

III.

Technische und mechanische Biologie.

Von

J. v. Uexküll-Londorf-Oberhessen.

Mit 4 Abbildungen im Text.

„Ohne Anschauung sind die Begriffe leer“ hat uns Kant gelehrt. Es wird daher für den Forscher, der einen neuen Begriff in die Wissenschaft einführen will, die erste Aufgabe sein müssen, den Leser mit der Anschauung bekannt zu machen, aus der der neue Begriff gewonnen wurde.

Ich werde daher damit beginnen das anschauliche Beobachtungsmaterial vorzulegen, dem ich den neuen biologischen Grundbegriff verdanke.

Es handelt sich um den bekannten Malariaparasiten, den Erreger der Tertiana Plasmodium vivax, dessen Leben vornehmlich durch die vorzüglichen Untersuchungen von Schaudinn¹⁾ offen vor uns daliegt.

Dies merkwürdige Lebewesen weist drei Lebenskreise auf, von denen ein jeder in mehrere Perioden zerfällt. Es wechseln immer Perioden der Gefügebildung und Perioden, in denen das neugebildete Gefüge in Betrieb gesetzt wird, miteinander ab. Man kann sie als Bildungsperioden und Betriebsperioden unterscheiden. Da es sich in den Betriebsperioden um die Äusserungen eines geschlossenen Mechanismus handelt, kann man diese auch als „mechanische Perioden“ bezeichnen. In den Perioden der Gefügebildung handelt es sich aber nicht um mechanische Vorgänge, denn der Mechanismus ist erst in der Entstehung begriffen. Ich wähle daher, um diesen Gegensatz deutlich zu machen, den Ausdruck „Technische Perioden“, weil die Technik im engeren Sinne nur die Herstellung eines Gefüges bedeutet.

Ich beginne mit 1 der beiliegenden Tafel²⁾. Der längliche spindelförmige Sporozoit hat bereits eine längere mechanische Periode hinter sich. Ent-

¹⁾ Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt. 19. 2. H. 1903. Studien über krankheitserregende Protozoen. Plasmodium vivax (Grassi und Feletti) der Erreger des Tertianfiebers beim Menschen von Fritz Schaudinn.

²⁾ Fig. 137, S. 130, aus Handbuch der Morphologie der wirbellosen Tiere von Lang. Erster Band: Protozoa; erste Lieferung: Urtiere von Max Lühe. Jena. Gustav Fischer. 1913.

