecken; bei den übrigen Luftthieren findet diese Differenzierung nur auf den stets feucht bleibenden, mit einer Schleimschicht überzogenen Schleimhäuten statt.

Ueber die physiologischen Folgen der ciliogenen und flagellogenen Differenzierung ist schon früher das nöthige gesagt worden, worauf hier verwiesen wird.

§ 244.

Eine weitere elementare Differenzierung ist die polare, wobei sich ein Unterschied zwischen zwei einander gegenüberliegenden Stellen des Protoplaststückes ausbildet.

Die Grundlage dieser Differenzierung ist natürlich, gerade so wie bei der concentrischen, eine geringe Leitungsfähigkeit für die Anpassungsursachen. Sobald ein Protoplaststück so situirt ist, dass die Existenzbedingungen nicht für alle Punkte der Peripherie gleichartig sind, treten bei geringer Leitungsfähigkeit differente partielle Anpassungen ein. Dass dies in der Regel einen polaren Gegensatz schafft, ergiebt sich einfach aus der Natur der Anpassungsursachen. Handelt es sich um die Einwirkung von Anziehungen, wie bei der § 193 geschilderten geocentrischen Differenzierung, so besteht ein Gegensatz zwischen der Fläche, welche dem

Anziehungsmittelpunkt zugewendet ist, und der entgegengesetzten; dasselbe gilt für die geradlinig sich fortbewegenden kinetischen Reize, (Licht, strahlende Wärme, Schall etc).

Ein weiterer, sehr häufiger Fall, in welchem die Lebensreize nicht auf alle Theile der Oberfläche gleich wirken, sondern ein polarer Gegensatz gegeben ist, liegt dann vor, wenn das Protoplaststück auf einer Haftfläche festsetzt oder auch nur stets die gleiche Seite gegen eine Unterlage wendet.

Bei der polaren Differenzirung sprechen wir von einer Differenzirungsaxe, und die zwei wichtigsten dieser Axen sind die Haftaxe und die geocentrische Axe.

§ 245.

Eine eingehendere Besprechung verdient diejenige polare Differenzirung, welche die Consequenz der Festheftung auf einer Unterlage ist.

Bei den festsetzenden Zellen kommt auf der Haftfläche die Umspülung durch ein wässriges Medium in Wegfall und damit alle chemische und physikalische Einwirkungen, die vom Medium ausgehen, während diese am entgegengesetzten Ende ihre höchste Wirkung entfalten. Für die Wirkung dieses Unterschieds bilden die Vorticellinen das lehrreichste Beispiel. Am freien, dem Medium und seinem Lebensreizen am meisten exponirten Pol tritt Wimperhaarbildung ein, ein Zeichen, dass die Entstehung dieser Gebilde, falls die nöthige Disposition dazu vorhanden ist, von einer gewissen Intensität der Einwirkung der Lebensreize abhängt. Am fixen Pol der Haftaxe sehen wir das amöboide Protoplasma sich in Muskelprotoplasma umwandeln. Dies gibt uns einen Fingerzeig dahin, dass die Umwandlung des ersteren in das letztere das Ergebniss einer fortgesetzten indirekten Erregung durch die Lebensreize ist. Damit stimmt, dass auch im sociologischen Verband des Multicellulatenkörpers niemals Grenzzellen, also solche, die direkt von den Lebensreizen getroffen werden, die Metamorphose in Muskelfäden erfahren, sondern nur Parenchymzellen, welche schon ihrer Lage wegen nur indirekt, d. h. durch Vermittlung anderer Zellen (Nerven), von den Lebensreizen getroffen werden können. Ferner stimmt damit das überein, was Kleinenberg über seine Neuromuskelzellen an den Süßwasserpolypen beobachtet hat. Dies sind Grenzzellen, die einen Faden am fixen Pol ihrer Haftaxe entwickeln; während die Zelle selbst ein amöboides Protoplasma bewahrt, wandelt sich das des Fadens in Muskelprotoplasma ein. Die Aehnlichkeit zwischen diesen Neu-

romuskelzellen und den gestielten Vorticellinen ist so gross, dass man letztere geradezu freilebende Neuromuskelzellen nennen könnte. Leider ist der Name nicht gut gewählt, denn der Körper der Zelle enthält kein Nervenprotoplasma, sondern ungeordnetes, vom Charakter des amöboiden; besser wäre der Name Amöbomuskelzelle gewesen.

Eine weitere polare Differenzirung, die bei festsitzenden Unicellulaten häufig beobachtet wird, ist die Bildung einer unvollständigen d. h. auf die seitlichen Theile der Peripherie beschränkten, den distalen Pol der Haftaxe freilassenden Membran, die man die Bechermembran nennen kann.

Den Fall bei den sohligen Infusorien kann man die sohlige Differenzirung nennen. Sie basirt wohl darauf, dass der Sohlentheil der Peripherie ausser von den Lebensreizen, die vom umspülenden Medium ausgehen, auch noch von den mechanischen Reizen, die von der Kriechfläche ausgehen, getroffen wird. Die daraus sich ergebende polare Differenzirung trifft dem Augenschein nach jedoch mehr die Protoplasmafortsätze als die Grundmasse des Protoplasmas.

16. Die Entwicklungsvorgänge im Protoplasma.

d) Die Vererbung.

§ 246.

Mit dem Worte „Vererbung“ bezeichnen wir die Thatsache, dass bei der Fortpflanzung der organischen Wesen die Charaktere der Erzeuger in den Nachkommen trotz all der Veränderungen, mit denen die Entwicklung und das Leben verbunden ist, zwar nicht mit absoluter, aber doch mit sehr grosser Genauigkeit wieder zu Tage treten, also von einer Generation auf die andere übertragen werden, und zwar so:

Die Entwicklung des von dem Thiere ausgestossenen Keims wiederholt den Entwicklungsgang, dem der Erzeuger seine Qualität verdankt, mit grosser Genauigkeit in Bezug auf Weg und Ziel. Die mit der Entwicklung gegebenen Veränderungen der formalen und funktionellen Charaktere sind die gleichen, treten in der gleichen Reihenfolge und zu gleicher Zeit (Vererbung auf ein bestimmtes Entwicklungsalter) ein, wie beim Entwicklungsgang des Erzeugers. Damit stimmt, dass der Entwicklungsgang auch das gleiche Endziel erreicht, d. h. dass das erwachsene Thier

in allen Eigenschaften seinem Erzeuger in hohem Masse gleicht und die verschiedenen Nachkommen eines und desselben Elternpaares (die Geschwister) sich ebenfalls sehr ähnlich sind.

§ 247.

Die Genauigkeit der Vererbung ist zwar eine sehr grosse, allein sie ist nicht unter allen Umständen gleich gross.

1) Unter den verschiedenen Fortpflanzungsweisen zeichnen sich die auf einfachen Theilungsvorgängen beruhenden (ungeschlechtliche Vermehrung), also nicht von Verjüngungsprozessen (Befruchtung, Conjugation und Spörung) begleiteten durch besondere Genauigkeit der Vererbung aus. Diese Erfahrung ist zwar zunächst nur bei den Pflanzen gemacht, allein sie gilt gewiss auch von denjenigen niederen Thieren, die sich nach Art der Pflanzen ungeschlechtlich vermehren können. Die Fortpflanzung durch Spörung steht in dieser Beziehung den ungeschlechtlichen Vermehrungsarten jedenfalls näher, als die im engern Sinne geschlechtlichen, wobei es sich um die Mitwirkung von Befruchtung oder Conjugation handelt.

2) Die Fähigkeit der Vererbung ist bei den verschiedenen Thieren nicht gleich gross, und zwar nach Arten wie nach Individuen. Man spricht deshalb von Kraft oder Macht der Vererbung, und die Thierzüchter sprechen bei vererbungskräftigen Thieren von „Macht“ des Blutes oder „mächtigem“ Blut.

Nach der Seite des Erfolgs spricht man hierbei von Constanz in der Reihe der erzeugten Nachkommen, im Gegensatz von Variabilität.

§ 248.

Da die Qualitäten eines Thieres in zahlreiche einzelne Charaktere zerfallen, so haben wir es bei der Vererbung einerseits mit den einzelnen Charakteren, andererseits mit der Zusammenstellung derselben zu thun.

Bezüglich des einzelnen Charakters gilt, dass zwar alle Charaktere vererbt werden können, allein nicht alle gleich sicher. Man unterscheidet in dieser Beziehung:

1) Constant sich vererbende Charaktere, d. h. solche, welche mit grosser Sicherheit und qualitativer wie quantitativer Genauigkeit bei jeder Generation auftreten.

2) Variabel sich vererbende Charaktere, d. h. solche, die nicht bei allen Nachkommen in gleicher Weise auftreten, so dass

nicht bloß Verschiedenheit zwischen Eltern und Kindern, sondern auch zwischen den Geschwistern entsteht.

3) Latenzstrebige Charaktere, d. h. solche, welche die Neigung haben, während einer oder mehrerer Generationen auszubleiben, um dann wieder aufzutauchen. Hierbei handelt es sich entweder um einen regelmässigen Rhythmus (atavistische Vererbungsform) oder um das sporadische Auftreten eines längere Zeit latent gebliebenen Charakters, was als Rückschlag bezeichnet wird.

4) Unvererbare Charaktere, die sich entweder gar nicht vererben oder äusserst selten, z. B. Verstümmelungen des Mutterthieres.

§ 249.

Darüber, welche Charaktere constant und welche variabel, atavistisch oder gar nicht sich vererben, lässt sich etwa Folgendes sagen:

1) Je früher ein Charakter in der Ontogenese eines Thieres auftritt, um so constanter ist seine Vererbung.

Es gilt dies zwar durch alle Phasen der Ontogenese hindurch, allein einen wichtigen Wendepunkt bildet der Moment der Geburt, indem die vorher entstandenen (angeborenen) Charaktere im Allgemeinen viel constanter sind als die später sich entwickelnden, die man als erworben oder anerzogen bezeichnet. Letztere sind zwar auch einerseits das Produkt einer im Moment der Geburt vorhandenen, also angeborenen Qualität (Erziehungsfähigkeit), aber da Art und Mass ihrer Entwicklung von Art und Mass der äusseren, erzieherisch wirkenden Existenzbedingungen abhängt, so leidet unter der Labilität dieser letzteren auch die Sicherheit ihrer Entwicklung, während für die angeborenen Charaktere die Constanz der Verhältnisse im Ei oder im Mutterleibe eine Garantie für stets gleichartige Entwicklung sichert.

2) Ein anderer Unterschied ist der, dass (bei den Multicellulaten) die Charaktere der inneren Körpertheile constanter in der Vererbung sind als die oberflächlichen, den Einflüssen der Erziehung und Anpassung ausgesetzteren.

§ 250.

Eine weitere Erscheinung bei der Vererbung bezieht sich auf die Zusammenstellung der Charaktere.

Hier zeigt es sich, dass zwischen den Charakteren das Ver-

hältniss der Correlation und das der Discorrelation besteht.

Im ersteren Fall treten die Charaktere stets gemeinschaftlich auf oder bleiben gemeinschaftlich latent oder zeigen gleiche Variabilität.

Die Discorrelation besteht darin, dass die Vererbung des einen Charakters die des andern ausschliesst, oder dass die stärkere Entwicklung des einen Charakters eine schwächere Entwicklung des andern zur Folge hat.

Ausserdem zeigt sich aber auch in der Gesammtheit der Charaktere bei aller Strenge und Beharrung in der Zusammenstellung noch ein gewisser Unterschied in der Selbstständigkeit, d. h. es gibt einerseits Charaktere, deren Variation stets Variation anderer correlativer oder discorrelativer Charaktere zur Folge hat, andererseits solche, die in geringerem Grade von den übrigen abhängig sind, entweder in der Richtung der Constanz oder in der Richtung der Variation.

§ 251.

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung kompliziren sich die Vererbungserscheinungen dadurch, dass die Charaktere des Erzeugten von der Qualität zweier mitunter erheblich verschiedener Erzeuger abhängen. Man spricht dann von väterlichem und mütterlichem Einfluss bei der Vererbung, wobei es sich um einen Wettstreit der differenten väterlichen und mütterlichen Charaktere handelt.

Hiebei ist aber ein Unterschied zwischen dem sexuellen Charakter und den übrigen Charakteren des Erzeugers. Der Nachkomme kann z. B. in Bezug auf das Geschlecht dem Vater folgen, bezüglich der vom Geschlecht unabhängigen Charaktere, z. B. Farbe, Constitution, Proportionalität der Körperteile, Fähigkeiten und Neigungen etc., der Mutter, oder umgekehrt. Auch insofern zeigt sich eine Verschiedenheit, als die nicht geschlechtlichen Charaktere in dem Nachkommen in mannigfacher Mischung auftreten können, bei den sexuellen Charakteren dagegen eine Mischung im Sinne des Hermaphroditismus bei den getrennt geschlechtlichen Thieren nicht vorkommt: entweder folgt der Nachkomme im Geschlecht der Mutter oder dem Vater. Dagegen kommen scheinbare Fälle von Hermaphroditismus dadurch vor, dass die sekundären Geschlechtscharaktere, und zwar nicht blos die entfernteren (Bart, Geweih, Gefieder des Mannes), sondern auch die näheren (Brustdrüse, äussere Genitalien) im Nach-

kommen sich mit dem andern Geschlecht combiniren können, doch ist das, namentlich bei den zuletzt erwähnten sehr selten.

§ 252.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass die Vererbung zwei Seiten hat. Auf der einen Seite tritt ein ganz erstaunliches Beharrungsvermögen des Protoplasmas zu Tage: Constanz der Vererbung. Auf der anderen Seite eine, wenn auch geringe, Labilität, die bewirkt, dass stets grössere oder kleinere Unterschiede zwischen Eltern und Nachkommen und zwischen den Nachkommen eines und desselben Elternpaares vorhanden sind. Wir bezeichnen dies als die Variabilität der Vererbung.

Bei der Variabilität hat man von Grenzen zu sprechen, innerhalb deren sich dieselbe bewegt, und die ihr von der Constanzseite des Vererbungsvorgangs gezogen sind: Je grösser die Constanz, um so enger sind die Grenzen, innerhalb deren sich die Variabilität bewegt.

Die Variabilität ist immer begrenzt, aber die Art und Grösse der Begrenzung ist nicht immer die gleiche. Nennt man die einzelnen möglichen Fälle die Variationsmöglichkeiten, so ist deren Zahl entweder gross oder klein, (arme oder reiche Variabilität). Die Variationsmöglichkeiten sind entweder scharf von einander geschieden oder sie hängen durch alle möglichen Zwischenformen zusammen (bestimmt begrenzte oder unbestimmt begrenzte Variabilität). Die Divergenz zwischen den extremsten Variationsmöglichkeiten ist das Mass für die Variabilitätsbreite.

§ 253.

Eine völlige Erklärung der Vererbungsvorgänge ist zwar beim heutigen Stand unseres Wissens nicht möglich, allein es ist für das Verständniss des Lebens entschieden nützlich, sich die Sache wenigstens so weit klar zu machen, als es geht.

Eine Erklärung des Beharrungsvermögens hat die Fragen zu lösen:

1) Warum besteht das Protoplasma überhaupt gewissermassen in infinitum fort?

2) Warum behauptet es allen an ihm stets vorgehenden Veränderungen gegenüber mit solcher Hartnäckigkeit seine einmal erworbene Qualität? Hierbei handelt es sich um den Nachweis des steten sich Gleichbleibens aller Faktoren, die die Ent-

wicklung beeinflussen. Es muss gezeigt werden, warum das Entwicklungsmaterial in der Regel stets dasselbe bleibt und warum auch die äusseren Entwicklungsbedingungen in der Regel unverändert dieselben bleiben.

Eine Erklärung der trotz der Beharrung zu Tage tretenden Variabilität hat auf die Vorgänge und Verhältnisse hinzuweisen, welche im Stande sind, einerseits das Entwicklungsmaterial abändernd zu beeinflussen, andererseits die Entwicklungsbedingungen zu ändern.

Damit wird aber natürlich nur die passive Seite der Vererbung erklärt, während die aktive Seite, d. h. die wunderbare morphogenetische und physiogenetische Leistung, namentlich beim Aufbau des Leibes der vielzelligen Thiere, ganz andere Fragen stellt und deshalb auch gesondert behandelt werden muss.

§ 254.

Die Grundlage aller Vererbung, die Unvergänglichkeit oder Ewigkeit, verdankt das Protoplasma folgenden Fähigkeiten seines lebendigen Zustandes:

1) Der Assimilationsfähigkeit d. h. der Fähigkeit, die im Stoff und Kraftwechsel zerstörten Theile aus den umgebenden Medien sich wieder anzueignen und zwar nach Qualität und Quantität.

2) Der Wachstumsfähigkeit d. h. der Fähigkeit, die Verluste nicht nur wieder zu ersetzen, sondern noch ein Plus hinzuzufügen, das dieselbe Qualität erreicht wie das annektirende Protoplaststück.

3) Der Fortpflanzungsfähigkeit, die darin besteht, dass ein Thier entweder durch Theilung oder durch die Produktion von Keimen sich vervielfältigen, vermehren kann. Die Fortpflanzungsfähigkeit selbst ist wieder eine Consequenz der im früheren besprochenen elementaren Theilungsfähigkeit und der Verjüngungsfähigkeit.

§ 255.

Betrachten wir zuerst die Consequenz der Fortpflanzungsfähigkeit.

Sie bedingt, dass trotz einer grossen Zerstörbarkeit (Tötbarkeit) das Protoplasma unausrottbar ist. Es geniesst den zerstörenden Einflüssen gegenüber den Schutz der Zahl. Je grösser dieselbe und je weiter verbreitet eine Thierart ist, um so grösser ist

die Wahrscheinlichkeit, dass die nur örtlich und zu gewissen Zeiten wirkenden Zerstörungsursachen nur einen Theil erreichen: ein Verlust, der stets wieder ersetzt wird.

Die ungeheure Theilungsfähigkeit gewährt ferner dem Protoplasma den Schutz der Kleinheit. Es entzieht sich hierdurch in hohem Masse der Möglichkeit, entdeckt, ergriffen oder durch grob mechanische Kräfte zerstört zu werden, und gewinnt die Fähigkeit, auf kleinem Raume in grosser Zahl aufzutreten und sich passiv verbreiten zu lassen.

Bei den vielzelligen Thierkörpern ist der Schutz, der in der grossen Theilungsfähigkeit liegt, folgender: Die im Inneren desselben liegenden Keime sind von dem umgebenden Mutterkörper derart geschützt, dass die Alterungsvorgänge, die den Mutterkörper dem sichern Untergang entgegenführen, ihm nichts anhaben können; es setzt auch nach dessen Untergange das Leben des Mutterkörpers fort.

§ 256.

Da die Vererbung eine Funktion des lebendigen Protoplasmas ist, so fragt es sich bei dem in der Vererbung zu Tage tretenden qualitativen Beharrungsvermögen zunächst darum, unter welchen Umständen das Protoplasma trotz seiner grossen Veränderlichkeit im Stande ist, den äusseren so sehr wechselnden Einflüssen gegenüber seine Lebensfähigkeit zu bewahren.

Die Antwort ist: Es kann sein Leben nur bewahren, wenn die äusseren Existenzbedingungen keine erheblichen Veränderungen erfahren. Gerade die grosse Zerstörbarkeit oder besser gesagt Tötbarkeit des Protoplasmas ist also der Hauptfaktor für das Beharrungsvermögen. Da das Protoplasma abstirbt, sobald seine Existenzbedingungen zu rasch oder zu stark sich ändern, so findet eine stete Auswahl unter den zur Ausübung der Vererbung bestimmten Protoplasten statt: Es bleiben nur diejenigen lebendig, welche räumlich und zeitlich genau unter dieselben Existenzbedingungen gelangt sind wie ihr Erzeuger, während alle andern aussterben. Die Möglichkeit dieser fortwährenden Auswahl ist durch die mit der Fortpflanzung gegebene unbegrenzte Vermehrungsfähigkeit vorhanden.

§ 257.

Die Tötbarkeit des Protoplasmas ist jedoch nicht bei allen Arten gleich gross, woraus sich erklärt, dass die Variabili-

tät einen bei verschiedenartigen Thieren verschieden grossen Spielraum besitzt.

Ein Protoplasma oder Thier, welches leicht getödet werden kann, sobald man seine Existenzbedingung verändert, nennen wir zart oder sagen, es besitze eine schwache Constitution; die gegentheilige Beschaffenheit wird als kräftige Constitution bezeichnet.

Je zarter ein Thier ist, um so schärfer muss bei ihm die Beharrungsseite der Vererbung zu Tage und die Variabilität zurück treten, während in den constitutionskräftigen Thieren die Variabilität ausgesprochener ist. Hierzu liefern die Erfahrungen in den Thiergärten sprechende Beispiele: Alle zarten Thiere zeigen geringere Variabilität und alle constitutionskräftigeren sind variabel; z. B. das so variationsfähige Haushuhn hat eine viel grössere Constitutionskraft, als die in ihrer Vererbung so constanten Pfauen und Fasanen, die jeder Thierzüchter als zart kennt. Hochgezüchtete constante Kunst-Rassen sind ebenfalls zart.

Die bislang für unerklärlich gehaltene Thatsache, dass unsere Hausthiere gegenüber den wilden Thieren so ausserordentlich variabel sind, erklärt sich also einfach dadurch, dass der Mensch bei seinen Domestikationsversuchen die zarten Thierarten als unrentabel bei Seite setzt und nur die constitutionskräftigen, also auch variabeln, ihm in der Hand bleiben.

Worauf die Constitutionskraft beruht, wissen wir zur Zeit noch nicht.

§ 258.

Das Beharrungsvermögen des Protoplasmas gegenüber den Veränderungen, die mit dem Stoffwechsel verbunden sind, ergibt sich aus folgender Betrachtung:

Das Protoplasma ist eine Eiweissmembran. Das wichtigste Objekt des Stoffwechsels ist demnach wiederum das Eiweiss, denn dieses muss deshalb fortwährend ersetzt werden, weil es bei den rhythmischen Funktionen zerstört wird. Die Quelle, aus der das Protoplasma der Thiere allein Eiweiss beziehen kann, ist anderartiges, fremdes Protoplasma (thierisches und pflanzliches). Da die Protoplasmen der spezifisch verschiedenen Geschöpfe spezifisch verschieden sind, so liegt der Gedanke nahe, durch die Annektirung des fremden Eiweisses (bezw. Protoplasmas) müsse der ursprüngliche Charakter des annektirenden Protoplasmas in ähnlicher

Weise verändert werden, wie bei der Vermischung zweier Lösungen ein Produkt entsteht, welches die Charaktere beider Ingredienzien mit einander vereinigt.

Warum nun beim Zusammentreffen zweier Protoplaststücke dies nicht geschieht, ist uns durch Traube's Entdeckung erklärt, d. h. durch den Satz, dass ein membranbildender Stoff, auch wenn er in Lösung ist, nicht durch eine Membran dringen kann, die aus dem gleichen Stoff (in geronnener Form) gebildet wird, dass also durch eine Eiweissmembran (und eine solche ist das Protoplasma) kein Eiweiss diffundiren, also auch keine Mischung stattfinden kann.

Soll eine Aufnahme fremden Eiweisses in das Protoplasma bewerkstelligt werden, so muss es nicht bloss einfach gelöst, sondern chemisch zersetzt und zwar in einen Stoff verwandelt werden, der ein kleineres Molekül besitzt, als Eiweiss. Dieser Stoff ist das Pepton.

§ 259.

Das Entscheidende für die Vererbung ist nun, dass das Eiweiss bei seiner Umwandlung in Pepton seines spezifischen Charakters beraubt, entspezifiziert wird. Es werden vom Eiweissmolekül diejenigen Atomgruppen abgelöst, auf deren Anwesenheit seine Spezifität beruht. Da die wichtigsten dieser Atomgruppen nach unseren früheren Auseinandersetzungen die spezifischen Schmeck- und Riechstoffe sind, so handelt es sich wohl bei der Peptonbildung um deren Ablösung und wir gewinnen jetzt eine Vorstellung von dem Eiweissmolekül, die eine Ergänzung zu der Vorstellung ist, die wir in § 224 aufgestellt haben.

Wir sagten dort, das Molekül besitze Anpassungspunkte, d. h. Punkte, an denen Atome oder Atomgruppen hängen, die durch andere substituiert werden können, ohne dass das Molekül die allgemeine Eigenschaft des Albuminats (seine bedeutende Molekulargrösse und seine Fähigkeit eine lebendige Membran zu bilden) verliert.

Die obige Betrachtung lehrt uns jetzt, dass das Eiweissmolekül noch andere Punkte — ich nenne sie die Assimilations- und Vererbungspunkte — besitzt, an denen andere Atomgruppen und zwar die spezifischen (Schmeck- und Riechstoffe) hängen. Die Verbindung ist hier eine festere als an den Anpassungspunkten und das Wichtigste ist, dass mit Loslösung der spezifischen Atomgruppen das Eiweissmolekül nicht nur seinen

spezifischen Charakter verliert, sondern auch den Charakter eines Albuminats: Es hat ein kleineres Molekül und ist nicht mehr fähig, eine lebendige Membran zu bilden.

Sein kleineres Molekül befähigt es jetzt nur auf dem Wege der Diffusion in das Protoplasma einzudringen als ein indifferenten Körper. Dort bildet es die Grundlage der Assimilation, indem an den Punkten, an welchen die bei der Peptonisirung ausgetretenen spezifischen Atomgruppen hingen, neue ähnliche Atomgruppen eintreten und zwar die gleichen, welche die Spezifität des assimilirenden Protoplasmas ausmachen. Die Assimilation ist also die Substituierung der spezifischen Atomgruppen des Eiweissmoleküls durch andere spezifische Atomgruppen, wobei das Pepton die Rolle des gemeinschaftlichen Kerns spielt.

§ 260.

Für den Bezug der neuen, an den Peptonkern tretenden spezifischen Atomgruppen liegen zwei Quellen vor:

Da bei den rhythmischen Verrichtungen' des Protoplasmas stets auch eine gewisse Menge von Eiweiss zerstört wird, so ist das Protoplasma, wovon wir uns durch unsern Geschmack- und Geruchsinn aufs bestimmteste überzeugen können, stets von einer gewissen Menge eigener Specifica durchtränkt, welche, weil in freiem Zustande, mit dem eingetretenen Eiweiss sich verbinden könnten. Wie jedoch eine einfache Rechnung ergibt, reicht diese Quelle sicher nicht aus, sondern es muss eine zweite Quelle bestehen, und für diese halte ich die bei der Peptonisirung ausgeschiedenen spezifischen Stoffe des fremden Albuminats, indem dieselben durch den Contact mit der belebten Membran chemisch umgeändert werden, worüber später näheres.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass das Beharrungsvermögen des Protoplasmas gegenüber den Ernährungsvorgängen eine einfache Consequenz der Mechanik und Chemik der Assimilation ist, die eine Mischung und daraus resultirende Veränderung des Protoplasma-Charakters ausschliesst.

§ 261.

Zum weiteren Verständniss des Beharrungsvermögens, welches das Protoplasma dem Ernährungsvorgang entgegenstellt, gehört:

Die Assimilation ist ein Kampf, in welchem das eine Protoplasma (bezw. Albuminat) von einem andern überwältigt wird,

also ein Albuminat- oder Protoplasmakampf, in welchem ein schwächerer Theil von einem stärkeren zu unterscheiden ist. Daraus ergibt sich mit Nothwendigkeit, dass zwischen den Protoplasmen zweierlei Beziehungen bestehen, die Beziehung der Gleichheit und die Beziehung der Ungleichheit.

Die Consequenz der Gleichheit ist, dass zwei Protoplasmen sich gegenseitig nichts anhaben können. Hierauf beruht die Thatsache, dass beim Aufbau eines vielzelligen Körpers die einzelnen Stücke (Zellen) sich friedlich mit einander vereinigen und sich nicht gegenseitig verzehren, wie das beim Zusammentreffen fremdartiger Protoplasmen der Fall ist. Daraus ergibt sich der allgemeine Horror gegen Autophagie und die Thatsache, dass man sich selbst weder schmeckt noch riecht. (Ausnahmen siehe später.)

§ 262.

Bei der Beziehung der Ungleichheit haben wir dem Erfolge nach dreierlei Verhältnisse zu unterscheiden:

1) Das Befruchtungsverhältniss, worüber § 208 näheres gesagt worden ist und später noch einiges bemerkt werden wird.

2) Das Beherrschungsverhältniss. Es ist dasjenige, in welchem die verschiedenen Protoplasmen im Leibe eines Multicellulaten zu einander stehen und zeigt sich in folgendem:

a) Dass das herrschende Protoplasma auf das beherrschte (z. B. der Nerv auf den Muskel) leicht seine Erregungsvorgänge überträgt, während die umgekehrte Uebertragung nicht gelingt.

b) In der Fähigkeit des herrschenden Protoplasmas, dem beherrschten Stoffe zu entziehen oder vorweg zu nehmen; so wird insbesondere das Protoplasma der Blutkörperchen und Fettzellen von den übrigen Protoplasmen beherrscht und alle übrigen Protoplasmen wieder vom Nervenprotoplasma, was sich darin zeigt, dass beim Verhungern eines Thieres das Gehirn fast nichts an Gewicht verliert.

3) Das Ueberwältigungs- oder Assimilationsverhältniss, bei welchem das schwächere Protoplasma vom stärkeren getötet, entspezifizirt und assimilirt wird.

Zunächst interessirt uns das letztere in seiner Beziehung zur Vererbung.

§ 263.

Bei der zur Ueberwältigung und Assimilation führenden Un-

gleichheit zweier Protoplasmen handelt es sich entweder um chemische oder um physikalische Differenzen.

Physikalische Ungleichheit ist hauptsächlich dann vorhanden, wenn das eine Protoplasma tot oder wenigstens in seiner Erregbarkeit beeinträchtigt ist. Das tote Protoplasma wird von dem lebendigen, das lebensschwache von dem lebenskräftigen assimiliert. Darauf beruht die Resorption abgestorbener Gewebsbestandtheile durch die lebendigen Nachbarn im Leib der Multicellulaten und die Verdauung der getötenen Thiere durch andere. Uebrigens beweist die von Colin constatirte Thatsache, dass Pferde und Rinder kein Fleisch verdauen, das Vorhandensein so grosser chemischer Ungleichheit zwischen zwei differenten Albuminaten, dass die physikalische Ueberlegenheit zur Ueberwältigung (d. h. zur Verdauung und Assimilation) nicht ausreicht.

Eine andere Form physikalischer Ueberlegenheit ist eine grössere Contraktilität, wodurch das stärkere Protoplasma die Möglichkeit des Verschlingens, Erstickens etc. erlangt. Besonders deutlich ist dies bei den Protisten und Unicellulaten, wo eine höhere amöboide Befähigung die Ueberwältigung garantirt.

§ 264.

Die chemische Ueberlegenheit des einen Protoplasmas über ein anderes ist eine Funktion seiner spezifischen Atomgruppen. Dadurch werden diejenigen Beziehungen geschaffen, welche in dem spezifischen Ernährungsinstinkt ihren Ausdruck finden, d. h. in der Thatsache, dass jedes Protoplasma unter der Unzahl fremdartiger Protoplasmen sich ganz bestimmte als Ernährungsobjekt aussucht. Dadurch gewinnt die in der Ernährung liegende Beeinflussung des Protoplasmas den Charakter der Constanz und deshalb ist dieses Verhältniss für die Beharrungsseite der Vererbung von einschneidender Wichtigkeit.

Dieses Verhältniss der chemischen Superiorität und Inferiorität muss aufgefasst werden als eine Verschiedenheit in der Anziehung, welche zwischen dem Peptonkern der Albuminate einerseits und den spezifischen Atomgruppen der beiden in Betracht kommenden Albuminate andererseits besteht.

Auf dem Gebiete der Sinnesphysiologie bei den Multicellulaten äussert sich diese Verschiedenheit darin, dass der chemische Eindruck, welchen das zur Assimilation bestimmte Protoplasma auf das assimilirende macht, die Qualität des angenehmen Reizes hat (angenehmer Geschmack und Geruch). Ich will dies in der Weise bezeichnen, dass ich sage, die spezifischen Stoffe

des schwächeren Protoplasmas wirken auf das mächtigere als „Lüsternheitsstoffe“.

Umgekehrt, die Wirkung der Specifica des kräftigeren Protoplasmas auf das schwächere ist eine feindliche, hemmende, abstossende, welche verursacht, dass das Opfer seinen Feind flieht, dass sein Geruch und Geschmack ihm unangenehm ist, kurz dass die Specifica des mächtigeren Protoplasmas für das schwächere „Ekelstoffe“ ja geradezu „Gifte“ sind.

Begründet nun der Besitz eines „Lüsternheitsstoffes“ die Anziehungskraft, welche das schwächere Protoplasma auf das stärkere ausübt, so ist andererseits der Umstand, das die Specifica des letzteren als „Ekelstoff“ oder „Giftstoff“ auf das schwächere abstossend, lähmend oder tötend wirken, die Basis der Ueberlegenheit des stärkeren über das schwächere. Die Beziehung, in welche zwei derartige Protoplasmen zu einander treten, ist mithin die der Verfolgung und Ueberwältigung des schwächeren durch das stärkere, und das Fluchtbestreben, welche das schwächere Protoplasma überall da zeigt, wo es die Mittel zur Flucht besitzt.

§ 265.

Für die Frage der Vererbung ergibt sich aus dem Geschilderten Folgendes:

In den genannten Beziehungen liegt eine gewisse, die gegenseitige Beeinflussung hemmende Beziehung der verschiedenartigen Protoplasmen zu einander, und zwar in der Weise:

Von den zahlreichen verschiedenartigen Protoplasmen tritt ein bestimmtes Protoplasma entweder nur zu einem einzigen (monophages Protoplasma) oder zu einer mässigen Anzahl fremdartiger Protoplasmen (polyphages Protoplasma) in das als Verfolgung, Flucht und Ueberwältigung sich äussernde Verhältniss. Allen andern Protoplasmen gegenüber verhält es sich indifferent, entweder weil sie gleiche Specifica besitzen, oder weil die betreffenden Specifica, auch wenn sie qualitativ verschieden sind, nicht im Subordinationsverhältniss, sondern im Coordinationsverhältniss zu einander stehen.

Daraus ergibt sich, dass die mit der Assimilation gegebene Beeinflussung des assimilirenden Protoplasmas durch das zur Assimilation bestimmte in ganz genaue enge Grenzen eingeschlossen und damit eine gewisse Beharrung des assimilirenden Protoplasmas auf einem spezifischen Mischungszustand gegeben ist, der sich in der Vererbung dieses Mischungszustandes auf alle Nachkommen äussert.

§ 266.

Wir haben weiter oben gesehen, dass für den bei der Assimilation des Peptons nöthigen Bezug der Eigenspecifica die Bezugsquellen nur die Fremdspecifica sind. Würde ein Protoplasma im Stande sein, sich jedes beliebige andere zu assimiliren, so wäre dasselbe unbedingt viel grösseren Veränderungen ausgesetzt, weil wohl nicht jedes beliebige Fremdspecificum in das Eigenspecificum übergeführt werden kann, sondern ganz bestimmte chemische Relationen bestehen müssen. Wir können uns die Sache etwa so vorstellen:

Die spezifischen Schmeck- und Riechstoffe treten in zwei leicht ineinander überführbaren Modifikationen auf, die sich durch von einander unterscheiden, dass die eine (Ekelstoff) eine stärkere Affinität zu dem Peptonkern des Eiweissmoleküls besitzt als die andere (Lüsternheitsstoff). Treffen zwei Albuminate in der Form von lebendigem Protoplasma aufeinander, von denen das eine den Lüsternheitsstoff, das andere den adäquaten Ekelstoff in seinem Molekül führt, so wird das erstere überwältigt und in der beschriebenen Weise assimilirt.

Indem also nur solche Protoplasmen in Assimilationsverhältniss zu einander treten, deren Schmeck- und Riechstoffe in der genannten chemischen Relation stehen, gewinnt die in der Ernährung gegebene Beeinflussung des Protoplasmas einen ganz bestimmten und constanten chemischen Charakter. Das Thier passt sich zwar seiner Nahrung an, aber indem es alles fremdartige zurück weist, ist die Möglichkeit einer weiter gehenden Veränderung ausgeschlossen.

Das allgemeine Resultat ist, dass die Specifica eines Protoplasmas als Träger des Ernährungsinstinktes auch zum Träger der Vererbungsfunktion werden.

§ 267.

Trotz dem in den vorigen Paragraphen geschilderten Beharrungsvermögen bei der Ernährung unterliegt es keinem Zweifel, dass auch von dieser Seite für die Variabilität ein gewisser, aber allerdings sehr enger Spielraum gegeben ist und zwar dadurch, dass einem Thier eine andere Nahrung aufgezwungen wird.

An Unicellulaten aus dem Thierreich hat man hierüber noch keine Erfahrungen, aber die merkwürdigen Versuche, die man mit der Kultivirung von Schimmelpilzen auf verschiedenartigen

Nährstoffen anstellte, zeigen, wie weit ein genügend constitutionskräftiges Protoplasma durch differente Ernährung abgeändert werden kann.

Bei den Multicellulaten haben wir bei der Einwirkung differenter Ernährung zwischen dem ontogenetischen Theile des Thieres und dem phylogenetischen d. h. dem reservirten Keimprotoplasma zu unterscheiden.

Bei dem ersteren ist natürlich von grösstem Einfluss auf das Mass der zu erzielenden Abänderung der Zeitpunkt in der Ontogenese, wann die Aenderung vorgenommen wird: Je früher dies geschieht, um so grösser wird sie. Hier stossen wir aber bei den höheren Thieren sofort auf mehrere hemmende Faktoren.

1) In der ersten Zeit der Ontogenese bis zur Geburt nimmt das sich entwickelnde Thier entweder gar keine Nahrung zu sich oder es lebt von den Säften eines Mutterorganismus, so dass die Möglichkeit einer Abänderung der Nahrung gar nicht oder nur sehr indirekt vorhanden ist. Bei allen höher organisirten Multicellulaten ist im Augenblick der Geburt die Ontogenese bereits soweit fortgeschritten, dass ein erheblicher Erfolg von einer Nahrungsänderung gar nicht zu erwarten ist. Da aber nicht alle Thiere in einem gleich entwickelten Zustand geboren werden, so darf man erwarten, dass die Abänderungsfähigkeit um so grösser ist, je unreifer das Thier im Moment der Geburt ist.

2) Der zweite hemmende Faktor ist der, dass die Constitutionskraft eines Thiers um so geringer ist, je jünger und unentwickelter es ist: Eine Nahrungsänderung, die bei einem erwachsenen Thier leicht gelingt, ist bei einem neugeborenen meist ohne Gefährdung des Lebens gar nicht möglich.

Mithin ist es klar, dass schon der ontogenetische Theil eines vielzelligen Thieres der Veränderung durch Nahrungsveränderung sehr schwer zugänglich ist, weil sie, namentlich bezüglich der morphologischen Verhältnisse, die deshalb die stabilsten sind, post festum kommt. Nichtsdestoweniger sehen wir, dass eine Nahrungsveränderung noch am Erwachsenen den Ausdünstungsgeruch und den Fleischgeschmack, also gerade die Specifica des Thieres, abzuändern vermag, und auch der Kraftwechsel wird abändernd beeinflusst, indem die Verhältnisse der Erregbarkeit sich ändern. Charakteristisch ist, dass gerade die Specifica der Nahrung in dieser Richtung am wirksamsten die Erregbarkeit beeinflussen. Hierauf beruht der Gebrauch der Medikamente und Gewürze, denn die pflanzlichen und thierischen Arzneistoffe sind — mehr oder weniger rein — die Specifica der betreffenden Pflanzen- oder Thierarten.

§ 268.

Noch ungleich grösser ist die Unzugänglichkeit des phylogenetischen Theils d. h. der in dem Thier enthaltenen Geschlechtsprodukte. Diese werden, wie wir früher gesehen, schon sehr frühzeitig von dem ontogenetischen Theile eingekapselt und aus dem Differenzierungsprozess, den letzterer durchmacht, ausgeschaltet, so dass sie gewissermassen ein latentes Leben im Innern des Thieres führen. Vergleichen wir einfach quantitativ das Verhältniss zwischen dem ontogenetischen und phylogenetischen Theil eines Thieres, so sehen wir, dass sie bezüglich ihres Wachsthums im Verhältniss der Discorrelation stehen. In der ersten Zeit der Ontogenese bleiben die Geschlechtsorgane im Wachstum hinter dem ontogenetischen Theil zurück und erst zur Zeit der sogenannten Geschlechtsreife kehrt sich das Verhältniss um: Das Wachstum des ontogenetischen Theils sistirt ganz oder fast ganz und im phylogenetischen Theil beginnt lebhafteres trophisches oder numerisches Wachstum oder beides.

Die Trägheit des Stoffwechsels der Geschlechtsprodukte vor Eintritt der Geschlechtsreife ist natürlich gleichbedeutend mit einer geringen Beeinflussungsfähigkeit derselben durch eine in dieser Zeit eintretende Nahrungsveränderung. Wenn nun auch später bei Eintritt der Reife die Beeinflussungsfähigkeit steigt, so ist doch der Zeitraum, um den es sich handelt, sehr kurz und deshalb kein grosser Erfolg zu erwarten. Hierzu kommt, dass viele Thiere, z. B. die Insekten mit Puppenruhe, gerade während der Zeit der Geschlechtsreife gar keine Nahrung zu sich nehmen, so dass die Beeinflussung nur eine ganz indirekte ist.

§ 269.

Trotz dieser Schwerzugänglichkeit des reservirten Keimprotoplasmas besteht eine Beeinflussung desselben durch die Qualität der Nahrung. Sie zeigt sich z. B. darin, dass Veränderungen in der Ernährung des Mutterthieres auch Veränderungen in der Qualität des Eiprotoplasmas und der Qualität der Nachkommen zu erzeugen vermag.

Die erste dieser Veränderungen können wir z. B. daran erkennen, dass bei unseren Haushühnern der Geschmack der Eier ganz entschieden durch die Art der Nahrung beeinflusst wird, und bei der hohen Bedeutung, welche nach allem den schmeckenden Stoffen für die Vererbung zukommt, ist dies ein wichtiger Umstand für das Auftreten der Variabilität.

Dafür spricht, dass — namentlich bei Raupen — Beobachtungen darüber vorliegen, dass Veränderung der Nahrung Abweichungen in diesem oder jenem Charakter der Schmetterlinge hervorzubringen vermag.

Der schlagendste Beweis für die Möglichkeit einer Beeinflussung des Keimprotoplasmas ist die beim Menschen beobachtete Thatsache, dass übermässiger Genuss von geistigen Getränken seitens der Eltern kretinenhafte Entwicklung der Kinder zur Folge hat, und die weitere Thatsache der Arzneimittellehre, dass es Aphrodisiaca d. h. spezifische Reizmittel für die Geschlechtsorgane gibt, welche im Stande sind, die Ei- und Samenreifung zu beschleunigen, und Antaphrodisiaca, wie der Kampfer, die sie hemmen. Weiter ist charakteristisch, dass diese Stoffe spezifische Stoffe sind.

Aus all dem sind wir zur Annahme berechtigt, dass Aenderung der Nahrung die Constanz der Vererbung durchbrechen und Variabilität erzeugen kann.

§ 270.

Aus der Thatsache, dass es nicht bei allen Thieren weder bei allen Arten noch bei allen Individuen einer Art gleich leicht gelingt, sie an andere Nahrung zu gewöhnen, resultirt eine gradweise Verschiedenheit des Beharrungsvermögens: die hartnäckigen Arten und Individuen werden constanter, die nachgiebigeren variabel in der Vererbung sein.

Dass dem so ist, belehren uns gleichfalls Erfahrungen an den Hausthieren, indem die variableren, constitutionskräftigeren Arten viel weniger wählerisch in der Art der Nahrung sind und eine Aenderung derselben sich viel leichter ohne Nachtheil bei ihnen vornehmen lässt, als bei den wenig variablen zärteren Arten.

Die Sache zeigt sich auch noch in anderer Form: die monophagen Thierarten sind entschieden zarter, aber auch weniger variabel, als die polyphagen Thiere, die ceteris paribus kräftiger und variabler sind.

§ 271.

Eine weitere Betrachtung hat zu untersuchen, wie es dem Protoplasma gelingt, seinen spezifischen Charakter gegenüber denjenigen Veränderungen aufrecht zu erhalten, welche die elementaren Anpassungsvorgänge hervorrufen.

Die Antwort ist folgende:

Mit Bezug auf die Entwicklung sehen wir bei dem lebendigen Protoplasma zweierlei Zustände: den entwicklungsfähigen jugendlichen und den nicht entwicklungsfähigen gealterten. Der entwicklungsfähige Zustand zerfällt selbst wieder in zweierlei Zustände: die latente und die evidente Entwicklungsfähigkeit.

Das völlig indifferentive Protoplasma der niedersten Organismen scheint sich nie aus dem Zustand der evidenten Entwicklungsfähigkeit verdrängen zu lassen, es bleibt sich stets gleich oder geht zu Grunde, wenn sich die Existenzbedingungen erheblich ändern.

Steigt die Empfindlichkeit für die abändernden Anpassungsursachen, so sehen wir zunächst nur die Entwicklungsfähigkeit aus dem Zustand der Evidenz in den der Latenz übergehen, so dass ein Verjüngungsvorgang erforderlich wird, um die Evidenz wieder herzustellen.

Steigt die Empfindlichkeit noch weiter, so wird das Protoplaststück in dem Fall, wenn es schutzlos dem Contact mit den die Anpassung hervorrufenden äusseren Medien ausgesetzt ist, aus dem entwicklungsfähigen Zustand in den nicht entwicklungsfähigen gealterten oder gar abgestorbenen Zustand hinüber versetzt d. h. es büsst seine Unvergänglichkeit ein.

Ein solches Protoplasma kann sich natürlich für sich allein nicht behaupten d. h. als einzelliges Wesen fortbestehen. Sobald es aber im Sinne von § 212 adhäsiv ist, d. h. bei seiner Vermehrung einen vielzelligen Klumpen bildet, so kommen einzelne Stücke (die Ei- und Samenbildungszellen) durch centrale Lage in einen beschützten Zustand. Der Contact mit den Anpassungsursachen ist, weil nur mehr mittelbar, so geschwächt, dass sie nun vor der Alterung bewahrt und nur aus dem Zustand der evidenten in den der latenten Entwicklungsfähigkeit versetzt werden.

Die zur Alterung führenden Anpassungsvorgänge vollziehen sich jetzt nur an den peripherischen Protoplaststücken, die dann eben den vergänglichen ontogenetischen Theil des Thieres aufbauen.

§ 272.

Überall, wo sich diese Itio in partes der Protoplaststücke vollzieht, kommt für die Funktion der Vererbung nur noch das Schicksal der zur Ausübung der Fortpflanzung reservirten Protoplaststücke in Betracht.

Für das Beharrungsvermögen, das die letzteren zeigen, ist in erster Linie die Thatsache verantwortlich zu machen, dass es nicht bloss überhaupt eingekapselt, mithin geschützt, sondern dass es stets in der gleichen Weise eingekapselt wird; denn das ontogenetische Protoplasma behauptet, wie aus § 224 u. ff. ersichtlich ist, der Anpassung gegenüber seinen spezifischen Charakter, und zwar nicht nur nach der chemischen und physikalischen Seite hin, sondern auch nach der morphologischen mit grosser Genauigkeit. Damit ist Gleichheit der Reservierungs- und Entwicklungsbedingungen für das sexuelle Protoplasma von Generation zu Generation festgestellt.

Wie kommt es nun

1) dass das ontogenetische Material der Multicellulaten überhaupt im Stande ist, ein so komplizirtes Futteral, wie es ein erwachsenes Thier ist, aufzubauen?

2) Wie kommt es, dass der morphologische Aufbau des Mutterkörpers so sehr verschieden ausfällt, wenn die Spezifika des Protoplasmas verschieden sind, und bei gleich bleibender Spezifität auch der morphologische Aufbau stets sich gleich bleibt?

Mit diesen Fragen stehen wir vor einem absolut dunkeln Gebiet, auf welchem sich bis jetzt fast nur die metaphysische Spekulation getummelt hat, indem sie eine *Vis formativa* annahm, die stets nach der gleichen morphologischen Schablone arbeite. Der Naturforscher muss sich begnügen auf die Thatsache hinzuweisen, dass mit der eigenartigen Form der erwachsenen Thierleiber die Eigenartigkeit der spezifischen Schmeck- und Riechstoffe (sowie der Farbstoffe) in viel zu genauem Zusammenhang steht, als dass man sie nicht in Verdacht haben sollte, sie seien die *vires formativae*, die man allerdings dann besser *Materiae formativae* zu nennen hätte.

Wir werden später auf diese aktive morphogenetische Seite der Vererbung zu sprechen kommen; vorläufig wollen wir uns damit begnügen zu sagen:

Da die Spezifika des Keims von Generation zu Generation die gleichen sind und da diese Spezifika die *materiae formativae* bei der Ontogenese sind, so muss die Morphogenese bei jeder Ontogenese auch das gleiche Resultat in Form eines Mutterthiers liefern und das ist rückwärts wieder ein Beharrungsfaktor für das in ihm eingekapselte Keimprotoplasma.

Dass jedoch trotzdem eine gewisse, namentlich chemische Beeinflussung des letzteren gewissermassen durch das Elternthier hindurch möglich ist und daraus Variabilität entsteht, wurde oben gesagt.

§ 273.

Eine weitere Frage ist die, warum das reservierte Keimprotoplasma bei seiner Umwandlung in sexuell differenziertes Protoplasma seine spezifische Beschaffenheit behauptet und nur der Verjüngung bedarf, um wider in genau den gleichen Zustand zurückversetzt zu werden, den es am Beginn der Ontogenese hatte, d. h. in den embryonalen, evident entwicklungsfähigen?

Die Beharrung ergibt sich daraus, dass die Ei- und Samenbildung in Erzeugung von Nucleïn besteht. Das Nucleïn ist eine Synthese von Eiweiss und Lecithin, also gerade von den beiden chemischen Verbindungen, welche allem nach die Träger des spezifischen Charakters sind. Wären mit der Ei- und Samenbildung so wie bei der Assimilation umfängliche Zersetzungsprozesse verbunden, bei welchen der mit den spezifischen Atomgruppen verbundene Kern des Eiweissmoleküls (Pepton?) zeitweilig frei würde, so läge die Möglichkeit vor, dass die spezifischen Atomgruppen durch fremde verdrängt und ersetzt werden könnten. So ist aber das gerade Gegentheil der Fall: Eiweiss und Lecithin treten mit ihren spezifischen Atomgruppen zu dem Nucleïn zusammen, das an Widerstandsfähigkeit gegen lösende und zersetzende Einflüsse das Eiweiss und Lecithin notorisch weit übertrifft, denn die grosse Resistenz der Samenfäden gegen zersetzende Einflüsse ist erwiesene Thatsache. Auch für das Eiernucleïn und das Nucleïn der Zellen ist das gleiche erwiesen.

Diese geringe Zersetzungsfähigkeit des Nucleïns ist begreiflicherweise gleichbedeutend mit einer Beschützung des Keimprotoplasmas gegen abändernde d. h. die spezifische Natur des Keimprotoplasmas alterierende Einflüsse. Wenn meine Anschauung richtig ist, dass das Eiweissmolekül die spezifischen Atomgruppen enthält, so ist es ein Schutz im Sinne der Aufrechterhaltung der Spezifität, wenn das Eiweiss eine Synthese eingeht, deren chemische Labilität geringer ist als seine eigene. Wir können so sagen:

Während das freie Eiweissmolekül eine ausserordentliche Labilität, Schmiegsamkeit und Anpassungsfähigkeit besitzt d. h. abändernden Einflüssen ausserordentlich zugänglich ist, gewinnt es eine grössere Widerstandsfähigkeit und damit Constanz, sobald es sich mit dem Lecithin zu Nucleïn, einem sehr resistenten Körper, vereinigt. In dieser Form widersteht es namentlich auch den in der Nahrungsveränderung gegebenen abändernden Einflüssen absolut, und diese können nur dann abändernd eingreifen, wenn sie im Stande sind, die Eiweissmoleküle, die das Material zur

Nucleinbildung abgeben, so zu beeinflussen, dass sie neue Atomgruppen sich einverleiben, ehe sie mit dem Lecithin zu Nuclein zusammen treten; denn mit dem Augenblick, in dem die Nucleine erzeugt ist, hört die Möglichkeit der Beeinflussung auf.

Das diktiert uns die Anschauung, dass das Eiweissmolekül der Träger der Variabilität, das Nuclein der Träger der Constanz ist.

§ 274.

Der letzte Faktor, dessen Beziehung zur Vererbung festgestellt werden muss, ist die Verjüngung.

Vergleichen wir zuerst die verschiedenen Verjüngungsprozesse mit einander, so ist klar, dass die Verhältnisse bei der Sporung ganz anders liegen als bei der Conjugation und der Befruchtung. Bei ersterer handelt es sich um Veränderung eines Protoplaststückes, bei den andern dagegen um die Verschmelzung von zweien, womit eine reiche Casuistik gegeben ist, namentlich sobald diese Stücke, wie bei der Befruchtung, verschiedener Natur sind.

Bei der Einfachheit des Sporungsvorgangs dürfen wir erwarten, dass er *ceteris paribus* eine constantere Vererbung zeigt, als die andern Verjüngungsprozesse, dass er also in dieser Beziehung sich am nächsten an die ungeschlechtliche Vermehrung durch Theilung anschliesst. Jedenfalls fällt hier die Möglichkeit einer Variabilität durch verschiedenartige Beeinflussung eines andern Protoplaststückes fort.

§ 275.

Bei den copulativen Verjüngungsprozessen (Conjugation und Befruchtung) treffen, wie bei der Assimilation, zwei verschiedenartige Protoplasten zusammen, aber mit dem Unterschied, dass nicht das eine von dem andern entspezifizirt und assimiliert wird, sondern dass sie sich ohne weiteres vermischen.

Dieser Unterschied zeigt sich auch im Erfolg deutlich. Die Eigenschaften des erzeugten Thieres sind eine Mischung der Charaktere der beiden Erzeuger, was von der Assimilation nicht gesagt werden kann. Das Charakteristische der Mischung tritt um so deutlicher hervor, je verschiedenartiger die beiden Erzeuger sind, also z. B. bei der Bastardbefruchtung.

Weil nun die Befruchtung eine wahre Mischung ist, so beeinflussen grössere qualitative und quantitative Unterschiede der

beiden Befruchtungsstoffe das daraus hervorgehende Produkt weit intensiver, als die Ernährung es je zu thun vermag. Wenn jedes Protoplasma zu jedem beliebigen andern in Befruchtungsbeziehung treten könnte, so könnte von einer Constanz der Vererbung schlechterdings keine Rede sein. Eine solche ist aber deshalb vorhanden, weil die Befruchtungsbeziehungen ebenso, ja noch viel genauer, geregelt sind als die Assimilationsbeziehungen, und zwar in folgender Weise.

§ 276.

Wie schon § 205 hervorgehoben wurde, ist die Befruchtung an das Verhältniss der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit geknüpft, die zum Theil auf chemischen Faktoren fusst. Eine ganze Masse von Thieren können sich einfach deshalb nicht befruchten, weil die mechanische Möglichkeit dazu nicht vorhanden ist, worauf hier nicht eingegangen werden kann. Wichtiger ist jedenfalls der chemische Theil der gegenseitigen Befruchtungsfähigkeit.

Wir können die Sache so ansehen: Das Befruchtungsverhältniss ist das Gegentheil zum Assimilationsverhältniss, d. h. die beiden stehen im Verhältniss der Ausschliessung. Trifft ein überlegenes Protoplasma auf ein schwächeres, so wird letzteres getödtet und zerstört. Damit ist natürlich die in einer Mischung bestehende Befruchtung unmöglich. Die Befruchtung setzt also das Verhältniss der Gleichheit schon deshalb voraus, weil bei Ungleichheit eine einseitige Vernichtung stattfindet.

Wir haben oben gesehen, dass es sich bei der Gleichheit und Ungleichheit um die spezifischen Atomgruppen der Albuminate handelt, also um die schmeckenden und riechenden Stoffe. Dem entspricht, dass bei der Befruchtungswahl der chemische Sinn d. h. hier der Geruchssinn stets den Ausschlag gibt. Die spezifischen Riechstoffe sind also die Träger des Befruchtungsinstinkts, der stets nur gleiches zusammenführt, und darin liegt ein wesentlicher Moment des Beharrungsvermögens gegenüber den Einflüssen der Verjüngung.

§ 277.

Das im vorigen Pragraphen Gesagte erfordert noch eine Restriktion, die sich aus § 206 ergibt. Absolute Gleichheit darf zwischen zwei Protoplasmen, die in Befruchtungsverhältniss treten sollen, nicht bestehen, was wohl sehr einleuchtend ist, da absolut gleiche chemische Stoffe nicht auf einander wirken. Da

weder das Eiprotoplasma, noch das Samenfadenprotoplasma Flüssigkeiten sind, so ist eine Mischung nur möglich durch energischere kinetische Vorgänge, die nur aus dem Contact von differenten, nicht aber von gleichen Dingen entspringen. Da aber von der andern Seite die Ueberschreitung eines gewissen Unterschiedsgrades denselben zur Assimilationsdifferenz erhebt, so ist und bleibt das Befruchtungsverhältniss in äusserst enge und deshalb constante Bahnen eingeschlossen: steht auf der einen Seite der „Horror gegen Selbstbefruchtung“, so steht auf der andern der „Horror gegen Bastardirung“.

Wir müssen also statt Gleichheit das Wort Aehnlichkeit nehmen und sagen: Der Befruchtungsinstinkt führt stets Aehnliches zusammen, während unähnliche Thiere sich gleichgültig oder abstossend gegeneinander verhalten.

Uebrigens erfordert auch dieser Satz eine Restriktion. Es besteht eine gewisse geschlechtliche Anziehung zwischen sehr unähnlichen Thieren, die von dem Ausdünstungsgeruch ausgeht. Darauf beruht z. B. die Thatsache, dass weibliche Säugethiere und selbst Vögel von einem Manne sich viel leichter zähmen und anhänglich machen lassen als die Männchen, die ihrerseits von einem Weib sich leichter zähmen lassen. Die Sache geht übrigens bis zum Coitusversuch, den ich öfters männliche Papageien auf Hand und Nacken von Damen ausführen sah.

§ 278.

Bei allen getrennt geschlechtlichen Thieren steht bei jedem Verjüngungsakt die Vererbung des Geschlechtscharakters (ob männlich, ob weiblich) in Frage, denn eines ist auf diesem dunkeln Gebiet ziemlich ausser Zweifel, dass die Befruchtung über den Geschlechtscharakter endgiltig entscheidet. Denn die Ansicht, als könnte der Geschlechtscharakter erst während der Ontogenese anezogen werden (durch eigenartige Ernährung und sonstige Beeinflussung) hat nichts stichhaltiges für sich anführen können. Dagegen weiss man positiv folgendes:

1) Bei den Bienen und ihren Verwandten wird der Keim männlich, wenn er nicht befruchtet wird, und weiblich, wenn die Befruchtung stattfindet.

2) Bei gewissen Schmetterlingen (Psychiden und Solenobien) liefern die unbefruchteten Keime stets Weibchen, bei Befruchtung entstehen entweder nur Männchen oder überwiegend Männchen.

3) Bei vielen andern Thieren (Blattläusen, Daphniden etc.) liefern unbefruchtete Keime beiderlei Geschlechter.

Daraus ergibt sich für die Erzeugung des Geschlechtscharakters nur das mit Sicherheit, dass der Befruchtungsakt eine sehr wesentliche Rolle dabei spielt, allein dass keine allgemein gültige Theorie aufgestellt, sondern nur etwa folgendes gesagt werden kann.

§ 279.

Das Eiprotoplasma hat schon vor der Befruchtung einen bestimmten Geschlechtscharakter: es ist entweder androgen oder gynäkogen. Die Beobachtung lehrt, dass es Thiere mit ausschliesslich androgenen, andre mit gynäkogenen Eiern, endlich Thiere gibt, bei denen in einem und demselben Individuum androgene und gynäkogene Eier stecken. Nennen wir die ersteren, die stets nur ein Geschlecht führen, monogen disponirt, die andern amphigen disponirt.

Bei der amphigenen Disposition gibt es wieder gradweise Unterschiede, insofern entweder die androgenen oder die gynäkogenen Eier überwiegen, was als Hinneigung zur monogenen Disposition bezeichnet werden muss. Hierauf weist die Thatsache hin, dass es Thiere gibt, bei denen die Männchen viel seltener sind als die Weibchen (wie gewisse Crustaceen, Schlupfwespen etc.), sowie andere, bei denen das umgekehrte der Fall ist (z. B. hühnerartige Vögel).

Ferner beweisen Beobachtungen an Hausthieren und dem Menschen darauf hin, dass der Grad der Hinneigung zur monogenen Disposition nicht bloß artenweise, sondern auch individuell ungleich gross ist, es gibt z. B. einzelne Haushühner, deren Eier fast ausschliesslich nur ein Geschlecht liefern.

Darnach kommen wir zu dem Schluss, dass es sich bei der Erzeugung des Geschlechts in erster Linie um eine schon vor der Befruchtung bestehende bestimmte geschlechtliche Prädisposition des Eies handelt.

§ 280.

Dieser geschlechtlichen Prädisposition des Eies tritt die Befruchtung als beeinflussender Faktor entgegen, allein so, dass wir auch beim Samen eine geschlechtliche Prädisposition anzunehmen gezwungen sind.

Von monogen befruchtendem Samen müssen wir bei den Thieren mit Parthenogenesis sprechen und zwar bei den Psychiden von androgen befruchtendem Samen, bei den Bienen von gynä-

kogen befruchtendem. Von hier aus können wir kaum anders, als auch beim Samen die Möglichkeit amphigener Disposition anzunehmen, wie beim Ei; in welcher Form, darüber wissen wir aber lediglich nichts. Möglich ist

1) dass androgen und gynäkogen befruchtende Samenfäden gleichzeitig bei einem Individuum beisammen sind:

2) dass das Männchen in einer bestimmten Periode oder unter bestimmten Verhältnissen androgenen und unter andern Verhältnissen oder zu anderer Zeit gynäkogenen Samen führt.

§ 281.

Gehen wir von der in den zwei vorigen Paragraphen nieder gelegten Anschauung aus, so sind bei der Befruchtung zweierlei Verhältnisse denkbar, das der Gleichheit und das der Ungleichheit.

Im Falle der Gleichheit liegt die Annahme sehr nahe, dass das Geschlecht dann unausbleiblich der Disposition der beiden Keimelemente folge. Ich möchte aber eher annehmen, dass in diesem Fall gar keine Befruchtung, also auch keine Vererbung stattfindet, weil gewissermassen engstes Inzuchtverhältniss besteht, also androgener Samen auf ein androgenes Ei nicht wirkt.

Im Falle der Ungleichheit, den wir also wohl allein in Betracht ziehen dürfen, liegt ein Wettstreit zwischen Samen und Ei vor. Die Beobachtung an Bienen zeigt uns rein die absolute Ueberlegenheit des Samens. Dass aber das nicht ausnahmslos ist, zeigt uns der Fall bei den Solenobien, wo bei der Befruchtung nicht alle Eier ihr Geschlecht ändern. Damit sind wir gezwungen, auch den entgegengesetzten Fall, d. h. die Ueberlegenheit des Eies anzunehmen und consequenterweise auch den Fall der Gleichheit. Wir müssen dann sagen, der befruchtete Keim folgt dem Geschlecht des überlegeneren Theils. Ist z. B. das Ei gynäkogen und der Same androgen, so bleibt der Keim weiblich, wenn der Same inferior ist; wird dagegen männlich, wenn er überlegen ist. Ist dagegen das Ei androgen und der Samen gynäkogen, so hat Ueberlegenheit des Mannes ein weibliches Produkt zur Folge.

§ 282.

Stellen wir die causalen Fragen:

1) Worauf beruht es, ob ein Keimprotoplasma androgen oder gynäkogen ist? Bei den monogen disponirten Thieren

(Bienen und Psychiden) ist das Keimprotoplasma, soweit wir wissen, stets androgen resp. gynäkogen, deshalb liegt hier die Ursache in dem uns völlig unbekanntem spezifischen Charakter ihres Protoplasmas. Bei den amphigen disponirten Thieren liegen Beobachtungen vor, dass es sich um Unterschiede im Reifungsgrad handeln könnte. So liefern bei den Hühnern die im Frühjahr zuerst gelegten Eier relativ viel mehr männliche Thiere als die später gelegten, allein durchaus unermittelt ist, ob dies Einfluss des Hahnes oder der Henne ist. Die Erfahrungen an andern Hausthieren und den Menschen verbieten jedoch durchaus eine Verallgemeinerung dieser Ursache.

2) Worauf beruht die Ueberlegenheit des einen Elements über das andere? Für diese Frage liegt beim Menschen die Beobachtung vor, dass die Kinder überwiegend dem Geschlecht des reiferen Theils folgen; im Allgemeinen ist das zwar das ältere, allein da das Weib früher geschlechtsreif ist als der Mann, so muss der letztere einige Jahre dem Weib voraus sein, um nur das Gleichgewicht erlangt zu haben. Die zahlreichen Ausnahmen von dieser Regel zeigen jedoch, dass bei der Ueberlegenheit noch andere Momente in Betracht kommen, namentlich die Constitutionskraft: Die Kinder folgen *ceteris paribus* dem Geschlecht des constitutionskräftigeren Theils.

§ 283.

Der Einfluss der Befruchtung auf die Variationen in der Vererbung der übrigen Charaktere ist dahin zu präzisiren: Je gleichartiger in Bezug auf die nicht geschlechtlichen Charaktere die Erzeuger sind, um so geringer, je ungleichartiger, um so grösser ist die Variabilität.

Die Gleichartigkeit hängt in erster Linie von dem Grad der Blutsverwandtschaft ab: bei enger ist sie grösser als bei entfernterer. Deshalb zeigt bei fortgesetzter Inzucht, so weit diese nach § 206 überhaupt zulässig ist, die Vererbung eine mit der Zahl der Generationen stetig zunehmende Constanz, während bei Rassen- oder gar Spezieskreuzung die Variabilität stetig zunimmt. So tritt z. B. bei der Kreuzung von Saibling und Forelle, worauf schon früher hingewiesen wurde, eine enorme Variabilität in der Körpergrösse zu Tage (Differenz um das 14fache des Gewichts).

Die Variabilität tritt bei Kreuzung differenter Thiere darin zu Tage, dass bald der eine, bald der andere Erzeuger im Nachkommen das Uebergewicht erhält oder gleichmässige Mischung der Charaktere stattfindet. Die Charaktere der beiden Eltern

liegen entweder nebeneinander oder sie combiniren sich zu neuen Charakteren.

Weiter lehren Erfahrungen an den Hausthieren und dem Menschen, dass Kreuzung um so leichter Rückschläge (siehe § 248) erzeugt, je entfernter die Verwandtschaft beider Erzeuger oder — allgemeiner — je verschiedener sie sind, während bei Inzucht die Rückschläge sehr selten sind.

Von der erworbenen Differenz oder Gleichartigkeit gilt ohne Zweifel das Gleiche, wie von der durch die Blutsverwandtschaft bedingten.

§ 284.

Uebrigens liegen Beobachtungen vor, welche uns zwingen, den höchsten Grad der Vererbungsconstanz nicht auf den engsten Aehnlichkeitsgrad zu verlegen, sondern von einem Zuträglichkeitsmaximum zu sprechen, über das hinaus die Aehnlichkeit nicht gehen darf, weil sonst wieder Variabilität eintritt aber in entgegengesetzter Richtung wie bei der Kreuzung. Nämlich statt der Variation durch Rückschlag Variation durch Latenz: d. h. es werden gewisse, beiden Eltern zukommende Eigenschaften oder Organe gar nicht mehr oder in unvollkommenerem Grade entwickelt. Dahin gehört der Kretinismus und andere bis zur Missgeburth gehende Entwicklungshemmungen, die bei enger Inzucht ganz entschieden häufiger sind als bei entfernterem Verwandtschaftsgrad. Ich beobachtete bei afrikanischen Mähnschafen in Folge von Inzucht Verkümmern bis völlige Latenz der Hörner und der Mähne. Andere beobachteten bei Schweinen in Folge von Inzucht Latenz des Ernährungstriebes und der Beine. Bei den Hausthieren steht dem durch Rassenkreuzung erzeugten Rückschlag in der Richtung der Verwilderung die grössere Zahmheit und Temperamentlosigkeit der Inzuchtprodukte als eine Latenzerscheinung gegenüber.

17. Die sociologischen Funktionen.

a) Allgemeines.

§ 285.

Was wir im Bisherigen betrachtet, sind die elementaren Funktionen, welche sich an dem einzelnen Protoplasmastück, der einzelnen Zelle, dem *Microrganismus*, abwickeln. Neue Funktionen, nämlich

die sociologischen Funktionen ergeben sich daraus, dass das adhäsive Protoplasma der Multicellulaten bei der Entwicklung einen Macroorganismus aus vielen einzelnen in festen Verband tretenden Protoplasmastücken aufbaut, welche sich in Bezug auf Kraft- und Stoffwechsel gegenseitig beeinflussen. Wir können den Leib eines Multicellulaten recht gut einem Gemeinwesen von Individuen vergleichen. Jedes führt sein eigenes Leben (elementare Funktion), aber daneben haben sie gemeinschaftliche Interessen, organisiren sich zu diesem Behuf nach den Prinzipien der Arbeitstheilung, der Subordination und Coordination, unterhalten demgemäss Beziehungen unter einander (sociologische Funktionen) und treten nach aussen hin als einheitliches Ganze handelnd und leidend auf (biologische Funktionen). Im Verfolg dieses Vergleichs können wir auch die sociologischen Funktionen als die Nationalökonomie des Zellstaates bezeichnen.

Diese Funktionen haben einmal ihre allgemeine Seite, indem gewisse Beziehungen sich überall wiederholen, dann aber auch ihre spezielle Seite, weil die sociologische Complication nicht überall die gleiche ist, sondern grosse Verschiedenheiten von den einfachsten bis zu hochorganisirten gesellschaftlichen Formen zeigt.

§ 286.

Bei einer Analyse der allgemeinen Seite der sociologischen Funktionen sind zwei Fälle auseinander zu halten: Gleichartigkeit und Ungleichartigkeit der in Verband getretenen Zellen.

Handelt es sich um gleichartige Zellen, so verhalten sie sich nach aussen gleichartig, reagiren also auf die gleichen Reize und in gleicher Weise, resorbiren dieselben Stoffe und sondern die gleichen ab (Coordinationsverhältniss).

Nach der passiven Seite hin bezeichnen wir dies Verhältniss als das der Mitleidenschaft (Sympathie), nach der aktiven Seite als Mitarbeiterschaft (Cooperation) und nach der Bedarfsseite hin als das der Concurrenz.

§ 287.

Bei der Frage, wie sich gleichartige Zellen nach innen d. h. zu ihren gleichartigen Genossen verhalten, müssen zwei Fälle berücksichtigt werden.

1) Die coordinirten benachbarten Zellen stehen in der gleichen Phase des Stoff- oder Kraftwechselrhythmus, sind also

z. B. alle müssig oder müde oder arbeitend oder hungrig oder satt. In diesem Falle der absoluten Gleichheit ist die Beziehung ohne Zweifel die der völligen Indifferenz, da zwei ganz gleichartige Dinge nicht auf einander wirken können.

2) Befindet sich dagegen eine Zelle oder Zellgruppe in Folge einer örtlichen nur sie allein treffenden Reizung in der aktiven Phase des Kraft- und Stoffwechselrhythmus, ihre Artgenossen dagegen in der negativen, so liegt die Möglichkeit einer Beeinflussung vor und zwar aus nachstehenden Gründen.

§ 288.

Von Seite des Stoffwechsels erhellt die Beeinflussung aus folgendem:

Befindet sich eine Zelle im aktiven Stadium des Stoffwechsels, so kommt in Betracht, dass sie eine Aenderung in dem Medium hervorbringt, das nicht blos sie selbst umgibt, sondern auch die benachbarten müssigen Zellen: sie gibt ihre Umsatzprodukte an das Medium ab und entnimmt ihm auf dem Wege der Resorption von den in ihm vorhandenen Nährstoffen. Da jede Veränderung des Mediums eine Störung des Gleichgewichts zwischen ihm und den Nachbarzellen ist, und jede Gleichgewichtsstörung, sofern sie stark genug ist, zur Erregungsursache wird, so muss schon aus diesem Grunde die Erregung von der primär und genügend stark erregten Zelle sich auf die Nachbarn fortpflanzen.

Von Seiten des Kraftwechsels gilt:

a) Die mit der Stoffwechselarbeit verbundene Wärmesteigerung muss, sobald sie den Schwellenwerth erreicht, ebenfalls einen Reiz auf die Nachbarzellen ausüben.

b) Geht die chemische Reaktion einer Zelle in Folge der Arbeit aus der alkalischen in die saure über, so tritt sie zu den benachbarten müssigen und deshalb alkalisch reagirenden in das Verhältniss der elektromotorischen Spannung und das begründet wieder eine Erregung der letztern.

c) Führt die arbeitende Zelle Contractionen aus, so übt sie, falls diese stark genug sind, einen mechanischen Reiz auf die Nachbarzellen aus.

Das allgemeine Resultat ist also, dass der Erregungszustand einer Zelle auf die benachbarten coordinirten Zellen übertragen wird: sie werden in Mitleidenschaft und Mitarbeiterschaft gezogen.

§ 289.

Diese Beeinflussung begründet ein Subordinationsverhält-

niss in der Art, dass die erregte Zelle der müssigen überlegen ist. Die Ueberlegenheit äussert sich nicht blos in der Fähigkeit den eigenen Erregungszustand auf die Nachbarn zu übertragen, sondern auch in einer überlegenen Concurrenz in Bezug auf den Stoffwechsel und dieser Einfluss ist der weiter greifende.

Da nach früherem die erregte Zelle resorptionsfähiger ist als die müssige, so wird erstere einer Nährstofflösung mehr Nährstoffe entziehen als letztere. Wenn nun die Lösung eine gemeinschaftliche ist, so ist das gleichbedeutend mit einer Verkürzung der müssigen Zelle, sofern sie nicht sekundär und ebenso stark in Miterregung versetzt wird. Dies tritt besonders in der Wachstumsperiode der Thiere in der sogenannten Discorrelation des Wachstums zu Tage: die stärker arbeitenden weil häufiger erregten Theile wachsen stärker als die weniger arbeitenden, bei welchen in excessiven Fällen Verkümmern durch Nichtgebrauch eintritt.

§ 290.

Die im Vorigen geschilderte Erregungsübertragung ist natürlich von mancherlei Umständen, theils fördernd theils hemmend, beeinflusst.

Liegen die Zellen in gedrängtem Verband, so trifft die Beeinflussung natürlich zuerst die nächsten Nachbarn und breitet sich in concentrischer Weise aus. Der Grad der Ausdehnung hängt theils von der Stärke der primären Erregung theils von der Erregbarkeit und Erregungsleitungsfähigkeit der andern Zellen ab. Unter günstigen Umständen werden nun alle in Verband stehenden Zellen successive von der Erregung ergriffen, andernfalls bleibt dieselbe auf sogenannte Sympathiebezirke beschränkt, deren Querschnitt kreisförmig ist, wenn die Leitungswiderstände rundum gleich gross sind, elliptisch bis linear, wenn sie nach einer Richtung grösser sind als nach einer darauf senkrechten.

§ 291.

Bei den Leitungswiderständen handelt es sich nicht blos um die Beschaffenheit der einzelnen Zellen, sondern auch darum, ob sie direkt an einander stossen oder durch zwischen gelagerte Interzellulärsubstanz distanzirt sind; in letzterem Falle kommt dann die Beschaffenheit der Interzellulärsubstanz wesentlich in Betracht, insofern sie die Erregungsübertragung leicht oder schwer vermittelt. In dieser Beziehung ist zu bemerken:

Feste Intercellulärsubstanz wird auf die vom Stoffwechsel ausgehende Beeinflussung im Allgemeinen einen hemmenden Einfluss ausüben, um so mehr, je fester und dichter sie ist. Deshalb sind z. B. bei den vielzelligen Pflanzen die Sympathiebeziehungen weit weniger innig als bei den Thieren. Für die Beeinflussung durch die beim Kraftwechsel frei werdenden Kräfte kann feste Beschaffenheit der Intercellulärsubstanz unter Umständen eben so förderlich als hemmend sein. So z. B. wird durch sie mechanische Bewegung, die an einem Orte entsteht, leicht auf entfernt gelegene Zellen oder Zellgruppen beziehungsweise auf Gegenstände der Aussenwelt fortgepflanzt werden und zwar um so mehr, je elastischer sie ist. Dabei hat man folgendes zu unterscheiden:

Bei geringer Elasticität (d. h. grosser Steifigkeit) wird die Uebertragung prompt und plötzlich geschehen, bei grosser Elasticität (d. h. grosser Dehnbarkeit) dagegen successive. Die Vollkommenheit der Uebertragung hängt von der Vollkommenheit der Elasticität ab. So bilden die festen Intercellulärsubstanzen, die meistens auch in hohem Grade elastisch sind, einen sehr wichtigen Theil des Bewegungsapparates der höheren Thiere: sie sind der passive, übertragende Theil.

Unter anderen Verhältnissen wirken feste Intercellulärsubstanzen aber auch mechanisch hemmend, insofern sie lokalen Protoplasma-bewegungen mit dem Gewicht ihrer Masse und durch ihre Steifigkeit entgegentreten oder durch ihre Elasticität stosszertheilend wirken.

Es kommt also nur auf die mechanische Construction an, ob die feste Intercellulärsubstanz eine mechanische Sympathie oder das Gegentheil, mechanische Isolirung, herstellt.

Bezüglich der molekularen Bewegungen kommt in Betracht, dass von den Festigkeitsverhältnissen der Intercellulärsubstanz namentlich die Schalleitung abhängt, während dagegen die Leitungsfähigkeit für Licht, Wärme und Electricität von dem Cohäsionszustand weniger beeinflusst wird.

§ 292.

Ist die Intercellulärsubstanz flüssig, so ist sie sehr befähigt eine Vermittlerrolle für chemische Beeinflussung zu unternehmen. Insofern eine Zelle oder Zellgruppe durch ihren Erregungszustand die Beschaffenheit dieses flüssigen Mediums ändert, stellt letzteres Sympathiebeziehungen zwischen all den Zellen her, mit denen es in Berührung kommt. Hierbei ist jedoch eine Einschränkung zu machen:

Stagnirt die Flüssigkeit und ist sie nur für eine relativ geringe Zahl von Zellen gemeinschaftliches Medium, so stellt sie sehr innige Sympathiebeziehungen her, d. h. jede lokale Reizung wird sich rasch und leicht auf alle Genossen fortpflanzen.

Ist es dagegen eine bewegte Flüssigkeit, welche, wie Blut und Lymphe, gemeinschaftliches Medium für alle Individuen des Zellstaates ist, so gewinnen zwar die Sympathiebeziehungen an Intensität, aber sie verlieren um so mehr an Intensität, je grösser die Masse des Mediums ist im Verhältniss zu der Zellenmasse, welche primär durch die lokale Erregung getroffen ist und je rascher sie kreist und zwar deshalb, weil die durch die örtliche Reizung gesetzte Veränderung des Mediums einen zu geringen Bruchtheil desselben trifft.

§ 293.

Bei der Uebertragung der im Kraftwechsel entbundenen freien Bewegungen spielt die flüssige Intercellularsubstanz folgende Rolle.

Durch ihre Incompressibilität und Verschieblichkeit eignet sie sich ausgezeichnet zur Uebertragung mechanischer Bewegung von einer Stelle des Körpers auf eine andere, sofern sie in feste Wandungen eingeschlossen ist. Sind die Wandungen steif, so erfolgt die Uebertragung der Bewegung prompt, sind die Wandungen elastisch, successive. Aus diesem Grunde können flüssige Intercellularsubstanzen in ähnlicher Weise wie die festen einen wesentlichen, nämlich den passiv übertragenden Theil des Bewegungsapparats bilden. (Insbesondere bei Weichthieren).

Unter den molekularen Bewegungen kommt hauptsächlich die Wärme in Betracht. Flüssig Intercellularsubstanz kann, sofern sie bewegt ist, den Wärmetransport ungleich rascher besorgen, als dies die leitbarsten Festsubstanzen zu thun vermögen. Wir werden hierauf bei der Funktion des Gefässsystems zurückkommen.

§ 294.

Aus den vorigen Paragraphen ergibt sich, dass bei der sympathischen Beeinflussung eine direkte, von Zelle zu Zelle gehende, und eine indirekte durch eine kreisende Flüssigkeit zu unterscheiden ist (eine andre indirekte wird später geschildert werden). Die erstere ist im allgemeinen langsamer als die letztere. Das ist einmal von grossem Erfolg für den Effekt d. h. die Cooperation,

denn bei dieser handelt es sich um die Summirung der Effekte: je rascher diese stattfindet, um so grösser ist der Gesamteffekt. Fürs zweite bedingen die grösseren Hindernisse, welche der direkten Beeinflussung sich entgegen stellen, dass hier örtliche Erregungen viel häufiger und länger lokalisiert bleiben, während bei der indirekten die Lokalisierung seltener und kürzer ist. Im ersteren Fall sind, unter den verschiedenen Thiertypen, die Cölenteraten und Radiolarien, die ganz auf direkte Beeinflussung angewiesen sind: Bei ihnen sind alle Lebensvorgänge sehr langsam und die Sympathie- und Cooperationsbeziehungen sehr schwach. Im letzteren Fall befinden sich die Enteraten, deren Theile durch den Besitz von kreisenden oder wenigstens fluctuirenden Ernährungsflüssigkeiten in viel engere und raschere Sympathiebeziehungen gebracht sind.

§ 295.

Bei dem Fall der specifischen Ungleichheit der im organischen Verband lebenden Zellen erhalten wir begreiflicher Weise eine reichlichere Casuistik in Bezug auf Grad und Qualität des Unterschieds. Trotzdem wird es sich in jedem einzelnen Fall um einige bestimmte Fragen handeln.

1) Bedingt die Ungleichheit eine Ueberlegenheit der einen Zellenart über die andere oder nicht?

2) Welcher Art und welchen Grades ist die etwa vorhandene Ueberlegenheit und worauf basirt sie?

3) Was ist die Folge der Ueberlegenheit der einen über die andere und zwar sowohl für die Thätigkeit der betreffenden Zellarten, als auch für das Verhalten des ganzen Zellgemeinwesens nach aussen.

§ 296.

Bei der allgemeinen Ueberlegenheitsfrage muss wieder unterschieden werden, ob die Ueberlegenheit auf allen oder nur auf bestimmten Gebieten des Kraft- und Stoffwechsels vorhanden ist, während in anderen Gleichheit oder das Gegentheil walten kann.

Ueber die Art und Weise, wie die Ueberlegenheit auf den verschiedenen Gebieten des Kraft- und Stoffwechsels zum Ausdruck kommt, gilt folgendes:

Auf dem Gebiet des Stoffwechsels haben wir es mit den Verschiedenheiten in Bezug auf die Resorptions-Fähigkeit zu thun. Hier finden wir, und zwar im Leib der Darmthiere; zuerst den

Unterschied in Bezug auf die Absorptionsfähigkeit für Sauerstoff zwischen den fixen Zellen und den Wanderzellen des Blutes. Letztere beladen sich an den Athmungsflächen mit Sauerstoff, allein sobald sie in Berührung mit den fixen Gewebszellen gelangen, macht sich die Ueberlegenheit der letzteren in der Weise geltend, dass den erstern ein Theil ihres Sauerstoffes entzogen wird. Damit ist eine Beziehung gegeben, welche wir als stoffliches Bedienungsverhältniss bezeichnen müssen.

Von einem andern Standpunkte aufgefasst, muss eine ungleiche Resorptionsfähigkeit das Verhältniss der überlegenen Concurrenz schaffen. Grenzen Zellen von ungleicher Resorptionsfähigkeit an ein und dieselbe Nährstofflösung, so wird die überlegene Zelle von einem bestimmten Nährstoff mehr an sich zu ziehen vermögen als die schwächere.

Dabei wird es sich aber nicht nur um quantitative sondern auch um qualitative Verhältnisse handeln, d. h. es wird eine Zellart eine überlegene Anziehung auf einen bestimmten Bestandtheil der Nährstofflösung ausüben können, während die andere zwar in Bezug auf diesen Stoff inferior, allein in Bezug auf einen andern Mischungsbestandtheil überlegen ist. In einem derartigen Falle haben wir es mit dem Verhältniss der stofflichen Arbeitstheilung zu thun.

Wo diese Beziehung vorliegt, wird ein Interessenconflict nur dann eintreten, wenn die Nährstofflösung eben nicht beide Bedarfsstoffe führt. Ein solcher Conflict tritt z. B. im Hungerzustand ein und äussert sich dann darin, dass die während des Hungers eintretenden Gewichtsverluste nicht alle Zellarten in gleicher Weise treffen. Lässt man z. B. ein Thier verhungern, so hat es $\frac{4}{10}$ (wenn es gemästet war $\frac{5}{10}$) seiner Körpermasse verloren. Dieser Verlust vertheilt sich sehr ungleich: das Fettgewebe ist fast ganz geschwunden, das Blut hat $\frac{3}{4}$ seines Gewichtes verloren, das Nervensystem dagegen nur $\frac{1}{5}$, das Gehirn sogar fast nichts, ein Beweis dafür, dass das Nervenprotoplasma in Bezug auf den Nährstoffanziehung allen andern Protoplasmanarten überlegen ist.

§ 297.

Ein weiterer Fall bei überlegener Resorptionsfähigkeit wird der sein, dass das stärkere Protoplasma dem schwächeren auf direktem oder indirektem Wege gewisse Stoffe entziehen kann. Dem direkten Entzug sind z. B. alle Zellen, die an Nährstofflösungen grenzen, durch ihre Hintermänner ausgesetzt. Nament-

lich bei den Coelenteraten ist nur auf diesem Wege eine Ernährung der hinter den Entodermzellen liegenden Mesoderm- und Exodermzellen denkbar. Auch bei den Thieren mit einem geschlossenen Gefäßsystem wird ein ähnliches Verhältniss zwischen den die Blutbahn begrenzenden Endothelzellen und den übrigen Gewebszellen nicht ganz abzuweisen sein, es sei denn dass die von mehreren Forschern angegebenen Poren in der Wandung der Capillaren einen direkten Zutritt der Nährstofflösung zu den Gewebszellen ermöglichen.

Der indirekte Entzug ist der, welcher durch die kreisenden Ernährungsflüssigkeiten (Blut und Lymphe) vermittelt wird. Wenn das kräftigere Protoplasma diesen gewisse Stoffe in sehr hohem Masse entzieht, so kann dies den Austritt der gleichen Stoffe aus einer entfernteren schwächeren Protoplasmaart in das Blut zur Folge haben. So darf wohl die Thatsache gedeutet werden, dass dem Fettgewebe sein Fett entzogen wird, sobald durch stärkere Arbeit im Muskelprotoplasma ein erhöhter Fettverbrauch stattfindet.

Eine weitere Folge specifischer Ueberlegenheit zeigt sich auf dem Gebiete der Stoffabsonderung. Besitzen gewisse Zellarten eine besondere Anziehungskraft für Stoffe, die von andern deshalb abgesondert werden, weil sie für dieselbe keine Anziehungskraft haben, so entwickelt sich ein Bedienstungsverhältniss: die ersteren befreien die letzteren von Stoffen, welche nachtheilig auf sie wirken würden. Auch diese Beziehung kann auf direktem Wege durch angrenzende Zellen, oder indirekt durch Vermittlung einer kreisenden Flüssigkeit geschehen.

§ 298.

Bei der Ueberlegenheit in Bezug auf die Kraftwechsellorgänge handelt es sich in erster Linie um die Unterschiede in der Erregbarkeit und zwar so:

Wir sahen oben, dass der erregte Zustand ein Ueberlegenheitsmoment darstellt. Grenzen nun zwei Protoplasma-Arten von ungleicher Erregbarkeit an einander, so wird eine Reizung das Erregbarere rascher, also früher und auch stärker erregen, als das minder erregbare, und es wird eine Reizstärke geben; wobei sogar nur das erstere, das letztere gar nicht erregt wird: hieraus resultirt eine Ueberlegenheit des ersteren über das letztere.

Eine weitere Ueberlegenheit beruht auf grösserer Fähigkeit zur Erregungsleitung. Wo diese gegeben ist, findet im lebenden Protoplasma ein lawinenartiges Anschwellen der Erregungsstärke

statt, so dass ein solches Protoplasma ein am Ende der Leitung liegendes anderes Protoplasma mit überlegener Kraft trifft.

Die genannten Beziehungen bestehen z. B. zwischen dem Nervenprotoplasma und den übrigen Protoplasmen eines Multicellulaten, indem ersteres auf Grund seiner grösseren Erregbarkeit und hohen Leitungsfähigkeit eine beherrschende Stellung einnimmt.

Neben der beherrschenden Stellung kommt jedoch dem erregbareren Protoplasma auch eine vermittelnde Rolle zu. Wird nämlich das minder erregbare Protoplasma zuerst erregt und gelingt es ihm, durch seinen eigenen Erregungszustand das angrenzende erregbarere ebenfalls zu erregen, so wird sich in diesem die Erregung mit wachsender Stärke fortbewegen und Protoplasmen, die am entgegengesetzten Ende der Leitung liegen, mit überlegener Kraft gleichfalls in Erregungszustand versetzen, also Beziehungen der Sympathie und Cooperation auf weitere Distanzen und mit grösserer Geschwindigkeit vermitteln. Dies ist eine der wichtigsten Funktionen des Nervenprotoplasmas.

§ 299.

Ueberlegenheit in Bezug auf die kontraktile Befähigung führt natürlich zu mechanischer Beherrschung, indem die mit dem kontraktileren Protoplasma verbundenen Theile den Bewegungen desselben gehorchen müssen. Die Art und Weise, wie diese Theile dem von den kontraktileren Protoplasmen ausgehenden Zug und Druck gehorchen, hängt natürlich von ihren Festigkeitsverhältnissen ab. Weiche Theile erleiden hiebei Lage- und Formveränderungen, feste dagegen vorzugsweise Lage-Veränderungen, wodurch sie im Stande sind, die Bewegungen von einem Ort zum andern zu übertragen. So überträgt das feste Sehngewebe die Bewegungen des Muskelprotoplasmas auf Knochen oder andere Weichtheile.

Ausser den festen Theilen sind, wie gleichfalls schon oben geschildert, auch die flüssigen zur Uebertragung mechanischer Bewegung geeignet, weil jeder Druck, der auf eine in Röhren eingeschlossene Flüssigkeit ausgeübt wird, sich auf alle Theile der Rohrwand fortpflanzt und, sofern diese Wand elastisch ist, auch auf alle die sie begrenzenden Theile bewegend zu wirken vermag.

§ 300.

Ein weiteres Ueberlegenheitsverhältniss ist dann gegeben, wenn lebendes Protoplasma an abgestorbenes grenzt. In

diesem Falle kommt es entweder bald früher, bald später zur unmittelbaren Abstossung des letzteren oder zur Verdauung, d. h. Auflösung und Resorption des Abgestorbenen durch das Lebendige. Die Resorption erstreckt sich aber in diesem Fall nur auf das unmittelbar angrenzende todte Protoplasma; das entfernter liegende, das mittlerweile der Fäulniss oder Vertrocknung anheimgefallen ist, wird dabei nur abgestossen, denn die Verdauung der an das lebendige Gewebe stossenden Grenzschicht ist gleichbedeutend mit einer Zusammenhangstrennung zwischen todttem und lebendigem Theil. Die sich bildende Furche nennt man Demarkationsfurche.

Am leichtesten erfolgt natürlich die Abstossung des todtten Theils, wenn derselbe dem lebendigen nur äusserlich anliegt. Todte Theile, die von lebenden rings umschlossen werden, fallen häufiger der Resorption, als der Abstossung anheim.

Das Absterben der Zellen tritt sehr häufig als sociologische Funktion auf. Da die Zellen eines Multicellulatenkörpers der Vermehrung durch Theilung fähig sind, so ist der Gesamtorganismus befähigt, absterbende und zur Abstossung verurtheilte Zellen auch wieder zu ersetzen und so ist die Möglichkeit gegeben, ohne Beeinträchtigung des Gesamtbestandes fortlaufend Zellen im Dienst des Gesamtstaates aufzuopfern.

Die Aufopferung erfolgt entweder zu internen (sociologischen) oder externen (biologischen) Zwecken. Solche externe Zwecke sind die passive Beschützung und Vertheidigung des Gesamtorganismus oder die Erhöhung seiner aktiven Erwerbsfähigkeit. Es bilden z. B. die durch Verhornung absterbenden Exodermzellen der Luftwirbelthiere einen mechanisch und chemisch schützenden Panzer um den Gesamtorganismus. In ähnlicher Weise beschützen die durch Verschleimung absterbenden Exodermzellen der Wasserthiere den Gesamtkörper, indem sie ihn glätten und dadurch seine Ergreifbarkeit und bei der Ortsbewegung die Beeinträchtigung durch Reibung vermindern. Aktive Bedeutung haben z. B. die Nesselzellen der höheren Cölenteraten, die zur Vergiftung des Beuteobjekts dienen, dabei aber aufgeopfert werden.