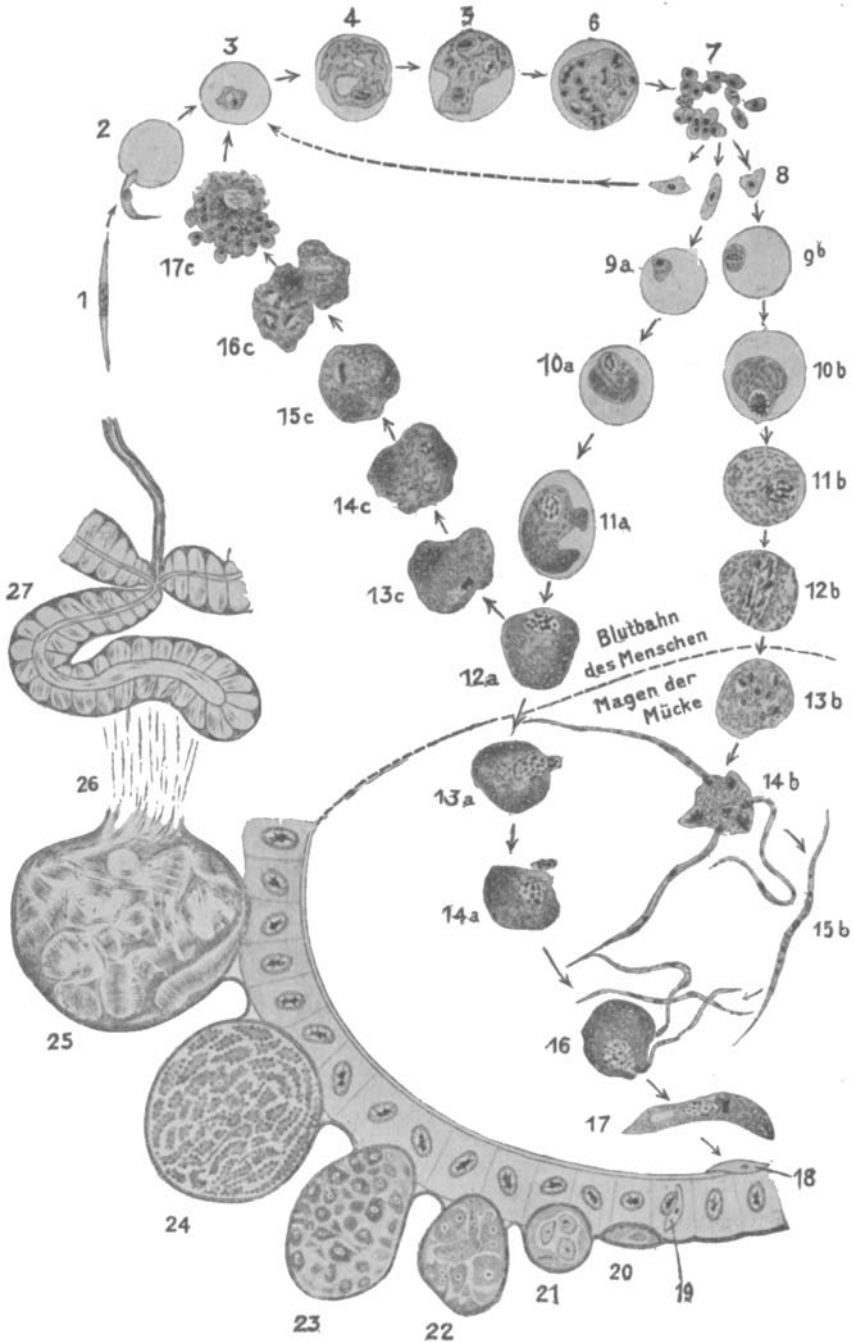


Fig. 1.

1 Sporozoit, 2 Eindringen des Sporozoiten in ein rotes Blutkörperchen, 3, 4, 5, 6 Schizont, 7 Merozoiten, 9a bis 17c Makrogametocyte, 13a, 14a Eireifung des Makrogameten, 8-12b Mikrogametocyte, 13b, 14b Bildung der Mikrogameten, 15b Mikrogamet, 16 Kopulation, 17 Ookinet, 18, 19, 20 der Ookinet durchwandert die Magenwand, 21-25 Oocyste, 26, 27 Sporozoiten auf der Wanderung zur Speicheldrüse.

standen ist er in der reifen Oozyste (25), die durch Platzen ihren Inhalt an Sporozoiten in die Leibeshöhle der Mücke entleert hat. Vom Blutkreislauf ergriffen, werden die Sporozoiten über alle Organe der Mücke verbreitet. Trotzdem findet man sie nach kurzer Frist alle in den Speicheldrüsen der Mücke versammelt. Wie sie dahin gekommen, welchen Wegweiser sie benutzt haben, ist noch in Dunkel gehüllt.

Um aktiv vorwärts zu kommen, bedienen sich die Sporozoiten verschiedener Mittel. Entweder gleiten sie wie ein Boot ruhig dahin, indem sie eine schleimige Gallerte absondern, an der sich der Körper nach vorne schiebt, oder sie krümmen und winden sich in Spiralen, oder endlich lassen sie peristaltische Verdickungs- und Verdünnungswellen von vorn nach hinten ihren Körper entlang wandern.

Von den Speicheldrüsen gelangen die Sporozoiten durch den hohlen Stachel der Mücke, wenn dieser sein Gift in die blutgefüllten Gewebe der menschlichen Haut entläßt, zu ihrer Beute, den roten Blutkörperchen des Menschen. Die Blutkörperchen stechen sie mit ihrem spitzen Vorderende an (2) und dringen langsam in sie ein, unterstützt durch energisches Schlagen des Hinterendes und durch peristaltische Bewegungen.

Wie man sieht, leistet dieser einfache Organismus Ausserordentliches. Nicht nur orientiert er sich erst nach den Speicheldrüsen der Mücke, um sich nachher auf die Blutkörperchen des Menschen einzustellen, sondern er ist auch gegen die verschiedenen Einflüsse des Mückenblutes, des Mückengiftes wie des menschlichen Blutes gewappnet. Wahrlich ein schlagendes Beispiel für die geradezu ideale Einpassung eines Tieres in seine Umwelt.

Mit dem Eindringen in das Blutkörperchen schliesst die erste mechanische Periode ab und die erste technische Periode beginnt. Der Sporozoit ändert sein Gefüge und wandelt sich zum Schizonten, der eine parasitäre Amöbe darstellt (3).

Damit endet die erste technische Periode und die zweite mechanische nimmt ihren Anfang. Die Amöbe gleicht einem umgestülpten Magen der an seiner äusseren Oberfläche verdaut. Dabei werden lebhaft Pseudopodien ausgestreckt und wieder eingezogen. So wächst der Parasit schnell auf Kosten seines Wirtes heran (4, 5).

Ist der Leib des Wirtes verzehrt, so ist damit die zweite mechanische Periode beendet und es beginnt die zweite technische Periode. Das Gefüge der Amöbe löst sich nach mehrfacher Kernteilung (6) in eine grössere Zahl (meist 16) von Merozoiten auf (7), die in die Blutflüssigkeit des Menschen übertreten, um sofort auf neue Blutkörperchen Jagd zu machen.

Dies stellt die dritte mechanische Periode dar. Zum Angriff auf die gleiche Beute sind die Merozoiten besser ausgerüstet als die Sporozoiten, denn das Eindringen geschieht ohne grosse Bewegungsanstrengung. Der Merozoit nimmt im Blutkörperchen ohne weiteres die Rolle des Schizonten auf. Damit,

ist der erste Lebenskreis vollendet. Er spielt sich bei allen Teilnehmern gleichmässig im Lauf von 48 Stunden ab und ruft durch seine Wiederholung das bekannte Wechselfieber der *Tertiana* hervor.

Der zweite Lebenskreis zweigt sich vom ersten in der zweiten technischen Periode ab. Dann verwandeln sich die Produkte der Kernteilung nicht in Merozoiten sondern in Makrogameten und Mikrogameten, die beiden geschlechtlich getrennten Zellwesen des Parasiten. Am zweiten Lebenskreis beteiligen sich nur die Makrogameten. Auch sie dringen wie die Merozoiten, denen sie anfangs gleichen, in ein rotes Blutkörperchen ein und wachsen dort zu einer Makrogametozyte heran, die nach Aufzehrung des Wirtes frei im Blute schwimmt. Dritte mechanische Periode (9a bis 12a).

Verbleiben die Makrogametozyten längere Zeit im Menschen, so erfahren sie eine ihnen eigentümliche dritte technische Periode, die eine Art Rückbildung darstellt. Der Kern teilt sich in zwei, von denen der eine durch Weiterteilung neue Merozoiten liefert (13c bis 17c). Damit ist der zweite Lebenskreis beendet. Er äussert sich als Rückfall der *Tertiana*.

Die Mikrogameten, die sich gleichfalls auf die Beute gestürzt haben und in ihr zur Mikrogametozyte heranwachsen, um dann frei im Blute zu treiben, gehen bald zugrunde (9b bis 12b), falls sie nicht durch einen Wirtswechsel von Mensch zu Mücke am Leben erhalten bleiben.

Mit dem Wirtswechsel, der den Parasiten durch Einsaugen des menschlichen Blutes von seiten einer anderen Mücke wieder in den Mückenkörper zurückführt, zweigt sich der dritte Lebenskreis ab, der sich anfangs im Mitteldarm der Mücke, dem sogenannten Magen abspielt.

Hier langen sowohl Makro- wie Mikrogametozyten am Ende der dritten mechanischen Periode gemeinsam an und treten gleichzeitig in die dritte technische Periode ein.

Die Makrogametozyte zeigt in dieser Periode die bekannten Umgestaltungen, die zur Eireifung führen (13a, 14a). Die Mikrogametozyte lässt nach Kernteilung mehrere sehr bewegliche Mikrogameten hervorgehen (13b, 14b, 15b).

Dann setzt die vierte mechanische Periode ein, die beide Geschlechter in der Kopulation vereinigt (16).

Augenblicklich setzt nach der Vereinigung die vierte technische Periode ein, die den befruchteten Keim in einen Ookineten verwandelt (17).

Als Ookinet durchlebt *Plasmodium vivax* seine fünfte mechanische Periode, in der es den Mückendarm durchbohrt und sich ausserhalb der Drüsenschicht unter der elastischen Membran festsetzt, und nun Oozyste heisst, um an diesem von Nahrungssäften umspülten Ort weiter zu wachsen (18, 19, 20).

Als Oozyste macht der Parasit seine fünfte und letzte technische Periode

durch, die zur Bildung der Sporozoiten führt, — worauf der neue Kreislauf beginnt.

Um die Fülle des Tatsachenmaterials, das uns dieses von der Natur sichtlich begünstigte Lebewesen liefert, übersehen zu können, scheiden wir zunächst den zweiten Lebenskreis, der nicht notwendig in die Erscheinung zu treten braucht, völlig aus.

Auch wenn wir weiter die immer wiederholte Bildung der Merozoiten, die nur das freilebende Stadium des Schizonten darstellen, vernachlässigen und uns nur auf den grossen Lebenskreis beschränken, so erhalten wir doch noch genügend viel Tatsachen, die zu wichtigen, theoretischen Schlüssen berechtigen.