Im internen Verkehr kann Zellenaufopferung in mehrfacher Weise dem Gesamtwohl dienen. Einmal in mechanischer, insofern Zellen, die durch Verschleimung absterben, zur Glättung innerer Wege (Luftwege, Speisewege) dienen, und insofern verirdete Zellen die Rolle übernehmen, wie sie oben von den steifen Intercellularsubstanzen geschildert wurde. Dann in chemischer Beziehung, insofern die Zellenopferung eine Form der Absonderung ist, womit die Möglichkeit gegeben ist, Stoffe nach aussen abzuschneiden, die auf dem Wege der Osmose und Filtration

nicht entfernt werden können. Dahin gehört z. B. die Absonderung des Hauttalg (der Milch?) in seinen verschiedenen Modifikationen.

Die Ursache des Absterbens dieser geopfertten Zellen ist die Consequenz ihrer exponirten Stellung gegenüber den umgebenden Medien, die zerstörend auf sie einwirken; die Ursache der Abstossung ist die Ueberlegenheit der hinter ihnen liegenden, durch sie beschützten Zellen.

§ 301.

Nachdem wir im bisherigen die Beziehungen der zu einem Zellstaate vereinigten Protoplasmastücke zu einander analysirt haben, müssen wir uns zur Erörterung der Ergebnisse wenden, welche die Thätigkeit des einzelnen Protoplasmastückes für die ganze Zellgemeinde hat.

Das allgemeine Ergebniss ist, dass der Gesamtkörper als Ganzes alle die Funktionen ausübt, welche wir an dem einzelnen Elementarorganismus beobachten. Er zeigt alle Erscheinungen des Kraft- und Stoffwechsels und tritt durch diesen als ganzes in Beziehungen zu den umgebenden Medien und Naturgegenständen, sie beeinflussend und wiederum von ihnen beeinflusst. Diese Gesamtfunktionen werden als biologische bezeichnet und sollen im dritten Band des vorliegenden Werkes geschildert werden.

In diesen Gesamtfunktionen liefern die einzelnen, den Gesamtkörper zusammensetzenden Elementarorganismen ihren Beitrag in Form einer sociologischen Leistung. Diese Leistungen können aber nur mittelst einer Materialzufuhr (und Abfuhr) aus den umgebenden Medien bestritten werden. Sobald nun in Folge der räumlichen Complication ein Theil der Mitglieder des Zellstaates ausser direkten Contact mit den umgebenden Medien gesetzt ist, so ist damit die Forderung einer Gegenleistung gegeben, welche die betreffenden Zellen an den Gesamtkörper zu stellen haben, wenn dieser ihrer Leistungen theilhaftig werden soll. Damit ist die Grundlage zur Arbeitstheilung gegeben: Die verschiedenartigen Protoplasmen treten in das Verhältniss von Leistung und Gegenleistung.

§ 302.

Die Arbeitstheilung kommt in der Weise zu Stande, dass die eine Protoplasmaart mit dieser, die andere mit jener Seite ihres Kraft- und Stoffwechsels, die eine mit ihrer resorbirenden, die andere mit ihrer sekretorischen, die dritte mit ihrer kontraktilen Thätigkeit sich an den entsprechenden Gesamtfunktionen des

Körpers betheilligt. Das ist aber nicht so zu verstehen, als ob die einzelne Zelle überhaupt nur in dieser einzigen Richtung thätig wäre; im Gegentheil: Sie vollführt in der Regel alle elementare Funktionen, aber der Nutzeffekt für den Gesamtorganismus entspringt bloß der einen oder andern Seite ihrer Elementarfunktionen, während der übrige Theil ihrer Funktionen ohne direkten Nutzwert für den Gesamtkörper ist, oder im Gegentheil ihm sogar noch Leistungen auferlegt. Dass es im Gegensatz zu den Zellen, welche nur durch Bethätigung ihrer elementaren Lebensfunktionen dem Gesamtkörper nutzen, auch solche gibt, die es durch ihr Absterben thun, haben wir schon im vorhergehenden Paragraphen erfahren.

§ 303.

Die Arbeitstheilung ist jedoch nicht nur an qualitative Unterschiede der verschiedenen Protoplasmasarten geknüpft, sondern auch an räumliche Verhältnisse. Daraus ergibt sich eine Lokalisierung der Funktionen des Gesamtkörpers. Die Ursache dieser räumlichen Sonderung der Funktionen liegt darin, dass die unter den Mitgliedern des Zellstaates sich einstellende, die Arbeitstheilung ermöglichende Differenzirung eine Consequenz ihrer verschiedenen räumlichen Lage zu den umgebenden Medien ist, worüber in dem Abschnitt von der sociologischen Differenzirung bei der Entwicklung gesprochen werden soll.

Bei dieser Lokalisierung hat man es weniger mit der absoluten räumlichen Beschränkung einer Funktion zu thun, als damit, dass sie vorzugsweise von einem bestimmten Körpertheil ausgeübt wird, von andern Körpertheilen dagegen nur in untergeordneter Weise; so athmet z. B. neben der Lunge auch noch die Haut.

Auch insofern ist die Lokalisierung meist keine vollständige, als sich verschiedene Körpertheile in Bezug auf eine Funktion vicarierend verhalten können. Man versteht darunter, dass eine Funktion, die unter bestimmten Verhältnissen von einem Organ per majora besorgt wird, unter Verhältnissen, welche die Thätigkeit dieses letzteren behindern, von einem andern Organ, das sich vorher nur per minorā an jener Funktion betheiligte, entweder ganz oder zum grossen Theil besorgt wird. Man spricht in diesem Sinne von vicarirenden Organen.

§ 304.

Ausser der qualitativen Seite des Nutzeffektes der Elemen-

tarfunktionen für die Gesamtfunktion muss auch noch der quantitativen Seite gedacht werden. Während nämlich gewisse Zellen einen hervorragenden Antheil an den biologischen und sociologischen Funktionen nehmen, leisten andere wenig oder gar nichts und führen somit eine belastende, gewissermassen parasitäre Existenz, die nur insofern zu einer leistenden werden kann, als jedes Protoplasmastück einen verfügbaren Nahrungsvorrath repräsentirt, der im Nothfall zur Speisung der andern verwendet werden kann. Solche parasitäre Existenzen sind häufig die Fettzellen, obwohl sie in andern Fällen auch erhebliche mechanische Dienste sowie Dienste beim Wärmehaushalt leisten.

In das Gebiet der Krankheitslehre gehört die Thatsache, dass auch pathologische Existenzen, bei denen sich statt eines Nutzeffektes eine Benachtheiligung ergibt, in dem Gesamtkörper entwickeln können (z. B. Krebszellen).

§ 305.

Nachdem wir im Bisherigen die Art der sociologischen Beziehungen besprochen, müssen wir auch den Bedingungen derselben einige Worte widmen.

Zunächst versteht sich von selbst, dass die Grundbedingungen der sociologischen Funktionen dieselben sind wie die der elementaren. Hierzu kommen aber noch die räumlichen Bedingungen, d. h. die zu einem Gesamtorganismus zusammentretenden Elementarorganismen müssen in bestimmter Weise architektonisch zusammengefügt sein, wenn ihre sociologische Funktionen den erforderlichen Nutzeffekt nach aussen haben sollen.

Da der oberste Zweck eines Gesamtorganismus seine von der Aussenwelt fortwährend angefochtene Selbsterhaltung (und die Erhaltung der Gattung) ist, und dies einen steten Kampf des Organismus gegen feindliche Kräfte bedingt, so ist es erforderlich, dass seine, im Verhältniss der Arbeitstheilung zu einanderstehenden Theile sich in der richtigen strategischen Lage befinden um mit möglichstem mechanischem Effekt die Aufgaben, welche Angriff und Vertheidigung stellen, zu lösen.

Hierbei haben wir es mit allgemeinen strategischen Gesetzen zu thun sowie mit einer grösseren Anzahl von speziellen taktischen Massregeln, welche uns eine aufsteigende Reihe von Komplikationen vorführen, wobei es sich theils darum handelt, den Gesamtorganismus bestimmten äusseren eigenartigen Verhältnissen gegenüber hinreichend auszurüsten, theils darum, ihm im allgemeinen einen grösseren Grad von biologischer Unabhängigkeit, durch vielseitigere Widerstands- und Angriffsfähigkeit, zu geben.

§ 306.

Die allgemeinste strategische Massregel bei allen thierischen (und den meisten pflanzlichen) Multicellulaten ist die concentrische Aufstellung. Wir können in dieser Beziehung den Leib eines Multicellulaten mit einer Festung vergleichen, in welcher die zu beschützenden Theile, unter diesen vor allen Dingen das Proviantmagazin im Centrum, die beschützenden in der Peripherie aufgestellt sind und, zwar zu äusserst die passiv beschützenden, hinter ihnen gedeckt die aktiv beschützenden.

Diese concentrische Aufstellung ist einer verschiedengradigen Differenzirung fähig und eine solche ist um so nothwendiger, je ausgedehnter die Festung, d. h. je grösser der Thierkörper ist. Wie mit der Grösse der Festung die Zahl der Vertheidigungsgürtel zunehmen muss, zwischen denen cirkulatorische Laufgräben liegen, so sondern sich auch die höheren Thierkörper in immer zahlreichere, durch cirkulatorische Schichten geschiedene, verschiedenen funktionirende Schichten, wie im nächsten Abschnitt genau geschildert werden soll, da hier ein bestimmtes System der funktionellen Differenzirung beobachtet wird.

Die höheren Pflanzen zeigen die concentrische Aufstellung ebenfalls, aber nur mit der Fronte nach aussen, die Thierleiber dagegen von der Organisationsstufe der Cölenteratie angefangen mit zwei Hauptseiten, einer nach aussen und einer zweiten nach innen. Im Gegensatz zu den Pflanzen, welche alle ihren Verkehr mit den umgebenden Medien an der äusseren Peripherie besorgen, nehmen die Thiere durch ihren Mund Objekte der Aussenwelt, also gewissermassen einen Theil derselben, in die im Centrum liegende Nahrungshöhle auf und nun wird auch diesem Theil der Aussenwelt gegenüber concentrische Stellung genommen.

Die concentrische Aufstellung ist aber nur bei den unvollkommensten Thieren rundum die gleiche, weiter aufwärts in dem Thierreich entwickelt sich stets ein Theil der Peripherie zu einer Angriffsseite und zwar ist es stets der um die Eingangspforte, den Mund, liegende Theil, der bei den sesshaften Thieren nach oben, bei den flottirenden meist nach unten, bei den aktiv mobilen meist seitlich liegt.

§ 307.

Ein zweites, aber erst sekundär auftretendes Strategem, zu dem die Natur greift, um die Leistungsfähigkeit des Multicellulatenkörpers zu steigern, wird durch die Systeme repräsentirt.

1) Zur Herstellung eines einheitlichen Commandos und eines im Commando zusammenlaufenden Rapportierungssystems wird eine eigene Protoplasmart, die der Nerven, verwendet, die durch ihre hohe Leitungsfähigkeit in der Lage ist, eine beherrschende Stellung einzunehmen. Seine Leistung verlangt ebenfalls eine bestimmte räumliche Anordnung, und diese ist im allgemeinen die eines radiär den Körper durchsetzenden Telegraphensystems, dessen Centralstation im beschützten Centrum liegt.

2) Hierzu gesellt sich die Herstellung eines intermediären Stoffwechsels behufs allseitiger Verproviantirung aller Körpertheile, und geregelter Abfuhr der Abfallprodukte, was durch die Gefäßsysteme bewirkt wird, deren räumliche Anordnung im allgemeinen die gleiche ist wie die des Nervensystems: ein radiäres, vom beschützten Centrum nach der Peripherie ausstrahlendes, in Zu- und Abfuhrwege zerfallendes Kanalwerk, dessen Inhalt von einer Centralstation aus bewegt wird. Dass auch diese Canalisation in ihrer Leistung von der morphologischen Anordnung abhängt, ist einleuchtend, da es sich um methodisch geordnete Zuleitung und Ableitung auf kürzestem Wege mit möglichst wenig Friktion handelt.

Nicht alle Multicellulaten besitzen diese Systeme, die niedersten derselben, Catallakten, Radiolarien und die Cölenteraten (mit Ausnahme der Quallen, bei denen Nerven gefunden sind) sind nerven- und gefässlos.

§ 308.

Das dritte Stratagem ist die Zerlegung der concentrisch aufgestellten Massen in coordinirte kleinere Abtheilungen (Segment- und Organbildung). Hierdurch ist die Möglichkeit einer weitergehenden Arbeitstheilung innerhalb der Schichten, und damit die der Bildung von Specialwaffen und der Beschränkung der Aktion auf einen bestimmten Theil der Peripherie gegeben. Auch hierbei wird ein gewisses System der weitergehenden Gliederung vom Einfacheren zum Zusammengesetzteren befolgt.

§ 309.

Ein weiterer Zusammenhang zwischen morphologischem Aufbau und den sociologischen Funktionen ist durch die Erfordernisse der Ortsbewegungsfähigkeit bedingt. Während die frei lebenden Zellen mittelst Wurzelfüssen oder Flimmerhaaren und Geißeln sich leicht im Raum bewegen, und dies auch noch dann ge-

lingt, wenn die Zahl der zum Gesamtorganismus zusammen tretenden Zellen nicht gross, letzterer also klein ist, beeinträchtigt eine grössere Anhäufung zu grossen Thierleibern die Ortsbewegungsfähigkeit sofort. Deshalb treffen wir auf der Organisationsstufe der Cölateratie und der niedern Stufen der Enteratie fast nur pflanzenartig festsitzende Thiere. Erst nach der Erfüllung gewisser, genau nach Mass und Lage geordneten mechanischen Bedingungen, die von inneren und äusseren architektonischen, die Stabilität und Labilität bedingenden Verhältnissen abhängig sind, wird der Multicellulatenleib wieder zur Lauf-, Schwimm- oder Flugmaschine und gewinnt dadurch eine höhere biologische Selbständigkeit.

In den folgenden Abschnitten soll gezeigt werden, in welcher Weise die Differenzirung der sociologischen Funktionen in aufsteigender Ordnung erfolgt und zwar betrachten wir dabei zuerst die concentrische Differenzirung der Funktionen (Physiologie der Schichten des Thierkörpers), dann die Funktion und fortschreitende funktionelle Differenzirung der Systeme und endlich den Werth und die fortschreitende Differenzirung der Segment- und Organbildung.

18. Die sociologischen Funktionen.

b) Die concentrische Differenzirung der sociologischen Funktionen.

(Physiologie der Schichten).

§ 310.

Die niedersten thierischen Multicellulaten, die nur aus einer Schicht von Zellen bestehenden Catallakten, sind die einzigen, bei denen eine concentrische Differenzirung der Funktionen und damit auch jede Arbeitstheilung mangelt. Eine solche tritt zuerst auf bei den Radiolarien, die aus einer Centralzelle und einer Rindenschicht von freiem undifferenzirtem Protoplasma mit eingebetteten kleinen gelben Zellen aufgebaut werden. Nach dem was man bis jetzt weiss, scheint es sich um die Sonderung der Funktionen zur Erhaltung des Individuums, die ausschliesslich von der äusseren Schicht besorgt werden, von der Funktion der Fortpflanzung, die der Centralzelle zukäme, zu handeln. Die Untersuchungen hierüber sind jedoch noch nicht abgeschlossen, ausserdem ist die Funktion

der im Rindenprotoplasma eingelagerten gelben Zellen nicht aufgeklärt.

Die Radiolarien (und Catalakten) sind die einzigen thierischen Multicellulaten, bei denen eine centrale Nahrungshöhle fehlt und die Schichtung deshalb nur nach aussen Front macht; sie stehen also in dieser Beziehung auf gleicher Stufe mit den höheren Pflanzen.

§ 311.

Mit dem Auftreten einer centralen Nahrungshöhle, die in der aufsteigenden Reihe der Organisationstypen zuerst mit dem Typus der Cölenteraten erscheint, beginnt die für den vielzelligen Thierkörper so charakteristische, ihn von der vielzelligen Pflanze unterscheidende Sonderung der sociologischen Functionen in die animalen und vegetativen.

Die Nahrungshöhle, die stets mindestens durch Eine Oeffnung mit der Aussenwelt in Verbindung steht, erhält durch die Thätigkeit contractiler Körpertheile feste und flüssige Stoffe (Nahrungsstoffe) zugeführt, die, wie bereits gesagt, dem Pflanzenreich oder dem Thierreich entnommen werden: Entweder sind es ganze Thiere oder Pflanzen oder Theile von solchen. Die Aufnahme dieser Nahrungstoffe in die rings von lebendigen Zellen umschlossene Nahrungshöhle hat folgende Konsequenzen:

1) Schon einfach ihre Abschlüssung von den umgebenden Medien bewirkt, sofern die Nahrungsstoffe bei der Aufnahme noch lebendig waren, dass sie (die spezifischen Parasiten ausgenommen) absterben, womit der wichtigste Widerstand gegen ihre Auflösung gebrochen ist.

2) Werden sie der Einwirkung der verdauenden Fermente ausgesetzt, welche wohl jedes lebendige Protoplasma bei seinem Stoffwechsel ausscheidet. Solcher Fermente kennt man folgende: a) Peptonisirende, die Eiweiss in Pepton, eine lösliche, leichter als Eiweiss diffundirbare Substanz, umsetzen; b) saccharificirende d. h. Stärkemehl (und Cellulose?) in Zucker verwandelnde; c) fettemulgirende, d. h. Fett in feinste Kügelchen zertheilende. Durch die Einwirkung dieser Fermente, von denen das peptonisirende noch durch Abscheidung von Säuren, das fettemulgirende noch durch den verseifenden Einfluss von alkalischen Salzen unterstützt ist, wird ein Theil der Nahrungsstoffe theils verflüssigt, theils so fein zertheilt (Fette), dass er von den die Nahrungshöhle begrenzenden Zellen aufgesogen werden kann.

3) Dieser Prozess, den man Verdauung nennt, wird unterstützt durch mechanische Bewegungen, welche von den contractilen

Schichten des Leibes ausgehen. Sie bewirken eine innige Vermengung aller Theile der Nahrung mit den Verdauungssäften zu einem immer homogener werdenden Speisebrei, Chymus, von dem immer wieder neue Portionen in Berührung mit der verdauenden und aufsaugenden Wandfläche gelangen.

4) In den meisten Fällen sind die Nahrungsstoffe nicht völlig verdaulich, sondern enthalten unverdauliche Bestandtheile. Ihre Bedeutung ist jedoch keineswegs eine passive, sie sind meist unbedingt erforderlich, um durch die von ihnen bei der Bewegung des Speisebreies ausgeübten mechanischen Reize die Wandzellen zur Absonderung der Verdauungssäfte anzuspornen, werden dann allerdings zuletzt mechanisch aus der Nahrungshöhle entfernt und bilden mit einem Theil der Absonderung der Höhlenwände den Koth des Thieres. Zur Kothabsetzung dient entweder die gleiche Öffnung, die auch die Nahrungsaufnahme vermittelt (z. B. Cölenteraten) oder es existirt hierfür eine eigene Öffnung, der After.

5) Durch die Aufnahme eines Nahrungsvorrathes in das Innere des Körpers ist eine für längere oder kürzere Zeit anhaltende Verproviantirung des Gesamtkörpers erreicht, welche dem Thiere die Möglichkeit einer freieren Existenz gibt. Während die Pflanze an den nahrungspendenden Boden gefesselt ist, kann das verproviantirte Thier sich von ihm in erheblichem Masse frei machen.

6) Die Zellen der Thierkörper nehmen, wie schon früher erwähnt, bei ihrer schichtweisen Ordnung und Differenzirung eine doppelsinnige Aufstellung: Die nach aussen belegenen, dem Eifluss der umgebenden Medien zumeist ausgesetzten Schichten treten vorwiegend mit diesen in Stoff- und Kraftwechselbeziehung, während diejenigen, welche die Nahrungshöhle umgeben, sich mit der Bildung und Verarbeitung des Speisebreies befassen. Diese Sondernung der sociologischen Funktionen nach zwei entgegengesetzten Richtungen des Raumes beherrscht von jetzt an die ganze physiologische (und morphologische) Differenzirung. Man bezeichnet die nach aussen hin gerichteten Thätigkeiten als die vorzugsweise thierischen, also als animale, die nach innen gegen die Nahrungshöhle gerichteten als solche, welche auch den Pflanzen zukommen, also als vegetative, was freilich in so fern eine ganz unglückliche Bezeichnung ist, als gerade die Pflanzen keine Nahrungshöhle haben und ihnen mithin gerade das fehlt, was beim Thier „vegetativ thätig“ ist.

7) Mit der offenen Verbindung, deren die Nahrungshöhle mit der Aussenwelt bedarf, ist die Nothwendigkeit einer die concentrische Zerlegung der Funktionen kreuzenden physiologischen (und

morphologischen) Differenzirung der Körper gegeben. Die Aufnahme der Nahrung in die Nahrungshöhle verlangt, dass sich in der Umgebung der Mundöffnung aggressive Werkzeuge zur Ergriffung und Einverleibung der Beute entwickeln, womit der Körper sich in eine Angriffsfront und eine vorzugsweise beschützte Vertheidigungsfront differenzirt.

8) Bei den Cölenteraten bei denen die Nahrungshöhle der einzige innerliche Raum ist, wird sie auch noch benützt, um den Eiern, beziehungsweise den frisch ausgeschlüpften Jungen, einen geschützten Ort zu bieten, und ist somit hier auch noch Bruthöhle.

§ 312.

Bei kleinen Thieren mit dünnwandigem Leib genügt für die Verdauung und Aufsaugung der Hohlraum, welcher durch einfache Aushöhlung des Körpers entsteht. Mit der Massezunahme des Körpers in der Dicke ist eine Vergrößerung der Wandfläche erforderlich, da das verdaute Quantum unter sonst gleichen Umständen in geradem Verhältniss zur Oberfläche steht. Die Vergrößerung der Oberfläche wird durch Umwandlung des Sackes in einen langen Kanal und durch Faltung der Oberfläche erreicht.

Umgekehrt pflegt bei parasitischen Thieren, welche im Speisebrei oder in den noch vollkommener aufsaugbaren Ernährungsflüssigkeiten ihrer Wirthe leben, die Nahrungshöhle zu mangeln, und damit fehlt die räumliche Trennung der animalen und vegetativen Funktionen, die Ernährung geschieht durch die äussere Körperoberfläche.

Wo die Nahrungshöhle in einen längern Kanal ausgezogen ist, wird eine Fortbewegung des Speisebreies durch denselben erforderlich und in der Regel steht in diesem Falle die Nahrungshöhle durch zwei Oeffnungen mit der Aussenwelt in Verbindung, einer Aufnahmeöffnung (Mund) und einer Auswurföffnung (After). Aufnahme und Entleerung erfolgen nur zu bestimmten Zeiten und die Fortbewegung des Inhaltes ist ebenfalls keine continuirliche, sondern es findet meistens in einem bestimmten Abschnitt des Verdauungsrohres (Magen) ein längeres Verweilen statt.

§ 313.

Nur bei den aller niedersten und einfachsten hohlen Thieren mangelt der Nahrungshöhle eine weitere Differenzirung; auf einer höheren Organisationsstufe sondert sie sich in Abschnitte, denen verschiedene Funktionen zukommen. Die allgemeinste

Sonderung ist die in Magenöhle, Schlund und Darm. Die Magenöhle ist dann der eigentliche Verdauungsraum, der Schlund nur zuleitendes Rohr, der Darm Ausweg für den Koth.

Eine weitere Differenzirung trifft dann zunächst den Darm: Durch Verlängerung desselben wird ein längeres Verweilen des Speisebreies in ihm ermöglicht und so die Gelegenheit zu einer Fortdauer der Verdauung und Aufsaugung gegeben, der an den Magen anschliessende, mehr verdauende Theil ist die Dünndarmöhle, während das Endstück als Dickdarmöhle vorzugsweise Kothreservoir ist, ohne jedoch auf Aufsaugung und Verdauung ganz zu verzichten. Bei den höheren Wirbelthieren entwickelt sich, wie schon im morphologischen Theile erläutert wurde durch Einstülpung des Perisoms noch eine Kloakenöhle, die dann dem eigentlichen Darm die Aufgabe, Kothreservoir zu sein, abnimmt bei Reptilien und Vögeln auch noch den Harn sammelt und die Geschlechtsprodukte durchpassiren lässt, während bei den Säugethieren für Harn- und Geschlechtsprodukte ein eigener Abfuhrweg sich abspaltet.

Im Bereich des Schlundes tritt bei manchen Thieren in sofern eine Differenzirung ein, als sich an ihm eine Stelle magenartig erweitert (Kropf), in welcher die Nahrung eine gewisse Vorverdauung insbesondere Erweichung erfährt.

Seltener ist eine Sonderung der Magenöhle in mehrere Räume (Drüsenmagen und Muskelmagen oder drüsenlosen Vormagen und drüsentragenden Hauptmagen).

Durch Einstülpung des Perisoms an der Mundöffnung wird bei vielen Thieren noch eine Mundöhle geschaffen, die hauptsächlich zum Aufenthalt der Nahrung während des Kaugeschäftes dient.

§ 314.

Nachdem wir die Bedeutung der centralen Nahrungshöhle kennen gelernt haben, müssen wir uns mit der sociologischen Arbeitstheilung beschäftigen, welche sich daraus ergibt, dass der Körper der hohlen Thiere in eine mit der Höhe der Organisation stetig zunehmende Anzahl concentrischer Schichten von verschiedener physiologischer Befähigung zerlegt ist. Da die Arbeitstheilung natürlich verschieden ausfällt je nach der Zahl der differenten Schichten, die den Körper zusammen setzen, so müssen die verschiedenen Schichtungsstufen gesondert besprochen werden. Wir beginnen mit der Stufe der Zweischichtigkeit, bei welcher der Körper nur aus zwei Zelllagen, dem Exoderm und Entoderm, besteht. Solche Thiere sind die meisten Cölenteraten.

Hier ist das Exoderm der Träger der sogenannten animalen d. h. nach aussen hin gerichteten Funktionen: Bewegung, Empfindung, Beschützung und Athmung. Das Entoderm tritt in Beziehung zum Inhalt der Nahrungshöhle und besorgt die Verdauung und Aufsaugung der Nahrung (vegetative Funktion). Bezüglich der Absonderung tritt hier eigentlich noch keine Arbeittheilung ein, es sondern beide Schichten, wenn auch wahrscheinlich nicht die gleichen Stoffe ab. Ueberhaupt ist bei den Duodermaten der Unterschied in der physiologischen Befähigung der beiden Schichten noch nicht sehr gross, wie aus der Thatsache hervorgeht, dass man einen Süswasserpolypen umstülpen kann wie einen Handschuhfinger, so dass das Entoderm nach aussen, das Exoderm nach innen zu liegen kommt, ohne dass eine mehr als vorübergehende Störung seiner Lebensfunktionen eintritt. Bezüglich der Fortpflanzungsfunktionen wird jetzt die Angabe gemacht, dass das Exoderm den Samen, das Entoderm die Eier produziere.

Die Sonderung der physiologischen Funktionen ist übrigens nicht bei allen Duodermaten gleichartig; dieselben sondern sich in zwei nicht nur morphologisch, sondern auch physiologisch erheblich verschiedene Typen, die wir gesondert zu betrachten haben.

§ 315.

Bei den Poriferen (Spongien oder Schwämmen der Autoren) steht die centrale Nahrungshöhle durch zweierlei Oeffnungen mit dem umgehenden Medium in Verbindung: durch eine grössere primäre (das Osculum) und durch zahlreiche sekundäre, völlig verschliessbare Poren. Die Entodermzellen tragen Geisselfäden. Die Bewegung der letzteren erzeugt einen Wasserstrom, der zu den offenen Poren herein und zum Osculum herausgeht. Da dieser Strom sowohl das Material zur Athmung, als das zur Ernährung zu- und die Auswurfstoffe abführt und die Verdauung ebenfalls von den Entodermzellen ausgeht, so leistet das Entoderm nicht blos die Chemik sondern auch die Mechanik sämtlicher vegetativen Vorgänge, mit der Ausnahme, dass das Exoderm wahrscheinlich seine Athmung selbst besorgt und gewisse Absonderungen an das umgebende Medium liefert. Dem Exoderm fällt bei den Schwämmen einmal die zeitweilige Oeffnung und Schliessung der Poren zu, wodurch es die Ernährungsfunktionen zu reguliren vermag. Denn während der Schliessung hört der Athmungs- und Ernährungsstrom auf und die Entodermzellen ziehen ihre Geisselfäden ein. Die Schliessung der Poren scheint durch Reizung von aussen, die Oeffnung durch sympathische Beeinflussung seitens

der Entodermzellen zu geschehen. Eine weitere Funktion des Exoderms ist die Beschützung des Gesamtkörpers, die hier durch passive Mittel d. h. durch stachelige Hartgebilde, die das Exoderm erzeugt, vermittelt wird. Ob bezüglich der Reizwahrnehmung bereits eine Arbeitstheilung vorliegt, ist noch nicht ermittelt. Gross wird die Differenz jedenfalls nicht sein, denn die Poriferen unterscheiden sich noch dadurch von andern Thieren, dass in ihrer Nahrungshöhle so constant eine grosse Zahl von Parasiten hausen, dass man sie früher gar nicht für selbständige Wesen, sondern für „Wurmnester“ hielt.

§ 316.

Bei den Nesselthieren (Coelenteraten im engeren Sinne des Wortes) ist die bei den Poriferen angebahnte, aber noch sehr unvollständige Arbeitstheilung zwischen Exoderm und Entoderm besser durchgeführt.

Die Nahrungshöhle hat nur Eine Oeffnung (von den Poren der Seeanemonen können wir hier absehen), so dass kein Wasserstrom durch sie hindurch möglich ist. Damit ist das Entoderm von der Funktion der Athmung fast völlig ausgeschlossen (nur bei wenigen Thieren kommt Darmathmung vor) und diese vollständig dem Exoderm überwiesen (Hautathmung). In die Nahrungshöhle gelangen nur die fixen Nährstoffe mit etwas Wasser oder Luft und damit ist das Entoderm auf die Verdauung und Resorption beschränkt, also nur nutritiv thätig, wir nennen es deshalb auch besser nutritive als vegetative Schicht.

Das Exoderm empfängt die Reizeindrücke aus dem umgebenden Medium, ist also empfindend. Ferner zeichnet es sich durch eine höhere Contraktilität aus (seine Zellen sind nach Kleinenberg Neuromuskelzellen) und übernimmt so den mechanischen Theil der biologischen Verrichtungen, die bei den festsitzenden auf Ergreifung von Nahrung und Zusammenziehung des Leibes beschränkt sind (nur wenige dieser Thiere, wie die Fleischpolypen und die Quallen, besitzen dauernd Ortsbewegung, bei den übrigen sind es nur die frisch aus dem Ei kommenden Jungen, welche durch den Flimmerbesatz des Exoderms zum Schwimmen befähigt sind). Die Beschützung, die dem Exoderm stets zufällt, wird hier durch Nesselzellen ausgeführt. Das Exoderm ist also hier hauptsächlich in der Richtung des Kraftwechsels thätig und da man Empfindung und Bewegung animale Funktionen nennt, so kann man in diesem Fall das Exoderm

animale Schicht nennen. Mit der Besorgung der Athmung und eines Theils der Absonderung z. B. von Nesselgift ist das Exoderm übrigens auch vegetativ thätig.

§ 317.

Mit dem Auftreten des Mesoderms ist eine Dreitheilung der Funktionen gegeben und zwar so, dass das Entoderm seine vorwaltend nutritive Funktion behält, dagegen die Funktionen des Exoderms sich spalten: Das Mesoderm, dessen Elemente durch höhere Contractilität sich auszeichnen, übernimmt den mechanischen Theil der animalen Funktionen (motorische Schichte); dem Exoderm bleibt die Empfindung (sensitive Funktion), die Athmung und die Beschützung nebst einer gewissen stofflichen Absonderung. Demnach können wir jetzt das Exoderm die sensitiv-respiratorische und beschützende Schicht nennen, obwohl mit dieser Benennung seine Funktion nicht erschöpft ist. Solche Tridermaten sind die höher entwickelten Nesselthiere.

§ 318.

Die entscheidendste sociologische Complication entsteht durch die Spaltung des Mesoderms in ein animal-motorisches, mit dem Exoderm in Verbindung bleibendes, und in ein vegetativ-motorisches, dem Entoderm sich anlegendes Blatt, indem sich zwischen diese beiden motorischen Schichten eine neue, das Gefäßblatt der Embryologen oder, wie ich sie im ersten Band nannte, die perigastrische Schicht einlegt. Bekanntlich nennt man diese Thiere im Gegensatz zu den Cölateraten Darmthiere oder Enteraten.

Was zuerst die beiden Mesodermblätter betrifft, so übernimmt das innere, dem Entoderm sich anschliessende, die mechanische Arbeit, welche die nutritive Thätigkeit des Entoderms beanspruchen muss, um den Speisebrei zu mischen und zu bewegen. Die Nahrungshöhle hat nämlich bei den auf dieser Organisationsstufe stehenden Thieren in der Regel eine zweite Oeffnung erhalten und ist zu einem mehr oder weniger gestreckten Kanal geworden, durch den die Nahrungsstoffe vom Mund zum After hindurch bewegt werden; diese Fortbewegung und die Ausstossung des unverdauten Theils der Nahrung sowie der von den Entodermzellen ausgeschiedenen Stoffe übernimmt das innere Mesodermblatt.

Das äussere Mesodermblatt stellt sich in den Dienst

des Exoderms und besorgt die mechanischen Leistungen, mit welchen das Thier in Beziehung zur Aussenwelt tritt, (Nahrungsaufnahme und Ortsbewegung, Angriff und Vertheidigung).

§ 319.

Das Neue auf dieser Stufe der Fünfschichtigkeit ist die perigastrische Schicht, die von einer Flüssigkeit vom Charakter einer primären Ernährungsflüssigkeit (Lymphe) gebildet wird.

Die erste Consequenz ihres Auftretens ist die Zerlegung des Körpers in zwei Theile, Hautmuskelschlauch und Darmschlauch, die dadurch in der Ausübung ihrer speziellen Funktionen eine grosse Unabhängigkeit von einander geniessen. Jetzt ist die Möglichkeit einer zeitlichen Arbeitstheilung gegeben: der Darm kann arbeiten, während das Perisom ruht und umgekehrt, was beim Cölenteraten nicht der Fall ist.

Die zweite Consequenz ist die, dass die perigastrische Flüssigkeit, die Lymphe, die in § 292 u. ff. geschilderte vermittelnde Thätigkeit übernimmt. Hierbei spielt der Umstand die wichtigste Rolle, dass sie nicht stagnirt, sondern in Bewegung ist. Bei den herzlosen Enteraten (Bryozoen) besitzt dieselbe noch keine geordnete Bewegung, da sie nur durch die unregelmässigen Bewegungen des Perisoms und des Darmschlauchs verschoben wird; deshalb ist bei der Vermittlung die Diffusion noch hervorragend thätig. Bei den höheren Enteraten (Mollusken und den meisten Artikulaten) wird sie dagegen noch ausserdem durch die Thätigkeit eines Herzens in regelmässige kreisende Bewegung versetzt.

§ 320.

Die sociologische Thätigkeit der perigastrischen Lymphe bezieht sich auf folgende Punkte:

1) Sie vermittelt die Stoffwechselbeziehungen zwischen Darmschlauch und Perisom. Ersterem entnimmt sie den Ueberschuss von resorbirten Nährstoffen und überbringt sie dem Perisom, letzterem entnimmt sie den Ueberschuss von aufgenommenem Sauerstoff und liefert ihm dem Darm. Der Darm gibt seine Umsatzprodukte, soweit sie nicht in die Darmlichtung gelangen und durch den After fortgeschafft werden, also die Kohlensäure, die Salze und verschiedene lösliche Stoffe, an die Lymphe ab, diese überliefert die Kohlensäure dem Perisom zur Ausstossung und sorgt in der nachher zu erwähnenden Weise für die Entfernung der übrigen Umsatzprodukte. Auch der Wärmetransport wird von

ihr vermittelt, indem sie die in der Darmwand gebildete Wärme an den Hautmuskelschlauch abliefern.

2) Sie wirkt ausgleichend. Perisom und Darmschlauch beeinflussen sie fortwährend abändernd, aber jedes in etwas anderer Richtung; dadurch nun, dass die Lymphe in steter lebhafter Bewegung ist, behauptet sie eine in hohem Masse sich gleichbleibende Beschaffenheit und stellt eine Harmonie der inneren Ernährungsbedingungen her.

3) Sie übernimmt die Exkretion bestimmter Bestandtheile des Stoffumsatzes, nämlich der Salze und der stickstoffhaltigen Auswurfstoffe, entweder direkt oder indirekt, indem sie dieselben an eigene, zu diesem Behuf sich entwickelnde und in sie eintauchende Exkretionsorgane bringt. Die direkte Vermittlung findet man rein nur bei den Protenteraten (Bryozoen): durch eine Oeffnung (Porus excretorius) steht die perigastrische Flüssigkeit in direkter Kommunikation mit dem umgebenden Wasser. Indem ein Theil der Lymphe nach aussen tritt, ist eine Exkretion gegeben. Diese Art der direkten Exkretion ist jedoch eine sehr unvollkommene, weil verschwenderische (Eiweissverlust). Sie wird deshalb schon bei den niederen Thieren durch die Vorlage des Wassergefäßsystems zu einer indirekten, insofern letzteres nur das durchlässt, was durch eine Eiweissmembran filtriren kann und das sind wesentlich nur die Krystalloide. Die abgesonderte Flüssigkeit wird Harn und zwar speciell Lymphharn genannt.

4) Mit der Anwesenheit einer cirkulirenden Flüssigkeit ist die Möglichkeit einer horizontalen Differenzirung der Funktionen neben der in der Schichtung gegebenen concentrischen Differenzirung gegeben, wovon später.

Wollen wir nach dem Gesagten die Funktion der perigastrischen Schichten mit einem Worte bezeichnen, so müssen wir sie als cirkulatorische Schicht und physiologisches Stoffwechselcentrum ansprechen.

§ 321.

Eine noch höhere Differenzierungsstufe der Funktionen entsteht durch eine weitere Sonderung des Körpers in verschiedenartige Gewebsschichten, wobei aber zwei Fälle auseinander zu halten sind.

1) Der Weg, den der Artikulatentypus einschlug, indem er auf den Grenzschichten (vollständig allerdings nur auf dem Exoderm) eine Cutikularschicht, die keine Zellen enthält, absondert.

2) Der Weg, dessen sich hauptsächlich der Wirbelthier-typus bedient hat: zwischen die Grenzschichten und die motorischen Schichten je eine Bindegewebsschicht einzuschalten.

Diese weiter gehende Arbeitstheilung tritt zuerst im Gebiet des animalen Rohrs ein, im vegetativen fehlt sie z. B. den Gliederthieren noch ganz und erst mit der hohen Complication des Wirbelthierleibes sehen wir sie auch da erscheinen. Eine genauere Besprechung erfordert die getrennte Behandlung der beiden, des Gliederthier- und Wirbelthiertypus, da die Verschiedenheit derselben eine ganz durchgehende ist.

§ 322.

Die Bedeutung der cuticularen Schicht, (der Chitinhaut), welche sich in besonderer Stärke bei den Gliederthieren auf der Oberfläche entwickelt, ist in erster Linie eine beschützende, in zweiter Linie eine passiv motorische (äusseres Skelet). Insofern nämlich die Bestandtheile der Muskelschicht sich mit ihr in festere Verbindung setzen, ist die Möglichkeit zur Hervorbringung von Stellungsveränderungen der grösseren Körperabschnitte zu einander geschaffen. Dies erfordert aber, dass die motorische Schicht der Cuticularis möglichst nahe liegt; aus diesem Grunde fehlt die Einschaltung einer Bindschicht zwischen Exoderm und motorischer Schicht entweder völlig oder sie zeigt wenigstens da Unterbrechungen, wo die Muskeln mit cuticularen Skelettheilen in Verbindung treten.

Eine weitere Funktion, welche die Chitinhaut neben ihrer tektorischen und passiv kinetischen Thätigkeit übernehmen kann, ist die der Schallzuleitung, weil sie leicht soviel Härte und Elasticität gewinnt, dass sie zu einem guten Schalleiter wird (Hautgehör der Insekten, Hörhaare der Krebse (siehe Bd. I § 252).

Die Beeinträchtigung, welche die respiratorische Funktion des Exoderms durch Cuticularentwicklung erfährt, ist bei den Gliederthieren durch deren Porosität gemildert und durch die Entwicklung des Luftgefässsystems völlig gehoben. Die exkretorische und sensitive Leistung, die natürlich ebenfalls beeinträchtigt ist, wird auf dem Weg der Organentwicklung unterstützt.

Auf der Innenfläche des Darms kommt es nur vorn und hinten zur Bildung einer Chitinhaut, die dann eine wesentlich beschützende Rolle spielt: vorn mit Rücksicht auf die derberen Bestandtheile der Nahrung, hinten mit Rücksicht auf die härteren Kothballen.

§ 323.

Die sociologische Bedeutung der Bindschichten, die sich bei höheren Thieren, insbesondere den Wirbelthieren, zwischen die Grenzsichten und die Muskelschichten und zwar am Perisom als Cutis und am Darm als Mucosa einschieben, ist diese:

Für die aus den Grenzsichten sich entwickelnden Organe geben sie die Lagerstätten ab (organbergende Funktion). Mit der steigenden Empfindlichkeit des Protoplasmas der höheren Thiere gegen die zerstörend wirkenden Einflüsse des umgebenden Mediums (und des Speisebreies) wird eine Versenkung der funktionirenden Grenzzellen in die Tiefe erforderlich; ebenso mit der Massezunahme des Körpers eine Vergrößerung der Oberfläche, die nur auf dem Wege der Faltung und Einstülpung, also Organbildung, erreicht werden kann. Hierfür gewährt die Bindschicht den nöthigen Raum. Auf dem Gebiet des Stoffwechsels sind es die Drüsen, auf dem Gebiet des Kraftwechsels die Empfindungsorgane. Hierbei handelt es sich jedoch nicht blos um die räumlichen Verhältnisse, diese Organe bedürfen zu ihrer Funktion eines ausgiebigen Contactes mit den Ernährungsflüssigkeiten. Dies geschieht dadurch, dass die Bindschichten ein reiches, die Organe umspinnendes Gefässnetz entwickeln; sie sind also wesentlich Gefässschichten oder, um die Sache physiologisch zu bezeichnen, cirkulatorische Schichten.

Dies fordert zu einem Vergleich mit der ebenfalls cirkulatorischen perigastrischen Schicht heraus. Bei den niederen Thieren, z. B. den Gliederthieren tauchen die Drüsen direkt in die perigastrische Lymphe. Bei der Mächtigkeit, welche die Muskelschichten in dem grossen Leib der Wirbelthiere erlangen, wäre dies nicht mehr angänglich, denn die Organe müssten die Muskelschichten durchwachsen, was nur den grossen Drüsen möglich ist. Diesem Uebelstand wird durch die Bindschichten abgeholfen: sie übernehmen eine subsidiär cirkulatorische Funktion im Dienste der Grenzsichten und ihrer zahlreichen kleinen Organe.

§ 324.

Rekapituliren wir jetzt, so haben wir auf der Schichtungsstufe der Siebenschichtigkeit (beim Vertebratentypus) folgende Arbeitstheilung:

1) Eine Dreitheilung, aussen das Perisom als animal arbeitender Schichtenkomplex, innen Darm als nutritiv arbeitender Schichten-

komplex, dazwischen als physiologisches Centrum die cirkulatorische Schicht.

2) Perisom und Darm sind, jedes für sich, wieder nach dem Princip der Dreitheilung zerlegt und zwar auch hier so, dass zwischen zwei arbeitende Schichten eine subsidiär cirkulatorische, die Bindschicht, sich einschiebt. Die arbeitenden sind je eine motorische Schicht und am Perisom das respiratorische, sensitive, beschützende und exkretorische Exoderm, am Darm das ernährende und secernirende Entoderm.

Damit ist aber die concentrische Differenzirung noch nicht auf der höchsten Stufe angelangt, wie aus dem morphologischen Abschnitt zu ersehen ist, indem jede der bisher genannten Gewebsschichten (mit Ausnahme des Entoderms) wiederum sich spaltet und zwischen die cirkulatorische Schicht jederseits d. h. nach der Darmseite und der Perisomseite je zwei neue feste Schichten einschalten, so dass wir 17 Schichten erhalten. Die daraus sich ergebende Arbeitstheilung besteht der Reihe nach in Folgendem.

§ 325.

Wenn das Exoderm sich in die Hornschicht und Schleimschicht sondert, so handelt es sich darum: Das Protoplasma der höheren Thiere ist gegen den Contact mit den umgebenden Medien, ganz in Uebereinstimmung mit seiner grösseren Differenzivität, so empfindlich geworden, dass es in unmittelbarer Berührung mit denselben abstirbt. Während nun die Artikulaten sich hiergegen dadurch schützen, dass sie eine Chitinhaut um sich herum absondern, verschafft sich der Wirbelthierkörper diesen Schutz eben durch das Absterben der obersten Exodermis: Es entsteht eine eigene tektorische Schicht aus abgestorbenen Zellen (Hornschicht).

Nach dem früher erörterten Gesetze, dass abgestorbene Theile von den lebenden abgestossen werden, also auch eine abgestorbene Schicht eben, weil sie todt ist, die ihr von den umgebenden Medien beigebrachte Abnützung nicht wider zu ersetzen vermag, erfordert die Fortdauer dieses Schutzes einen steten Materialnachschub, welcher der Abnützung auf der Aussenseite das Gegengewicht hält. Da diese Abnützung nichts anders als ein Abfallen abgestorbener Exodermzellen ist (Hautabschuppung, Häutung, Härung, Mauserung), so kann der Materialnachschub nur in Form einer Neuproduktion von Exodermzellen geschehen. Das ist die Aufgabe der Schleimschicht, die demnach eine reproduktorische Funktion im Dienste der Beschützung ausübt.

Beim Entoderm findet zwar auch fortwährend Absterben und Abstossen von Zellen statt, allein die geringere Aggressivität des Speisebreies erfordert keine solche räumliche Sonderung der reproduktorischen Funktion von der tektorischen. Nur in den Einfuhrwegen wie Mund, Schlund, Vormagen etc. und zwar besonders bei Thieren, die sehr rauhes Futter geniessen, tritt eine solche Sonderung auch im Darmrohr ein.

§ 326.

Die subsidiär cirkulatorischen Bindschichten theilen sich in zwei Schichten, um den von den zwei angrenzenden verschiedenartigen Schichten an sie gestellten, natürlich verschiedenartigen Bedürfnissen gerecht zu werden, ganz entsprechend ihrer subsidiären Natur.

Die oberflächliche Lage der Bindschicht tritt vorzugsweise in den Dienst der Grenzschicht, indem sie deren cirkulatorische Bedürfnisse befriedigt und ihre Organe in sich aufnimmt (organbergende oder Drüsenschicht). Die tiefere, an die motorische Schicht angrenzende Lage (subcutanes, beziehungsweise submucöses Bindegewebe) hat eine mannigfaltigere Aufgabe. Durch weiche zugige Beschaffenheit sichert sie die motorische Schicht vor den Widerständen, welche die Grenzschicht den Verschiebungen bereiten würde, wenn sie ihnen hierbei folgen müsste. Am Perisom übernimmt dieses Bindegewebe eine beschützende Rolle: Wegen seiner Zugigkeit und Elastizität beschützt es schon an und für sich den Körper gegen mechanische Insulten, ferner erwächst ihm aus dieser Eigenschaft die Fähigkeit, Fett einzulagern, wodurch es nicht bloss mechanisch beschützt, sondern auch die Wärmeverluste des Gesamtkörpers mindert. Endlich übernimmt es durch die Fähigkeit Fett abzulagern eine subsidiäre Rolle für den Gesamtkörper, insofern das Fett aufgespeichertes Nährmaterial ist.

§ 327.

Die motorische Schicht sondert sich, jedoch nicht überall, in zwei Lagen (Ring- und Längsmuskularis) von verschiedener Zugrichtung: die eine verkürzt den Längsdurchmesser des Körpers die andere den Querdurchmesser. Ausser dieser antagonistischen Arbeitstheilung stehen diese beiden Schichten auch in folgender Weise im Verhältniss der gegenseitigen Unterstützung.

Die Ringmuskularis wirkt durch ihre Contraktionen spannend auf die Längsmuskularis, weil der unkomprimirbare Inhalt des

Körpers bei allgemeiner Zusammenziehung der Ringmuskularis nur nach den beiden Enden des Körpers ausweichen kann und so eine Vergrößerung des Längsdurchmessers anstrebt. Dadurch wird es ermöglicht, dass einseitige Kontraktionen der Längsmuskeln bei gespannter Ringmuskularis nicht eine Verkürzung der Längsaxe, sondern eine seitliche Biegung erzeugen. Jetzt gewinnt der Körper die Fähigkeit der Ortsbewegung: Durch rhythmische abwechselnde Kontraktionen der rechten und linken (oder der oberen und untern Hälfte der Längsmuskularis) entstehen schlängelnde Bewegungen des Körpers, die in Folge des Widerstandes der äusseren Medien nach dem Gesetz des Kräfteparallelogramms zu einer fortschreitenden Bewegung des Gesamtkörpers sich gestalten müssen (schängelndes Schwimmen der Würmer). Bei den mit einem steifen (Exo- oder Endo-) Skelet versehenen Thieren erfolgt die Spannung der Längsmuskularis, welche zu dieser Bewegung nöthig ist, durch das steife Skelett direkt (Wirbelsäule) oder indirekt (unnachgiebige Chitinringe der Artikulaten), so dass hier die Nothwendigkeit einer Ringmuskularis für diese Bewegungsart wegfällt. In diesem Fall fehlt entweder die Ringmuskularis oder sie übernimmt die Bewegung der am Körper hervorgewachsenen Organe, so dass in anderer Weise eine Arbeitstheilung stattfindet.

§ 328.

Die Spaltung der cirkulatorischen Schicht in zwei Schichten, die Blutschicht und die Lymphschicht, die bei den Ringelwürmern und Wirbelthieren auftritt, steht in innigem Zusammenhang mit der Segmentirung, die laut Bd. I § 177 u. folgenden eine Spaltung des Mesoderms in einzelne Stücke ist. Die Spalträume zwischen den Segmenten bilden ein cirkulatorisches Gangwerk, ehe es zur Abtrennung von Darm und Perisom, also zur Bildung des Perigastriums gekommen ist. Indem nun die an die Spalträume grenzenden Zellen der concentrischen Differenzirung anheim fallen und zu einer Röhre sich zusammenschliessen, entsteht ein geschlossenes, die Segmentspalten gleichsam verkörperndes Rohrwerk: ein geschlossenes Gefässsystem, das eine mit flottirenden Zellen versehene Flüssigkeit, das Blut, enthält.

Erst nachdem dies geschehen, löst sich der Darm vom Perisom und heben sich die Gefässröhren von den Bestandtheilen der andern Gewebsschichten ab, wodurch ein neues Gangwerk entsteht. Dieses füllt sich ebenfalls mit einer Flüssigkeit und zwar mit derjenigen, welche auch auf niedrigerer Organisationsstufe die cirkulatorischen Schichten bildet, also Lymphe.

Das wesentliche ist, dass jetzt zweierlei cirkulatorische Flüssigkeiten vorhanden sind: das intravasculare Blut und die extra- oder perivasculare Lymphe, die auch in ihrer Qualität sich erheblich von einander unterscheiden. Die dadurch entstandene Arbeitstheilung ist eine sehr einschneidende und erstreckt sich auf mehrere Punkte.

§ 329.

In mechanischer Beziehung hat die Spaltung der cirkulatorischen Schicht folgende Consequenzen.

Mit dem Auftreten eines geschlossenen Röhrenwerks mit Wänden, die durchaus elastisch, in ihrem ganzen Verlauf oder einem Theile desselben auch noch kontraktil und innen durchaus geglättet sind, gewinnt die Cirkulation einen hohen Grad von mechanischer Selbständigkeit und Freiheit. Damit ist die Möglichkeit einer Steigerung der Cirkulations-Geschwindigkeit gegeben und die weitere Möglichkeit, durch kontraktile Thätigkeit der Rohrwände die Vertheilung des Blutes auf die verschiedenen Körpertheile je nach dem Bedarf zu regeln und zwar unabhängig von den Druckverhältnissen, welche durch die Thätigkeit der übrigen motorischen Schichten geschaffen werden. Das letztere können wir auch so ausdrücken: Die motorischen Theile des Perisoms und des Darms können, ja müssen vielfach die Cirkulation stören beziehungsweise hemmen, diese Möglichkeit ist ihnen zwar nicht völlig genommen, aber in hohem Grad beeinträchtigt, dagegen unterliegt die Cirkulation der extravaskularen Lymphe diesen Störungen noch ungleich mehr als die des intravaskularen Blutes.

Von diesem mechanischen Gesichtspunkt aus können wir die Blutschicht als die frei cirkulatorische, die Lymphschicht als die gehemmt cirkulatorische bezeichnen.

Diese Arbeitstheilung hat ausserdem noch folgende mechanische Bestimmung. Sowohl die Cirkulationsfreiheit des Blutes, als auch die Aktionsfreiheit der motorischen Schichten von Perisom und Darm verlangt die Zwischenlagerung einer verschieblichen Flüssigkeitsschicht zwischen Gefäss und motorischen Theilen. Dies leistet die Lymphe und wir können das als hydrostatische Balancirung bezeichnen.

§ 330.

Eine weitere mechanische Beziehung ergibt sich aus dem Umstand, dass die beiderlei Cirkulationsflüssigkeiten trotz ihrer Scheidung doch in cirkulatorische Verbindung gesetzt sind. Da

die Blutgefässröhren kontraktilen Theile besitzen, ja an einer Stelle zu einem mit hohen mechanischen Kräften ausgestatteten Herz anschwellen, so steht das Blut unter einem viel höheren Druck als die Lymphe. Während nämlich letztere nur unter dem Druck des Perisoms steht, wirkt auf das Blut nicht nur dieser Druck, und zwar in ebenso starker Weise sondern ausserdem auch noch der Herzdruck sowie der kontraktilen und elastischen Gefässdruck. Dies beeinflusst den Stoffaustausch zwischen den beiden durch die Gefässwände getrennten Flüssigkeiten in der Weise, dass nicht bloss osmotischer Verkehr, sondern auch stete Filtration von Blutbestandtheilen in die Lymphräume stattfindet, was eine Speisung der Lymphe durch das Blut, also eine stete Vermehrung des Lymphquantums und Verminderung des Blutquantums bedeutet. Die selbstverständlichen Consequenzen dieser Verhältnisse werden nun dadurch aufgehoben, dass der Lymphe in der Nähe des motorischen Gefässcentrums ein Abflussweg in das Blut eröffnet ist.

Hier ist eine Einschaltung zu machen: Für die Wirbelthiere ist dieser Abflussweg nachgewiesen, für die Anneliden nicht; bei diesen scheint somit der Lymphüberschuss, der sich nothwendig einstellen muss, direkt durch die exkretorischen Schleifenkanäle abgeführt zu werden (Lymphharn).

Da die Filtration in die Lymphe erst in den peripherischen Capillarröhren des Blutgefässsystems Bedeutung gewinnt, der Abflussweg aber in der Nähe des Herzens ist, so wird durch die damit verbundene Druckdifferenz eine Fortbewegung der Lymphe von der Peripherie nach der im Centrum liegenden Abflussöffnung stattfinden. Hiermit ist eine compensatorische collaterale Cirkulation geschaffen, die bewirkt, dass die Gewebe von einem stetigen Lymphstrom durchzogen werden.

§ 331.

Aus dem Vorigen ergibt sich, dass die Lymphe ein Filtrat aus dem Blut ist, also alle Bestandtheile enthält, welche leicht durch die Gefässwand filtriren, dagegen von denen, die schwer oder nicht filtrirbar sind, nichts oder weniger enthält als das Blut; die leicht filtrirbaren sind die krystalloiden, die schwer filtrirbaren die colloiden Verbindungen. Nicht filtrirbar sind die rothen Blutzellen, die deshalb der Lymphe völlig mangeln. Die weissen Blutzellen können sich zwar durch die Blutgefässwand hindurch bohren, thun es aber unter gewöhnlichen Verhältnissen schwerlich, so dass die Lymphe bei ihrer Entstehung eine zellfreie Flüssigkeit ist.

Dieses Verhältniss ändert sich: In den von der Lymphe durchströmten Gewebslücken bleiben Nester von embryoniden, einer starken Vermehrung fähigen Zellen als sogenannte Lymphknoten oder Lymphdrüsen liegen. Indem der Lymphstrom sie durchzieht, schwemmt er solche Zellen (Lymphzellen) ab und führt sie dem Blute zu. Dadurch tritt die Lymphe in den Dienst der Blutbildung. Die rothen Blutzellen, welche die Sauerstoffverfrachtung besorgen, sind äusserst empfindliche und zerstörbare Gebilde, die sich sehr bald abnützen und zu Grunde gehen; indem nun die zugeführten Lymphzellen sich in rothe Blutzellen verwandeln, wird dieser Verlust gedeckt.

Etwas anderes vollzieht sich in den Lymphwegwurzeln, die in der Schleimhaut des Darms beginnen. Die Entodermzellen können von den Stoffen, die sie dem Speisebrei entnehmen, an das durchcirculirende Blut wieder nur diejenigen Stoffe prompt abgeben, welche leicht durch die Gefässwand diffundiren, die schwer diffundirbaren colloiden Stoffe und vollends das nur emulgirte Fett gelangen dagegen viel leichter in die Lymphwege und erst durch Vermittlung dieser in das Blut. So bildet sich eine Arbeitstheilung auf dem Gebiete der Resorption. Die mit aufgesaugten Nährstoffen belastete Darmlymphe nennt man Milchsaff oder Chylus.

§ 332.

Eine andere Arbeitstheilung zwischen Blut und Lymphe vollzieht sich auf dem Gebiete des Gaswechsels, indem dieser in hervorragendem Masse von dem Blute übernommen wird. Dieses belädt sich an den Athmungsflächen mit Sauerstoff und verfrachtet ihn an alle Gewebszellen; als Rückfracht nimmt es von den Gewebszellen die Kohlensäure in Empfang und giebt sie auf den Respirationsflächen an das umgebende Medium ab. Man nennt den Vorgang auf den Athmungsflächen die äussere Athmung, die je nach der Natur der Athmungsfläche Lungenathmung oder Kiemenathmung oder Hautathmung oder Darmathmung heisst; den Gaswechsel zwischen Blut und Gewebszellen bezeichnet man als innere oder Gewebsathmung.

Befähigt wird das Blut zu diesem Gastransport durch folgende Eigenschaften. Die Blutzellen besitzen in dem Blutfarbstoff (Haemoglobin) eine chemische Verbindung, welche den Sauerstoff begierig anzieht, ihn aber nur so locker bindet, dass er leicht an das noch sauerstoffbegierigere Protoplasma der Gewebszellen abgegeben wird und zwar, wie man anzunehmen Grund hat, in ozonisirtem Zustand. Die Verfrachtung der Kohlensäure geschieht

durch das Blutserum, das durch seinen Gehalt an kohlensaurem und zwei basisch phosphorsaurem Natron befähigt ist, die Kohlensäure zu binden, aber so lose, dass es dieselbe zum grössten Theile ohne weiteres an ein kohlensäureärmes Medium abgibt (ein kleines Quantum wird erst durch die fixen Säuren, welche bei Protoplasmaarbeit entstehen, ausgetrieben.)

Die Lymphe beteiligt sich an dem Gaswechsel wohl mehr nur dadurch, dass sie eine gewisse Menge Kohlensäure aus den Geweben auswäscht und dem Blute zuführt.

§ 333.

Auch die absondernde Thätigkeit übernimmt das Blut in hervorragendem Masse. Durch die in den Capillaren erfolgende stete Filtration von Blutserum wird den Gewebszellen das Material zu ihrer chemischen Thätigkeit geliefert. Von diesem Material wird aber nur ein Theil verwendet und daraus werden die Absonderungen bestritten. Der nicht verbrauchte Rest, belastet mit einem Theil der nach innen abgesonderten Stoffe, schlägt als Lymphe sofort wieder den Rückweg ein, beteiligt sich also nicht an der nach aussen hin erfolgenden Absonderung. Mithin bestrittet das Blut die Absonderung eigentlich allein. Wir dürfen deshalb z. B. den Harn der Wirbelthiere im Gegensatz gegen den Lymphharn der Wirbellosen Blutharn nennen und es erklärt sich daraus, dass die Absonderungen in ihrer Stärke in geradem Verhältniss zum Blutdruck stehen.

Eine weitere wichtige Funktion des Blutes ist der von ihm ausgeführte Wärmetransport. Bei der grossen Geschwindigkeit und Regelmässigkeit des Blutkreislaufes vertheilt sich die Wärme im Körper ausserordentlich gleichmässig, jeder Wärmeverlust an der Oberfläche des Körpers wird rasch durch neuen Nachschub aus der Tiefe ersetzt und damit dort eine Wärmeansammlung verhindert. Dies zu leisten ist die Lymphe wegen der Trägheit und Unregelmässigkeit ihrer Bewegung lange nicht in gleichem Masse im Stande.

§ 334.

Wir sagten im § 324, dass sich auf der höchsten Schichtungsstufe (Wirbelthiere) noch vier neue Schichten bilden, die sich je zwei und zwei zwischen die perigastrische Schicht auf der einen Seite, Perisom und Darm auf der andern, einschieben; es sind dies die sogenannten serösen Häute, die aus einer Begrenzungsschicht und einer

darunter liegenden Bindschicht bestehen. Die Serosa, welche die Innenfläche des Perisoms auskleidet, heisst man parietales oder animales Blatt, die dem Darm beziehungsweise den Darmorganen aufliegende wird das viscerales Blatt genannt.

Die Funktion dieser Häute ist vorzugsweise eine beschützende. Die grossen Organe, welche der Darm produziert, hängen in das Perigastrium hinein, das weite von diesen Organen gefüllte Höhlen bildet. Der Darm selbst wächst bei den höheren Thieren viel stärker in die Länge als das Perisom, was nur dadurch möglich ist, dass letzteres sich ausweitet und der Darm sich in der dadurch entstehenden Eingeweidehöhle schlängelt. Damit treten die einzelnen Darmschlingen sowohl untereinander, als mit der Oberfläche der Darmorgane und der Innenfläche des Perisoms in Reibungsverhältniss; dies verlangt aber, bei der Empfindlichkeit des hochdifferenzieren Protoplasmas, eine schützende Bedeckung aller in Reibung tretenden Theile, was durch die glatte, durch Bewegung mit Lymphe stets schlüpfrig bleibende Serosa geschieht. Die weitere Funktion ergibt sich daraus, dass die massige Entwicklung der Eingeweide eine Sicherung ihrer Lage innerhalb der Leibeshöhle durch Aufhängebänder erfordert. Diese liefern die serösen Häute und bilden dann auch die sicheren Bahnen, auf denen die Cirkulationssysteme den physiologischen Verband zwischen Perisom und dem Darm mit seinen Organen aufrecht erhalten können.

19. Die sociologischen Funktionen.

c) Physiologie der Systeme.

§ 335.

Während bei den kleinleibigen, höchst einfach gebauten und primitiv lebenden Cölenteraten die durch die nachbarschaftlichen Beziehungen gegebenen Sympathie- und Cooperationsverhältnisse genügen, sehen wir bei den Darmthieren, wo die Scheidung des Leibes in Perisom und Darm, und später die weitergehende Schichtung und Masseentwicklung des Gesamtkörpers die Sympathie- und Cooperationsbeziehungen beeinträchtigt und der nachbarliche Anstoss viel zu lange brauchen würde, um eine einheitliche rasche Aktion zu erzeugen, die Systeme entstehen. Im morphologischen Theil haben wir deren drei kennen gelernt: 1) die Flüssigkeitssysteme, 2) das Nervensystem, 3) das Knöchensystem.

Die ersten repräsentiren vorzugsweise die Einheit des Stoffwechsels, dienen aber auch zur Leitung freier Bewegungen. Das zweite repräsentirt die Einheit des Kraftwechsels und verknüpft alle Theile des Gesamtkörpers durch die Beziehungen inniger und prompter Sympathie und Cooperation. Das Knochensystem endlich stellt die mechanische Einheit des Körpers her.

Wir betrachten die Systeme und ihre weiteren Differenzirungen im besondern.

§ 336.

Die Flüssigkeitssysteme gehen aus einer Fortentwicklung der perigastrischen Schicht hervor, die, wie § 320 gezeigt wurde, eine cirkulatorische und exkretorische Funktion hat.

An diese doppelte Funktion knüpft zunächst die Scheidung in zwei Systeme, das System der Ernährungsflüssigkeiten und das der Aufenthaltsmedien, an, indem ersteres mehr die cirkulatorische, letzteres mehr die exkretorische Funktion übernimmt. Hierbei stehen aber diese Systeme im Verhältniss der Discorrelation: Je entwickelter das System der Ernährungsflüssigkeiten ist (Wirbelthiere), um so mehr tritt bei dem System der Aufenthaltsmedien die cirkulatorische Funktion in den Hintergrund und sinkt dasselbe zu einem blossen Exkretionsorgan herab; je entwickelter dagegen das System der Aufenthaltsmedien ist, im Vergleich zum System der Ernährungsflüssigkeit (Insekten), desto grösser ist des erstern cirkulatorische Bedeutung. Die Arbeitstheilung zwischen beiden besteht dann mehr darin, dass das System der Aufenthaltsmedien vorzugsweise dem Gas- und Wasserwechsel dient (respiratorisch ist), dasjenige der Ernährungsflüssigkeiten mehr den Wechsel der fixen Stoffe besorgt.

§ 337.

Wie im morphologischen Theile geschildert wurde, beginnt die Entwicklung des Ernährungsgefässsystems mit dem Auftreten eines contractilen Herzrohrs, das als eine Ablösung von dem motorischen Mesoderm betrachtet werden muss und bei den niedern Mollusken und Insekten noch nicht mit Gefässen in Verbindung steht, sondern nach beiden Seiten offen ins Perigastrium mündet. Die damit vollzogene Arbeitstheilung besteht in folgendem:

Wo ein solches motorisches Gebilde fehlt, ist die Cirkulation der perigastrischen Flüssigkeit von der Thätigkeit der motorischen Schichten des Perisoms und Darms abhängig. Indem nun das

Herzrohr die zur Cirkulation erforderliche mechanische Thätigkeit übernimmt, wird die Cirkulation selbständig. Das in der Flüssigkeit liegende, an beiden Enden offene Rohr hat entweder in Folge der Steifigkeit seiner Wände oder der Elastizität beziehungsweise Contraktilität von Theilen, die sich von aussen an dasselbe ansetzen, eine offene Lichtung, während es selbst eine Ringmuskellage besitzt. Zieht sich nun die letztere zusammen, ein Akt, den man Systole nennt, so wird die im Rohr befindliche Flüssigkeit ausgetrieben; dehnt sich das Rohr nach Erschlaffung der Ringmuskularis durch die obigen Umstände wieder aus, ein Akt den wir Diastole nennen, so füllt sich das Rohr wieder. (Eine Systole und eine Diastole zusammen nennt man eine Pulsation oder einen Pulsschlag.)

Hierbei ist es wichtig, dass die Systole nicht in der ganzen Ausdehnung des Rohrs gleichzeitig eintritt, sondern als eine ringförmige Contraction an einem Rohrende beginnt, wodurch dieses verschlossen wird. Indem nun die Contraktionswelle von hier zum entgegengesetzten Rohrende fortschreitet, wird nicht nur das Rohr überhaupt entleert, sondern die Flüssigkeit wird in ganz bestimmter Richtung durch das Rohr hindurch geschoben und zwar in fast continuirlichem Strome: Jeder Rohrquerschnitt tritt sofort, wenn die systolische Contraktionswelle ihn passiert hat, in Diastole; das Rohr ist also bereits wieder mit Flüssigkeit gefüllt, wenn die systolische Welle an der Ausflussöffnung angelangt ist und indem jetzt an der Einströmöffnung eine neue systolische Welle beginnt, folgt der ersten Flüssigkeitswelle sofort die zweite.

Der Effekt dieser Pulsationen des Herzrohrs ist eine bestimmte gerichtete Cirkulation der perigastrischen Lymphe durch die zwischen Darm und Perisom bleibenden Spalträume mit ausgiebiger Mischung. Die quantitative Vertheilung der Flüssigkeit bleibt aber immer noch in erheblichem Masse abhängig von den wechselnden Contraktionszuständen des Perisoms und Darms und diese bestimmen auch zum Theil die Höhe des Flüssigkeitsdrucks. In welcher Weise das Wassergefäßssystem den Druck bei der perigastrischen Flüssigkeit beeinflusst, soll später geschildert werden.

§ 338.

Während für minder komplizirte Thierkörper, wie z. B. die Ascidien, oder für solche Organismen, bei denen das System der Aufenthaltsmedien sehr entwickelt ist (Insekten), das primitive Herzrohr den cirkulatorischen Bedürfnissen genügt, ergibt sich für komplizirtere Thierkörper mit mangelnden oder schlecht ent-

wickeltem Mediensystem das Bedürfniss eines geregelteren Cirkulationsweges. Dem wird dadurch entsprochen, dass sich der Ausflussöffnung des Herzens ein Rohrwerk anschliesst, welches durch entsprechende Länge und Verzweigung dafür sorgt, dass die Lymphe in alle, auch die entferntesten Ausläufer des perigastrischen Hohlraums strömt und nirgends Gelegenheit zur Stagnation der Flüssigkeit gegeben ist. Dem vermehrten Reibungswiderstand, welchen die Flüssigkeit in diesem verzweigten Kanalwerk findet, entspricht eine angemessene Verstärkung des motorischen Theils des Herzrohrs und so haben wir eine Gliederung des Gefässsystems 1) in ein motorisches Centrum, das Herz, 2) in ein dichotomisch oder sonstwie verzweigtes System von centrifugalen Leitungsröhren (Arterien). Letztere unterstützen durch die Elastizität ihrer Wandungen die Cirkulation in folgender Weise:

Wäre das Kanalwerk von starren Wandungen gebildet, so hätte das pulsirende Centralorgan bei jeder Systole den ganzen Druck der Flüssigkeitssäule in allen Theilen des Röhrenwerkes und den gesammten Reibungswiderstand zu überwinden. Da die Rohrwände aber elastisch sind, so hat die systolische Contraktion nur den elastischen Widerstand des Wurzeltheils der Leitrohre zu überwinden. Hat es diesem die Flüssigkeitsmenge, die durch einen Pulsschlag in Bewegung gesetzt wird, überwiesen, so sperrt sich der Herzraum durch Klappen gegen den in dem Wurzeltheil der Arterien entstandenen höheren Flüssigkeitsdruck ab und überlässt die Weiterbeförderung der Flüssigkeitswelle den elastischen Kräften des Rohrs, welche denn auch dieselbe von Querschnitt zu Querschnitt fortschieben, da die örtliche Störung des elastischen Gleichgewichts eine über alle Röhren sich erstreckende, fortschreitende Ausgleichungswelle (Puls welle) hervorruft.

Bei den Mollusken und Crustaceen hören die Leitungsröhren in der Peripherie auf und die Ernährungsflüssigkeit tritt hier aus den Gefässenden in die Gewebsspalten. Da diese nun mit dem perigastrischen Hohlraum überall in freier Verbindung stehen, so hat der höhere Flüssigkeitsdruck, der in ihnen entsteht, einen Abfluss der Flüssigkeit ins Perigastrium zur Folge. Da überdies das Herz Oeffnungen besitzt, welche bei der Diastole der Flüssigkeit den Eintritt gestatten, bei der Systole durch Klappenrichtungen sich schliessen, so muss in demjenigen Theil des Perigastriums, wo das Herz liegt, ein Druckminimum entstehen, dem sich der Flüssigkeitsstrom von allen Seiten her zuwendet. So ist für einen geordneten Kreislauf auch unter complicirten räumlichen Verhältnissen gesorgt, wobei nur der Rückweg zum Herzen durch die Unregelmässigkeit der Geweblücken mannigfachen Störungen ausgesetzt sein muss.

§ 339.

Auf tertiärer Entwicklungsstufe findet bei den Ringelwürmern und Wirbelthieren die schon § 328 u. ff. besprochene Sonderung der Ernährungsflüssigkeit in zwei verschiedene Arten, Blut und Lymphe, statt und zwar dadurch, dass zu dem Herzen und den centrifugal leitenden Röhren (Arterien) noch eigene centripetal leitende Gefässe (Venen) treten, wodurch ein vollständig geschlossenes cirkulatorisches Rohrwerk entsteht. In letzterem befindet sich das Blut, während in den übrigen Hohlräumen und Gewebsspalten die Lymphe bleibt. Da wir die allgemeinen Konsequenzen dieser Sonderung schon im vorigen Abschnitt besprochen haben, so bleiben nur noch einige speziellere Dinge, sowie die auf dem Gebiet dieser zweierlei Flüssigkeitssysteme sich vollziehenden weiteren Arbeitstheilungen und Vervollkommnungen zu besprechen.

Zunächst einiges über die Mechanik. Wenn wir die niedrigste, Bd. I S. 88 dargestellte Vertheilung des geschlossenen Blutgefäßsystems ausnehmen; so ist die Anordnung stets so, dass das Blut bei seinem Abfluss in die Peripherie in ein successive sich erweiterndes Strombett gelangt. Diese Erweiterung kommt dadurch zu Stande, dass die Arterien sich fortwährend verästeln, der Gesamtquerschnitt hierdurch zunimmt. Zugleich wächst aber auch das Verhältniss zwischen Wandfläche und Querschnitt stetig zu Gunsten der erstern. Beide Momente, die Erweiterung des Strombetts und der vermehrte Reibungswiderstand der Wand, haben eine successive Abnahme der Fliessgeschwindigkeit zur Folge, die endlich ihren geringsten Betrag in den Kapillaren besitzt. Auch geht hierbei die stossweise Bewegung allmählig in eine stetig fliessende über. Beim Menschen z. B. nimmt die Sekundengeschwindigkeit von rund 300 Millim. in der Halsschlagader bis auf 0,8 Mm. in den Kapillaren ab. Das Blut verweilt also am längsten in den Kapillaren, während es die Arterien sehr rasch durchheilt. Nimmt man hinzu, dass die Wände der Arterien viel zu dicht sind, um einen Stoffverkehr zwischen Blut und Gewebszellen zu gestatten, die Kapillarwandungen dagegen durch ihre grosse Zartheit (und Porosität?) einen solchen in vollem Masse zulassen, und dass das Blut, auch sich selbst überlassen, die Umwandlung von arteriellem in venöses, vollzieht, wonach es zur Erhaltung des Lebens in den Geweben nicht mehr geeignet ist, so leuchtet der grosse Vortheil dieser Einrichtung ohne weiteres ein: Das Blut durchheilt möglichst rasch die Arterien und gelangt in möglichst aktionsfähigem

Zustande in die Capillaren, wo es dann am längsten und innigsten mit den Gewebszellen verkehren kann.

§ 340.

Da über die Betheiligung des Herzens an der Mechanik der Blutsbewegung schon § 337 im Allgemeine das Nöthigste gesagt ist, so erübrigen nur noch einige Worte über die Mechanik in den Venen.

In ihnen nimmt umgekehrt der Querschnitt (s. § 339) allmählig ab und damit die Fliessgeschwindigkeit wieder zu, immerhin aber bleibt sie wegen der etwa doppelt so grossen Weite der Venen hinter der Geschwindigkeit in den Arterien zurück. Die stromtreibenden Elemente in den Venen sind:

1) Der Druck von hinten aus dem Capillargefässnetz.

2) Da das Herz auch eine Saugpumpe ist, die das Blut aus den grossen Venenstämmen bei jeder Diastole aufsaugt, so entspricht einem Maximaldruck in den aus den Capillaren hervorgehenden Venen-Anfängen ein Minimaldruck in den Venenstämmen, womit die Richtung des Fliessens nach ihnen hin gesichert ist

3) Da in den Venen der Flüssigkeitsdruck absolut niedriger ist als in den Arterien, so bleiben nach den Gesetzen der Gebrauchswirkung die Wandungen schwach, dehnbar und zusammendrückbar. Dies setzt sie dem Verschluss durch Seitendruck vielmehr aus, als dies bei den Arterien der Fall ist. Der nachtheilige Einfluss dieser Eventualität auf die Blutsbewegung wird einmal dadurch aufgehoben, dass Klappen, die an bestimmten Stellen angebracht sind, die Stauung lokalisiren und zweitens dadurch, dass bei der grossen Dehnbarkeit der Venenwände örtliche Ausweitungen es verhindern, dass die immer nur vorübergehende Stauung weiter zurück wirkt. Die Klappen bewirken ferner, dass jeder Seitendruck auf eine gefüllte Vene eine Entleerung nur in der Richtung des Herzens zulässt.

4) Ein weiterer Motor für die venöse Blutsbewegung besteht darin, dass es immer Stellen im Körper gibt, wo die Bewegungen des Körpers oder einzelner Organe den aus der allgemeinen Gewebsspannung sich ergebenden Seitendruck nicht blos zeitweilig aufheben, sondern in einen Saugdruck verwandeln, welcher der Klappen wegen wieder nur centripetal wirken kann. Dieses Moment spielt eine hervorragende Rolle bei den lungenathmenden Wirbelthieren: Bei der Einathmung übt das allseitige Zusammenziehungsbestreben des elastischen Lungengewebes einen Saugdruck auf alle mit ihm in der gleichen Räumlichkeit eingeschlossenen Venen.

5) Eine weitere Sicherstellung des geordneten Abfließens wird dadurch erreicht, dass die Venen, entgegen den Arterien, unter sich durch zahlreiche Anastomosen verbunden, ja geradezu collaterale Venenwege (z. B. die grossen Hautvenen) vorhanden sind, so dass bei zeitweiliger Schliessung eines Venenrohrs durch Seitendruck dasselbe in der Regel einen andern freien Weg zum Abfluss findet.

Aus all dem geht übrigens hervor, dass die Blutbewegung in den Venen örtlich durchaus keine so regelmässige sein kann, als in den Arterien, aber eben nur örtlich, da aus den Venen-Endigungen durch das Herz bei jeder Diastole genau so viel Blut weggenommen wird als die nachfolgende Systole durch Arterien und Capillaren in der Venenwurzel sendet.

§ 341.

Die Zeit, welche verstreicht, bis ein bestimmtes Bluttheilchen seinen Kreislauf vollendet hat und an seinen Ausgangspunkt zurückgekehrt ist (Kreislaufzeit), ist bei kleinen Thieren kürzer als bei grossen (beim Menschen berechnet man sie zu 23 Sekunden), und schliesst ab, wenn das Herz etwa 27 Schläge vollendet hat, so dass also jeder Pulsschlag den 27. Theil der Blutmasse weiter befördert.

Die lebendige Kraft, welche auf die Blutbewegung verwendet wird, ist eine sehr beträchtliche. Beim Menschen hat man sie um etwas höher als den vierten Theil der Leibeskraft gefunden (Leibes-Kraft = 320 Tausend Kilogrammster, Herzarbeit = 86 Tausend Kilogrammster pro Tag). Diese ganze lebendige Kraft wird durch den Widerstand, den das Blut bei seiner Bewegung findet, verbraucht und in Reibungswärme übergeführt, so dass die Blutcirculation eine reichliche Quelle für die thierische Wärme ist.

§ 342.

Bezüglich des Stoffwechsels ist im Allgemeinen Folgendes voraus zuzusetzen.

1) Ein nicht unbedeutender Stoffwechsel findet im Blute selbst statt, indem dasselbe eine ungeheure Zahl lebendiger Zellen enthält, welche so gut Bedürfnisse haben, wie alle andern Gewebszellen. Diesem eigenen Stoffwechsel steht der im Verkehr mit den Geweben stattfindende gegenüber.

2) Den letzteren kann das Blut nicht auf seinem ganzen Circulationsweg unterhalten, sondern nur in den Capillaren, da

deren Wandungen allein dünn und porös genug sind, um Endosmose und Filtration zuzulassen.

3) Die Funktion des Blutes, eine vermittelnde, stoffverfrachtende Rolle zu spielen, bedingt schon unmittelbar eine gewisse Arbeitstheilung, insofern es sich bei jeder Verfrachtung um eine Aufnahme- und Abgabestation handelt und ausserdem noch um Hin- und Rückfracht. Als Basis für weitere Arbeitstheilungen kommt dann noch hinzu, dass das Objekt dieser Stoffverfrachtung verschiedenartige Stoffe sind, deren Aufnahme- und Abgabestationen an verschiedenen Stellen des Körpers liegen können.

Es findet nun zwar schon auf früherer Organisationsstufe des Gefässsystems, also vor der Trennung von Blut- und Lymphgefässsystem, eine Arbeitstheilung im Gebiet des Stoffwechsels statt, aber erst mit der Fassung des Blutes in ein durchaus geschlossenes Röhrensystem ist die sichere mechanische Grundlage für eine weiter gehende Arbeitstheilung auf dem Gebiete des Stoffwechsels gegeben: Es bilden sich bestimmte Gefässprovinzen mit ab- und zuleitenden Gefässen, in dem besondere Stoffe aufgenommen beziehungsweise abgegeben werden, wie das aus der weiter unten folgenden Schilderung hervorgehen wird.

Diese Arbeitstheilung auf dem Gebiete des Stoffwechsels mit den verschiedenen Organen hat zur Folge, dass das Blut auf verschiedenen Punkten seiner Kreislaufbahn verschiedenartige Veränderungen erfährt und dasselbe mithin nicht überall die gleiche chemische Zusammensetzung hat. Bezüglich des letzteren gilt, dass jene Verschiedenheiten des Kreislaufes nur einen sehr geringen Betrag erreichen können 1) wegen der grossen Geschwindigkeit des Kreislaufes und 2) weil die Blutsorten schon in den grösseren Venen und schliesslich alle im Herzen gesammelt und wieder aufs innigste vermengt werden und nicht nur das: es wird auch die Lymphe dem Blute immer wieder beigemischt.

Im Folgenden sollen nun die wichtigsten Arbeitstheilungen des Blutgefässsystems näher besprochen werden.

§ 343.

Eine sehr allgemeine Spaltung in zwei verschiedene Gefässprovinzen tritt aus folgenden Gründen ein.

In den Capillaren, wo der Austausch zwischen Blut und Gewebszellen stattfindet, erfährt das Blut eine Umänderung, die wir als „Venöswerden“ bezeichnen. Sie besteht vor allem, in Folge der früher geschilderten Gewebsathmung, in einer Zunahme der

Kohlensäure unter Abnahme des Sauerstoffs, (deshalb dunklere Färbung) und nebenbei in einer Abnahme der gerinnungsfähigen Stoffe. Dadurch verliert es die Fähigkeit, den normalen Stoff- und Kraftwechsel der Gewebszellen aufrecht zu erhalten. Soll es in diesen Zustand zurückversetzt werden, so muss es zuvor eine Provinz durchströmen, wo es die Kohlensäure abgeben und frischen Sauerstoff aufnehmen kann (äussere Athmung). Nach Vollzug dieser Athmung heisst es Arterienblut.

Auf niederster Stufe (bei den Würmern, Amphibien und Reptilien) strömt nur ein Theil des vom Herzrohr ausgesendeten Blutes durch die respiratorischen Bezirke und kehrt als arterielles Blut zum Herzen zurück; ein anderer Theil strömt durch die übrigen Gefässprovinzen und kommt als Venenblut ins Herzrohr. Hier mischen sich die beiden Blutarten und so erhalten die Capillaren nie reines Arterienblut, sondern nur gemischtes.

Bei anderen Thieren (Fischen, Vögeln und Säugethieren) wird alles Blut, welches das Herz aussendet, zuvor in eine respiratorische Gefässprovinz geschickt und dort vollständig in arterielles umgesetzt, um dann erst in die Körpercapillaren zu wandern.

Die Fische und die warmblütigen Wirbelthiere unterscheiden sich noch dadurch:

Bei den Fischen ist das Herz einfach und das Blut, welches die respiratorische Gefässprovinz durchströmt, kehrt deshalb nicht mehr ins Herz zurück, sondern sammelt sich sogleich in einer grossen Ader, um seine Ernährungs- und Absonderungsfunktion in den Capillaren des Körpers auszuüben (einfacher Kreislauf).

Bei den Warmblütern ist das Herz doppelt: Man unterscheidet ein venöses Herz, welches das Venenblut aus dem Körper erhält und in die Athmungsorgane versendet, und ein arterielles Herz, welches das arteriell gewordene Blut aus den Athmungsorganen empfängt und in den Körper treibt. Den Weg vom venösen Herzen durch das Athmungsorgan in das arterielle Herz nennt man kleinen, respiratorischen oder Lungenkreislauf, der andere wird grosser nutritiv sekretorischer oder Körperkreislauf und die ganze Cirkulationsweise doppelter Kreislauf genannt.

Wir können diese Arbeitstheilung auch so bezeichnen: Bei der Athmung haben wir, wie früher gezeigt, die äussere Athmung von der Gewebsathmung zu unterscheiden. Wir nennen nun die Gefässprovinz, welche die erstere besorgt, in specie die respiratorische.

§ 344.

Bei den meisten Wirbelthieren kommt es noch zur Abspaltung von hervorragend absondernden Gefäßprovinzen.

1) Das aus dem Darm und der Milz abfließende Venenblut, das die aus dem Speisebrei aufgesaugten Stoffe enthält, wird in einem Stamm, Pfortader, gesammelt und ehe es, wie das Venenblut anderer Gefäßprovinzen, in die Capillaren der Athmungsorgane kommt, zuvor in ein eigenes in der Leber liegendes, reiches Capillargefäßnetz gesendet, um Material zur Gallenbereitung zu liefern und dann erst dem übrigen Venenblut sich beizumengen. Das eigenthümliche ist, dass dieses Material nicht wie bei andern Absonderungen vorwaltender Bestandtheil des Bluteserums ist, sondern durch massenhaften Untergang von Blutzellen geliefert wird. Allerdings erscheint in dem der Leber entfließenden Absonderungsprodukt, der Galle, nur ein Theil des aus dem Zerfall der rothen Blutzellen entstehenden Materials, nämlich der Farbstoff (als Gallenfarbstoff) und die Gallensäuren, ein anderer Theil bleibt in der Form von Harnstoff im Blut und ausserdem erhält das Blut als Gegengabe von den glycogenhaltigen Leberzellen erhebliche Mengen von Zucker. Der Ersatz für die untergegangenen Blutzellen wird dadurch geliefert, dass das Milzvenenblut, das ebenfalls in die Pfortader fließt, zahlreiche weisse (junge) Blutzellen herbeischwemmt, die in den Lebercapillaren in rothe überzugehen anfangen. Die Blutzellen werden wohl schon durch die aus dem Speisebrei in das Darmcapillarenblut wider eintretende Galle, welcher ein zerstörender Einfluss auf sie zukommt, geschädigt, kommen also schon halb todt in der Leber an.

§ 345.

2) Bestreitet die Leber die Absonderungsvorgänge aus venösem Blut und den Blutzellen, so haben wir in der Niere eine absondernde Gefäßprovinz, welche mit Arterienblut gespeist wird und, ohne die Blutzellen zu alteriren, die Ausgaben rein nur aus dem Serum auf dem Wege der Filtration bestreitet. Weiter ist charakteristisch, dass die Filtration aus den Nierengefäßen nicht im eigentlichen Capillarbezirk, sondern noch im Gebiet des arteriellen Stromlaufs stattfindet, nämlich im Bereich der Malpighischen Glomeruli (siehe Band I pag. 146.) Das Filtrat wird Harn, genauer Bluteserumharn genannt, enthält alle Bestandtheile des Bluteserums mit Ausnahme von Eiweiss und Fett, nur in anderen Mengeverhältnissen als das Bluteserum, weil bei dem Abfluss des Harns durch die Harnkanäle dem ursprünglichen

Filtrat wieder gewisse Stoffe, namentlich Wasser, entzogen werden. Der Nierengefäßbezirk ist daher arteriell-serös absondernd. Wie Band I S. 120 geschildert wurde, unterscheidet sich die Niere der Amphibien und der meisten Reptilien dadurch von der anderer Wirbelthiere, dass sie ausser der arteriell-serös absondernden Gefäßprovinz noch — gleich der Leber — ein Capillarnetz enthält, das venöses Blut aus den Cardinalvenen oder der innern Hohlvene empfängt (Nierenpfortaderkreislauf). Welcher Art die dort zweifelsohne stattfindende Absonderung und Blutveränderung ist, wurde meines Wissens noch nicht festgestellt.

§ 346.

3) Den in den beiden vorigen Paragraphen genannten specifisch absondernden Gefäßprovinzen stehen die übrigen Gefäßprovinzen als nutritiv-sekretorische gegenüber. Sie erhalten alle arterielles Blut, unterscheiden sich aber von der ebenfalls arterielles Blut empfangenden sekretorischen Nierengefäßprovinz dadurch, dass der Stoffwechsel nicht eine Filtration durch arterielle Rohrwandungen, sondern durch echte Capillarwandungen ist. Wir können also sagen, die gewöhnliche Absonderung und die Ernährung beruht auf arteriell-capillarer Filtration (und Diffusion) die Gallenabsonderung auf venös-capillarer Filtration (und Diffusion), die Harnbildung auf arteriell-arterieller Filtration (ohne Diffusion?). Anzumerken ist noch, dass weder das Capillarnetz der Pfortader in der Leber, noch das respiratorische Gefäßnetz in der Lunge ernährende Funktionen auszuüben vermag, weshalb beide Organe noch eigene ernährende Gefäße erhalten. Bei der Niere dagegen sind keine gesonderten ernährenden Gefäße nöthig, weil die ausschliesslich seröse Filtration in den Malpighischen Knäueln dem Blute seinen arteriellen Charakter nicht raubt.

§ 347.

Eine weitere Sonderung findet auf dem Gebiet der Ernährungsvermittlung statt und die Sache verhält sich hier genau so wie bei der Athmung: Dem Gegensatz zwischen äusserer Athmung und Gewebsathmung entspricht der zwischen der Resorption der Nährstoffe aus dem Speisebrei und der Gewebsspeisung. Das erstere Geschäft übernimmt die im Darm liegende Gefäßprovinz die zugleich das Material zur Absonderung der Verdauungsflüssigkeiten liefert. Sie erhält zu diesem Behufe arterielles Blut; die übrigen Gefäßprovinzen die gleichfalls arterielles Blut enthalten, besorgen dann die Speisung der übrigen Körpertheile.

§ 348.

Eine weitere Arbeitstheilung im Blutgefässsystem besteht darin, dass sich bestimmte Provinzen entwickeln, in welchen das Blut einer Regeneration seines Zellmaterials unterworfen wird, wo also der Schwerpunkt der Vorgänge weniger auf der Stoffabgabe aus dem Blut in die Gewebszellen, als in einer Veränderung des Blutes innerhalb der Gefässe selbst ruht. Wir haben schon im vorigen Paragraphen im Capillarbezirk der Leber einen solchen regenerativen Vorgang kennen gelernt; eine weitere und zwar ausschliesslich regenerativische Provinz ist das Gefässnetz der Milz. Hier ist die sekretorische Funktion ganz in Wegfall gekommen, das Blut ist nach aussen hin nur durch Lymphebildung thätig, aber im Innern der Gefässe vollzieht sich eine ganz erhebliche Veränderung in dem Zahlenverhältniss von primären (weissen) und sekundären rothen Blutzellen: Während das der Milz zuströmende Blut auf 3—500 rothe Blutzellen nur eine weisse enthält, besitzt das abfliessende Milzvenenblut schon eine weisse Zelle auf 70 rothe; zudem zeigen die letzteren unverkennbar die Eigenschaften junger rother Blutzellen und daneben finden sich zahlreiche Uebergangsstufen von weissen zu rothen.

Dies, sowie die reichen Mengen von stickstoffhaltigen und stickstofflosen Zersetzungsprodukten im Milzgewebe deuten darauf hin, dass in der Milzgefässprovinz ein massenhafter Untergang von rothen Blutzellen nebst einer Neubildung von weissen und Umwandlung von weissen in rothe stattfindet, welche letztere allerdings erst in der Leber zum Abschluss zu gelangen scheint. Der Unterschied zwischen Leber und Milz besteht also darin: Das Blut, das die Leber erhält, ist Venenblut, die Milz erhält Arterienblut; in ersterer überwiegt die Zellzerstörung, neues Material wird nicht (?) gebildet, sondern nur junges der Reifung entgegengeführt, die Milz dagegen zeigt neben der Zerstörung ausgiebige Neubildung.

Eine weitere regenerativische Gefässprovinz ist neuerdings im rothen Knochenmark der Wirbelthiere entdeckt worden, denn man findet dort reichlich Blutzellen in allen Uebergangsstufen von weissen zu rothen.

§ 349.

Wie aus der morphologischen Schilderung des Lymphsystems Bd. I S. 131 u. ff. hervorgeht, fiesst die Lymphe auf niederster Stufe im Perigastrium und in den von den verschiedenartigen Ge-

webszellen begrenzten, mit dem Perigastrium offen communicirenden Spalträumen, so dass die Gewebszellen von einem Lymphstrom umspült werden. Auf höherer Entwicklungsstufe erhält dann auch hier der Lymphstrom eigene Wandungen, aber offenbar nicht durchweg, was eigentlich auch nicht denkbar ist: die Wurzeln des Lymphgefäßsystems werden von den Intercellularräumen gebildet.

Der Werth dieses Fortschritts ist hauptsächlich ein mechanischer: Mit der bei den Wirbelthieren eintretenden Massezunahme des Körpers und der steigenden architektonischen Complication würde der Lymphabfluss ein viel zu unregelmäßiger sein, während er durch Fassung in eigene Leitungsröhren die nöthige Sicherheit gewinnt. Diese Sicherheit wird bei den Säugethieren und Vögeln, in viel unbedeutenderem Masse bei Reptilien, Amphibien und Fischen durch zahlreiche, das Dahinfließen nur centripetal gestattende Taschenklappen erhöht. Da die Lymphe keinen Kreislauf zu machen und nirgends von einem Ort niederen Flüssigkeitsdruckes nach einem mit höherem Flüssigkeitsdruck zu fließen hat, so hat das Lymphgefäßsystem aktiv motorische Apparate viel weniger nöthig als das Blutgefäßsystem. Es finden sich denn auch pulsirende Lymphherzen nur bei den Reptilien und Amphibien, wo die Klappenentwicklung gering ist, und ausserdem bei einem Theil der Vögel (Struthionen und einigen Schwimm- und Sumpfvögeln). Bei den Straussen sind sie ein Beitrag zu den mannigfachen Reptilienähnlichkeiten, die dieser niedere Vogeltypus besitzt.

Von Differenzirungen auf dem Gebiet des Lymphgefäßsystems ist nur eine bekannt, welche darin besteht, dass der Lymphbezirk des Darms neben den sonstigen Funktionen noch die Resorption von schwer oder nicht diffundirbaren Theilen des Speisebreies übernimmt, wovon bereits früher die Rede war; man nennt ihn Chylus- oder Milchsaffbezirk: Die Darmlymphe wird während der Verdauung durch das aufgenommene emulgirte Fett milchig trübe, während sie ausserhalb der Verdauungszeit eine durchsichtige Flüssigkeit ist, wie die Lymphe der übrigen Bezirke.

§ 350.

Von den Systemen der Aufenthaltsmedien haben wir, wie schon im morphologischen Theil beschrieben wurde, zwei im Verhältniss der Ausschliessung zu einander stehende, durch ihren Inhalt sich unterscheidende Systeme zu besprechen: Das Wassergefäß- und das Luftgefäßsystem.

In ihrer Funktion sind diese beiden Systeme von einander ziemlich verschieden und es kann allgemein nur das von ihnen ausge-

sagt werden, dass sie auftreten, sobald der auf der Körperoberfläche und Darmoberfläche statthabende stoffliche Verkehr mit den umgebenden Medien in Folge höherer Anforderungen oder zu geringer Oberflächeentwicklung nicht mehr ausreicht. Auch zu dem System der Ernährungsflüssigkeiten treten sie in ein succursales Verhältniss, was sich schon darin ausdrückt, dass im allgemeinen das System der Aufenthaltsmedien sich da stark entwickelt, wo das System der Ernährungsflüssigkeiten auf geringer Entwicklungsstufe stehen bleibt und umgekehrt.

§ 351.

Das Wassergefässsystem erscheint in der aufsteigenden Reihe der Organisationstypen zuerst und zwar sofort mit dem ersten Auftreten der Spaltung der Leibeswand in Perisom und Darm und zwar auf primärer Entwicklungsstufe (Bryozoen) als eine Oeffnung, durch welche der die Lymphe enthaltende perigastrische Raum mit dem umgebenden Wasser kommuniziert (Porus excretorius). Die Funktion dieser Oeffnung ist

1) eine hydrostatische, d. h. sie gestattet der perigastrischen Lymphe sich in Druckgleichgewicht mit dem umgebenden Wasser zu setzen: Steigt der innere Druck, so kann Flüssigkeit entweichen; nimmt der innere Druck ab und wird zu Saugdruck (negativem Druck) oder steigt der äussere Druck, so kann Flüssigkeit eintreten. Dies gestattet

2) dem Thier Volumsveränderungen seines Körpers vorzunehmen d. h. sich bei Gefahr zusammenzuziehen und zu aggressiven Zwecken sich auszudehnen. Ausserdem ermöglicht es ihm, sich dem bei Wogengang, Ebbe und Fluth und beim Auf- und Absteigen so sehr wechselnden Wasserdruck zu accommodiren.

3) Eine mechanische Nebenfunktion ist die, als Durchgangsöffnung für die im Perigastrium sich entwickelnden Geschlechtsprodukte, also als Geschlechtsöffnung zu dienen.

4) Die stofflichen Verrichtungen sind fürs erste exkretorischer Natur, insofern ein Austritt perigastrischer Lymphe gleichbedeutend mit einer Stoffausscheidung ist (Lymphharn), fürs zweite respiratorische, insofern ein Eintritt des sauerstoffhaltigen Mediums einer Sauerstoffzufuhr gleichkommt; zugleich wird hierbei der Concentrationsgrad der Lymphe durch den Wassereintritt herabgemindert (Lymphverdünnung).

Die Mechanik wird nur von den Contraktionszuständen der Leibeswand besorgt.

§ 352.

Während auf primärer Stufe der Ein- und Austritt des Mediums lediglich von den Contraktionsvorgängen der Leibeswand abhängt, sehen wir auf sekundärer Entwicklungsstufe (Mollusken) durch Hinzutreten eines kontraktilen Wasserherzens den ersten Schritt zur Selbständigkeit gemacht.

Nach den bis jetzt gemachten Beobachtungen besteht die wesentliche Funktion des Wasserherzens in der durch pumpende Bewegungen bewerkstelligten Wassereinfuhr, wodurch der Druck der perigastrischen Lymphe gesteigert, der Leib des Thieres zu mechanischen Zwecken ausgedehnt, der Turgor des Leibes also erhöht wird und nebstbei eine Verdünnung der Lymphe und Sauerstoffzufuhr sich ergibt. Die antagonistische Funktion d. h. Verminderung der perigastrischen Lymphe, um den Leib zu verkleinern und eine Exkretion (Lymphharnbildung) zu bewerkstelligen, bleibt der Contraktion des Perisoms anheimgestellt und das Wasserherz scheint sich dabei meistens nicht einmal passiv zu betheiligen, sondern der Abfluss geschieht nach Einigen durch zahlreiche kleine Rupturen des Perisoms, nach Andern durch vorgebildete Poren in demselben. Die Nebenfunktion, als Geschlechtsöffnung zu dienen, kommt hier in Wegfall.

Ueber die tertiäre Entwicklungsstufe, auf welcher sich an das Wasserherz noch Wassergefässröhren anschliessen, die durch offene Enden mit der perigastrischen Lymphe communiciren (Ringelwürmer, siehe Bd. I S. 138), wissen wir physiologisch noch viel zu wenig. Die Thatsache, dass diese starrwandigen und nach innen meist trichterartig sich öffnenden Wassergefässe grössten Theils Flimmerhaare tragen, deren Thätigkeit einen von innen nach aussen gerichteten Flüssigkeitsstrom erzeugen muss, berechtigt zu dem Schlusse, dass auf dieser Stufe die exkretorische Funktion (Lymphharnbildung) überwiegt und die ausgeführte Flüssigkeit hier theils durch direkten Abfluss, theils durch seitliche Filtration durch die Wandung, wobei sich exkretorische Gewebszellen betheiligen, entsteht.

§ 353.

Mit dem Verschluss der innern Oeffnung ändert sich eigentlich die Funktionen des Wassergefässsystems zunächst nur dahin, dass die Lymphe nicht mehr als solche ausfliessen kann, sondern nur ein Filtrat aus ihr.

Die mechanischen Vorgänge scheinen nicht bei allen Thieren mit geschlossenem Wassergefäßsystem gleich zu sein. Bei den parasitischen Skoleciden ist nichts beobachtet, was darauf schliessen liesse, dass hier eine Einströmung des Mediums stattfände; das System scheint hier lediglich der Exkretion und der Verhinderung eines zu hohen Gewebsturgors zu dienen. Bei den Echinodermen dagegen, deren Wassergefäßsystem (siehe Bd. I S. 140) nicht nur durch den Abfluss nach innen, sondern auch durch seine Allgegenwart im Körper auf der höchsten Entfaltungsstufe steht, tritt wider die mechanische Funktion in den Vordergrund: Durch Einpumpen von Wasser wird hier der innere Druck gesteigert und indem sich blind endigende Wasserröhren in die zahlreichen Bewegungsorgane des Perisoms ziehen, werden diese durch den steigenden Flüssigkeitsdruck gespannt und gestreckt, so dass die kontraktilen Theile derselben an der unkomprimirbaren Flüssigkeitssäule eine feste Stütze gewinnen, mit denselben Konsequenzen wie dies in § 327 beschrieben ist. Ob gesonderte Abflussöffnungen vorhanden sind, oder ob das Wasser auf dem gleichen Wege zurückgeht, ist nicht ermittelt. Uebrigens wäre es irrthümlich, die exkretorische und respiratorische Funktion des Wassergefäßsystems der Stachelhäuter gering anzuschlagen: Die Rohrwandungen, welche Lymphe und Wasser trennen, sind so dünn, dass ein ausgiebiger Diffusionsverkehr von Gasen und krystalloiden Stoffen stattfinden muss. Der abfließende Inhalt des Systems verdient deshalb sicher den Namen Harn, und da das cirkulirende Wasserquantum offenbar nicht unbedeutend ist, so wird auch die Sauerstoffzufuhr und Kohlensäureabfuhr erheblich ins Gewicht fallen.

§ 354.

Bei den Wirbelthieren ist das nach innen geschlossene Wassergefäßsystem durch die Bd. I S. 146 beschriebene eigenthümliche Verbindung mit dem Blutgefäßsystem zum regelrechten Exkretionsapparat geworden; es empfängt durch die § 345 geschilderte Filtration den Blutserumharn und leitet ihn nach aussen.

Bei den Fischen bleibt es dabei. Bei den Amphibien nimmt dasselbe neben der Harnableitung wieder eine Funktion auf, die es schon auf primärer Stufe hatte, nämlich die Ableitung der Geschlechtsprodukte, aber mit dem Unterschied, dass sich nur der männliche Same dieses Weges bedient, die Eier haben einen eigenen Ausweg erhalten.

Diese doppelte, ich möchte sagen amphibische Funktion des

Wassergefäßsystems der Amphibien macht bei den Reptilien, Vögeln und Säugethieren einem völligen Funktionswechsel Platz: Das System gibt die Funktion der Harnableitung an ein neu entstehendes, dem Wassergefäßsystem sehr ähnlich gebautes Organ die bleibende Niere ab, stellt sich lediglich in den Dienst der männlichen Geschlechtswerkzeuge als Samenkanal (Nebenhoden) und bei den weiblichen Thieren, welche dieses Geschäft nicht benöthigen, verkümmert es zum Rudiment.

§ 355.

Das Luftgefäßsystem ist ein ausschliessliches Privilegium der Insekten, Spinnen und Tausendfüsse und hat in hervorragendem Masse respiratorische Funktionen, da das sie erfüllende Medium keine fixen Stoffe zu lösen und zu leiten vermag. Das System leitet atmosphärische Luft ins Innere des Körpers, wo dieselbe Sauerstoff, theils an die Lymphe, theils an die Gewebe abgibt und dafür Kohlensäure empfängt. Nebstdem sättigt sich die in den Röhren befindliche Luft vollständig mit Wasserdampf und indem sie durch ungesättigte ersetzt wird, schafft sie Wasser aus dem Körper fort, wie das Wassergefäßsystem der Wasserthiere; aber nicht in tropfbarflüssigem, sondern in gasförmigem Zustande und trägt somit auch hier zur Regelung des hydrostatischen Druckes bei.

Hierzu kommt noch eine andere mechanische Funktion, die aerostatische. Die Flugfähigkeit eines Insektes steigt mit der Abnahme seines spezifischen Gewichts, d. h. wenn bei gleich bleibendem Volumen das Gewicht abnimmt. Dies wird durch Erweiterung des Luftgefäßsystems bewirkt, die bei den gutfliegenden Insekten eine ganz bedeutende ist. Zugleich ist damit nicht nur eine allgemeine Abnahme des Gewichtes gegeben, sondern auch die Möglichkeit einer passenden Einstellung des Schwerpunktes. So ist dieser bei den zweiflügeligen Insekten dadurch in die flügeltragende Brust verlegt, dass der Bauch fast ganz mit erweiterten Lufträumen erfüllt ist.

§ 356.

Ueber die Mechanik des Luftgefäßsystems gilt Folgendes: Die respiratorische Funktion erfordert behufs steter Erneuerung der Luft ein rhythmisches Ein- und Austreten derselben. Der erste Akt wird die Einathmung, der zweite die Ausathmung genannt. Von diesen beiden Bewegungen (Athembewegungen) ist die

Ausathmung ein aktiver, durch Muskelcontraktion erfolgender Vorgang: Wenn das Thier durch Contraktion seiner animalen Muskelschicht den im Perigastrium herrschenden Flüssigkeitsdruck steigert, so wird auf die Luftröhren ein die Luft verdrängender Seitendruck ausgeübt. Die Einathmung ist dagegen ein passiver Akt: Die Wandung der Luftröhren ist steif und elastisch und indem die elastischen Kräfte des Rohrs nach Erschlaffung der Leibesmuskulatur den alten Querschnitt wieder herstellen, wird die Luft angesaugt. Bei der Ausathmung kommt es jedoch nie zu völliger Verdrängung der Luft, es bleibt stets ein Luftrest (Residualluft) zurück, welcher sich mit dem neu eintretenden Quantum (Athmungsluft) mischt.

Eine Nebenfunktion des Luftgefäßsystems besteht darin, dass es bei manchen Insekten die Luftlade für die Stimmwerkzeuge bildet, indem die vorbeistreichende Luft schwingungsfähige Theile (Stimmbänder etc.) in Bewegung versetzt.

§ 357.

Von den soliden Systemen hat das auf die Wirbelthiere beschränkte Knochensystem hauptsächlich mechanische Funktionen: Es bildet den passiven Theil des Bewegungsapparates und zwar sowohl in der Richtung der Stabilität, als in dem der Labilität.

Wir haben schon § 345 gesehen, dass die Contraktion der Muskeln nur dann wirksame sociologische Leistungen auszuüben vermag, wenn sie durch widerstandleistende Theile in Spannung versetzt sind. Als solche lernten wir am angegebenen Ort Flüssigkeitssäulen kennen, und eine andre Art derselben sind die Hartgebilde, aus denen das Knochensystem besteht. Letzteres bildet das feste, steife nicht comprimibare stabile Gerüste des Körpers, der durch seine Zusammenziehung aus beweglich verbundenen Stücken dem Körper neben der Festigkeit zugleich eine der Art nach constante Beweglichkeit gibt.

Die Bewegung geschieht dadurch, dass die zu Muskeln vereinigten kontraktilen Elemente mit dem einen Ende an einem, mit dem andern an einem andern Knochenstück festgewachsen sind, also ein Gelenk überspringen, und indem sie so einen excentrischen Zug ausüben, werden die zwei Knochenstücke nicht nur aneinander gedrückt, sondern vollführen Winkelbewegungen gegeneinander, deren Drehungsaxe das Gelenk ist. Vom mechanischen Standpunkt sind die Knochen zumeist Hebel und zwar meist einarmige, seltener zweiarmige, und was die Lage von Lastpunkt und Kraftpunkt betrifft, so sind sie meist Geschwindigkeitshebel.

Das Hypomochlion jedes einzelnen Knochens ist das Gelenk, der allgemeine Stützpunkt der Bewegungen ist entweder die Axe des Skelets, die Wirbelsäule, oder, bei der Ortsbewegung, sind es die Knochenenden, auf welchen die Last des Körpers ruht.

An den Gelenken sind die Knochenenden nur durch den Luftdruck zusammengehalten, die Bewegungen also in hohem Masse reibungsfrei, was noch durch vollkommene Glättung der aneinander stossenden Enden und die Anwesenheit einer Gelenkschmiere vervollständigt wird. Zur Abschwächung der mit der Ortsbewegung verbundenen Stösse dienen einmal die dünnen elastischen Knorpelüberzüge der Gelenkenden und, wo das nicht ausreicht, elastische Zwischengelenkknorpel.

Die Beweglichkeit der Knochen gegeneinander hängt von der Beschaffenheit der Gelenkfläche ab, sie gestattet entweder Bewegung in allen Richtungen des Raumes (Freigelenke) oder nur in einer Richtung (Charniergelenke). Der Grad der Beweglichkeit hängt theils von der Beschaffenheit der Gelenkfläche, theils von den umgebenden Weichtheilen ab, von welchen stets eine gewisse Hemmung der Bewegung ausgeht, besonders kommen hier die Gelenkbänder in Betracht.

Die in Blutregenerirung bestehende Nebenfunktion des Knochen-systems ist schon § 348 beschrieben worden.

§ 358.

Die Aufgabe des Nervensystems kann kurzweg als die eines Regierungsapparates für den Zellstaat bezeichnet werden und zwar nicht blos nach der Seite des Erfolgs, sondern auch in Betreff der geschäftlichen Organisation.

Die letztere hat nämlich einfache Verwaltungsapparate, die elementaren Nervenmechanismen (s. weiter unten) zur Grundlage und wie bei einer staatlichen Organisation bei steigender Complication der Instanzenzug vermehrt, mehrere untergeordnete Verwaltungsstellen zusammengefasst der Botmässigkeit einer höheren Stelle untergeben werden, und so in mehrfacher Wiederholung bis zu einer obersten Instanz, so geschieht es auch bei der Organisation im Nervensystem. Wir haben demnach zuerst die Einrichtung und Wirkungsweise der Elementarmechanismen, dann ihre Zusammenfassung zu complizirteren Mechanismen höherer Ordnung zu betrachten und zu untersuchen, wie durch diese Zusammenfassung die Competenz der Elementarmechanismen beeinflusst wird, wie die höheren und niederen Instanzen zusammen arbeiten, kurz wie dann der Instanzenzug ist. Dabei ergibt sich

allerdings die grosse Schwierigkeit: die Grundlage des Geschäftsgangs ist die anatomische Verbindung, durch welche die Mechanismen hergestellt werden und diese ist noch in hohem Grade unvollständig erforscht, da bisher als Hauptuntersuchungsobjekte die höher organisirten Thiere gedient haben und bei diesen der Mechanismus eine ungeheure Complication hat.

§ 359.

Von Elementarorganismen des Nervensystems sind zwei Hauptformen unterschieden worden: die Reflexmechanismen und die automatischen Mechanismen.

Unter einem Reflexmechanismus versteht man eine durch Nervenfasern hergestellte Dreieinigkeit, bestehend aus einer oder einer Gruppe von sensitiven (empfindenden) Zellen, einer oder einer Mehrzahl von Ganglienzellen und einer Gruppe sogenannter Arbeitszellen. Von den letzteren sind zweierlei Arten zu unterscheiden: motorische Zellen, deren wesentliche d. h. dem Gesamtzellstaat zu gut kommende Arbeit eine mechanische Bewegung ist, und sekretorische Zellen, deren Arbeit als Nutzeffekt eine Absonderung liefert. Man hat deshalb zweierlei Reflexmechanismen, motorische und sekretorische, zu unterscheiden.

Der verbindenden Nervenbahnen gibt es begreiflicherweise zunächst zweierlei: Die zwischen den sensitiven Zellen und den Ganglienzellen (sensitive Nerven), und die zwischen den letzteren und den Arbeitszellen (motorische resp. sekretorische Nerven).

Dass es Reflexmechanismen gibt, zu denen nur eine einzige Ganglienzelle gehört, ist nach Befund an niederen Thieren ausser Zweifel, allein eben so sicher ist, dass bei den höheren Thieren, wenn auch nicht immer, mehrere verschiedene Ganglienzellen dazu gehören, denn die motorischen und sensitiven Nerven des Rückenmarks stehen nicht mit derselben, sondern jeder mit einer eigenen Ganglienzelle in Verbindung und die Verknüpfung dieser beiden Ganglienzellen ist wahrscheinlich meistens nicht einmal eine direkte, sondern durch interganglionäre Fasern und eine oder mehrere weitere Ganglienzellen höherer Ordnung vermittelt. Die Ganglien nennen wir das Reflexcentrum.

§ 360.

Die Verrichtung des Reflexmechanismus ist die Hervorrufung eines Reflexes: Wenn die sensitive Zelle durch einen Reiz erregt

wird, so vermittelt der Apparat die Auslösung (oder Hemmung, wovon später) einer Thätigkeit in den Arbeitszellen, und zwar versteht man speziell unter einem Reflex eine Auslösung, bei welcher der Wille nicht betheiligt ist (ausser in der unten zu erwähnenden Weise), auch das Bewusstsein nicht, so dass also die Auslösung prompt und mit mechanischer Exaktheit erfolgt. Dass die Nerven hierbei lediglich als Erregungsleiter wirken, ist ausser Zweifel, ganz unvollständig gekannt ist die Betheiligung der Ganglienzelle. Ziemlich sicher ist nur das eine, dass bei einer Vereinigung mehrerer elementarer Reflexmechanismen zu einem höheren Mechanismus die Verbindung mit dem übergeordneten Centrum durch die Ganglienzelle stattfindet, so dass sie die Einbruchsstelle für den von der höheren Instanz ausgehenden beherrschenden Einfluss ist. Dass ihr aber auch an und für sich ein beherrschender bzw. balancirender Einfluss auf den Reflex zukommt, darf mit Grund vermuthet werden. Wir können uns die Sache so vorstellen: Ist die Leitungsfähigkeit der Ganglienzelle für den Reflex gross, so wird sie beschleunigend und verstärkend auf den Vorgang wirken, ist sie gering, ist sie z. B. mit Ermüdungsstoffen beladen, so wird sie ihn hemmen oder schwächen, kurz, wir können sagen: der Reflex wird von der jeweiligen Disposition der Ganglienzelle beherrscht.

§ 361.

Unter automatischem Mechanismus versteht man im Gegensatz zum Reflexmechanismus einen solchen, bei welchem keine offenbare Beziehung zu einer sensitiven Fläche besteht. Wir müssen uns also vorstellen, ein solcher automatischer Mechanismus bestehe bloß aus dem gangliösen Centrum und den Arbeitszellen, die Erregung aber könne selbständig im Centrum auftreten und zwar in Folge eines direkten Reizes, z. B. durch das Blut. Dass die Reflexcentra reizbar sind, bestätigt der Erfolg direkter experimentieller Reizung derselben und auch die Erregung vom Blut aus steht ausser Zweifel. Deshalb darf wohl angenommen werden, dass es automatische Centra in dem Sinne gibt, dass sie nicht direkt mit der eigentlich externen sensitiven Fläche verbunden sind und in der Regel nicht von ihr aus erregt zu werden brauchen, um thätig zu sein. Allein insofern wird man von einer völligen Automatie nicht sprechen können, als wohl kein solcher Mechanismus ganz ausser Zusammenhang mit dem Gesamtmechanismus des Nervensystems steht und dass er so wenigstens indirekt, wenn auch nur unter besonders

günstigen Umständen, von der sensitiven Seite aus beeinflusst werden kann.

Somit ist der Unterschied zwischen dem Reflexmechanismus, der die Erregung seiner sensitiven Zelle prompt und direkt auf eine Arbeitszelle überträgt, und dem automatischen Mechanismus, der das nur unter ganz besondern Umständen indirekt und mit bedeutender Verzögerung thut, im übrigen aber selbstthätig ist, wohl nur ein gradweiser, kein absoluter.

§ 362.

Bei der Thätigkeit der automatischen Elementarmechanismen hat man zweierlei Formen zu unterscheiden: die rhythmische und die tonische Automatie. Dies bezieht sich darauf, dass bei den Automatien die Leistung in den Arbeitszellen entweder eine continuirliche, wie z. B. die anhaltende Spannung von Muskelzellen, oder eine rhythmische unterbrochene ist, wie bei den Herz- und Athmungsbewegungen.

Sicher erklärt ist dieser Unterschied nicht. Bei der tonischen Automatie kann die Ursache ebensogut ein gleichmässig fortdauernder Erregungszustand der Ganglienzelle, als ein sogenannter Tetanus d. h. eine Reihe so rasch auf einander folgender rhythmischer Erregungen sein, dass zwischen den Einzelnzuckungen keine Ausdehnung stattfinden kann (siehe § 122).

Bei der rhythmischen Automatie kann die Ursache der Unterbrechungspausen darin liegen, dass in der Ganglienzelle selbst ein Widerstand sich findet, der eine Entladung erst zulässt, wenn die continuirlich fortdauernde Erregung so hoch angewachsen ist, dass sie den Widerstand bricht, und nach der Entladung die Erregung wieder eine gewisse Zeit zum Anwachsen braucht.

Auch das ist möglich, dass wir es bei den rhythmischen Automatien mit einem regulatorischen Mechanismus aus Hemmungs- und Beschleunigungscentren zu thun haben, die abwechselnd erregt sind: Die Pause wäre dann Wirkung des Hemmungscentrums, die Aktiven Wirkung des Beschleunigungscentrums.

§ 363.

Bei den Elementarmechanismen kommt auch noch das numerische Verhältniss in Betracht. Wohl nicht immer, aber gewiss in der weitaus grössten Mehrzahl steht mit einem Reflexcentrum nach beiden Seiten hin eine Mehrzahl von Gewebszellen in Verbindung, indem die von den Ganglienzellen ausstrahlenden Nervenfasern

sich gegen die Peripherie hin verästeln. So gehört zu einem Elementarmechanismus stets eine ganze Gruppe von Muskelfäden bzw. Muskeln, die somit zu einer Cooperativgenossenschaft verbunden sind. Dass auch auf dem sensitiven Gebiet solche Zusammenfassungen existiren, werden wir später zu besprechen haben.

Weiter ist noch zu bemerken, dass nicht sämtliche Zellen des Körpers zu Elementarmechanismen vereinigt sind. Es gibt zahlreiche Zellen, welche ganz ausser Verbindung mit dem Nervensystem bleiben und zwar nicht blos die Wanderzellen, sondern auch Grenzzellen (sowohl in der äussern Haut, wie in der Schleimhaut und den Drüsen), ebenso Bindegewebszellen; dagegen scheinen die Muskelzellen sämtlich in den Verband von Elementarmechanismen hereingezogen zu sein.

§ 364.

Betrachtet man die durch den nervösen Mechanismus hervorgerufenen Erscheinungen an den Arbeitszellen (motorischen und sekretorischen), so findet man zweierlei entgegengesetzte Beeinflussungen, die eine, welche die ruhende Zelle zur Arbeit erregt oder die Arbeit einer bereits thätigen beschleunigt und eine andere, welche die arbeitende Zelle zur Ruhe verurtheilt, beziehungsweise die Arbeit hemmt, vermindert, unter Umständen auch, wie bei sekretorischen Zellen, qualitativ verändert. Ich führe hierfür einige Beispiele an.

Das bekannteste Beispiel bietet das Herz: Das ausgeschnittene Herz eines Wirbelthieres, z. B. eines Frosches, schlägt fort, zum Beweis, dass es eigene automatische Centren hat. Experimentell steht nun fest, dass Reizung der neunten Hirnnerven die Herzbewegungen verlangsamt, Reizung der sympathischen Nerven sie beschleunigt.

Ein zweites Beispiel bietet der Darm: Die Thatsache, dass ein frisch ausgeschnittenes Darmstück auf Reize sich bewegt, beweist, dass es im Besitz eigener Reflex-Mechanismen ist. Dafür spricht auch die Thatsache, dass eine Steigerung der Venosität des Blutes Darmbewegungen hervorrufft, beziehungsweise sie beschleunigt. Nicht minder sicher ist, dass Gemüthsbewegungen und direkte Reizung des Nervus vagus den Darm in Bewegung setzen und dass Reizung des Nervus splanchnicus und des Brusttheils vom Rückenmark die Darmbewegungen hemmt.

Ein drittes, etwas anderartiges Beispiel bietet die Mechanik der Blutgefässe: Die Arterienlichtung wird durch einen bestimmte dauernde d. h. tonische Spannung der Muskelschicht der Rohrwand beherrscht (tonische Automatie). Diesen Spannungszustand

sehen wir durch zweierlei Nerven in entgegengesetzter Weise beeinflusst: Reizung des Vagus, des Hals sympatheticus, der Nasenschleimhaut etc. vermehrt die Gefäßspannung unter Verminderung des Querschnittes ein Einfluss, den man „pressorisch“ nennt; andererseits setzt Reizung gewisser sensitiven Nerven, die sich im Ramus depressor des Nervus vagus sammeln, allgemein, und die Reizung der sensitiven Nerven eines Gefäßbezirks örtlich die Spannung herab unter Erweiterung der Gefäße.

Auch von absondernden Arbeitszellen kennen wir ein ähnliches Verhältniss. Zu den Speicheldrüsen gehen zwei antagonistische Nervenbahnen, von denen die eine die Sekretion beschleunigt, die andere sie zwar nicht sistirt, aber eine quantitativ geringere und qualitativ verschiedene Sekretion hervorruft (der durch Erregung des Nervus trigeminus hervorgerufene Speichel ist massenhaft und dünnflüssig, der durch die Erregung des Sympathicus erzeugte spärlich und zähflüssig).

§ 365.

Die vorstehenden Thatsachen zeigen uns einen wiederum nach dem Prinzip der Dreizahl zusammengestellten Nervenmechanismus, den wir einen regulatorischen nennen: Der Elementarmechanismus ist nach zwei Seiten hin durch interganglionäre sogenannte regulatorische Nerven, mit zwei antagonistisch, also regulatorisch wirkenden Centren höherer Ordnung, nämlich einem Beschleunigungscentrum und einem Hemmungscentrum, verbunden. Nach der andern Seite hin sind diese regulatorischen Centren entweder direkt oder indirekt mit der sensitiven Sphäre verbunden.

Ist der Elementarmechanismus ein Reflexmechanismus, so nennt man seine regulatorischen Centren Reflexregulierungscentren (Reflexhemmungs- und Reflexbeschleunigungscentren), ist es ein automatischer Mechanismus, so spricht man von Automatieregulierungscentren.

§ 366.

Eine weitere Verknüpfung von Elementarmechanismen ist besonders auf dem motorischen Gebiete deutlich. Sowohl bei Reflexen als auch bei Automaten werden in der Regel mehrere räumlich weit auseinander liegende, also nicht durch die Verästlung einer einzigen Primivfaser verbundene Arbeitszellgruppen in Thätigkeit versetzt bzw. gehemmt und zwar sind das Arbeitszellgruppen, die in anderen Fällen auch für sich allein

thätig sein können, also ihr eigenes Centrum haben. Diese Erscheinung nennt man *Coordination* und spricht von *coordinirten* Bewegungen.

Auch auf dem Gebiete der Sekretion kann man solche *Coordinationen* beobachten; so ruft der Geruch oder die Vorstellung von wohlschmeckenden Speisen nicht blos Speichelabsonderung, sondern auch Absonderung von Magensaft hervor.

Die Thatsache, dass sich namentlich solche Muskelgruppen leicht durch *Coordination* vereinigen lassen, deren *Innervationscentra* im Centrum des Nervensystems nahe bei einander liegen, z. B. rechts und links in gleicher Höhe, weist darauf hin, dass sie durch direkte Verbindung von primären Centren zu Stande kommt.

Bei dieser Verknüpfung unterscheidet man übrigens zweierlei Fälle. Von *Coordination* im engeren Sinn spricht man, wenn die *coordinirten* Bewegungen zu einer zweckmässigen *Gesamthandlung* verknüpft sind; ist dagegen nur die eine Bewegung zweckmässig, die andere, mit ihr gleichzeitig oder abwechselnd auftretende zwecklos, so nennt man die letztere eine *Mitbewegung* (*Synkinasie*) und nimmt an, dass die betreffende motorische *Ganglienzelle* durch sogenannte *Irradiation* in Erregung versetzt werde.

§ 367.

Die mit der steigenden Komplikation der *Gesamtorganisation* des Körpers sich einstellende funktionelle Vervollkommnung auf dem Gebiete des Nervensystems beruht wahrscheinlich auf der Verknüpfung der genannten *Nervenmechanismen* zu einem immer komplizirteren Mechanismus. Bei den niedersten *Nerventhieren*, den *Bryozoen*, besteht nach dem anatomischen Befund das ganze Nervensystem aus einem einzigen *elementaren Reflexmechanismus*. Mit der Massezunahme des Körpers nimmt dann nicht nur die Zahl der *Elementarmechanismen* zu, sondern auch die *Verknüpfungen* derselben zu höheren Mechanismen werden mannigfaltiger.

Nennen wir den *Elementarmechanismus* und sein Centrum primär, so sahen wir im Obigen eine Verknüpfung zu sekundären Mechanismen mit sekundärem Centrum (*regulatorische Mechanismen*) und lernten in der *Coordination* ein Appendix zu diesen sekundären Mechanismen kennen; dabei bleibt es aber nicht stehen. Es werden sekundäre Mechanismen zu tertiären mit tertiärem Centrum tertiäre zu quaternären und so fort mit einander verknüpft, bis schliesslich der *Gesamtkörper* zu einem durch das Nervensystem verknüpften *Gesamtmeechanismus* wird.

Solche Centra höherer Ordnung hat uns die Experimentalphysiologie bereits kennen gelernt; wir kennen z. B. bei den Wirbelthieren auf dem Gebiet der motorischen Arbeitszellen das Athmungscentrum, das Krampfcentrum, das allgemeine vasomotorische Centrum und auf diesem Gebiet ist ein Centrum sehr hoher Ordnung das allgemeine Coordinationscentrum der willkürlichen Bewegung. Andere Centren hoher Ordnung sind das im Vorderhirn gefundene Wärmeregulierungscentrum und das von Setschenow in den Auglappen (*lobi optici*) des Gehirns gefundene allgemeine Reflexhemmungscentrum.

§ 368.

Für diese Centra höherer Ordnung gilt dasselbe Gesetz wie für die niederer Ordnung, dass, wenn auch nicht jedem, so doch wahrscheinlich den meisten dieser Centren je ein anderes Centrum antagonistisch in ähnlicher Weise gegenüber steht wie Hemmungs- und Beschleunigungscentra, pressorische und depressorische Centra. So hat man auf dem Gebiete des Ortsbewegungsmechanismus im Gehirn der Thiere ein Vorwärtsbewegungscentrum und ein Rückwärtsbewegungscentrum gefunden, sowie ein Rechtsdrehungscentrum und ein Linksdrehungscentrum.

Ueber das Verhältniss dieser antagonistischen motorischen Centra hat das künstliche und das durch krankhafte Veränderungen hervorgebrachte natürliche Experiment zwar noch nicht unumstössliche Ergebnisse gehabt, doch weisen mehrere Erscheinungen darauf hin, dass dieselben in nicht ermüdetem Zustand fortwährend thätig sind, dass also Ruhe des Körpers nicht Folge einer Unthätigkeit dieser Centren ist, sondern Folge gleichstarker Thätigkeit, wodurch sie sich gegenseitig lahm legen. Sobald man nämlich eines dieser antagonistischen Centra durch Vernichtung, Gefrierung etc., lahm legt, so dass das andere ausschliesslich die Oberhand bekommt, so treten die sogenannten Zwangsbewegungen ein. Wenn man z. B. bei einer Taube das Vorwärtsbewegungscentrum durch Gefrieren lähmt, so bewegt sie sich fort und fort rückwärts, genau wie ein todter Mechanismus, bei dem man die Hemmung entfernt hat und zwar so lange, bis Ermüdung die Bewegung sistirt.

Damit scheint folgende eigenthümliche biologische Erscheinung zusammenzuhängen. Tritt ein Feind einem Thiere entgegen, so ist zweierlei möglich, entweder stürzt sich das Thier auf denselben oder es weicht zurück. Das erstere ist der Fall, wenn der

Feind schwächer ist, das letztere wenn er stärker ist. Die Erklärung liegt — und das ist ein weiterer Punkt der Nervenmechanik, — wie mir scheint in Folgenden:

Bei dem schon im Eingang geschilderten Umstand, dass der Erregungsvorgang im Protoplasma ein Zerstörungsprozess ist, kommt es nur auf die Erregungsstärke an, ob die Erregung eine Thätigkeit oder eine Lähmung durch Ueberreiz zur Folge hat. In obigem Fall bringt die geringere Erregung, die vom Anblick eines untergeordneten Gegners auf das Vorwärtsbewegungscentrum ausgeübt wird, ein Uebergewicht dieses Centrums über das antagonistische Rückwärtsbewegungscentrum hervor. Bei dem Anblick eines weit überlegenen Gegners ist dagegen die Erregung des Vorwärtsbewegungscentrums so stark, dass dasselbe durch Nervenreiz gelähmt wird (lähmende Wirkung des Schreckens) und das Rückwärtsbewegungscentrum die Oberhand gewinnt.

Hierbei spielt auch noch der Antagonismus zwischen Rechtsdrehung und Linksdrehung eine Rolle, wobei vorauszusetzen ist, dass das Bewegungscentrum für die rechte Körperhälfte, in Folge der Kreuzung der Nervenbahnen im Gehirn, links liegt und umgekehrt. Naht sich ein Gegner von links, so wird das Bewegungscentrum der rechtseitigen Körpermuskeln stärker afficirt. Ist der Eindruck ein schwächerer, also beschleunigender, so gewinnen die rechtsseitigen Muskeln die Oberhand und das Thier dreht sich gegen den Feind. Ist der Eindruck ein lähmender, so gewinnen die linksseitigen Muskeln die Oberhand, und das Thier dreht sich von seinem Gegner ab.

§ 369.

Wenn wir die Vereinigung aller Nervenmechanismen zu einem Gesamtmechanismus betrachten, so tritt uns als das die Einheit Herstellende eine neue, eigenartig funktionirende oberste Gruppe von Nervenmechanismen entgegen, die wir die seelischen (psychischen) nennen, während wir im Gegensatz hierzu die bisher beschriebenen Mechanismen als physische bezeichnen dürfen.

Der wesentliche Unterschied zwischen diesen zwei Arten von Mechanismen ist folgender:

1) Bei den physischen Mechanismen handelt es sich um Arbeitsauslösungen, deren Anstoss von gegenwärtigen äusseren oder inneren Reizen ausgeht. Bei den seelischen Organen gesellen sich zu den gegenwärtigen Reizen noch Einflüsse, die auf vergangene, ja zum Theil längst vergangene Erregungen, sogenannte Erfahrungen, zurückzuführen sind. Von diesem Stand-

punkt aus können wir die seelischen Mechanismen auch Erfahrungsmechanismen nennen.

2) Bei den Erfahrungsmechanismen hat die Erregung nicht nur Auslösung von Arbeitsleistungen zur Folge, sondern sie wird ausserdem auch noch von den Aeusserungen des sogenannten Bewusstseins begleitet, die in einem folgenden Paragraphen besprochen werden sollen. Bei Erregungen, welche nur die physischen Mechanismen durchziehen, fehlt das Bewusstsein oder kann fehlen, von diesem Standpunkt aus kann man die seelischen auch die Mechanismen des Bewusstseins nennen.

3) Die Erregungen der physischen Nervenmechanismen zeichnen sich durch die sich gleichbleibende Promptheit und Regelmässigkeit aus, mit welcher der Reiz von der Bewegungsauslösung beantwortet wird, kurz, die Erregung hat stets den Charakter des Reflexes. Bei dem seelischen Mechanismus besteht keine zeitliche Regelmässigkeit: der Erregungsprozess schlägt bald rasch, bald sehr langsam bis zu der Erfolgseite durch, bald gar nicht, trotzdem dass er auf der sensitiven Seite eine oft sehr lange Kette von Erregungsauslösungen (Nachdenken, Ueberlegung) hervorruft. Es ist also zwischen Sinnesreiz und Erfolg ein Zeit (Ueberlegungszeit) erfordernder Prozess eingeschaltet.

§ 370.

Die Mittelpunkte der Erfahrungsmechanismen, die wir Erfahrungscentra nennen können, liegen bei den Wirbelthieren alle im grossen Gehirn, bei den Wirbellosen im Kopfganglion und sind ohne Zweifel Ganglienzellen. Sie erlangen die Specificität ihrer Leistung erst allmählig mit der Zeit und zwar auf Grund der § 114 geschilderten Stimmungsfähigkeit des Nervenprotoplasmas. Die Stimmung geht von den peripherischen Enden des sensitiven Theils des Mechanismus d. h. von den Sinnesnerven aus (nach dem Satz: non est in intellectu, quod non erat in sensu) und schreitet von hier aus durch das Centralorgan zum motorischen Theil.

Nach dem früher Gesagten können wir uns, in so lange als die objektive Forschung keinen bestimmten Aufschluss gibt, die Stimmung, d. h. die Spezifizierung der Erfahrungscentra so vorstellen: Die verschiedenen Reize unterscheiden sich — wenigstens wissen wir das von den kinetischen — durch die verschiedene Geschwindigkeit, mit der die Reizstösse einander folgen, also durch den Rhythmus. Wenn nun eine sensitive Nervenfaser und die mit ihr verbundene centrale Ganglienzelle fortwährend einen Reiz von

constant bleibendem Rhythmus mit Ausschliessung aller anderen ausgesetzt ist, so vollzieht sich die Stimmung in der Weise, dass dieser Rhythmus der Eigenrhythmus der Ganglienzelle wird. Mag sie jetzt auch von anderer Seite und in anderen Rhythmus erregt werden, so hält sie den „erlernten“ Rhythmus fest, d. h. reagirt nur in dieser Form.

Von der Stimmungsfähigkeit dieser Centren hängt die Lernfähigkeit des Thieres ab, von der Genauigkeit und Dauerhaftigkeit der Stimmung die Qualitäten des Gedächtnisses.

Auf dem Prozess der Stimmung der primären Erfahrungscentra und ihrer Verknüpfung durch leitende Bahnen beruht die Entwicklung der Seele (Psychogenesis).

§ 371.

Die Stimmung setzt natürlich einen Stimmungsmechanismus voraus, dessen Leistung darin besteht, dass alle die von der Aussenwelt kommenden Reize nach ihrer Qualität zerlegt werden und zwar so, dass jede Reizart stets und nur zu einer ganz bestimmten centralen Ganglienzelle oder Zellgruppe gelangt. Die allgemeine Möglichkeit hierzu bietet die Isolirtheit der Leitung der Nervenfasernerregung.

Die Zerlegung beginnt schon auf der Auffallsfläche der Reize durch ihre Theilung in die verschiedenen Sinnesorgane, in Sehflächen, Hörflächen, Tastflächen, Riechflächen und Geschmackflächen. Jede dieser Flächen ist dem Körper so eingefügt, dass sie wenigstens in der grössten Mehrzahl der Fälle nur von einer Reizart, die Schfläche z. B. nur von Lichtstrahlen, die Hörfläche nur von Schallwellen erreicht wird, dagegen alle anderen Reizsorten in der Regel nicht an sie herangelangen können.

Indem nun die Nerven der verschiedenen Sinnesflächen mit verschiedenen Ganglienzellengruppen in anatomischer Verbindung stehen, ist eine Zerlegung der Erfahrungscentra in Hörcentra, Sehcentra, Riechcentra etc. gegeben.

Bei dem Gehörorgan findet schon auf der peripherischen Perzeptionsfläche eine weitere Zerlegung der Schallwellen in Einzeltöne statt, indem dort eine geordnete Skala von elastischen, gespannten, schwingungsfähigen Gebilden verschiedener Länge liegt, deren jedes also auf einen seiner Länge und Spannung entsprechenden Eigenton gestimmt ist. Indem jeder „Hörsaiten“ oder jedem „Hörhaar“ eine eigene Sinneszelle anliegt und diese durch einen eigenen Nerv mit einer eigenen centralen Ganglienzelle sich

verbindet, wird letztere zum Erfahrungscentrum für einen bestimmten Ton: Toncentrum.

Bei den anderen Sinnen muss ebenfalls eine solche Zerlegung stattfinden, beim Sehcentrum also z. B. in einzelne Farbencentra, allein der Mechanismus ist hier noch nicht ermittelt. Beim Auge nehmen einige Physiologen eine Zerfällung in wenigstens einige Hauptfarben schon auf der primär percipirenden Netzhautfläche an, indem sie grünperzipirende, roth perzipirende und violett perzipirende Sehzellen neben solchen, die Licht im allgemeinen wahrnehmen, unterscheiden, allein die Sache steht noch keineswegs fest und andererseits, wenn sie auch richtig wäre, scheint mir die Selbstbeobachtung unbedingt eine weitergehende Zerlegung in viel zahlreichere chromatische Erfahrungscentra zu verlangen. — Ob nicht die Zerlegung durch die notorisch in die Bahn des Sehnerven eingelagerten Zwischenganglienzellen stattfindet?

§ 372.

Die im vorigen Paragraphen geschilderten primären Erfahrungscentra nennt man Sinnescentra und schreibt dem Thiere soviel Sinne zu, als solcher Centra vorhanden sind. Uebrigens ist die frühere Annahme von fünf Sinnen (Gesicht, Gehör, Getast, Geschmack und Geruch) nach zwei Selten hin nicht völlig zutreffend. Auf der einen Seite scheinen auf niederster Stufe nur zwei Sinne, ein chemischer und ein physikalischer, vorhanden zu sein, von denen sich später der erstere in Geschmack- und Geruchsinn, der letztere in Tast-, Gehör- und Gesichtssinn spaltet. Auf der anderen Seite liegen Anzeichen dafür vor, dass bei höher organisirten Thieren der Tastsinn sich in Drucksinn und Wärmesinn spaltet und im Raumsinn ein superordinirter Sinn entsteht, an dessen Ausbildung Tast- und Gesichtssinn theilhaftig sind.

Die Erregung der Sinnescentra wird Empfindung genannt und ist dadurch charakterisirt, dass sie mit der sogenannten Vorstellung verbunden ist, d. h. die Erregung wird nicht als eine Zustandsveränderung im eigenen Körper wahrgenommen, sondern in die Aussenwelt verlegt. Z. B. der Ton, den wir hören und der für uns zunächst nichts ist als eine Erregung der Hörnerven und der Hörcentra, wird als eine in der Aussenwelt vor sich gehende Bewegung gedeutet. Die mit Vorstellung verbundene Empfindung wird jedoch nur erzeugt, wenn die Reizung die Sinneszellen allein trifft und nicht zu stark ist; überschreitet der Reiz eine gewisse Stärke oder trifft er die leitende Nervenfasern, so ent-

steht ein nicht mit Vorstellung verbundenes, d. h. als Veränderung des getroffenen Organs gedeutetes Gemeingefühl in specie Schmerz.

§ 373.

Die Sinnescentra werden durch intercentrale Fasern zu Mechanismen höherer Ordnung, den Empfindungsmechanismen, verknüpft. Die anatomischen Bahnen für diese Verknüpfung sind wohl zum grossen Theil vor Beginn des Erfahrungsprozesses nicht vorhanden, sondern bilden sich erst allmählig und zwar nach bestimmten Grundsätzen. Es werden nämlich solche primäre Erfahrungscentra verknüpft, 1) die stets gleichzeitig erregt werden: Prinzip des Nebeneinander; 2) solche, die stets nacheinander erregt werden: Prinzip des Nacheinander; 3) solche, deren Eigenrhythmus ein ähnlicher ist: Prinzip der Aehnlichkeit; 4) endlich findet auch noch eine Verbindung nach dem Prinzip des Contrastes statt.

Wie die anatomisch-physiologische Verknüpfung nach den obigen Grundsätzen zu Stande kommt, wird uns natürlich noch sehr lange ein Geheimniss bleiben, allein ich halte es nicht nur für erlaubt, sondern auch für nützlich, sich darüber eine ungefähre Vorstellung zu machen. Eine Erklärung hat dabei nicht bloss wahrscheinlich zu machen, warum sich primäre Erfahrungscentra verknüpfen, sondern auch, warum andere trotz einer die Verknüpfung erleichternden und begünstigenden räumlichen Disposition sich nicht verbinden.

Am leichtesten verständlich kann man sich das für die beiden ersten Verknüpfungsarten machen und zwar so:

Zur anatomisch-physiologischen Verknüpfung der primären Erfahrungscentra gehört ein Zustand der Ausläufer, der Ganglienzellen, den ich die Verknüpfungsbereitwilligkeit nennen will. In diesen Zustand tritt der Ausläufer sobald seine Ganglienzelle erregt wird und verharrt nachher noch eine Zeit lang darin. Die Verknüpfung kommt aber nur dann zu Stande, wenn beide sich berührende oder sehr genäherte Ausläufer im Zustand der Verknüpfungsbereitwilligkeit sich befinden, unterbleibt dagegen, wenn dies nur bei einem oder dem andern der Fall ist.

§ 374.

Aprioristische Erwägung und psychologische Selbstbeobachtung zwingt weiter zu der Annahme, dass die Verbindung der primären Erfahrungscentra in der Regel keine direkte, sondern eine indirekte durch eine Ganglienzelle höherer Ordnung (Ver-

knüpfungscentrum) ist. Da nun von dieser, so lange sie noch isolirt ist, also von sensitiven Erregungsakten noch nicht getroffen werden kann, auch kein aktives Entgegenkommen hinsichtlich der Verknüpfung denkbar ist, so muss bei ihnen passive Beeinflussung angenommen werden. Ich thue das in folgender Weise.

Der anatomische Bau der Erfahrungsorgane im Grosshirn der Wirbelthiere zeigt uns eine schichtweise Aufeinanderfolge von Ganglienzellen. Wir dürfen nun annehmen, dass die Ganglienzellschicht, in welche die sensitiven Nerven zuerst einmünden, die primären Erfahrungscentra (Sinnescentra) enthält und dass die Verknüpfungscentra erster Ordnung hinter ihnen in der nächsten Schicht liegen, die zweiter Ordnung noch weiter zurück u. s. w. Die Verknüpfung muss nun einmal davon abhängen, dass die Erfahrung bedingende Erregung ein centripetales Auswachsen der Ganglienzellenausläufer befördert, dann davon dass die Ausläufer, von primären Erfahrungscentren, die gleichzeitig oder kurz nach einander erregt werden, auch gleichzeitig die Schicht der Verknüpfungscentren erster Ordnung erreichen und zwar entweder die gleiche Ganglienzelle oder, wenn dies verschiedene sind, dass diese sich durch seitliche Bahnen zu einem Ganzen verbinden.

§ 375.

Schon aus dem Vorhergesagten ergibt sich, dass es zweierlei Verknüpfungsmodi der Erfahrungscentra geben muss.

1) Die Verbindung der Centra niederer Ordnung mit solchen höherer Ordnung: *superordinative* Verknüpfung, bei welcher es sich um eine Verbindung von Detailerfahrungen zu einer Gesamterfahrung handelt. Diese Verbindung erfolgt in der Richtung des Tiefedurchmessers, d. h. *centripetal*.

2) Die Verbindung von Centren gleicher Ordnung: *coordinative* Verknüpfung, wobei es sich um Bildung einer zusammenhängenden Kette von coordinirten Erfahrungen handelt und anatomisch um eine Verknüpfung der Centren gleicher Ordnung durch seitliche Bahnen.

Demgemäss müssten bei jeder zum Empfindungsmechanismus gehörigen Ganglienzelle dreierlei Ausläufer, d. h. dreierlei Arten von leitenden Nervenbahnen unterschieden werden: 1) zuleitende, von den Sinnesorganen kommende, 2) centripetale Bahnen, die zu Verknüpfungscentren höherer Ordnung ziehen, 3) laterale, sogenannte Coordinationsfasern zur Verbindung der Centren gleicher Ordnung. Mit dieser Annahme stimmt der Befund der mikroskopischen For-

schung an den Ganglienzellen der psychischen Organe vollständig überein. Dieselben haben die Gestalt einer Pyramide: Eine Fasser tritt in die Mitte der Pyramidenbasis, eine zweite entspringt von der Spitze der Pyramide und mehrere von den Ecken derselben. Letztere sind wohl die coordinativen Bahnen, die beiden ersten die superordinativen.

§ 376.

Die psychologische Beobachtung ergibt nun auch, dass diese beiden Verknüpfungsmodi bestehen müssen. Die coordinative Verknüpfung tritt in dem Denkprozess zu Tage, den die Psychologen die Association der Vorstellungen nennen, und der darin besteht, dass eine Empfindung um die andere in einer dem Nacheinander, Nebeneinander, der Aehnlichkeit und dem Contrast entsprechenden Reihenfolge vor dem Bewusstsein auftauchen. Nennen wir diesen Empfindungsmechanismus den Associationsmechanismus.

Die superordinative Verknüpfung tritt uns in der Zusammenfassung der Detailsmpfindungen zu Gesamtempfindungen entgegen und dabei handelt es sich um Verknüpfungen niederer Ordnung und höherer Ordnung in einer gewissen Reihenfolge.

Als erste superordinative Verknüpfung müssen wir diejenige betrachten, welche die in den verschiedenen Sinnescentren liegenden Ton-, Farben-, Riech-, Tastcentra etc. zur Vorstellung eines Einzelnen Gegenstandes, eines Bildes verbinden: primärer Empfindungsmechanismus oder Bildmechanismus.

Eine höhere superordinative Zusammenfassung ist die Verknüpfung der Bilder zu Begriffen (Begriffsmechanismus), wobei die Thatsache, dass die Psyche im Stande ist, engere Begriffe zu weiteren und diese zu noch weitereren zusammenzufassen, die Annahme von Begriffsmechanismen niederer und höherer Ordnung verlangt.

Die Begriffsmechanismen sind wieder die Grundlage zur Bildung höherer Einheiten, der Urtheilsmechanismen. Zu einem solchen gehören mindestens zwei Begriffsmechanismen und endlich in letzter Instanz verknüpfen sich die Urtheilsmechanismen zu Schlussmechanismen.

§ 377.

Den Empfindungsmechanismen auf der sensitiven Seite der Centraltheile des Nervensystems entspricht der Willensmecha-

nismus auf der motorischen Seite. Derselbe knüpft an den motorischen Theil der physischen Elementarmechanismen, aber nicht an alle an, Ein Theil der Elementarmechanismen, sowohl der automatischen als der Reflexmechanismen, bleibt ausser Zusammenhang mit ihm: Ihre Mechanik ist dem Willen entzogen, ist unwillkürlich.

Die Verknüpfung auf dem Gebiete des Willensorganismus folgt den gleichen Grundsätzen, wie die des Empfindungsmechanismus, mit der Einschränkung, dass es sich hier nur um die Prinzipien des Nebeneinander und Nacheinander handelt, d. h. es werden durch den genannten Mechanismus Bewegungen verknüpft, die stets oder wenigstens in der Regel gleichzeitig oder kurz nach einander ausgeführt werden. Der Erfolg der Verknüpfung ist der: Vor dem Zustandekommen der Verknüpfung bedarf jede einzelne Bewegung eines eigenen, vom Centrum ausgehenden Anstosses (Willensimpuls), nach der Verknüpfung reicht Ein Willensanstoss zur Auslösung aller verknüpften Einzelbewegungen aus.

Die Verknüpfung ist natürlich bis zu einem gewissen Grade von anatomischen Vorbedingungen abhängig, endgültig wird sie aber ebenfalls durch die Erfahrung zu Stande gebracht, deshalb sind auch die Willensorganismen Erfahrungsmechanismen. Auch gilt von ihren Erregungen dasselbe wie von der Empfindung, sie sind mit einer Art Vorstellung d. h. einer Projektion in die Aussenwelt verbunden: die willkürlichen Bewegungen sind auf Objekte der Aussenwelt gerichtet.

§ 378.

Ferner ergibt die Beobachtung, dass die durch die Erfahrung bewerkstelligte Verknüpfung zunächst nicht in den Erfahrungscentren stattfindet, sondern in dem Gebiet, in welchem auch die primären Reflexcentren liegen. Dies wird durch den geordneten Reflex bewiesen d. h. dadurch, dass geordnete, zweckmässige, erst durch die Erfahrung verknüpfte Bewegungen auf den entsprechenden sensitiven Reiz auch dann (reflektorisch) entstehen, wenn die Willenscentra durch Ausschneiden des Grosshirns entfernt oder, wie beim Schlaf, ausser Thätigkeit sind. Wir können dies nur so verstehen, dass durch Erfahrung ein gemeinschaftliches Centrum entsteht und dieses einerseits durch interganglionäre Fasern mit dem Willenscentrum verknüpft ist andererseits durch Bahnen direkt mit der sensitiven Sphäre. Ohne Willensimpuls erfolgt die Bewegung reflektorisch durch Sinnesreiz und

ersterer kann in zweifacher Weise eingreifen: er kann den Reflex hemmen oder von sich aus die Bewegung auslösen.

Es gelangen jedoch nicht alle erfahrungsmässig verknüpften willkürlichen Bewegungen auch zur reflektorischen Verknüpfung, sondern wohl nur solche, bei denen ein häufiges und regelmässiges, selten gestörtes Zusammenarbeiten stattfindet.

§ 379.

Die Verknüpfung von Empfindungsmechanismen und Willensmechanismen ist, wie die psychologische Beobachtung lehrt, keine einfache, es ist ein dritter regulatorisch wirkender Faktor, das Gemeingefühlcentrum, eingeschaltet. Die Erregungen dieser Centren unterscheiden sich von denen der Empfindungscentren dadurch, dass mit ihnen an und für sich keine Vorstellung verbunden ist; sie werden vom Bewusstsein als Zustandsveränderungen des eigenen Körpers oder eines Körpertheils als subjektive Veränderungen gedeutet.

Dabei ist ein antagonistisches Verhältniss, eine Zerlegung der Gemeingefühle in hemmend wirkende, sogenannte Unlustgefühle, und beschleunigend wirkende, sogenannte Lustgefühle, deutlich ausgesprochen, so dass wir gerade wie im motorischen Theil der Reflexmechanismen zwei antagonistische Gemeingefühlcentra anzunehmen haben. Stehen sie im Verhältniss des Gleichgewichts, so herrscht Gefühllosigkeit mit Ruhe, während jede Störung des Gleichgewichts, sei es durch Lähmung des einen oder Erregung des andern, die Ruhe aufhebt.

Diese Gemeingefühlcentra bilden sich ebenfalls auf dem Wege der Erfahrung. Dadurch zerlegen sich die Erfahrungen in zwei Gruppen, in angenehme und unangenehme, und für die Verknüpfung der sensitiven mit den motorischen Mechanismen ist es jetzt ausschlaggebend, ob durch eine Wahrnehmung eine angenehme oder unangenehme Erfahrung wachgerufen wird: Es hängt eben davon ab, ob ein Willensimpuls ausgelöst wird oder nicht, und im ersteren Fall, ob der Willensimpuls zu dem einen oder dem andern von zwei antagonistischen Bewegungscentren geht, z. B. zum Vorwärts- oder zum Rückwärtscentrum (Angriff oder Flucht).

§ 380.

Der Erfahrungsmechanismus zeigt bei den verschiedenen Thierarten, ja sogar bei den verschiedenen Individuen (namentlich beim Menschen), eine sehr ungleiche Entwicklungshöhe: Man unterscheidet verschiedene Intelligenzgrade. Es steht nun soviel

fest, dass die Höhe der Intelligenz mit der Grösse derjenigen Centraltheile des Nervensystems, welche die Erfahrungscentra bergen, zunimmt. Dabei kommt aber das Volum nur insofern in Betracht, als mit demselben auch die Ausdehnung der Oberfläche wächst, denn es steht auch fest, dass von zwei Thieren mit gleichem Grosshirnvolumen dasjenige intelligenter ist, dessen Hirnrinde durch Entwicklung zahlreicher Windungen eine grössere Oberflächenentwicklung gewonnen hat. Dies weist darauf hin, dass jedes Erfahrungscentrum oberster Ordnung eine bestimmte Quadratfläche in Anspruch nimmt und dass die Höhe der Intelligenz in geradem Verhältniss zur Zahl der obersten Erfahrungscentra und damit in geradem Verhältniss zu der von ihnen eingenommenen quadratischen Fläche steht. Und dieser Umstand führt wieder darauf hin, dass die Erfahrungscentra die Ganglienzellen der grauen Hirnrinde sind.

§ 381.

Für die Funktionirung des Erfahrungsmechanismus gilt als allgemeiner Grundsatz, dass die Erregung in ihm stets die leitungsfähigsten Bahnen einschlägt. Es sind das in erster Linie diejenigen, auf welchen sie sich am häufigsten bewegt hat, weil die Uebung die Leitungsfähigkeit erhöht. Daraus resultiren die sogenannten gewohnheitsmässigen Bewegungen (Erregungskirkulation durch die gewohnten Bahnen). Je grösser die Gewohnheitsmässigkeit wird, um so weniger sind die Bewegungen vom Willen abhängig und um so leichter werden sie ausgelöst und man geht wohl nicht fehl, wenn man annimmt, die geordneten Reflexe haben sich aus gewohnheitsmässigen Bewegungen entwickelt.

Unter den Bahnen des Erfahrungsmechanismus gibt es aber auch solche, welchen eine angeborene höhere Leitungsfähigkeit zukommt und daraus resultiren die instinktiven Bewegungen. (Ueber den Einfluss des Bewusstseinscentrums auf die Funktionirung der Erfahrungsmechanismen siehe den folgenden Paragraphen.)

Ferner ist noch anzugeben, dass es einen eigenen Zustand des Organismus gibt, in welchem die Erfahrungsmechanismen aus dem Gesamtnervenmechanismus so ausgeschaltet sind, dass der Rest völlig selbständig arbeitet und nur Reflexe und Automaten vor sich gehen. Dieser Zustand ist der Schlaf, der entgegengesetzte Zustand ist der des Wachseins. Der Schlaf ist die Folge einer Ermüdung des psychischen Mechanismus, der nach einer

Ansicht durch Belastung seiner Bestandtheile mit Ermüdungsstoffen (Milchsäure) erzeugt wird, jedenfalls aber auch gefördert wird durch Erschwerung des Blutabflusses aus dem Gehirn. Ein Mittelzustand zwischen Schlafen und Wachen ist das Träumen, wobei es sich um partielles Freiwerden eines Theils der Nervenbahnen und -Centren von der Erregungshemmung handelt.

§ 382.

Ueber dem im bisherigen kurz geschilderten Erfahrungsmechanismus steht ein letztes, oberstes einheitliches Element, welches von den Erregungen des Erfahrungsmechanismus beeinflusst wird und ihn beeinflussen kann. Von ihm geht vor allem die Thätigkeit der Vorstellung aus, welche jede Erregung des Erfahrungsmechanismus begleitet. In dem bei der Vorstellung zum Ausdruck kommenden Gegensatz zwischen dem Ich und der Aussenwelt ist dieses letztere Element der Repräsentant des Ichs, der Sitz des Bewusstseins, der Träger des Ichgefühls oder Selbstbewusstseins. Von ihm geht die Unterscheidung von Gemeingefühlen und Sinnesempfindungen, deren Ursache nach aussen hin, nämlich in ein Objekt verlegt wird, was wir eben die Vorstellung nennen, und auch die Vorstellung aus, welche mit den Willensakten verbunden ist, indem sich dieselben auf einen Gegenstand der Aussenwelt beziehen.

Dass dieses oberste Element keine Vielheit, sondern eine Einheit ist, wird durch die Erscheinung der Aufmerksamkeit angedeutet: Dieselbe kann weder auf der sensitiven, noch auf der motorischen Seite an verschiedenen Punkten gleichzeitig thätig, sondern nur immer auf einen Punkt des Erfahrungsmechanismus gerichtet sein, denn auch in den Fällen, wo durch grosse Uebung die Befähigung erlangt wird, die Aufmerksamkeit auf mehrere Punkte zu richten, ist das nie eine wirkliche Gleichzeitigkeit sondern ein rasches Nacheinander. Die Wirkung der Aufmerksamkeit auf den von ihr beeinflussten Theil des Erfahrungsmechanismus ist eine Erhöhung seiner Leitungsfähigkeit. Zur vollen und raschen Wirkung auf das Bewusstsein gelangen nur die Erregungen des Theils des Erfahrungsmechanismus, auf welchen die Aufmerksamkeit gerichtet ist, die der übrigen bleiben ganz oder fast ganz unbeachtet oder wirken erst mit erheblicher Verspätung auf den Sitz des Bewusstseins.

Durch diese Beeinflussung der Leitungsfähigkeit übt letzteres einen regulirenden Einfluss auf die Richtung, in welcher die Erregung die Erfahrungsmechanismen durchzieht.

Ueber die anatomische Lage des Bewusstseinscentrums wissen wir soviel, dass es beim Wirbelthiere in der Rinde der Halbkugeln des Grosshirns, also an demselben Ort liegen muss, wo sich auch die Centra des Erfahrungsmechanismus befinden. Da es Thatsache ist, dass letztere aus einer grossen Zahl von Einzelcentren bestehen müssen, so haben wir allen Grund, die in der Grosshirnrinde liegenden Ganglienzellen für die Erfahrungscentra zu halten, und dann bliebe uns als anatomisches Substrat für das Bewusstseinscentrum nur die nicht differenzirte, allgemeine, zwischen die Ganglienzellen eingelagerte Neuroglia übrig. Damit stimmt, dass es sich beim Bewusstsein nicht wie beim Erfahrungsmechanismus um eine Vielheit, sondern um eine Einheit handelt, und zwar um eine zu allen Erfahrungscentren in gleich inniger Beziehung stehenden, also ziemlich eben so weit als sie räumlich ausgedehnten Einheit. Denn die Neuroglia ist kein Aggregat aus vielen einzelnen Zellen, sondern eine nicht differenzirte, alle Grosshirnganglien in sich bettende also allgegenwärtige Masse.

Es versteht sich von selbst, dass die Annahme, die Neuroglia sei das anatomische Substrat des Bewusstseins, vorläufig kaum etwas anderes ist als eine Vermuthung.

§ 383.

Die Gesammtheit der Erfahrungsmechanismen und des Bewusstseinscentrums nennen wir den Denkmechanismus, seine Erregungen das Denken oder die Gedankenbildung. Die Erregungen werden durch sensitive Reize ausgelöst und cirkuliren innerhalb des Mechanismus, wie oben bemerkt, stets auf den jeweils leistungsfähigsten Bahnen. Ob dem Denkmechanismus, namentlich dem Bewusstseinscentrum eine wahre automatische Befähigung zukommt, darüber ist die Untersuchung noch nicht abgeschlossen.

Die Wirkungssphäre des Denkmechanismus erstreckt sich zwar über alle Nervenmechanismen, allein nicht über alle Theile desselben in gleichem Masse. Bei den höchstorganisirten Thieren können wir drei Gebiete unterscheiden.

1) Der animale Nervenmechanismus, aus dem Perisom bestehend, ist in der innigsten Verbindung mit dem Denkmechanismus und wird durch ihn zu einem in der innigsten Sympathie und Cooperationsbeziehung stehenden Gesammtmechanismus verbunden, indem alle sensitiven Erregungen das Bewusstsein tangiren und alle motorischen Theile vom Willen erregt werden können.

2) Der *viscerale Nervenmechanismus*, der wesentlich von den im Darmschlauch mit seinen Anhangsorganen liegenden, aus Gangliengeflechten bestehenden Nervenmechanismen gebildet wird. Derselbe steht in äusserst lockerem direktem Zusammenhang mit dem Denkmechanismus. Der Wille hat gar keinen Einfluss auf ihn und mit den Empfindungsmechanismen besteht ebenfalls wahrscheinlich gar kein direkter Zusammenhang, sondern nur einer mit den Gemeingefühlscentren, indem sich heftige Erregungen derselben bis zu diesen Bahn brechen, wodurch dann auch das Bewusstseinscentrum mittelbar getroffen wird. Auch die zahlreichen auf diesem Gebiet bestehenden Elementarmechanismen stehen in lockerem Verband und bei ihrer Verknüpfung scheint die coordinative Verknüpfungsform die vorwaltende, die superordinative nur von beschränktem Vorkommen zu sein.

3) Der *vasomotorische Nervenmechanismus* (Grenzstrang) ist das zwischen den beiden ersten vermittelnde Gebiet. Es steht in viel engerer Beziehung zum Denkmechanismus. Der Wille ist zwar auf demselben machtlos, allein es besteht eine innigere, Reflexe vermittelnde Verbindung mit der sensitiven Sphäre und damit indirekt, aber eben nur indirekt, mit den Erfahrungsmechanismen. Die wesentliche Aufgabe dieses Theils des Nervenmechanismus ist die Regelung der Blutbewegung und Blutvertheilung und insofern diese auch den Erregungszustand der Elementarmechanismen des visceralen Gebietes beeinflusst, gewinnt der Denkmechanismus durch das Medium des vasomotorischen Mechanismus einen nicht zu unterschätzenden, aber nur sehr indirekten Einfluss auf den visceralen Nervenmechanismus.

Diese Dreitheilung des Nervenmechanismus findet sich übrigens erst auf der höchsten Organisationsstufe des Thierreichs. Bei den Protenteraten besteht ja überhaupt das ganze Nervensystem nur aus einem einzigen Elementarmechanismus. Bei den übrigen Wirbellosen finden wir eine Zweitheilung, indem der animale und der vasomotorische Nervenmechanismus noch zusammenfallen, was insofern ganz verständlich ist, als die Vertheilung der Ernährungsflüssigkeit bei ihnen noch in hohem Grad von den Contraktionen des Perisoms abhängt. Erst bei den Wirbeltieren, bei denen durch die Entwicklung eines geschlossenen Blutgefässsystems die Vertheilung und Bewegung der wichtigsten Ernährungsflüssigkeit unabhängig von den Contraktionszuständen des Perisoms geworden ist, sehen wir auch auf dem Gebiet der Nervenmechanismen eine Sonderung in den vasomotorischen Mechanismus und den im Centrum cerebrospinale zur Einheit verknüpften animalen Nervenmechanismus.

20. Die sociologischen Funktionen.

d) Wagerechte Differenzirung derselben.

α. Physiologie der Körperflächen und Segmente.

§ 384.

Nur bei wenigen vielzelligen Thieren (z. B. den Catallakten und Polycystinen) fehlt jede wagerechte Differenzirung des Körpers, sie sind rundum gleich beschaffen. Bei allen übrigen tritt als primäre Differenzirung die Sonderung in eine aktive Seite und eine ihr entgegengesetzte passive ein.

Der aktiven fällt als Aufgabe einmal die Ergreifung der Nahrung zu, weil sie die Mundöffnung trägt. Dann drängen sich an ihr sensitive Einrichtungen zusammen, welche die Wahrnehmung der Beute, die Prüfung der Nahrungsqualität und die Benachrichtigung vom Herannahen eines Feindes zu besorgen haben.

Der passiven Seite ist auf niederster Stufe, z. B. der freischwimmenden Gastrula, keine besondere, von der übrigen Körperoberfläche verschiedene sociologische Funktion zugewiesen. Erst bei den sesshaft gewordenen Cölenteraten wird sie zur Haftseite, indem sich mit ihr das Thier auf einer Unterlage definitiv festsetzt oder indem sie, wie bei den Fleischpolypen, zur Kriechsohle sich entwickelt. In diesem Fall ist jedoch bereits eine Differenzirung in drei Seiten gegeben, indem derjenige Theil der Körperoberfläche, welcher nach Abzug der aktiven Seite und der Haftseite übrig bleibt, etwa als indifferente Seite unterschieden werden muss.

§ 385.

Eine noch weitere Differenzirung tritt bei den symmetrischen Thieren (Bilaterien) ein und zwar dadurch, dass die der Angriffsseite entgegengesetzte, bisher als Haftfläche oder Kriechsohle funktionierende Seite diese Funktion an einen Theil der indifferente Seite abgibt und eine Funktion übernimmt, welche bisher die aktive Seite mit besorgte, nämlich die Ausstossung des Kothes und meist auch der Geschlechtsprodukte. Damit ist eine viertheilige Differenzirung gegeben.

1) Die aktive, den Mund tragende Seite beschränkt ihre Thätigkeit auf die Perzeption (von Nahrung und spezifischen Sinneswahrnehmungen): *perceptive Seite*.

2) Die der vorigen meist diametral gegenüberliegende, den After und häufig auch die Geschlechtsöffnungen tragende Seite ist die *exkretorische* geworden.

3) Die bei der Orientirung des Thieres im Raum in der Regel nach abwärts gewendete sogenannte Bauchseite dient bei denjenigen Thieren, die festgewachsen sind, als Haftfläche, bei den andern als Kriechsohle: *Statische* oder *lokomotorische* oder allgemein *mechanische* oder *Stützseite*.

4) Dem Rest der Körperoberfläche, welcher bei der Orientirung in der Regel nach oben gewendet ist (Rücken), bleiben dann im allgemeinen die passiven Rollen zugetheilt, unter welchen bei sehr vielen Thieren allerdings eine, nämlich die beschützende, ganz besonders hervortritt: Sie ist hervorragend die Trägerin der Schutz- und Trutzfarben, und der mechanisch beschützenden Organe. Wir können sie deshalb auch die *Schutzseite* nennen.

§ 386.

Zu der in den zwei vorigen Paragraphen geschilderten allgemeinen Differenzirung in wagerechter Richtung tritt bei den gegliederten Thieren noch eine weitergehende spezielle in der Segmentirung gegebene hinzu.

Zunächst, d. h. auf niederster Stufe der Segmentirung, auf welcher die Segmente einander fast völlig gleich sind (mit Ausnahme des *perceptorischen* Mund- und des *exkretorischen* Aftersegments) handelt es sich nicht um Arbeitstheilung, sondern mehr um eine im Dienste der *quantitativen* Leistung stehende *organisatorische* Massregel und um einen *strategischen Kniff*.

Wenn wir eine grössere Menge einzelner gleichartiger Kräfte, z. B. eine Summe von Menschen oder Arbeitsthieren zu einheitlichem Wirken verbinden wollen, so stossen wir bald auf eine Ziffer, über welche hinaus die unmittelbare Zusammenfassung unter ein Kommando mit Uebelständen verbunden ist und wir greifen deshalb zur Bildung von kleineren, durch untergeordnete Kommandostellen zusammengefasste Partien oder Colonnen und stellen die Gesamteinheit durch Oberkommando's her, denen die primären Kommando's untergeordnet sind (Vgl. *militärische* und *administrative* Organisation). Der Erfolg ist, dass bei einer derartigen Organisation eine viel grössere Summe von Einzelkräften zu *gemeinsamem Handeln vereinigt werden können*.

Die Segmentbildung leistet das gleiche: Sie löst den Thierkörper in eine Anzahl von Columnen oder Partien von Arbeitszellen auf, deren jede einem speziellen Kommando in Gestalt des Segmentganglions unterstellt ist und die Einheit wird durch den Verband der Segmentganglien zum Nervensystem gebildet.

Auf diese Weise gelingt es entweder grössere d. h. vielköpfigere Zellstaaten herzustellen, als beim Unterlassen dieser organisatorischen Massregel möglich wäre, oder die so segmentirten Staaten sind bei gleicher Grösse an Aktionsfähigkeit den nicht segmentirten weit überlegen. Man vergleiche nur in dieser Beziehung die Aktionsfähigkeit der Gliederthiere und Wirbelthiere mit der der nicht segmentirten Mollusken. Dass es übrigens bei der Aktionsfähigkeit nicht nur auf die Gliederung überhaupt ankommt, sondern auch auf die Stellung der Glieder zu einander, davon weiter unten.

Ein weiterer Vortheil, den ich mit der Bezeichnung eines strategischen Kniffs meinte, ist der, dass bei einer Zerlegung des Körpers in Segmente die Möglichkeit vorliegt, durch Aufopferung einzelner Segmente bei einem feindlichen Angriff das übrige zu retten. Davon sehen wir Gebrauch gemacht bei den zerbrechlichen Würmern, vielen Seesternen, den Eidechsen und Blindschleichen. Bei einer nicht segmentirten Molluske ist dieser Akt nicht möglich, da die Ablösung schon auf mechanische Schwierigkeiten stösst und diese selbst im Falle des Gelingens ein zu tiefer Eingriff in den Mechanismus des Körpers ist, weil ihm wesentliche Theile dadurch verloren gehen, während z. B. dem homonom gegliederten, eine Association gleichartiger Theile bildenden Wurm mit der Abtrennung einiger Segmente kein wesentlicher Theil seines Mechanismus geraubt wird.

Fassen wir die Sache kurz zusammen, so können wir sagen, die Segmentirung hat für den Thierkörper den Werth einer Association, die eine durch Massenansammlung extensiv und durch Regelung der Cooperation intensiv grössere Leistungsfähigkeit des Ganzen ermöglicht, dabei doch den einzelnen Theilen ein grösseres Mass von Selbständigkeit und Aktionsfreiheit verleiht und — wovon im folgenden — die Möglichkeit zu weiterer Arbeitheilung schafft.

§ 387.

Diesem Vortheil der Segmentirung nach aussen hin steht zur Seite, dass auch im Innern durch sie Ordnung und mit ihr ein logischeres, prompteres und sichereres Zusammenwirken entsteht,

Die Segmentirung des Perisoms bringt nämlich auch in die Anordnung der Systeme eine strengere Gesetzmässigkeit. Das Nervensystem gliedert sich, worauf schon im vorigen Paragraphen hingewiesen wurde, so, dass die Bestandtheile jedes Segments unter die einheitliche Leitung eines Segmentganglions gestellt werden; die Systeme der Ernährungsflüssigkeiten und Aufenthaltsmedien nehmen gleichfalls an der Herstellung der Ordnung theil, indem für jedes Segment besondere Zu- und Abfuhrbahnen hergestellt werden. Kurz gesagt der Werth der Segmentirung besteht, indem Segen der Ordnung.

Der Darm nimmt nur auf niederer Stufe an der Segmentirung des Perisoms harmonisch Theil und dies hat dann zur Folge; dass den Segmenten ein hoher Grad von Selbständigkeit zukommt, wodurch die im vorigen Paragraphen erwähnte Möglichkeit der Segmentopferung und der Theilung bei Gefahr gegeben ist. Bei den meisten Thieren folgt der Darm einem eigenen, von dem des Perisoms verschiedenen Segmentirungsrhythmus, der dann immer ein einfacherer ist, weil die Beziehungen des Darms zu seinem Objekt, d. h. der aufgenommenen Nahrung, einfacher sind, als die des Perisoms zu seinem Objekt, der so vielfach gegliederten und so mannigfach auf den Thierkörper einwirkenden Aussenwelt.

§ 388.

Die qualitative in der Arbeitstheilung liegende Seite der Segmentirung erfordert zu ihrer Besprechung ein Auseinanderhalten der zwei verschiedenen Segmentirungsrichtungen: Der Längsgliederung und der strahligen Gliederung oder praktischer eine gesonderte Besprechung des Strahlthiertypus, und des längsgegliederten Typus.

Der Strahlthiertypus, der uns in den Stachelhäutern und noch einfacher in den Quallenfrüchten der Hydrozoen entgegen tritt, hat wenig vor dem ungegliederten Molluskentypus voraus, weil die radiäre Aufstellung strategisch irrationell ist: Sie erschwert die Locomotion ganz bedeutend. Diese Thiere geniessen von dem Vortheil der in der Segmentirung gegebenen Ordnung nur zweierlei: 1) Die mit der Segmentirung verbundene Regelung der nutritiven Bahnen (des Gastrovascularsystems der Quallen und des Lymph- und Wassergefässsystems der Stachelhäuter) sichert allen Theilen eine geordnetere, selbständige Verproviantirung als das bei den Mollusken der Fall sein kann. 2) Auf dem Gebiet des Kraftwechsels kommt den Stachelhäutern namentlich die geordnete Anlage und Vertheilung des Nervensystems und des den Gewebsturgor regelnden Wassergefässsystems zu gute.

Speziell bei den Quallen muss die aus den einzelnen Strahlen gebildete Scheibe als eine völlige mechanische Einheit, in welcher weder die Arbeitstheilung im Sinne des Antagonismus noch in dem der Alternation möglich ist, betrachtet werden. Complizirter liegen dagegen die Sachen bei den Stachelhäutern.

§ 389.

Wie im ersten Band geschildert wurde, besitzen die Stachelhäuter neben der strahligen Segmentirung des Gesamtkörpers noch eine lineare des einzelnen Strahles.

Die letztere verschafft den Stachelhäutern hauptsächlich die zwei im vorigen Paragraphen geschilderten Vortheile und den weitern Vortheil, eine grosse Zahl im Verhältniss der Cooperation stehender lokomotorischer und schützend wirkender Organe, die in geregelter Ordnung stehen, zu produciren. Bei den Seesternen, wo sich die Strahlen zu langen Armen entwickeln, bewirkt die Segmentirung, dass dieselben trotz der Erhärtung des Perisoms durch Kalkplatten ihre Beweglichkeit bewahren. Bei den Seeigeln, deren Leib eine starre Kalkkapsel bildet, sind die zwischen den Kalkplatten befindlichen aus weichem Gewebe bestehenden Segmentirungsfurchen die Herde des appositiven Wachstums, so dass dem Körper eine sonst nicht mögliche stetige Grössezunahme gesichert ist.

Dagegen gestattet der radiäre Verband der längsgegliederten Strahlen dem Stachelhäuter nicht, sich all der Vortheile theilhaftig zu machen, welche der Wurm aus seiner ganz ähnlichen d. h. auch homonomen Gliederung zieht. Der Leib des Wurms ist eine in Marschcolonne aufgestellte Heeresmacht, die hinten so gut wie vorn frei und deshalb mobil ist; der Strahl des Seesterns ist auch als Marschkolonne aufgestellt aber da diese am einen Ende mit Marschkolonnen von entgegengesetzter und seitlich collidirender Frontstellung unverbrüchlich verbunden ist, so ist sie bloß dann lokomobil, wenn seine Antagonisten es gestatten und erst dann, wenn er den von ihnen ausgehenden aktiven oder passiven Widerstand überwunden hat. Ist das endlich nach langer Verzögerung gelungen, so bilden die antagonistischen und seitlichen Strahlen für ihn mehr eine Last, als eine cooperative Hilfe.

Das erklärt uns, warum die Stachelhäuter trotz ihrer Segmentirung an Lokomotionsfähigkeit sogar noch unter dem Molluskentypus stehen.

§ 390.

Bei den längsgegliederten Thiertypen (Articulaten und Vertebraten) ist bekanntlich das Verhalten der beiden Segmentierungsrichtungen umgekehrt wie bei den Stachelhäutern: Den ersten Rang nimmt die Längsgliederung (Metamerenbildung), den zweiten die radiäre (Paramerenbildung) ein.

Die radiäre dient derjenigen Form der Arbeitstheilung, auf welcher die Antagonismen beruhen. Bei der Totalbewegung des Körpers handelt es sich um den Antagonismus von rechts und links und von oben und unten. Diesen beiden Anforderungen würde nun, wie es scheint, eine Bildung von vier Parameren, zwei oberen (einer rechten und linken) und zwei unteren (einer rechten und linken) genügen, wir sehen aber sowohl bei Articulaten als bei Vertebraten die Sechszahl, nämlich rechts und links noch eine, zwischen obere und untere Paramere eingeschaltete Seitenparamere. Dies gewährt folgenden Vortheil:

Beim Wurm, wo die Muskeln der Seitenparamere längs gerichtet sind, wie bei Bauch und Rückenparamere, werden von ihnen hauptsächlich die seitlichen Biegungen der Körperaxe ausgeführt. Würden sie fehlen, so wäre eine geradeaus seitliche Biegung nur zu erzielen durch die Zusammenwirkung von Rücken- und Bauchparamere derselben Seite. Nun ist aber klar, dass ein Längsmuskel um so kräftiger auf die Biegung der Körperaxe wirken wird, je weiter er abseits von letzterer liegt. Dieses trifft für die Seitenparamere gegenüber den an die Körperaxe dicht anstossenden Rücken- und Bauchparameren zu: sie können deshalb leicht allein so viel leisten als die andern zwei zusammen genommen. Damit würde sich nun an und für sich auch nur eine Zerfällung in vier Parameren, nämlich zwei seitliche, eine Bauch- und eine Rückenparamere, ergeben, allein durch die Sonderung der zwei letzten in je zwei (eine rechte und eine linke) wird der Vortheil erreicht, dass die mechanisch und biologisch viel wichtigeren, durch die Seitenparameren bewirkten seitlichen Biegungen der Körperaxe durch Cooperation der Bauch- und Rückenparameren derselben Seite im Nothfall bedeutend verstärkt werden können. Dass diese Cooperation die wichtigere ist, erhellt aus der innigen Verbindung der Parameren jeder Körperhälfte.

Bei den Vertebraten sehen wir eine andere Arbeitstheilung durch die Seitenparameren ermöglicht. Während der Wurm in seiner Ringmuskularis das Mittel besitzt, den Querschnitt seines Leibes zu vermindern, wird bei den Wirbelthieren die Ringmuskularis zur Gliedmassenbewegung verwendet und die Seiten-

parameren treten als Querschnittveränderer in die Lücke, indem sich ihre Faserrichtung in die einer Kreuzmuskularis verändert (Intercostalmuskeln und schiefe Bauchmuskeln).

§ 391.

Die Längsgliederung der Artikulaten und Vertebraten (Metamerenbildung) steht einmal im Dienst der passiven Beweglichkeit der Körperaxe: der Körper ist eine gegliederte, deshalb geschmeidige und biegsame Kette geworden. Darum kommt dieselbe auch an den passiv bewegten Skelettheilen (Hautskelet der Artikulaten, Knochenskelet der Wirbelthiere) am schärfsten zur Geltung. Dann ist aber damit die Grundlage zu einer weitergehenden Arbeitheilung gelegt, die morphologisch in demjenigen Segmentierungsmodus zum Ausdruck kommt den wir den heteronomen nennen.

Hier zeigt sich nun wieder eine Ueberlegenheit des längsgegliederten Thierkörpers über den strahlig gegliederten des Stachelhäuters. Letzterer kann es nur zu einer Binomie des längsgegliederten Strahls bringen, nämlich zur Sonderung in einen basalen, zur Bildung der Leibeshöhle mit den Basisabschnitten der andern Strahlen zusammentretenden Abschnitt, und in einen freien Armabschnitt, der die Funktion einer Gliedmasse übernimmt. Bei den Seeigeln fehlt diese Binomie noch völlig, bei den ächten Seesternen ist sie erst begonnen, indem hier der Darm sich noch in den freien Theil des Armabschnittes hinein erstreckt; vollendet ist sie erst bei den Haar- und Schlangensterne.

Bei den längsgegliederten Thieren tritt aber sofort eine Arbeitheilung nach dem wiederholt als das vollkommnere erkannten Princip der Dreizahl (Trinomie) auf. Die Gliederung knüpft an den Gegensatz zwischen einer perzeptorischen, locomotorischen und exkretorischen Seite an, aber die Art wie dies geschieht, ist nicht überall dieselbe.

Entsprechend den grösseren aktiven Aufgaben, welche der perzeptorischen Vorder-Seite gestellt sind, sehen wir auch sie zuerst eine grössere Spezialisirung und Differenzirung annehmen, denn die Kopfbildung beginnt schon bei den Würmern und führt beim Artikulatentypus dahin, dass der Kopf — so wird die perzeptorische Segmentgruppe genannt — eine Vereinigung von zwei sensitiven (mit Augen und Fühlern) und drei mastikatorischen (d. h. mit Kau- und Fresswerkzeugen ausgerüsteten) Segmenten ist.

Bei den Tausendfüssen ist die Trinomie nur dadurch angedeutet, dass das Aftersegment eine gewisse exceptionelle Stellung einnimmt.

Bei den Krebsen tritt eine Tetranomie zu Tage, die aber sehr verschiedenartig durchgeführt ist. Zu dem exkretorischen Endsegment gesellt sich eine Gruppe weiter nach vorn liegender Segmente, um mit ihm den Nachbauch (Postabdomen) zu bilden. Dieser theilnimmt sich aber bei vielen Krebsen noch sehr wesentlich an der den mittleren Segmenten zukommenden locomotorischen Funktion, aber mit der Spezifikation, dass sie Schwimmwerkzeug ist (natatorische Segmentgruppe). Nebstbei bildet sie noch den Eierträger. Letztere Funktion kommt bei den Krabben ganz zur Geltung: Das Postabdomen nimmt an der Lokomotion keinen Antheil mehr, sondern ist eierbergende und exkretorische Segmentgruppe.

Was beim Krebs zwischen Kopf und Postabdomen von Segmenten liegt, zeigt insofern noch eine funktionelle Zweitheilung, als die dem Kopf näher liegenden Segmente diesen in seiner aggressiven Funktion als Träger von Hilfskiefern unterstützen, während die nachfolgenden lokomotorische Funktionen übernehmen aber: während das Postabdomen das Schwimmen besorgt, übernehmen sie die Kriechbewegung (ambulatorische Segmentgruppe). Dabei macht sich aber eine grosse funktionelle Unbeständigkeit in diesen zwei mittleren Segmentgruppen bemerklich, in deren Casuistik wir jedoch hier nicht eingehen können.

Spinnen und Insekten zeigen (wenn wir die Skorpione ausnehmen) nur trinome Gliederung, bei den Spinnen ist sie dadurch abgeschwächt, dass die perzeptorische Segmentgruppe mit der lokomotorischen enger verschmolzen ist, während sie beim Insekt frei und selbständig ist. Eine dritte hintere Segmentgruppe können wir die vegetative nennen: sie birgt den wesentlichsten Theil des Darms und der Geschlechtsorgane und besorgt den Haupttheil der Athmungsmechanik, an der Lokomotion theilnimmt sie sich nur bei den Larven der Insekten.

§ 392.

Unter den Wirbelthieren tritt bei den Fischen die Trinomie in der Weise auf, dass im Kopf eine perzeptorische im Schwanz eine lokomotorische (natatorische) und im Rumpf eine Eingeweide bergende und unterstützend lokomotorische Segmentgruppe vorliegt.

Bei den Lungenwirbelthieren beginnt allmählich eine Scheidung der mittleren Segmentgruppe in eine respiratorisch-lokomotorische Gruppe (Brust mit Lunge und Vorderbeinen) eine nutritive (Bauch mit Darm und Darmdrüsen) und eine ex-

kreterisch-locomotorische Segmentgruppe (Becken mit Hintergliedmassen, Harn- und Geschlechtswerkzeugen und Enddarm), so dass hier also in der allgemeinen Trinomie des Körpers noch eine untergeordnete trinome Gliederung des Rumpfes steckt.

Indem der vordere und hintere Rumpfabschnitt mit den beiden Gliedmassenpaaren die Hauptrolle der Lokomotion übernimmt, tritt der Schwanz als lokomotorische Gruppe in den Hintergrund, er dient dann nur noch, aber auch nicht bei allen Thieren, als Hilfswerkzeug der Ortsbewegung (Greifschwanz mancher Säugethiere und Reptilien, Steuerruder bei den Flug- und Falthieren, Balancirer bei den Känguruhs, Stützwerkzeug bei Schuppenthieren etc.) und geräth schliesslich bei den Anthropoiden und dem Menschen in die Stellung eines rudimentären Organs.

Mit der Sonderung des Rumpfteils in Brust, Bauch und Becken vollzieht sich bei den Lungenwirbelthieren uoch die Abgliederung des Halses, welcher die Aufgabe hat, dem Kopf für die Ausübung seiner Funktionen eine grössere Beweglichkeit und Aktionsfreiheit gegenüber dem Rumpf zu geben. Eine ähnliche mechanische Bedeutung, nämlich eine grössere Beweglichkeit der starren Segmentgruppen (Brust und Becken) gegen einander, und damit auch eine grössere Selbständigkeit derselben zu garantiren, kommt dem zwischen Brust und Becken eingeschalteten Bauch- oder Lendenabschnitt der Säugethiere zu.

β. Physiologie der Organe.

§ 393.

Die im bisherigen beschriebene, durch die Segmentirung erzeugte wagrechte Differenzirung der sociologischen Funktionen kommt, wie aus dem Context ersichtlich, mehr der Massenvermehrung, Massenvertheilung und Massenbewegung zu gute und vollzieht sich demgemäss vorzugsweise im Gebiet der aktiv und passiv motorischen Bestandtheile des Körpers und in den diese bedienenden und regierenden Abschnitten der Systeme.

Die Organbildung wirkt zwar ebenfalls in dieser Richtung, ausserdem aber ermöglicht sie eine Sonderung und Leistungssteigerung auf dem Gebiete des Stoffwechsels und des feineren, die Molekularkräfte betreffenden Mechanismus. Auch hier haben wir die quantitative und qualitative in der Arbeitstheilung liegende Seite dieser Art von wagrechter Differenzirung zu unterscheiden.

Wir besprechen zuerst die Beziehungen der Organbildung zum Stoffwechsel.

§ 394.

In quantitativer Hinsicht liegt der Hauptfortschritt für den Stoffwechsel in der durch die Organentwicklung herbeigeführten Oberflächenvergrößerung. Zum Verständniss dieses Umstandes ist folgende einleitende Betrachtung nöthig.

Ein Würfel, dessen Kante 1 Centimeter lang ist, hat 6 Quadratcentimeter Oberfläche und 1 Kubikcentimeter Volum, das Verhältniss von Volum und Oberfläche ist also = 1 : 6. Bei einem Würfel von 2 Centimeter Kantenlänge hat jede der 6 Flächen 4 Quadratcentimeter, der ganze Würfel also 24 Quadratcentimeter Oberfläche, das Volum ist $2^3 = 8$ Kubikcentimeter, also verhält sich Volum zur Oberfläche wie 8 : 24 d. h. wie 1 : 3. Während also bei dem kleinen Würfel auf 1 Kubikcentimeter Inhalt 6 Quadratcentimeter Oberfläche kommen, gehen bei dem doppelt so grossen nur 3, also die Hälfte darauf und diese Ziffer wird immer kleiner, ganz in dem Verhältniss, in welchem der Durchmesser des Körpers wächst: Die Oberflächenentwicklung zweier gleichgeformter Körper steht im umgekehrten Verhältniss wie ihre Durchmesser.

Da nun das Leben eines Thieres von dem steten Kraft- und Stoffwechsel abhängt, welchen es mit der Aussenwelt und dem Darminhalt unterhält, und derselbe nur an der Oberfläche stattfindet, so würde ein grosser Thierkörper um so mehr gegenüber einem kleinen in Nachtheil gerathen, je grösser er würde, wenn er dieselbe einfache Oberflächegestaltung behielte, wie der kleine. Dem wird nun durch die Organbildung abgeholfen, denn diese besteht bei Exoderm und Entoderm darin, dass diese Häute durch Ausstülpung oder Einstülpung oder Faltung bei gleichbleibendem Volumen eine viel grössere Oberfläche entwickeln. Wie bedeutend das werden kann, mag aus dem Beispiel erhellen, dass nach Huschke's Berechnung die gesammte Oberfläche der Lungenbläschen 2000 Quadratfuss beträgt, also mehr als das hundertfache der gesammten Hautoberfläche, und dass nach Krause's Rechnung die von den Schweissdrüsen des Menschen repräsentirte sekretorische Oberfläche ca. 400 Quadratfuss bildet.

Aus diesen Gründen steigt mit der Organbildung 1) die Möglichkeit, grössere, deshalb mächtigere Zellstaaten zu bilden; 2) die Leistungsfähigkeit in Bezug auf Kraftentbindung, weil die Zufuhr der Bedarfsstoffe und die Abfuhr der Ermüdungsstoffe mit Zunahme der Oberflächenentwicklung leichter von Statten geht.

§ 395.

In qualitativer Beziehung ist für den Stoffwechsel in erster Linie eine räumliche Sonderung von Stoffaufnahme (Resorption) und Stoffabgabe (Sekretion) erreicht und zwar durch den Gegensatz zwischen centripetaler und centrifugaler Organentwicklung (wobei die circulatorische Schicht als Centrum betrachtet wird).

Entfaltet sich ein Organ centrifugal, so wird der Contact mit dem angrenzenden Medium vergrößert, während der mit der Ernährungsflüssigkeit zwar nicht viel, aber etwas verringert wird. Ein solcher, frei vorstehender, in die umgebenden Medien oder in den Speisebrei tauchender Zapfen wird zwar an und für sich der Absorption und der Aufsaugung gleichmässig dienen, allein er kann mit Leichtigkeit in folgender Weise in einen Saugmechanismus verwandelt werden:

Im Innern ist ein Hohlraum, der mit den Lymphkanälen so kommuniziert, dass sein Inhalt leicht in letztere abfließen kann, ein Rückfluss aber durch Klappenvorrichtungen oder durch Zusammenziehung kontraktiler Theile verhindert wird. Ist nun der Hohlraum von kontraktilen Theilen so umlagert, dass deren Zusammenziehung den Inhalt desselben austreibt, so muss nach Erschlaffung der Muskelfasern durch ein mit elastischen Kräften erfolgendes Ausdehnungsbestreben der Druck im Hohlraum ein negativer werden, d. h. ein Saugdruck entstehen, der, wenn die Wand porös genug ist, aufsaugend auf das Medium wirkt.

Wesentlich vervollkommnet wird dieser Saugmechanismus bei den höheren Thieren durch die Sonderung von Blut- und Lymphgefässsystem. Der centrale Hohlraum ist ein Lymphraum und, da im ganzen Lymphgefässsystem Saugdruck herrscht, so ist schon dadurch der Resorption Vorschub geleistet. Befinden sich nun gleichzeitig in dem Zapfen Blutkapillaren, in welchen ein Expansionsdruck herrscht, so unterstützt dieser die nach Erschlaffung der Muskeln eintretende Wiederausdehnung. Wir begreifen deshalb auch von dieser Seite, warum die Trennung in ein Blut- und Lymphgefässsystem die Entstehung leistungsfähigerer Organismen ermöglichte: sie schafft eine energischere Resorptionsthätigkeit.

Wir sehen demgemäss auch erst bei den Thieren mit geschlossenem Gefässsystem ein ausgiebigeres Auftreten solcher resorptorischen Centrifugalorgane; allerdings erst in voller Entwicklung

bei den warmblütigen Wirbelthieren (Säugethieren und Vögeln), während bei den Wirbellosen mit ungespaltenem Gefässsystem dieselben eigentlich ganz fehlen. Die betreffenden Fortsätze des Darms sind die Darmzotten, bei denen der Resorptionsmechanismus am vollkommensten entwickelt ist. Auf der äusseren Körperoberfläche kommt den Hautpapillen sicher eine ähnliche, wenn auch nicht so energische Resorptionsthätigkeit zu.

§ 396.

Den centrifugalen Resorptionsorganen stehen die centripetalen d. h. durch Einstülpung entstehenden Sekretionsorgane gegenüber, die man Drüsen nennt.

Stülpt sich Exoderm oder Entoderm in Form eines Rohres in die darunter liegenden inneren Gewebsschichten, welche cirkulatorische sind, ein, so kommt die dadurch erzielte Oberflächenvermehrung nicht dem Kontakt des Körpers mit den umgebenden Medien (oder Speisebrei) zu Gute, sondern es vergrössert sich, nur der Kontakt, mit den Ernährungsflüssigkeiten. Hiermit ist zweierlei erreicht:

1) Geniessen die Zellen der Rohrwand durch diesen innigeren Kontakt eine reichliche Ernährung und die umgebenden Medien können ihnen nichts entziehen, damit steigt die Möglichkeit des Wachstums, der Vermehrung und der Stoffbildung.

2) Da in der Ernährungsflüssigkeit ein höherer Druck herrscht als im umgebenden Medium, so befindet sich das Rohr in der Situation eines Filtrums, dessen Oberfläche durch Einstülpung bedeutend vergrössert worden ist und so sind sie in hohem Masse zur Absonderung befähigt.

§ 397.

Ausser der allgemeinen Sonderung in vorwaltend resorbirende centrifugale und vorwaltend secernirende centripetale Organe sehen wir nun eine weitere Arbeitstheilung auf dem Gebiet des Stoffwechsels durch die Differenzirung dieser beiden Organarten eintreten, allerdings weniger bei den centrifugalen als bei den sekretorischen centripetalen, den Drüsen.

In erster Linie soll hier die durch die Organbildung ermöglichte räumliche Sonderung des Gaswechsels von den übrigen Stoffwechselfunctionen besprochen werden.

Wie wir früher erfahren haben, ist in erster Instanz die

Athmung eine Funktion des Exoderms (allgemeine Hautathmung). Diese reicht aber nur für kleine Thierkörper, aus den in § 394 entwickelten Gründen, für grössere ist eine Vergrösserung der respiratorischen Fläche nöthig.

Dem Thierkörper stehen hierzu mehrere Wege zu Gebote.

Ein sehr einfacher ist die Veränderung der Gesamtform des Körpers: Abplattung oder lineare Verlängerung und Verdünnung, wodurch sich das Verhältniss von Oberfläche zu Inhalt zu Gunsten des ersteren bessert.

Ein zweiter Weg ist die Entwicklung der Systeme, mittelst welcher die Respirationsmedien (Luft oder Wasser) in den Körper eingeführt und mit den inneren Geweben in nahen Contact gebracht werden. Dieser Weg wird hauptsächlich betreten, wenn das System der Ernährungsflüssigkeit durch geringe Entwicklung ausser Stande ist, den Gaswechsel zwischen den Athmungsflächen und den innern Organen zu vermitteln. Diese Form der Athmung kann man Gefässathmung nennen.

Der dritte Weg ist die Bildung von Athmungsorganen. Hier bedingt der Umstand, dass es zwei so wesentlich verschiedene Athmungsmedien wie Luft und Wasser gibt, eine alternative Lösung des Problems.

§ 398.

Bei den Wasserthieren werden hierzu centrifugale Organe der äusseren Haut benützt, die man dann, wenn sie hervorragend respiratorisch thätig sind, Kiemen nennt. Im allgemeinen vergrössern alle Hervorragungen auf dem Körper die Athmungsfläche, mögen sie sonst funktioniren, wie sie wollen. Zu speziellen Athmungsorganen werden aber solche durch folgende Einrichtungen.

1) Wenn sie von einem reichern Ernährungsgefässnetz durchzogen sind und dieses so dicht unter der Oberfläche liegt, dass Respirationsmedium und Ernährungsflüssigkeit nur durch eine sehr dünne Wand geschieden sind.

2) Wenn sie mit motorischen Vorrichtungen versehen sind, welche eine Stagnation des Athmungsmediums an ihrer Oberfläche verhindern. Hierzu gibt es zwei Mittel: Entwicklung von Flimmerhaaren auf der freien Fläche (Flimmerkiemen) oder von kontraktilen Mechanismen, welche die Kiemen im Ganzen rhythmisch schlagend bewegen: fächernde Kiemen.

Bei den in der Luft lebenden Thieren ist die Benutzung von frei vorstehenden Hautorganen für Athmungszwecke nicht zulässig, weil die zwischen Respirationsmedium und Ernährungs-

flüssigkeit befindliche Scheidewand der Veretrocknung zu sehr ausgesetzt und bei wechselnder Luftfeuchtigkeit fortwährenden Qualitätsschwankungen preisgegeben wäre. Hier bedient sich die Natur centripetaler Gebilde, entweder des schon früher erwähnten Luftgefässsystems (Tracheenathmung) oder drüsiger, theils einfach sackartiger, theils traubiger reichlich verästelter Einstülpungsorgane (Luftsäcke, Luftdrüsen, Lungen).

Wir können nun die allgemeine Hautathmung als externe Athmung von der Tracheen- und Lungenathmung als interner unterscheiden. Bei letzterer muss natürlich das Athmungsmedium in das Athmungsorgan, wie schon bei dem Luftgefässsystem (§ 356) geschildert, rhythmisch aufgenommen (Einathmung) und wieder ausgestossen werden (Ausathmung). Der eine dieser Akte ist ein passiver, durch die Elastizität des Organs erzeugter, der andere ein aktiver, der von der motorischen Schicht des Perisoms oder einem Theil derselben ausgeübt wird. Es besteht aber zwischen Lungen- und Tracheen-Athmung in der Mechanik ein Gegensatz.

Bei der Tracheenathmung ist die Einathmung der passive Akt: die Tracheen werden durch den Druck der Athmungsmuskulatur zusammengepresst, wobei die Luft entweicht, nach Aufhören des Drucks federn die sehr elastischen und steifen Tracheen wieder auf ihr altes Lumen zurück, wodurch die Luft angesogen wird.

Bei der Lungenathmung ist die Sache umgekehrt: Durch Muskelthätigkeit wird der perigastrische Raum, in welchen die Lunge hinein hängt, erweitert, was einen negativen Druck in ihm hervorruft und dem Luftdruck gestattet, durch Luftnachschub die Lunge auszudehnen, was eine Einathmung bedingt. Nach Erschlaffung der Muskulatur zieht sich die über ihr natürliches Volum gedehnte Lunge wieder mit elastischen Kräften zusammen und presst einen Theil ihres Inhalts aus. Zu der Lungen- und Tracheenathmung gesellt sich noch ein anderer exkretorischer Prozess, nämlich die Wasseraufgabe (und Wärmeabgabe durch Verdunstung), womit Lungen und Tracheen in ein vikarirendes Verhältniss zu den andern Exkretionsorganen treten.

§ 399.

Die Uebernahme der Athmungsfunktion durch die besonderen Athmungsorgane enthebt nun zwar die übrigen Exodermflächen ihrer respiratorischen Thätigkeit nicht völlig, die Hautathmung bildet immer noch einen, wenn auch meist untergeordneten Theil der Gesamttathmung, aber sie gestattet der übrigen Haut eine

vollkommene Hingabe an ihre übrigen Funktionen, insbesondere hat die beschützende Funktion dadurch gewonnen. Alle Vorkehrungen zum Schutz des Körpers, wie Hornschichten, Schalen, Haare und Federn hemmen den Contact zwischen Athmungsmedium und Ernährungsflüssigkeit, indem sie theils eine Scheidewand zwischen beiden bilden, theils die für die Athmung unbedingt erforderliche Cirkulation der Athmungsmedien über die Körperfläche hin hindern; sie sind also erst möglich, wenn gesonderte Athmungsorgane den Haupttheil der Gesamthathung besorgen.

§ 400.

In Bezug auf weitere Arbeitstheilungen im Gebiet des Stoffwechsels spielen die Drüsen die Hauptrolle, denn sie sind in mehrfacher Weise einer Differenzirung fähig.

Die eine Differenzirung möchte ich die Sonderung in aktive und passive Drüsen nennen.

Unter einer passiven Drüse verstehe ich eine solche, deren Leistung weit weniger von der Thätigkeit des Drüsenprotoplasmas, als von der Stärke des Filtrationsdrucks in der sie umspülenden Ernährungsflüssigkeit abhängt. Die passivste Drüse scheint mir die Niere zu sein, bei der in Gestalt des Malpighischen Knäuels (siehe Bd. I § 131) in das blinde Ende des Drüsenschlauchs ein filtrirender Gefäßabschnitt eingefügt ist, der continuirlich fortarbeitet. In hohem Grad passiv sind auch die Schweissdrüsen der äussern Haut und die Speicheldrüsen. Man könnte diese Drüsen Filtrirdrüsen nennen.

Unter aktiven Drüsen verstehe ich diejenigen, bei welchen zwar der Blutdruck nicht ganz ohne Einfluss ist, allein bei denen Menge und Qualität des Sekrets vorwiegend von der Thätigkeit der Drüsenzellen selbst abhängt und das Blut nur die Rolle des Materiallieferanten spielt, der Verkehr also mehr auf Diffusion beruht; man könnte sie deshalb auch diffusive Drüsen nennen. Die Sekrete sind in diesem Falle nicht einfache Filtrate aus der Ernährungsflüssigkeit, sondern sie enthalten daneben spezifische in den Drüsenzellen erst entstandene Stoffe. Die aktivsten ächten Drüsen sind wohl die Talgdrüsen in der Haut der Säugethiere, deren Thätigkeit im Gegensatz zu den Schweissdrüsen vom Blutdruck in hohem Masse unabhängig ist.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass es weder rein passive, noch rein aktive Drüsen gibt, sondern dass die Leistung immer auf einer gewissen Combination beider Vorgänge beruht, von denen nur bald der eine, bald der andere mehr überwiegt.

Bei der aktiven Thätigkeit der Drüsen haben wir es wieder mit einer Differenzirung zu thun.

1) Einmal gibt es Drüsen, die aus dem vom Blut erhaltenen Material neue chemische Verbindungen bereiten, die entweder blosse Exkretstoffe sind (exkretorische Drüsen), oder die noch sociologische Aufgaben zu erfüllen haben, wie es bei den von Drüsen gelieferten Verdauungsfermenten der Fall ist. Derlei Drüsensaft nennen wir, im Gegensatz zu den Exkreten im engern Sinne, Sekrete. Das Wesentlichste ist aber in beiden Fällen die Bildung neuer chemischer Verbindungen und deshalb können wir diese Art aktiver Drüsen auch chemisch-thätige nennen.

Der Mechanismus besteht bei Drüsen entweder darin, dass die in den Drüsenzellen entstehenden Stoffe durch den vom Blutgefäßsystem a tergo geübten Druck in die Lichtung des Drüsenrohrs ausgewaschen, oder dass sie durch aktive Kontraktionen des Zellprotoplasmas ausgepresst oder ausgestossen werden. Letztere Thätigkeit kommt entschieden dann in Betracht, wenn die betreffenden Stoffe nicht im gelösten, sondern im krystallinen oder sonst wie festen Aggregatzustand sich befinden. So konnte ich konstatiren, dass die bei den schlaf-süchtigen Seidenraupen massenhaft in den Malpighi'schen Röhren zur Sekretion gelangenden Krystalle von oxalsaurem Kalk zuerst im Drüsenzellenprotoplasma und zwar in der der Lymphe zugewendeten Peripherie desselben auftreten und dann langsam durch die Zelle hindurch in die Rohrlichtung wandern, ohne Zweifel geschoben durch Protoplasma-bewegungen. — Bei diesen chemisch-thätigen Drüsen finden nun weitere Arbeitstheilungen statt in Bezug auf die spezifische Natur der Sekrete, die sie liefern.

§ 401.

2) Eine zweite Art aktiver Drüsen sind die, bei welchen die Thätigkeit der Drüsenzellen eine morphologische ist, indem sie sich auf dem Wege der Theilung unter steter Abstossung der reifen Zellen vermehren. Hierbei tritt wieder eine Differenzirung ein, je nach dem Schicksal der produzierten Zellen. Wenn diese zerschmelzen, so haben wir Secretion (oder Exkretion) durch Zelltod (Talgdrüsen der Haut, Milchdrüsen der Säugethiere), oder die Zellen verkleben zu einem festen Gebilde, das auf längere Zeit in dem Drüsenschlauch stecken bleibt und oft weit über die Oberfläche des Körpers hervorragt (retrograde Organe; siehe Band I, § 163). Derlei Gebilde sind z. B. die Haare der Säugethiere und Federn der Vögel; das Drüsenrohr wird in diesem Falle Haar-

balg, Federbalg genannt. Dass auf diese Weise noch weit complicirtere Bildungen entstehen, ist schon im morphologischen Theile besprochen worden. Insofern als diese morphologischen Gebilde entweder zum Ausfallen bestimmt sind (Mauserung, Härung), oder der oberflächlichen Abnutzung mit Neuanlagerung an der Haftfläche ausgesetzt sind, liegt hier ebenfalls eine Stoffabsonderung vor, allein ausserdem treten sie durch ihre physikalischen Eigenschaften in den Dienst des Kraftwechsels.

Ob eine solche morphologisch thätige Drüse ein Sekret aus zerstörten Zellen oder ein bleibendes retrogrades Organ bildet, hängt von ihrem Verhältniss zum Blutgefässsystem ab: Bildet dieses nur ein die Drüse umspinnendes Capillarnetz, so tritt Sekretion durch Zelltod ein, stülpt sich aber in dem Drüsengrund eine Papille, d. h. ein zapfenartiger mit einem reichen Blutgefässnetz durchzogener Fortsatz der cirkulatorischen Bindschicht ein, so findet reichhaltiger Nahrungszufluss und eine gewisse Ernährung der abgesonderten Zellen statt, die sie vor der Einschmelzung bewahrt. Hierin liegt eine ähnliche Beziehung der Drüse zum Blutgefässsystem, wie wir sie unter den passiven Drüsen bei der Niere in der Einstülpung des Malpighischen Gefässknäuels kennen lernten. Der Effekt ist aber unter anderen deshalb verschieden: Die Gefässe der Haar- und Federpapillen sind wahre Kapillaren, die der Malpighischen Knäuel nicht.

§ 402.

Eine Funktion, bei welcher die Organbildung in hervorragender Weise sich betheiltigt, ist die Fortpflanzung.

Bei den Coelenteraten entwickeln sich die Keimzellen in der Dicke der Leibeswand und schieben sich bei der Entwicklung entweder nach der äusseren Oberfläche vor, vorübergehende prominirende Organe bildend (Hydroiden), oder nach der innern Oberfläche (Anthozoen), so dass sie bei der Loslösung in die Nahrungshöhle fallen, wo sie die Entwicklung bis zur Gastrula durchmachen um dann zur Mundöffnung nach aussen zu gelangen.

Bei den Eudermaten bilden sich die Keimorgane stets im Perigestrium als der beschütztsten Oertlichkeit des Körpers. Ueber die Art, wie das geschieht, ist noch nicht überall Aufklärung geschaffen, doch sprechen die meisten Beobachtungen dafür, dass es nicht auf dem Wege der concentrischen Differenzirung, sondern auf dem der Organbildung d. h. durch Einstülpung geschieht, und zwar sollen die weiblichen Keimorgane vom Entoderm, die männlichen vom Exoderm geliefert werden.

Wenn das richtig ist, dann gehören die Keimorgane unter die frühesten Organe, die bei der Entwicklung des Individuums auftreten und zu derjenigen Art von Knospungs- und Einfaltungsorganen, die sich von ihrem Mutterboden loslösen, denn man trifft sie später im Perigastrium, zunächst ausser allem Verband mit den Grenzschichten; erst weiter aufwärts, bei höher organisirten Thieren, treten sie nachträglich wieder in Verband mit denselben.

Der Erfolg der Versenkung in die Tiefe ist, dass die Keimorgane dort in die denkbar beschützte Lage kommen, wo die Keimbildungszellen ihren embryonalen Charakter bewahren und den im ersten Abschnitt beschriebenen Reifungsprozess ungestört durchmachen können.

§ 403.

Das Fortpflanzungsgeschäft verlangt, dass die Keime den elterlichen Organismus verlassen. Dies erreicht die Natur auf mehrfachen Wege.

Der gewalthätigste ist der bei einer Gattung von Insekten beobachtete, dass die Keime, nachdem sie eine gewisse Entwicklungshöhe erlangt haben, sich durch den Leib der Mutter durchbohren, dieselbe hierbei tödtend.

Bei vielen Thieren (Fischen, vielen Echinodermen, Bryozoen) ist den Geschlechtsprodukten im Porus excretorius ein bequemer Weg zum Austritt eröffnet.

Der dritte Modus ist das Hinzutreten sekundärer Leitröhren (Samenleiter, Eileiter), die entweder ausschliesslich diese sociologische Funktion erfüllen oder, wie dies § 354 bei den Amphibien beschrieben wurde, nebenbei noch als Wassergefässsystem funktionieren. Die Leitröhren sind entweder sehr einfache Gebilde, häufig genug aber differenziren sie sich, treiben sekundäre Organe oder verbinden sich mit andern Organen, wodurch ein komplizirter Organapparat entsteht, der folgende Funktionen übernimmt, wobei wir die weiblichen und männlichen Keimdrüsen gesondert zu betrachten haben.

§ 404.

Das in den weiblichen Keimorganen produzierte Ei ist bei manchen Thieren noch nicht so ausgerüstet, dass es den mütterlichen Organismus verlassen kann, es muss noch Umhüllungen erhalten. Diese werden in bestimmten Abschnitten des Eileiters

entweder von dessen Wänden direkt bereitet oder es befinden sich an ihm sekundäre kleine Drüsen (Eileiterdrüsen) welche den Stoff zu diesen Umhüllungen liefern. Häufig handelt es sich nur um eine Hülle, z. B. bei den Amphibien um eine gelatinöse Hülle, bei den Reptilien kommt zu einer gelatinösen Eiweisschale noch eine feste ledrige Umhüllungshaut und bei den Vögeln sogar noch eine dritte, die Kalkschale.

Wo es sich um mehrere verschiedenartige Hüllen handelt, differenzirt sich der Eileiter mehr oder minder deutlich in mehrere nach einander folgende Abschnitte.

Eine andere Funktion, die der Eileiter bei manchen Thieren (Säugethieren, manchen Reptilien, und Insekten etc.) übernimmt, ist die, als Fruchtbehälter zu dienen, in welchem sich die Eier bis zur völligen Reife des Embryo aufhalten. Wo die Entwicklung keinen Materialnachschub verlangt, wie z. B. bei den lebendig gebärenden Schlangen und Eidechsen, ist die Funktion einfach zu erfüllen, auch in dem Fall des Alpensalamanders, bei dem nur das unterste Ei sich entwickelt und die Larve sich von den unbefruchteten gebliebenen Eiern nährt. Wo aber Nahrungszufuhr erforderlich ist, sehen wir wieder die Bildung sekundärer Organe in die Lücke treten und zwar seitens der Eileiter die Uterindrüsen, seitens des Embryo Organe der Eihüllen etc.

Bei den Insekten finden wir vielfach mit den Eileitern sogenannte Kittdrüsen in Verbindung, die einen klebrigen Saft zur Befestigung der Eier an ihrer Unterlage liefern.

Ein weiterer Bestandtheil des weiblichen Geschlechtsapparats sind die Samenbehälter, die man bei Insekten und Mollusken trifft. Sie haben die Aufgabe, bei der Begattung den männlichen Samen aufzunehmen und aufzubewahren und dann successive die Eier in der Reihenfolge ihrer Ablage zu befruchten, ein Vorgang, über dessen Mechanismus noch kein genügender Aufschluss erlangt ist.

Zu diesem innerlichen Organapparat treten bei vielen Thieren, namentlich zahlreichen Insekten, noch die Ovipositoren, centrifugale, vom Perisom gelieferte bewegliche Organe, mit denen die Eier in fremde Objekte eingeschoben oder eingestochen werden, die aber bei andern Insekten (z. B. Stechimmen) diese Funktion aufgeben und zum Wehrstachel werden, indem sie sich mit einer Giftdrüse combiniren.

Bei manchen Thieren wird die Körperoberfläche noch weiter in den Dienst der Geschlechtswirkung einbezogen; bei vielen Krebsen werden die Eier an centrifugale Organe der Haut geklebt, wo sie bis zum Ausschlüpfen hängen bleiben, bei andern, z. B.

Pipa, Beutelfrosch, manchen Fischen, Beutelthieren etc., bilden sich Theile des Perisoms durch Einstülpung oder Umwallung zu Bruttaschen, in denen die Eier ihre Entwicklung durchmachen, wobei häufig nicht das Weibchen, sondern das Männchen die mit der Eierbergung betraute Ehehälfte ist.

§ 405.

Bei den männlichen Geschlechtswerkzeugen liegen die Verhältnisse einfacher. Das häufigste, was hier zu dem Hoden und dem Samenleiter hinzu tritt, sind die Begattungsorgane: centrifugale Werkzeuge, welche die Aufgabe haben, die Uebertragung des Samens in den weiblichen Geschlechtsapparat zu besorgen und zu sichern. Sie dringen zu diesem Behuf in den Wurzeltheil des weiblichen Sexualorgans, die Scheide, ein (Copulationsakt) und sind entweder von Haus aus steife Gebilde oder sogenannte Schwellkörper, die durch die Einstauung der Ernährungsflüssigkeit gesteift und so vergrößert werden, dass sie die Scheide vollkommen abschliessen und durch mannigfache, durch die Schwellung oder durch Muskeln bewegte Mechanismen sich in der Scheide oft so fest verankern, dass nur eine gewaltsame Trennung möglich ist. Im Dienste der Begattungsmechanik stehen dann gewöhnlich noch die Gliedmassen, die Beisswerkzeuge und bei manchen Thieren eigene Klammerorgane, welche die Haut producirt.

Eine weitere Complication der männlichen Geschlechtsorgane sind Samenblasen zur Aufbewahrung des reifen Samens und mitunter auch Drüsen, welche Säfte zur Verdünnung des Samens liefern.

In entfernterer Weise betheiligen sich noch andere Organe der Körperoberfläche des Männchens an der Geschlechtsfunktion.

1) Parfümdrüsen, die entweder nur beim männlichen Geschlechte (Moschusthier, Schmetterlinge) oder bei beiden Geschlechtern (Biber) mit der Sexualfunction in Verbindung stehen und die Witterung der Thiere zur Brunstzeit bedeutend verstärken, was das Zusammenfinden der Geschlechter erleichtert. Wahrscheinlich kommt diesem Geruche auch eine aphrodisische Wirkung zu.

2) Eifersuchts-Waffen, wie Hörner, Geweihe, Sporen etc., mit welchen die Männchen zur Brunstzeit sich bekämpfen.

3) Verführungsorgane, welche das Gefallen der Weibchen auf sich lenken und dasselbe geschlechtlich erregen. Zu diesem Behuf nehmen manche, andern Zwecken dienende Organe, wie Federn oder die allgemeine Hautdecke, brillante Färbungen an oder es entwickeln sich eigene Schmuckorgane, die durch Grösse und schöne

Farbe wirken und häufig beweglich sind, um den Weibchen die geschlechtliche Erregung des Männchens zu signalisiren (geschlechtliche Geberdensprache). Es sind das entweder Schwellkörper in Form von Klunkern oder Rosen oder Federfächer, die entfaltet werden, oder Zitterfedern (Paradiesvogel), oder Wimpel, die im Flug sich flatternd bewegen. Endlich gehören hierher auch die Stimmwerkzeuge, deren Funktion in engster Beziehung zur Fortpflanzung steht, indem sie dem Zusammenfinden der Geschlechter dienen und geschlechtliche Sympathie erregen (Gesang ist geschlechtliche Lautsprache).

§ 406.

Beim Kraftwechsel soll zuerst der Einfluss der Organbildung auf die Wärmeökonomie besprochen werden. Für diese kommen natürlich nur die Hautorgane und die Athmungsorgane wesentlich in Betracht und zwar zunächst in passiver Weise.

Dass mit der Bildung prominirender centrifugaler Organe auf dem Körper die Wärme abgebende Oberfläche sich vergrößert, die Wärmeverluste also zunehmen, ist einleuchtend, allein es trifft doch nur unter bestimmten Verhältnissen zu, nämlich dann, wenn in diesen Hervorragungen eine rege Blutcirculation stattfindet: das Blut holt hierbei fortwährend die Wärme aus der Tiefe des Körpers und gibt sie nach aussen mit Hülfe der Oberflächevergrößerung leicht ab. Dazu kommt bei den in der Luft lebenden Thieren, dass auf der Körperoberfläche auch meist eine mehr oder minder starke Wasserverdunstung also Wärmebindung stattfindet, was mit der Vergrößerung der Oberfläche gleichfalls sich verstärken muss.

Anders aber gestaltet sich die Sache durch die im § 401 geschilderten retrograden Organe, wie Haare, Federn etc.; dadurch dass sie blutleer sind, fällt das Hauptmotiv der Wärmeabgabe fort und die Sache schlägt in das Gegentheil dadurch um, dass sie — wie alle organische Substanz — sehr schlechte Wärmeleiter sind und überdies zwischen sich eine vergleichsweise ruhige Schicht der bekanntlich die Wärme sehr schlecht leitenden Luft festhalten. Sie bilden also zusammen ein warm haltendes Kleid um den Körper und tragen dazu bei, dass diese Kleiderthiere (Vögel und Säugethiere) eine höhere Temperatur behaupten können.

§ 407.

Auch nach der aktiven Seite hin beeinflusst die Organbildung die Wärmeverhältnisse ganz entschieden. Mit der durch sie be-

werkstelligten Vergrößerung der resorbirenden Darmfläche und der Konstruktion besonderer resorbirender Organe (Darmzotten) steigt die Intensität der Zufuhr von Heizmaterial und mit der Entwicklung eigener Athmungsorgane auch die Zufuhr des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffs und damit ist eine Steigerung der Wärmebildung gegeben. Dies ist ein anderer Grund für die constant höheren Körperwärme, welche wir bei den vorhin genannten Kleiderthieren finden. Denn bei ihnen sehen wir die Athmungsorgane und die Darmzotten auf der höchsten Stufe der Entwicklung, während die andern Wirbelthierklassen, die wir Kaltblüter nennen, kümmerlichere Athmungswerkzeuge und nur selten Darmzotten haben. Letztere haben zwar auch bei den Vögeln lange nicht die Massenhaftigkeit wie bei den Säugethieren, dafür ist aber das wärmende Kleid der Vögel dicker, als das der Säugethiere.

Eine dritte Rolle, welche bezüglich der Wärmeökonomie von Organen übernommen werden kann, ist die regulatorische Thätigkeit. Hier sei zweierlei angegeben.

Einmal gibt es wärme-regulirende Drüsen z. B. die Schweissdrüsen, die bei vielen Säugethieren vorkommen: so wie die innere Wärme steigt, steigt auch der Blutdruck in den Gefässen dieser Filtrirdrüsen, und die Verdunstung der aus ihnen auf die Körperoberfläche tretenden Flüssigkeit entzieht dem Körper bedeutende Wärmemengen.

Für's zweite sind die Haare und Federn dem Körper so eingepflanzt, dass durch Veränderung des Winkels, den sie mit der Oberfläche bilden, die Dicke der warmhaltenden Schicht vermehrt oder vermindert werden kann und zwar theils willkürlich, theils durch Reflex auf kontraktile Theile der Haut.

Bezüglich einer Arbeitstheilung auf dem Gebiet der Wärmeökonomie bietet die Organentwicklung ebenfalls die Gelegenheit, z. B. bei den Kleiderthieren sind gewöhnlich gewisse Hautflächen nackt oder spärlich bekleidet, andere überhaupt oder stärker bedeckt und damit ist eine räumliche Differenzirung der Wärmeabgabe geschaffen.

§ 408.

Im übrigen Bereich des Kraftwechsels handelt es sich um drei Funktionen: zwei aktive — Empfindung und Bewegung — und eine passive — die Beschützung. Da wir jede dieser Funktionen gesondert zu besprechen haben, so soll als Einleitung etwas über die räumliche Differenzirung derselben gesagt werden, die bei höherer Organisation eben eintreten muss, weil zwischen

diesen drei Funktionen ein zwar keineswegs absolutes aber doch relatives Verhältniss der Ausschliessung besteht. Vergleichen wir zunächst Empfindung und Bewegung.

Diese sind zwar schon durch die concentrische Differenzirung räumlich getrennt, allein sobald die motorische Schicht nach aussen hin massebewegend auftreten will, so geräth die sie bedeckende sensitive Haut an der betreffenden Stelle in den Zustand der Pressung, Reibung und sonstigen mechanischen Insultirung, was sich nicht mit jeder sensitiven Thätigkeit verträgt, namentlich nicht bei grossen Thieren und bei Thieren, die in der Luft leben, also ihr eigenes Körpergewicht tragen müssen.

Diesem Uebelstand wird nun dadurch abgeholfen, dass eigene motorische Organe auftreten, welche das Geschäft der Massebewältigung und Lasttragung allein auf sich nehmen und so die übrige Körperoberfläche dieser Aufgabe entheben.

Ein ähnlicher Conflict besteht bezüglich der sensitiven und tektorischen Verrichtung. Der Schutz, dessen die Körperoberfläche gegen mechanische Insulten bedarf, verlangt Unempfindlichkeit, Widerstandsfähigkeit und Unzugänglichkeit; das verträgt sich schlecht mit der sensitiven Funktion, welche Zugänglichkeit und Empfindlichkeit verlangt. Indem nun für die sensitive Funktion eigene Organe eintreten, kann die tektorische Funktion entweder von dem Rest der Hautfläche oder von eigenen tektorischen Organen übernommen werden.

§ 409.

Dem passiven Schutz des Körpers kommt die Organbildung einmal in quantitativer Weise zu Hilfe. Wenn die Haut prominirende Organe (Haare, Federn) hervorwachsen lässt, so entsteht ein schützender Mantel, bei dem sich die Dicke deshalb bedeutend steigern lässt, weil er seiner lockeren Beschaffenheit wegen viel leichter ist als die kompakten Panzer, in welchen sich die Weichthiere zu hüllen geöthigt sind.

Auch bei dem chemischen Schutz ermöglichen sie eine quantitative Steigerung, ein Thier, das blos auf der freien Körperoberfläche Schleim absondert, kann von diesem glättenden, die Reibung mindernden und das Ergreifen erschwerenden Stoff lange nicht so viel erzeugen, als wenn es zahlreiche Schleimdrüsen besitzt. Dasselbe gilt von den Giften und Ekelstoffen, bei denen durch Drüsenbildung ebenfalls Massenproduktion ermöglicht wird.

In qualitativer Weise ist die Organbildung durch die Differenzirung und dadurch mögliche Cumulation von Schutzmitteln

von grossem Vortheil, sowie auch dadurch, dass ein solches Organ, da es keine Nebenfunktion hat, sich völlig seiner Aufgabe anpassen kann. Es seien hier einige Beispiele angeführt.

Bei den prominirenden Organen haben wir eine Differenzirung in passive Schutzmittel, die, wie Haare und Federn, durch ihre Elastizität den Stoss mildern, durch ihre Länge das spezifische Gewicht des Körpers vermindern, was für Flug und Fall günstig ist und auch gegen das Ergriffenwerden sichert, wenn sie dem Körper so lose eingefügt sind, dass man das Thier an ihnen nicht festhalten kann. Durch Steife und Spitzigkeit können sich solche Organe zur Bedeutung von Trutzwaffen erheben, mit denen der Gegner verwundet werden kann, namentlich dann, wenn sie durch Zuhilfenahme von Muskelthätigkeit bewegt werden können (Wehrstacheln) oder wenn sie wie die Hörner dem Körper so eingefügt sind, dass er als Ganzes mit demselben Sturm zu laufen vermag.

Auf dem Wege der Einstülpung sehen wir Schutzdrüsen entstehen. Die, welche entweder giftige Stoffe (Giftdrüsen) oder nur ekelhaft riechende Stoffe (Stinkdrüsen) absondern, können wir als chemisch beschützende bezeichnen. Hierzu kommen mechanisch beschützende Drüsen: Schleimdrüsen, die den Körper durch Glättung beschützen, Fett- und Oeldrüsen, die ihn durch Einfettung gegen Feuchtigkeit schützen, Wachsdrüsen, welche auf dem Körper eine verbergend schützende Wachswolle erzeugen, Spinnndrüsen, mit denen das Thier schützende Hüllen spinnst, sich anseilt, um sich gegen das Fallen zu schützen (Sicherheitsfäden der Raupen und Spinnen) und die es auch zu Trutz und zum Fangen der Beute benutzen kann (Spinnen).

Einzellige Schutzorgane sind die Gifthaare der Raupen, die Nesselzellen der Cölenteraten.

§ 410.

Bei den Bewegungswerkzeugen liegt der quantitative Vortheil der Organbildung einmal in der Vergrösserung der Angriffsfläche: das Thier gewinnt lange Ruder, lange Flügel, mit denen es einen festeren Halt in der Luft oder dem Wasser hat. Mit der Länge seiner Fangarme oder sonstigen Greifwerkzeuge vergrössert sich der Bezirk, in dem es fassend und lastbewegend wirken kann. Ein weiterer Vortheil der Organbildung ist, dass durch Steifung die Bewegungsorgane sich in Hebel von beliebiger Länge verwandeln, wobei es nur auf den Ansatzpunkt der Kraft und das Verhältniss der beiden Hebelarme ankommt, ob sie mehr

die Bedeutung von Krafthebeln oder die von Geschwindigkeitshebeln haben. Im allgemeinen überwiegen die Geschwindigkeitshebel, namentlich sind die Ortsbewegungswerkzeuge fast immer Geschwindigkeitshebel.

Der qualitative Vortheil besteht in der Differenzirung und dadurch möglichen Cumulation verschiedenartiger d. h. verschiedenen mechanischen Leistungen streng angepasster Werkzeuge. Zunächst ist mit der Bildung eines prominirenden Bewegungsorgans eine Differenzirung in Stützpunkt, Last und Kraft gegeben; entweder ist der Körper die zu bewegende Last, das Organ das Kraft erzeugende, der Stützpunkt ein Fremdkörper oder das Medium (Ortsbewegung), oder wie bei den Fangwerkzeugen ist der eigene Körper der Stützpunkt und ein fremder Gegenstand die zu bewegende Last.

Ihrer mechanischen Leistung nach unterscheiden wir folgende Arten von Bewegungswerkzeugen, die alle zugleich an einem Thierkörper vereinigt sein können.

1) Lokomotionsorgane, welche die Fortbewegung des Körpers im Raum besorgen und öfters ihn auch in der Ruhe tragen. Sie können sich wieder differenziren in unmittelbare Lokomotionsorgane und Hilfsorgane, welche nur die Balancirung oder Steuerung besorgen. Nach der Art der Ortsbewegung unterscheiden wir Geh-, Kletter-, Flug- und Schwimmwerkzeuge.

2) Beuteorgane, die sich wieder differenziren können in Fangwerkzeuge zu Ergreifung der Beute, Kau-, Fress- und Saugwerkzeuge zu der Ausnützung der Beute.

3) Copulationswerkzeuge, welche das Ergreifen und Festhalten des Partners bei der Begattung besorgen.

4) Stimmwerkzeuge, die entweder durch geeigetes Reiben fester elastischer Theile aneinander Töne hervorbringen oder mit der Athmung in Verbindung treten, wo sie in den Luftweg schwingungsfähige Theile (Stimmbänder) verschieben, die der dann eingeengte Luftstrom in tönende Schwingung versetzt.

5) Treten die Bewegungsorgane noch in den Dienst aller möglichen andern Funktionen, so die Kiemenfüsse der Krebse in den Dienst der Athmung, und sensitive Bewegungswerkzeuge endlich sind die Fühlhörner, Tastfäden, Augenstiele, Hörrohre etc.

§ 411.

Bei den sensitiven Organen haben wir die wichtigste Differenzirung des sensitiven Apparates in das sensitive Centralorgan und die peripherischen Endorgane der Schilderung vor-

anzustellen, denn diese Sonderung erfolgt auf dem Wege der Organbildung und nicht auf dem der concentrischen Schichtung; wenigstens ist bei den Wirbelthieren das Gehirn und Rückenmark ein Einfaltungsorgan des Exoderms in die Dicke der motorischen Schicht, das sich von seinem Mutterboden abschnürt. Ob diese Entstehung des Nervencentrums auch für die Wirbellosen gilt, darf als noch unentschieden angesehen werden.

Indem die Ganglienzellen des sensitiven Centralorgans Fäden aus sich hervorwachsen lassen, von denen ein Theil sich mit einem Theil der extern gebliebenen Exodermzellen, ein anderer Theil mit den Zellen der motorischen Schichten, ein dritter mit sekretorischen Organen in Verbindung setzt, wird das genannte Exodermorgan zum Kraftwechselcentrum d. h. zum Centrum des Nervensystems. Da dessen Leistung, so weit wir uns hier darauf einlassen können, schon in dem von den Systemen handelnden Abschnitt besprochen worden ist, so bleibt für unsere jetzige Betrachtung nur die Schilderung der Lokalisation und Differenzirung im Bereich der peripherischen Funktionen übrig.

§ 412.

Eine Lokalisirung und Differenzirung im Bereich der sensitiven Wahrnehmung ergibt sich schon daraus, dass nicht alle sensitiven Nerven bis zum Exoderm vordringen, sondern ein Theil auch in den übrigen innern Schichten endigt, worüber allerdings noch viele Aufschlüsse mangeln. Thatsache ist, dass ein sehr feines Muskelgefühl besteht, welches das Thier genau von dem Spannungszustand und dem Zustand der Erregbarkeit des Muskels unterrichtet (Spannungsgefühl, Ermüdungsgefühl, Kraftgefühl, Muskelschmerzgefühl).

Eine weitere Thatsache ist, dass das Empfindungscentrum auch von den Zustandsveränderungen im Bereich des Darmkanals unterrichtet wird; daraus geht das Hungergefühl, Durstgefühl hervor und stärkere Reizungen dieser sensitiven Darmnerven verursachen Schmerzgefühle. Alle diese Gefühle sind sogenannte Gemeingefühle d. h. sie sind nicht mit Vorstellungen verbunden. Im Gegensatz hierzu vermitteln die Nerven, welche mit dem Exoderm in Verbindung stehen, die wahren d. h. mit Vorstellung verbundenen Empfindungen.

Die eben beschriebene Arbeitstheilung ist also die Sonderung in das Gebiet der Empfindungserzeugung und das der Gemeingefühlserzeugung. Auf dem letzteren Gebiete spielt die Organbildung keine Rolle und es finden auch keine andern als die

aus der Natur der Endzellen sich ergebenden Differenzirungen in spezifische Sinnesleistungen statt. Um so mehr ist das bei den auf der Körperoberfläche liegenden Empfindungszellen der Fall.

§ 413.

Die Thatsache, dass nach allen Theilen des Exoderms sensitive Nerven hinziehen und dort mit sensitiven Endzellen sich verbinden, macht zunächst die ganze Hautoberfläche lokalisiert sensitiv, so dass die sensitive Funktion schon durch das Gesetz der isolirten Nervenleitung theoretisch in eben so viele peripherische Empfindungseinbruchstellen zerlegt ist, als es Nervenendigungen gibt. Das Bewusstsein erhält nicht bloß von jeder Reizung der Körperoberfläche Nachricht, sondern verlegt sich auch auf einen ganz bestimmten, mehr oder weniger eng begrenzten Punkt der Körperoberfläche.

Der Werth der Organbildung für die sensitive Funktion der Körperoberfläche ist nun theils ein quantitativer theils, ein qualitativer. Wir besprechen zuerst den quantitativen.

In dieser Beziehung wirkt allgemein die Oberflächevergrößerung nach dem Gesetz: Je grösser die von einem Reiz getroffene Oberfläche ist, desto stärker wird er empfunden. Wenn wir z. B. in warmes Wasser von ganz gleicher Temperatur rechts die Hand, links den ganzen Vorderarm eintauchen, so scheint uns das den linken Arm umspülende Wasser wärmer zu sein als das, was die rechte Hand umgibt. Dies gilt nicht nur für den allgemeinen Tastsinn, sondern auch für die Spezialsinne, z. B. ganz auffällig und nachweisbar für den Geruchsinn, dessen Schärfe und Feinheit in genauem Verhältniss zu der räumlichen Ausdehnung der Riechhaut steht. Das die Schärfe des Gehörsinns mit der Vergrößerung der Schall auffangenden Oberfläche in geradem Verhältniss steht, sehen wir daran, dass Thiere mit grösserer Ohrmuschel besser hören als solche mit kleiner. Ich erinnere ferner daran, dass nach § 380 mit der Oberflächenentwicklung auch die Leistungsfähigkeit der Seelenorgane zunimmt.

Bei der weiteren Besprechung der quantitativen Vortheile müssen wir die prominirenden und eingestülpten Organe gesondert behandeln.

§ 414.

Bei den prominirenden Organen kommen folgende spezielle Vortheile in Betracht.

- 1) Indem der Sitz der sensitiven Zellen auf die Spitze eines

prominirenden Organs verlegt wird, ist gleichsam ein Vorposten ausgestellt, der dem Thier die Anwesenheit von Fremdkörpern etc. verräth, ehe dieselben mit dem Gesamtkörper in Berührung kommen. Da das eine der elementarsten strategischen Massregeln ist, so haben die so entstehenden sensitiven Organe (Fühlhörner, Fühler, Fühlfäden) ein sehr allgemeines Vorkommen in allen Thierabtheilungen. Nicht selten (Landschnecken, vielaugige Krebse) sehen wir auch die Augen auf die Spitze von prominirenden Organen verlegt, was den Vortheil hat, dass sich ihr Horizont bedeutend vergrössert.

2) Ein weiterer Vortheil der prominirenden Organe für die Empfindungsvermittlung ist die, dass dadurch die Wahrnehmung der Richtung, aus welcher die Reize kommen, ermöglicht wird. Sitzt die sensitive Zelle platt in der Körperoberfläche, so wird ein schief auftreffender Reiz nur schwächer wirken als ein senkrecht treffender und eine Unterscheidung der verschiedenen Seiten ist bei ersterem nicht möglich. Das ändert sich sofort, wenn viele sensitiven Zellen auf der Oberfläche eines prominirenden Organs liegen, weil hier die der Reizquelle zugewendeten sensitiven Zellen stärker oder allein getroffen werden, z. B. wir prüfen mit dem erhobenen benetzten Finger die Richtung, aus welcher der Wind weht und bei der Ohrmuschel lässt sich experimentell bestätigen, dass von ihr die Unterscheidung abhängt, ob ein Ton von vorn oder von hinten kommt.

3) Ist es von Vortheil, dass sensitive Apparate, die auf der Spitze prominirender Organe liegen, mobil gemacht werden können; solche mobile Organe im Dienst der sensitiven Funktion sind die beweglichen Fühlfäden und Fühlhörner und die beweglichen Augenstiele.

4) Können centrifugale Organe die Rolle eines passiven Erregungsleiters für sensitive Zellen übernehmen, die in der Tiefe des Körpers liegen. Das beste Beispiel hierfür sind die Tasthaare und Hörhaare. Diese sind selbst nicht erregbar, aber durch ihre Steifigkeit sind sie sehr geeignet, mechanische Bewegungen, und zwar nicht blos grob mechanische, sondern, wenn sie daneben elastisch und schwingungsfähig sind, auch Schallwellen nach ihrem Wurzeltheil zu übertragen und dadurch die an denselben anliegenden sensitiven Zellen zu erregen. Die letzteren geniessen dabei den Vortheil, sich in absolut geschützter Lage zu befinden. Bei den Vögeln und Säugethieren werden auf diese Weise die retrograden, schon § 401 beschriebenen Organe (Haare und Federn) zu sensitiven Hilfsorganen; bei den Gliedertieren kommt diese Rolle den Chitinhaaren zu.

§ 415.

Aus der mit der Einstülpung gegebenen Organbildung zieht die sensitive Funktion gleichfalls erhebliche quantitative Vortheile.

1) Da die im vorigen Paragraphen erwähnten retrograden Organe das Produkt von eingestülpten Organen sind, so ist damit schon Ein Vortheil der Einstülpung gegeben.

2) Ein weiterer Vortheil ist der, dass durch Verlegung der sensitiven Zellen an den Hintergrund von Einstülpungen dieselbe in eine sehr beschützte Lage gelangen. Damit wird einmal erreicht, dass da, wo die Reize, welche die Oberfläche treffen, in der Regel zu heftig sind, deren Wirkung auf das richtige Mass herabgemindert wird. An den Fusssohlen eines Thieres z. B. sind die mechanischen Insulte viel zu gross, als dass sich dort ein Sinneswerkzeug an der Oberfläche erhalten könnte. Dann ist bei den Luftthieren die von der Vertrocknung ausgehende Gefahr für die sensitiven Zellen der äussern Haut viel zu stark, als dass sie in der exponirten Stellung verharren könnten; sie werden deshalb in die Tiefe versenkt. Während z. B. bei den im Wasser lebenden Fischen die Riechhautoberfläche auf der Stirn liegt und nur so weit versenkt ist, dass sie vor grob mechanischen Insulten geschützt ist, wird sie bei den Luft athmenden Wirbelthieren tief in die Nasengänge versteckt, wo durch den Zufluss der Thränenflüssigkeit die Luft stets mit Feuchtigkeit gesättigt bleibt, also Vertrocknung unter normalen Verhältnissen unmöglich ist.

§ 416.

In qualitativer Beziehung kommt die Organbildung der Sondierung in verschiedene Spezialsinne zu Gute. Dieselbe ist zwar nicht unbedingt abhängig von ihr, sondern vollzieht sich bis zu einem gewissen Grade einfach durch Differenzirung der Oberfläche-Beschaffenheit des Körpers; allein sie wird nicht nur eine schärfere, sondern die Organbildung trägt zur Spezialisirung und Vervollkommnung der Leistungsfähigkeit des einzelnen Sinnes ganz bedeutend bei. Hierbei muss aber eine allgemeine Bemerkung über die auch ohne Organbildung sich vollziehende Arbeitstheilung in Bezug auf die Empfindungsfunktionen gemacht werden.

Die allgemeine Körperoberfläche ist stets der Sitz einer allgemeinen Empfindlichkeit gegen alle — chemische und mechanische — Reizarten (allgemeiner Hautsinn). Eine Lokalisirung

in Bezug auf letzteren besteht nur darin, dass die Feinheit desselben nicht an allen Punkten der Körperoberfläche gleich stark ist und hierfür gilt das Gesetz: sie ist da am stärksten, wo am häufigsten Reizung stattfindet.

Diesem allgemeinen Hautsinn stehen nun die spezialisirten und auf ganz bestimmte Körperstellen beschränkten Spezialsinnesorgane gegenüber, welche mit Ausschluss aller andern nur einem spezifischen Reize zugänglich sind und diesen vorzugsweise zur Empfindung bringen. Dabei ist es aber ähnlich wie bei der Lokalisierung der Athmung: Auch wenn gesonderte Athmungsorgane vorhanden sind, besteht noch allgemeine Hautathmung fort. Gerade so bleibt auch nach Auftreten eines lichtempfindenden Sehorgans noch eine allgemeine Lichtempfindlichkeit der Haut, nach Auftreten eines schallempfindlichen Gehörorgans noch allgemeine Schallempfindlichkeit der Haut, nach Auftreten gesonderter chemischer Sinnesorgane noch eine allgemeine chemische Empfindlichkeit der Haut. Der Unterschied zwischen der Empfindung einer Reizform durch den Spezialsinn und der Empfindung derselben durch den allgemeinen Tastsinn ist der, dass die erstere qualitativ und quantitativ weit schärfer ist und zwar unter anderem auch deshalb, weil das Spezialorgan durch die Uebung seine Befähigung steigert, die Haut durch Nichtgebrauch herabmindert.

§ 417.

Bei der im vorigen Paragraphen genannten Absonderung der Spezialsinne von dem allgemeinen Hautsinn influenzirt nun die Organentwicklung vor allem in passiver Weise (über die aktive Betheiligung wollen wir bei den einzelnen Sinnen sprechen).

Die Entwicklung der centrifugalen Organe schafft einen Gegensatz zwischen exponirten und beschützten Körperstellen. Während die Exponirten allen Reizen in hohem Grade zugänglich sind, befinden sich die beschützten in der Regel in einer Lage, in welcher die Beschützung nicht gleichmässig für alle Reize gilt, sondern nur für gewisse Reize Schwerzugänglichkeit entsteht. So wirken z. B. solche Organe beschattend, Licht abhaltend oder bloß mechanisch beschützend. Endlich können sie aber die Zugänglichkeit für gewisse Reize ganz aufheben; das Haar- und Federkleid z. B. macht den grössten Theil des Körpers dem Lichte ganz unzugänglich, chemische Reize sind ebenfalls fast ganz ausgeschlossen, es können zur Haut nur taktile Reize gelangen, welche die Haare und Federn zu leiten im Stande sind. Deshalb sehen wir bei Säugethieren und Vögeln nichts von der bei Fischen, Am-

phibien und Reptilien so weit verbreiteten Lichtempfindlichkeit der Haut, die sich im Farbwechsel derselben äussert.

In der gleichen Weise passiv wirken auch die Einstülpungsorgane. Wenn die sensitive Fläche versenkt wird, so ist in der Regel nur für eine gewisse Gruppe von Reizen die Zugänglichkeit aufgehoben, während es jetzt nur von der Beschaffenheit der dazwischen liegenden Körperschichten abhängt, ob dieser oder jener Reizart der Zutritt offen bleibt. Wird z. B. eine sensitive Zellgruppe der Haut einfach in die Tiefe versenkt, so ist sie für chemische Reize in hohem Grade unzugänglich, Schallwellen erreichen sie nur, wenn die darüberliegenden Theile schwingungsfähig sind, das Licht als solches nur, wenn sie durchsichtig sind, Druckschwankungen werden sich leichter auf dieselben fortpflanzen, wenn die dazwischen liegenden Theile nicht zu weich sind. Versenkung in tiefe Höhlen schliesst z. B. das Licht aus, unter Umständen auch mechanische Reizung, während Schallwellen Zutritt haben und auch chemische Beeinflussung möglich ist, wenn die Aufenthaltsmedien durchzirkuliren können. Schliessen sich solche Höhlen durch schwingungsfähige Membranen ab, wie das beim Ohr der Fall ist, so kann kein anderer Reiz die sensitiven Zellen mehr treffen als Schallwellen.

§ 418.

Ueber den Modus der Differenzirung der Sinne ist Folgendes vorauszusenden:

Einmal handelt es sich um die Sonderung der chemischen Empfindung von der mechanischen, es bilden sich chemische und mechanische Sinneswerkzeuge aus.

Eine weitere Sonderung bezw. Vervollkommnung ist innerhalb der einzelnen Reizart die Differenzirung in einen Nahesinn, der nur bei der Berührung eines fremden Gegenstandes zur Thätigkeit kommt, und in einen Fernsinn.

Auf dem Gebiet der chemischen Empfindung können wir den Geschmacksinn, der nur fixe Stoffe wahrnimmt, als Nahesinn, den Geruchsinn, der durch flüchtige, von fernen Körpern ausgehende Stoffe erregt wird, als Fernsinn bezeichnen.

Auf dem Gebiet der mechanischen Sinne entspricht fürs erste dem nur bei Berührung wirksamen Drucksinn, der also ein Nahesinn ist, der Gehörsinn als Fernsinn, indem er die durch Bewegungen entfernter Objekte veranlassten Schallwellen wahrnimmt.

Fürs zweite können wir dem Wärmesinn als Nahesinn den

Gesichtssinn als Fernsinn gegenüber stellen, obwohl hier die Scheidung nicht so scharf ist, denn der Wärmesinn der Haut ist nicht bloß Nahesinn d. h. empfindet nicht bloß die durch unmittelbare Berührung zugeleitete Wärme, sondern auch die aus Distanz kommende strahlende Wärme. Dagegen ist der Gesichtssinn ein echter Fernsinn, aber mit der Einschränkung, dass er nur einen Theil der von entfernten Körpern ausgehenden Strahlen, nämlich die von hoher Schwingungszahl wahrnimmt, diejenigen niederer Schwingungszahl d. h. also eben die dunkeln Wärmestrahlen dem Wärmesinn überlässt.

§ 419.

Zum Detail übergehend beginnen wir mit dem sogenannten Tastsinn. Mit diesem Wort bezeichnen wir die sensitive Leistung, deren die indifferent gebliebene Haut nach Abspaltung der Spezialsinne bei den höher organisirten Thieren noch fähig ist; derselbe ist aber ein sehr gemischter Sinn. In ihm steckt einmal das, was ich § 416 den allgemeinen Hautsinn nannte. Die Haut besitzt chemische Empfindlichkeit, aber bei höheren Thieren nur abgeschwächt (über den Hautgeschmack der Fische siehe unten): auf mechanischem Gebiet leistet sie entschieden mehr, auch noch bei den höheren Thieren: neben ihrer speziellen Thätigkeit als Organ des Drucksinns und Wärmesinns besitzt sie nämlich noch eine gewisse Empfindlichkeit für Schallwellen (Hautgehör) und für Lichtstrahlen (Hautgesicht, z. B. kann bei dem durchaus augenlosen Regenwurm die nachweisbare grosse Empfindlichkeit für Licht nur als Hautgesicht gedeutet werden). Die nicht adäquaten Reize (Schallwellen chemische, elektrische Reizung) werden übrigens nicht von taktilen Reizen rascher Stossfolge und nicht von einander unterschieden werden sondern rufen alle zusammen die Empfindung des Kitzels hervor.

Wenn nun bei den höher organisirten Thieren die Haut neben dieser allgemeinen sensitiven Leistung eine besondere Befähigung als Drucksinnesorgan und Wärmesinnesorgan erhält, so kommt dies wohl auf Rechnung besonderer Organe:

Die nicht mit besondern Endorganen verknüpften zahlreichen Nervenendigungen in der Haut sind wohl die Träger des allgemeinen Hautsinns, während die spezifischen Nervenendigungen Träger der zwei besondern Hautsinne sind. Ueber die Bedeutung der Tasthaare als Organ des Drucksinns ist wohl kein Zweifel gestattet, auch die Tastkörperchen dürfen als solche angesehen werden. Als spezifische Organe des Wärmesinns möchte ich jedenfalls die von Leydig entdeckten knopfartigen Nervenendorgane in den Lippen des medizinischen Blutegels betrachten,

während man über die Organe des Wärmesinns in der Haut der höheren Thiere nicht unterrichtet ist. Dass die knospenförmigen Nervenendorgane auf der Haut der Fische und Amphibienlarven Hautgeschmacksorgane sind, ist höchst wahrscheinlich.

§ 420.

Bei dem chemischen Sinne beginnt die Abhebung vom allgemeinen Hautsinn offenbar erst bei ziemlich vorgeschrittener Organisation. Bei den Cölenteraten ist noch keine Spur davon und nicht minder fehlt bei den Mollusken jede Andeutung einer Lokalisation. Bei den Würmern will man gewisse, auf der Körperfläche angebrachte, stark innervirte Wimperpolster für chemische Sinnesorgane erklären. Bei den Gliederthieren sind wir ebenfalls noch fast ganz unaufgeklärt. Dass hier die ganze Körperoberfläche chemisch empfindlich wäre, wie bei Cölenteraten und Mollusken, ist a priori nicht anzunehmen. Ausserdem wird hier die Frage noch komplizirter: Bei allen in der Luft lebenden Thieren muss eine ähnliche Spaltung des chemischen Sinnes in zweierlei chemische Sinne, den Geschmack- und Geruchsinn, stattfinden, wie das für die Luftwirbelthiere physiologisch und anatomisch feststeht, während wir bei den Wasserthieren uns eine derartige Spaltung weniger denken können, jedenfalls sind beim Wasserthier die physikalischen Bedingungen für Schmecken und Riechen nicht erheblich verschieden. Bei den Bienen hat man neuerdings an der Mundöffnung im sogenannten Gaumensegel spezifische Nervenendigungen gefunden, die höchst wahrscheinlich chemische Empfindungen vermitteln, allein gewiss mehr Geschmack- als Geruchsorgane sind, wofür schon die Lage spricht. Wenn die Luftgliedertiere gesonderte Geruchswerkzeuge besitzen, so müssen sie entweder auf der äusseren Körperoberfläche sitzen oder wenn sie innerlich liegen: so können sie nur mit dem Tracheensystem in Verbindung stehen, da zum Riechen ein Vorbeistreichen des Riechstofftragenden Mediums an der Riechfläche nöthig ist.

Mir scheint die Sache so zu liegen, dass die Differenzirung des Geruchs sinns vom allgemeinen Tastsinn zuerst die Zuhilfenahme solcher besonderen Einrichtungen erfordert, wie sie die Organbildung darbietet, weil diese Funktion eine difficilere ist und ihre Ausübung eine gewisse Exposition oder Zutritt des Riechstofftragenden Mediums verlangt. Beim Geschmacksinn liegt die Sache einfacher. Hier kann sich die allgemeine chemische Empfindlichkeit des innervirten Exoderms schon einfach durch die Verlegung in die beschützte, feuchtbleibende Mundhöhle erhalten und

ich stehe nicht an, bei vielen niederen Thieren nicht das Geschmacksorgan in der Mundhöhle zu suchen, sondern dieselbe im Ganzen als Geschmacksorgan zu betrachten d. h. alle Nervenendigungen, die sich dort finden, für chemisch empfindlich zu erklären. Erst auf höherer Stufe kommt es auch in der Mundhöhle mit Hilfe der Organbildung, in spezie der Papillenbildung (Geschmackspapillen), zu einer Abspaltung des Geschmacksinns vom allgemeinen Hautsinn der Mundhöhle. Allein wie wir bei uns selbst beobachten können, ist das, was wir „schmecken“ nennen, ein solches Gemisch von mechanischen und chemischen Empfindungen, dass wir deutlich sehen, die Sonderung sei selbst auf dieser höchsten Stufe noch keine sehr scharfe.

Bei den Wirbelthieren bestehen über die Lokalisation des Geruchsinns keine Zweifel. Das Geruchsorgan ist bei den Fischen ein äusserlich liegendes Einfaltungsorgan. Bei den Luftwirbelthieren fungirt der obere Theil der Nasengänge als Riechschleimhaut.

§ 421.

Auf dem Gebiet der physikalischen Sinneswahrnehmung handelt es sich um die Abhebung zweier physikalischer Distanzsinne von den physikalischen Nahesinnen der Haut und zwar so: Von dem Nahedrucksinne der allgemeinen Hautoberfläche hebt sich als Distanzdrucksinn der Gehörsinn ab, von dem Nahewärmesinn gewissermassen als Distanzwärmesinn der Gesichtssinn ab.

Dabei gilt aber vergleichend folgendes. Bei der Gehörschwärnehmung und der Wahrnehmung taktiler Reize sind die physikalischen Bedingungen sehr wenig verschieden; es handelt sich in beiden Fällen um Druckschwankungen. Dagegen besteht zwischen Wärmewahrnehmung und Lichtwahrnehmung eine viel erheblichere Differenz, die ich so ausdrücken möchte: Die Wärme wird unmittelbar wahrgenommen, das Licht muss erst in Wärme oder chemische Bewegung umgesetzt werden.

Dieser Unterschied zeigt sich nun auch in der organologischen Differenzirung: die Sonderung des Gesichtsinns von allgemeinen Hautsinn tritt viel früher auf, ist viel schärfer und verbreiteter im Thierreich, als die des Gehörsinns, welcher selbst noch bei den Gliederthieren so innig mit dem Tastsinn verknüpft ist, dass bei den meisten das Suchen nach gesonderten Organen resultatlos blieb.

Für die späte Sonderung des Gehörorgans ist übrigens auch die Thatsache anzuführen, dass die Ausbildung des Gehörorgans in nachweisbarer Beziehung zum Auftreten und der Ausbildung

der Stimmwerkzeuge steht, denn die Unterscheidung besonderer Töne gewinnt erst dann einen höheren Werth, wenn es sich um das Erkennen der Stimme der Artgenossen, speziell des geschlechtlichen Partners handelt. Endlich kommt auch das Medium in Betracht: In dem Wasser, das die Schallwellen so vorzüglich leitet, kann der allgemeine Hautsinn leichter die Schallwahrnehmung vermitteln, während es in der schlecht leitenden Luft hierzu mehr besonderer Einrichtungen bedarf.

§ 422.

Schon im vorigen Paragraphen wurde die späte Sonderung der Gehörs wahrnehmung von der allgemeinen Hautempfindlichkeit betont. Wir müssen bei sehr vielen Thieren von einem allgemeinen Hautgehör sprechen, denn bei den meisten Cölateraten, den Stachelhäutern, den Molluscoiden, vielen Würmern und Gliederthieren ist nicht eine Spur von Gehörorganen, auch nicht einmal eine sonstige Lokalisierung dieses Sinnes gefunden worden.

Die Bildung gesonderter Gehörorgane nimmt drei verschiedene Ausgangspunkte.

1) Der eine sind die sogenannten Gehörblasen mit ihren Gehörsteinen, siehe Bd. I. § 208. Hier sind die Nervenendigungen dadurch, dass diese Gehörblasen ins Innere des Körpers verlegt sind, für alle andre Reizarten als Schallwellen unzugänglich, und diese werden, indem sie sich in Schwingungen der Blasenmembran und Wasserwellen des Blaseninhalts und Bewegungen der Gehörsteine umsetzen, die Hörhaare rhythmischen Stößen oder Druckschwankungen aussetzen.

2) Der andere Weg knüpft direkt an die Tastorgane der Haut an. Die steifen Tasthaare der Gliederthiere sind als elastische schwingungsfähige Stäbe sicher ohne jede weitere Veranstaltung schallempfindlich und zwar empfindlich für bestimmte, ihrer Länge und Steifigkeit entsprechende Töne. Um ein Gehörorgan zu schaffen, bedurfte es blos einer Versenkung derselben in Hauttaschen, um taktile Reize von ihnen fern zu halten (Krebse). Ebenso entsteht auch das primäre Ohr der Wirbelthiere: Es wird durch Versenkung eine Hauttasche gebildet, auf deren Grund eine Gruppe in Hörhaare auslaufender Nervenendzellen stehen. Diese steifen Hörhaare der Wirbelthiere müssen wir wohl als modifizierte Flimmerhaare ansehen.

3) Der dritte Weg knüpft daran an, dass die Haut die allgemeine Schall auffangende Fläche ist und es nur einer Modifikation derselben bedarf, um sie in ein schwingungsfähiges Trommelfell

zu verwandeln. Dies geschieht dadurch, dass sich eine ringförmige Stelle zu einem steifen Rahmen verdickt, von welchem der centrale Theil mässig gespannt erhalten wird. Befindet sich hinter ihr elastische Luft, die vollends noch durch Communication mit der Oberfläche entweichen kann, so ist die Membran zur Ausführung von Transversalschwingungen befähigt. Legen sich an diese rückwärts Nervenzellen an, so werden diese bei Schwingungen der Membran, die durch Schallwellen hervorgerufen werden, Erschütterungen erleiden. Solche primäre Trommelfelle zeigen manche Insekten, wie Grillen und Heuschrecken.

Die Vervollkommnung der primären Ohren erfolgt dadurch, dass sich eine Claviatur aus schwingungsfähigen Theilen entwickelt, die auf verschiedene Tonhöhen gestimmt sind und deren jeder mit gesonderten Nervenzellen in Verbindung ist; so liegen z. B. die Hörzellen der höheren Wirbelthiere in dem Schneckenheil des Labyrinths auf einer breit beginnenden und spitz auslaufenden gespannten Membran, welche der Quere nach in lauter einzelne, gespannten Seiten vergleichbare Fasern von skalaartig abnehmender Länge differenzirt ist.

§ 423.

Bei sämmtlichen wirbellosen Thieren hat es beim primären Ohr sein Bewenden, erst bei den Wirbelthieren wurden auf dem Weg der Organbildung neue Complicationen geschaffen und zwar handelt es sich hierbei theils um Differenzirung des primären Ohrs in Labyrinthsäckchen, Bogengänge und Schnecke, theils um das Hinzutreten neuer Organe.

Ueber die Bedeutung der Differenzirung des primären Ohrs sind wir noch sehr unvollständig aufgeklärt, wir wissen nur, dass die Bd. I § 208 geschilderte Differenzirung des Schneckenrohrs in eine obere und untere Schneckentreppe und die Anwesenheit von zwei elastisch verschlossenen Oeffnungen in der knöchernen Umhüllung des Labyrinths (des durch den Steigbügel verschlossenen eiförmigen Fensters und des membranös verschlossenen runden Fensters) es ermöglicht, dass die durch die Schallwelle erzeugte Bewegung der Gehörknöchelchen sich in eine über die Claviatur hinstreichende Beugungswelle des Labyrinthwassers umsetzt, die durch den obern Treppengang bis zum blinden Ende des Schneckenrohrs und durch den untern Gang wieder zurückläuft. Fehlte das eirunde Fenster und wäre somit der genannte Weg ein starrer, blind geschlossener Kanal, so könnte keine solche Beugungswelle

entstehen; dies ist erst dadurch möglich, dass die elastische Membran des eirunden Fensters nachgiebig ist.

Ueber die Funktion der Bogengänge weiss man, dass sie nur Hilfsorgane sind, die vielleicht zur Dämpfung des Schalls dienen, und dann, dass nach Durchschneidung derselben, die bei Vögeln leicht ohne sonstige Gefährdung auszuführen ist, Störungen des Gleichgewichts des Körpers eintreten.

§ 424.

Sekundäre Hilfswerkzeuge sehen wir am Gehörorgan erst bei den Luftwirbelthieren auftreten und zwar haben sie in erster Linie die Aufgabe der Schalleitung. Warum den Fischen schalleitende Hilfsorgane fehlen, erklärt sich wohl daraus, dass das Wasser ein weit besserer Schalleiter ist als die Luft und Schallwellen aus dem Wasser viel leichter in den Thierkörper übergeleitet werden als aus der Luft. Uebrigens wird von einigen Forschern behauptet, dass die Schwimmblase und eine Kette von Knöchelchen, die von ihr zum Labyrinth zieht, Hilfsorgane des Ohrs seien.

Dem angedeuteten Zweck entspricht bei den Luftwirbelthieren die Bildung des Bd. I § 208 geschilderten mittleren Ohrs, eines taschenartigen Organs der Rachenschleimhaut, das sich zwischen das in die Tiefe des Kopfes versenkte primäre innere Ohr (das Labyrinth) und die Körperdecke einschiebt. Der mit der letzteren verbundene äussere Theil der Wand dieses Organs, dessen Höhlung die Trommelhöhle heisst, besitzt, auch ohne dass er in ein eigentliches Trommelfell umgewandelt ist (viele Reptilien), die Fähigkeit, Transversalschwingungen auszuführen, weil hinter ihm Luft ist, die schon durch ihre Zusammendrückbarkeit solche Bewegungen gestattet, dann aber noch besonders dadurch, dass sie durch die nach aussen offene Ohrtrompete mit der Aussenwelt frei kommunizieren kann. Die Wichtigkeit dieser Kommunikation der Trommelhöhlenluft mit der Nasenluft zeigt sich namentlich deutlich darin, dass Verschluss der Ohrtrompete durch Schwellung sofort die Gehörswahrnehmung beeinträchtigt. Vervollkommenet wird der Hilfsapparat bedeutend, sobald die äussere Wand der Trommelhöhle in ein dünnes elastisches Häutchen, also in ein wahres Trommelfell verwandelt wird, wie das bei allen Vögeln und Säugern, vielen Reptilien und Amphibien der Fall ist. Das Trommelfell beantwortet jede wie immer geartete auftreffende Luftschallwelle mit einer ihr ganz gleichartigen Transversalschwingung, bei der es sich jetzt nur darum handelt, dass sie auf

das innere Ohr, beziehungsweise das Labyrinthwasser, übertragen wird.

Letzteres ist die Aufgabe der Gehörknöchelchen. Bei Vögeln und Reptilien ist nur ein einziger Knochenstab vorhanden, der mit dem einen Ende in die Mitte des Trommelfells, mit dem andern in die elastische Membran des eiförmigen Fensters vom Labyrinth eingewachsen ist. Dieser Stab macht alle Bewegungen des Trommelfells mit und übersetzt sie in Beugungswellen des Labyrinthwassers.

Die Differenzirung des Trommelfellknochens in die Gehörknöchelchen, die durch Muskeln bewegt werden können (Säugethiere), ermöglicht eine Nüancirung der Spannung des Trommelfells. Stärkere Spannung wirkt, indem sie die Beweglichkeit des Trommelfells beeinträchtigt, schalldämpfend, während Abspannung die Beweglichkeit, also auch die Empfindlichkeit erhöht.

Eine weitere Funktion des Trommelfells ist die Unterscheidung, ob ein Ton von rechts oder links kommt, indem die ungleiche Stärke der Erschütterung von den Tastnerven des Trommelfells wahrgenommen wird, was experimentell bestätigt werden kann. Ferner vermittelt das Trommelfell die Unterscheidung innerlicher Geräusche von solchen, die von auswärts kommen, da nur die letztern das Trommelfell in Schwingung versetzen.

Eine weitere Vervollkommnung erfährt der Gehörapparat bei den Säugethieren durch die Versenkung des Trommelfells in die Tiefe des äussern Gehörgangs. Es wird dadurch vor Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes bewahrt, was im Sinne gleichmässiger Spannung günstig ist (bei den Vögeln besorgen dasselbe die Federn) und ausserdem wird es taktilen Reizungen entzogen. Die Ohrschmalzdrüsen schützen den äussern Gehörgang gegen das Eindringen anderer Thiere und denselben Dienst leisten Haare, die in die Lichtung vorstehen.

Das äussere Ohr endlich hat die Funktion eines schallauffangenden Hörrohrs und kann durch Muskelbewegung in der Richtung der Schallwelle gestellt werden. Dass es die Unterscheidung der Schallrichtung vermittelt, wurde schon § 414 gesagt.

§ 425.

Nach dem wir im § 27 gesagten kann ein Körper für eine Bewegung nur dann empfindlich sein, wenn er sie nicht (oder wenigstens schlecht) leitet und reflektirt. Damit ist gesagt dass Lichtempfindlichkeit nur für undurchsichtige Körper besteht.

Demgemäss ist der Beginn des Sehorgans ein umschriebener durch Pigment undurchsichtig gemachter Fleck der Körperoberfläche, der sich bei Thieren mit einem Nervensystem entweder direkt dem Kopfganglion auflagert oder einem eigenen Nervenende.

Die Wirkung des Pigmentes ist übrigens nach den neuesten Entdeckungen von Boll und Kühne keine so einfache. Dasselbe absorbiert nicht blos das Licht und verwandelt es in Wärme, sondern produziert einen eigenthümlichen rothen Farbstoff „Sehroth“, welcher die Endstücke der Sehnervenstäbe imprägnirt, ihre Durchgängigkeit für Licht beeinträchtigt und so ihre Empfindlichkeit für Licht erhöht. Dadurch ist der Sehstab „sensitiv“ gemacht wie die sensitive Platte des Photographen. Bei dem Sehakt wird nämlich dieser Farbstoff durch das Licht alterirt und zwar von den verschiedenen Farben in verschiedener Weise, worauf die Unterscheidung der Farben beruht: rothes Licht lässt das Sehroth dunkler werden und in rothbraun übergehen, gelbes Licht macht es ein wenig heller; in grünem Licht wird es zuerst purpurroth später trüb violett, blaues und violettes Licht verwandeln es zuerst in schmutziges Violett und verwischen es bei längerer Einwirkung ganz; Weisses also gemischtes Licht zerstört das Sehroth am raschesten und vollständigsten. Da die Zerstörung eine Beeinträchtigung der Empfindlichkeit ist, so ist sie die Ursache der Blendung und es wird so erklärlich, warum das weisse Licht am schnellsten blendet und blau viel stärker blendet als grün und gelb. In der Dunkelheit wird das Sehroth wider hergestellt, deshalb heben Dunkelheitspausen, wie sie die Nacht und der Lidschlag herbeiführen, die Blendung auf und stellen die Sensitivität des Sehstabes wider her.

In zweiter Instanz gesellen sich zu Pigment und Nervenende (durch Umwandlung von Exodermzellen) dioptrische Theile nach dem Prinzip der Sammellinsen gebaut, die die Lichtstrahlen in einem Brennpunkt sammeln, wodurch eine intensivere Wirkung auf das Pigment und damit auf das Nervenende erzielt wird.

Indem eine im Pigment versenkte Sammellinse mit einer Nervenendzelle in Verbindung tritt, entsteht ein Einzelauge. Mit einem solchen elementaren Augen ist nur eine quantitative Unterscheidung von Hell und Dunkel möglich. Der Fortschritt, der darin besteht, dass ein räumliches Sehen zu Stande kommt, wird dadurch erreicht, dass eine Vielzahl solcher Elementaraugen zu einer musivischen Sehhaut so zusammentreten, dass jedes nur von dem ihm gerade gegenüberliegenden Abschnitt des Horizonts die Lichtstrahlen in einem Brennpunkt sammelt. Sofern nun die

verschiedenen so gebildeten Parzellen des Horizonts ein verschiedenes Quantum und Qualle von Lichtstrahlen aussenden, entsteht eine Vielzahl von Einzelneindrücken verschiedener Intensität, gleichsam ein in verschiedene Lichtintensitätspunkte umgewandeltes musivisches Bild der Aussenwelt, das in den einzelnen Sehnerven in ein Bild von eben so vielen im Rhythmus verschiedenen Nervenregungen eingesetzt wird. (Raumaugen oder Sehfeldaugen).

§ 426.

Bei den zusammengesetzten eine Vielheit von Einzelneindrücken zum musivischen Bild vereinigenden Augen haben wir zwei Formen: das *convexe* Auge der Gliederthiere und das *concave* der Wirbelthiere und Cephalopoden zu unterscheiden, von denen das erstere das unvollkommenere ist. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden ist folgender.

Beim *convexen* Auge werden in jedem einzelnen Auge die von den gegenüberliegenden Horizontabschnitten ausgehenden Lichtstrahlen direkt gesammelt und in eine Einzelnempfindung verwandelt. (Direktes Raumauge).

Beim *concaven* Auge stülpt sich ein Hautorgan, das zu Linse und Glaskörper sich differenzirt, in die Augblase, eine Camera obscura aus ihr bildend und fungirt dann als dioptrischer, ein umgekehrtes Bildchen der Aussenwelt auf die Sehhaut entwerfender Apparat. Erst dieses Bildchen ist es, dessen Lichtintensitäten in ein musivisches Nebeneinander von Einzelnempfindungen aufgelöst werden und zwar dadurch, dass die Sehhaut eine dichte Mosaik von einzelnen Sehzellen ist, deren jede eine Einzelnempfindung ermöglicht. (Indirektes Raumauge).

Der Vortheil des *concaven* Auges erhellt aus folgendem.

Beim *convexen* Auge ist es nicht zu vermeiden, dass das Einzelnauge auch Lichtstrahlen aus dem Theil des Horizontes empfängt, welche das Gebiet der benachbarten Einzelnaugen bilden. Einen gewissen Schutz hiegegen gewähren allerdings mehrere Umstände: Einmal die *convexe* Anordnung, wodurch die Sehaxen der Einzelnaugen divergiren. Dann schützt der Umstand gegen das Uebereinandergreifen, dass die geglättete Oberfläche der Einzelnaugen schief einfallende Strahlen reflektirt. Weiter wird dadurch geholfen, dass der dioptrische Sammelapparat zu einem langen Krystallstab wird, der in das Pigment eingesenkt ist, so dass nur die in der Axe des Stabes verlaufenden Strahlen bis zum empfin-

denden Theil vordringen können. Endlich wird bei manchen Insekten noch durch Besatz der Augfläche mit Haaren, die zwischen den Einzelnägen stehen, ein Schutz vor schief einfallenden Strahlen gewährt. Allein trotzdem ist der Abschluss kein vollständiger und somit die musivische Zerfällung keine reinliche scharfe. Dieser Uebelstand wird natürlich um so misslicher, je entfernter ein zu betrachtender Gegenstand liegt, indem mit der Entfernung das Uebereinandergreifen der Horizonte der Einzelnägen wachsen muss. Aus diesem Grunde muss bei den Convexägen das deutliche Sehens eines Gegenstandes mit seiner Entfernung rasch abnehmen und halte ich dieselben für schlecht geeignet in die Ferne zu sehen, dagegen haben sie einen entschiedenen Vortheil für nahe liegende Gegenstände vor dem Bildentwerfenden convexen Auge voraus, wovon nachher.

Dieser Uebelstand des Uebereinandergreifens der Einzelhorizonte fällt bei dem concaven Auge fort. Allerdings nimmt auch hier mit der Entfernung des Gegenstandes die Deutlichkeit des Sehens ab in dem Masse als sein Bild kleiner, also auch nur eine geringere Zahl von Einzeleindrücken hervorrufen wird, aber mag das Bild so klein sein, als es will, es wird mit dem der benachbarten Gegenstände nicht zusammenfliessen, es wird stets scharf abge sondert bleiben, deshalb halte ich die concaven Ägen auch für scharfsichtiger als die convexen.

§ 427.

Wenn übrigens das concave Auge im Fernsehen das convexe entschieden übertrifft, so leistet das letztere aus folgendem Grunde in der Nähe mehr.

Das umgekehrte Bild der Aussenwelt, das eine Sammellinse entwirft, liegt in einem ganz genauen von der Krümmung der Linse und der Entfernung des Gegenstandes von ihr abhängenden Abstand von der Hinterseite derselben. Deutliches Sehen findet nun nur statt, wenn das Bild ganz haarscharf auf die perzipirende Fläche geworfen wird. Entfernt sich ein Gegenstand von der Vorderfläche der Linse, so rückt sein Bild der Linse näher, nähert er sich, so entfernt sich das Bild. Dieser Gang der Lichtstrahlen macht für das concave bildsehende Auge die sogenannte Akkomodation unbedingt nöthig, wenn Gegenstände der verschiedenartigsten Entfernung vom Auge scharf gesehen werden sollen. Die Akkomodation kommt nun dadurch zu Stande:

Das concave Auge ist im normalen Ruhezustand so eingestellt,

dass parallele also aus unendlicher Entfernung kommende Strahlen ein Bild genau auf der perzipirenden Fläche entwerfen. Rückt nun ein Gegenstand in endliche Entfernung heran, so dass sein Bild hinter die perzipirende Fläche zu fallen droht, so wird durch die Zusammenziehung des Ciliarmuskels, der das Auge senkrecht auf seine Sehaxe zusammenschnürt, also den Tiefdurchmesser des Auges vergrößert, einmal der Abstand der perzipirenden Fläche von der Rückwand der Linse und Hornhaut vergrößert und dann durch vermehrte Wölbung dieser beiden Theile das Bild in einem geringeren Abstand von ihrer Hinterseite entworfen. Auf diese Weise gelingt es dem concaven Auge selbst noch von Gegenständen, die sehr nahe sind, scharfe Bilder zu sehen. Allein während für das normale Auge in die Ferne hin keine Grenze für das deutliche Sehen besteht, liegt eine solche nach innen hin in einem relativ grossen Abstand, z. B. beim Menschen ist die innere Gränze des deutlichen Sehens 20 Centimeter und rückt selbst bei den kurzsichtigsten Menschen nicht näher als etwa 10 Ctm. heran, ein Abstand innerhalb dessen für die meisten Insekten eigentlich erst die Welt anfängt.

Das ist beim convexen Auge nicht so: da es von den räumlichen Verhältnissen der Bildentwerfung unabhängig ist, so sieht es in jede Distanz aber um so schärfer und um so mehr ins Detail gehend, je näher der Gegenstand ist und hier ist kein Halt, bis das Auge auf den Gegenstand aufstösst. Nur so auch ist die Biologie des Gliederthieres zu verstehen, denn mit der die meisten Zoologen beherrschenden meiner Ansicht nach total falschen Vorstellung, das Sehen der Insekten sei wie beim concaven Auge von der Entwerfung eines umgekehrten Bildes der Aussenfläche auf die perzipirenden Nervenenden abhängig, ist die Thatsache dass das Insekt beim genauen Besehen das Auge dem Gegenstand so weit nähert, dass es beinahe darauf stösst, schlechterdings unvereinbar und Detailsichtigkeit in die Ferne hätte auch für das Insekt lediglich keinen Werth, sein Hauptdistanzsinn ist der Geruchsinn. Leydig will zwar Akkomodationsmuskeln, die strahlig zwischen den Einzelaugen verlaufen, gesehen haben, allein deren Wirkung kann keine Akkomodation im Sinne der Concavaugen sein d. h. im Dienste der Bildverrückung und im Dienste des Nahesehens stehen, sondern scheint mir im Dienste des Fernsehens zu sein und zwar so: wenn sich die Muskeln der Centralregion des Auges verkürzen, so wird das convexe Auge abgeflacht und die Divergenz der Sehaxen der Einzelaugen vermindert, was durch Verkleinerung der Einzelnhorizonte und näheres Aneinanderdrücken derselben dem schärferen Sehen in die Ferne zugute kommen muss.

§ 428.

Ein weiterer Punkt für die vergleichende Würdigung der Gliederthier- und Wirbelthieraugen scheint mir auch die enge Verbindung zu sein, in welcher bei ersteren Augen und Fühlhörner stehen. Die ganze Lebensweise der Gliederthiere verlangt unbedingt eine hochgradige Kurzsichtigkeit: sie sind mit den Augen ihrem Objekt stets so nahe, dass eine geringe Bewegung zureicht, das Auge aufstossen zu lassen. Zudem geht ihnen die Möglichkeit des stereoskopischen Sehens d. h. die Möglichkeit durch das Auge allein den Abstand des Sehobjekts zu messen völlig ab und zwar aus folgenden Gründen.

Beim Menschen beruht die Distanzmessung durch den Gesichtssinn auf dem Zusammenarbeiten beider Augen (Convergenz ihrer Sehaxen auf dem Objekt) unter Mitwirkung des Muskelgefühls. Bei den Gliederthieren ist wegen der Stellung und der Unbeweglichkeit der beiden Augen eine Convergenz der Sehaxen beider Augen ganz unmöglich, abgesehen davon, dass das einzelne Auge gar keine gemeinschaftliche Sehaxe hat. Bei ihm ist also von stereoskopischem Sehen und Distanzmessung durch das Auge lediglich keine Rede. Diesem Uebelstand helfen die stets am Auge stehenden Fühlhörner ab, da sie soweit prominieren, dass das Auge nie an einen Gegenstand anstossen kann, ohne zuvor an die Fühler anzustossen. Das Insekt, dem die Distanzmessung durch das Auge fehlt, macht deshalb von seinen Fühlern denselben Gebrauch wie ein Blinder von seinen Händen: es streckt sie tastend vor, um nicht anzustossen. Die Fühler sind deshalb meiner Ansicht nach Hilfsschwerkzeuge.

Bei den zahlreichen Wirbelthieren, deren Augen so zu beiden Seiten des Kopfes stehen, dass eine Convergenz beider Augaxen, unmöglich ist, scheint die Distanzmessung vom Akkomodationsgefühl auszugehen.

§ 429.

Zu dem convexen Auge der Gliederthiere treten ausser den im vorigen Paragraphen erwähnten Fühlern keine Hilfsorgane hinzu, von besondern Vorkommnissen ist nur zu verzeichnen, dass öfters das Auge auf die Spitze eines beweglichen Organs, des Augenstiels, verlegt wird und dass es bei den Landmollusken willkürlich durch Einstülpung des Augenstiels in die Tiefe versenkt werden kann.

Bei den Wirbelthieren stossen wir dagegen auf Hilfsorgane,

welche das Sehorgan zur morphologischen Dignität eines Organapparats erheben. Vorauszuschicken ist, dass schon der Augapfel ein combinirtes Organ ist, indem er aus dem in sich eingestülpten primären Hirnorgan (der primären Augenblase) und dem in deren Höhlung eingestülpten aus Linse und Glaskörper bestehenden Hautorganen zusammengesetzt ist.

Die Hilfsorgane sind wesentlich Schutzorgane. Bei den Fischen fehlen sie meistens noch völlig oder es sind nur sehr unvollständige Augenlieder vorhanden. Diese gewinnen erst ihren Werth bei den Luftwirbelthieren, wo es sich um Schutz der freien Augapfelfläche vor Verdunstung und Auflagern von Fremdkörpern handelt. Die Feuchthaltung wird durch die Thränenflüssigkeit besorgt, die von eigens zu diesem Behuf entwickelten Drüsen abgesondert und auf die Augfläche ergossen wird, die Augenlieder sind Abwischapparate, die durch den Lidschlag die Hornhautfläche reinigen und mit Thränenflüssigkeit benetzen, und Verdunklungsapparate zur Beseitigung der Blendung siehe § 425. Indem sie sich noch mit Tastaaren (Augenwimpern) bewachsen, werden sie auch zu Schutzorganen gegen taktile Reize. Die Ableitung der Thränenflüssigkeit durch die Thränenkanäle hat einmal den Vortheil, dass dieselbe sich nicht in einer die Lichtbrechung störenden Weise auf dem Augapfel ansammeln kann und dann leistet sie in der Nasenhöhle noch Dienste bei der Athmung, indem sie die Einathmungsluft mit Feuchtigkeit sättigt.

In demselben Verlage sind erschienen:

O. Schlickum's Werke.

- Der chemische Analytiker.** Die qualitative chemische Analyse in Fragen und Antworten. Nebst abgekürzten Methoden zu pathologisch- und gerichtlich- chemischen Untersuchungen, sowie zur Prüfung der Chemikalien, natürlicher Wasser und Ackererde. 2. Aufl. 1875. M. 3. —
- Taschenkommentar** zur Deutschen Reichs-Pharmakopoe, nebst vollständiger Text-Uebersetzung und Hülftabellen. Mit zahlreichen Holzschnitten. 1874. M. 6. —
- Bereitung und Prüfung** der in der Pharmacopoea Germanica nicht enthaltenen Arzneimittel. Ein Supplement zu allen Ausgaben und Kommentaren der Deutschen Reichs-pharmakopoe. 1875. M. 3. —
-

Dr. Hermann Hager's

- Untersuchungen.** Ein Handbuch der Untersuchung, Prüfung und Werthbestimmung aller Handelswaaren, Natur- und Kunsterzeugnisse, Gifte, Lebensmittel, Geheimmittel etc. Mit zahlreichen Holzschnitten. 2 Bände. 1874. M. 30. —
-

- Rössig, G.,** Convolvulaceae in medicinisch-pharmaceutischer Beziehung. 1876. M. 1. 50.
- Sendner, Dr. med. H.,** Die Normaldosen der Arzneimittel nach Unzen- und Grammgewicht. Nebt Bemerkungen über Bereitung, Zusammensetzung und Bestandtheile der Arzneimittel. M. 1. 50.
-

In demselben Verlage sind erschienen :

Lehrbuch der allgemeinen Zoologie.

Ein Leitfaden
für Vorträge und zum Selbststudium

von

Gustav Jäger,

med. et chir. Dr., Professor an der Kgl. polytechnischen Schule und der Kgl. Thierarzneischule zu Stuttgart, sowie der land- und forstwissenschaftlichen Akademie zu Hohenheim.

I. Abtheilung :

Zoochemie und Morphologie.

1871. Preis 6 Mark.

Die III. (Schlus-) Abtheilung — Biologie und Geschichte — erscheint im Laufe des nächsten Jahres. —

Die Elemente der Pharmacie.

Unter Mitwirkung

von

Dr. W. Städel, und **Dr. G. Jäger,**

Privatdoc. an der naturw. Facultät in Tübingen, Professor am Polytechnicum zu Stuttgart,

herausgegeben

von

Dr. J. B. Henkel,

Professor der Pharmacie in Tübingen.

- I. Abtheilung. Lehrbuch der reinen und angewandten Chemie, der Physik und der Mineralogie, bearbeitet von Prof. **Dr. W. Städel.** Mit zahlr. Holzschnitten. 1873. M. 15. —
- II. Abtheilung. Lehrbuch der allgemeinen und medicinisch-pharmazeutischen Botanik, herausgegeben von Prof. **Dr. J. B. Henkel.** Mit zahlreichen Holzschnitten. 1873. M. 9. —
- III. Abtheilung. Allgemeine und specielle medicinisch-pharmazeutische Zoologie, herausgegeben von Prof. **Dr. G. Jäger.** Mit zahlreichen Holzschnitten. 1874. M. 6. —

Druck von Hüthel & Herrmann in Leipzig.