Die Perioden des grossen Lebenskreises sind folgende:

1. 1. mechanische Periode . . . Lebenslauf des Sporozoiten
2. 1. technische „ . . . Verwandlung des Sporozoiten in den Schizonten
3. 2. mechanische „ . . . Lebenslauf des Schizonten
4. 2. technische „ . . . Verwandlung des Schizonten in Makro- resp. Mikrogameten
5. 3. mechanische „ . . . Lebenslauf der Makro- und Mikrogametozyten
6. 3. technische „ . . . Verwandlung in Geschlechtsgameten
7. 4. mechanische „ . . . Kopulation
8. 4. technische „ . . . Verwandlung in den Ookineten
9. 5. mechanische „ . . . Lebenslauf des Ookineten
10. 5. technische „ . . . seine Verwandlung als Oozyste¹⁾ zum Sporozoiten.

Schreibt man die durch die Namengebung unterschiedenen Formen von Plasmodium vivax hintereinander auf, so erhält man die mechanischen Perioden gesondert, die immer durch eine technische Periode miteinander verbunden sind.

Es ist nun interessant festzustellen, welche dieser mechanischen Perioden rein animal sind und welche von ihnen rein vegetativ oder gemischt verlaufen.

Sporozoit (animal) — Schizont (vegetativ) — Gametozyten (erst animal dann vegetativ) — Gameten (animal) — Ookinet (animal) Oozyste (vegetativ).

Numerieren wir die animalen und vegetativen mechanischen Perioden gesondert und setzen zwischen sie jedesmal einen Pfeil²⁾, wenn sie durch eine technische Periode getrennt sind, so erhalten wir folgende Formel:

$$A_1 \rightarrow V_1 \rightarrow A_2 V_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 V_3 \rightarrow.$$

¹⁾ Während der Verwandlung der Oozyste nimmt diese auch Nahrung auf, so dass gleichzeitig eine mechanische Periode nebenher geht.

²⁾ \rightarrow wird als „wird zu“ gelesen.

Scheiden wir nun die dritte animale Periode der Kopulation aus, die weder zur animalen Nahrungssuche noch zur vegetativen Nahrungsaufnahme gehört, so lautet die Formel:

$$A_1 \rightarrow V_1 \rightarrow A_2 V_2 \rightarrow A_3 V_3 \rightarrow.$$

Diese Formel lehrt uns, dass die animalen und vegetativen Perioden durch eine technische Periode getrennt sein können. Das gibt uns das Bild eines Lebewesens, das gelegentlich sein Gefüge ändern muss, wenn es von der Nahrungssuche zur Nahrungsaufnahme — vom Fangen zum Verdauen — und vice versa übergeht.

Welches ist nun die wahre Gestalt des Lebewesens?

Weder Sporozoit, noch Schizont, noch Gamet, noch Ookinet, noch Oozyste allein gibt die Gestalt von *Plasmodium vivax* vollständig wieder, sondern alle zusammen in der richtigen Zeitfolge aneinander gereiht.

Diese zeitliche Reihenfolge ist ebenso gesetzmässig festgelegt, wie das örtliche Nebeneinander der Organe eines Tieres, das zwar auch in seiner Nahrungssuche und Nahrungsaufnahme abwechselt, dabei aber verschiedene fertig ausgebildete Organe benutzt.

Auch bei *Plasmodium vivax* handelt es sich um eine naturgegebene Organisation wie bei seinen Wirten, der Mücke und dem Menschen und doch ist jene grundsätzlich von dieser verschieden. Bei *Plasmodium* ist die Organisation zeitlich, bei Mücke und Mensch räumlich gegeben. Für die zeitliche Organisation fehlt uns bisher sowohl Begriff wie Name. Ich schlage deshalb vor, in dem uns geläufigen Fall der räumlichen Organisation von Koorganisation, in dem uns durch *Plasmodium vivax* bekannt gewordenen Fall der zeitlichen Organisation von Postorganisation zu reden oder um uns deutsch auszudrücken, der Raumbgestalt die Zeitgestalt gegenüber zu stellen.

Für die Natur ist es ein Leichtes zur Erfüllung der gleichen Aufgabe sich einmal der Raumbgestalt ein andermal der Zeitgestalt zu bedienen. Der Verdauungsapparat der mehrzelligen Tiere stellt ein Gefüge fertig ausgebildeter Organe dar, die nacheinander in Tätigkeit treten, wenn der Speiseballen durch sie hindurchgleitet. Auf die Speiseröhre folgt der Magen, der eine freie Säure enthält, welche vornehmlich zum Abtöten der noch lebend eingeführten Nahrung dient. Darauf folgt der Drüsen tragende Teil des Darmes, welche die verschiedenen Verdauungssäfte bereiten, die zur Aufspaltung der Nahrung nötig sind. Die verdauten Stoffe treten durch die Wand des Dünndarms und werden vom Säftestrom des Körpers aufgenommen. Der Dickdarm macht den Beschluss. Ihm fällt die Aufgabe zu, die unverdaulichen Nahrungsreste zu formen und durch den Anus nach Aussen zu befördern.

Seit Nierensteins grundlegender Arbeit¹⁾ wissen wir, dass die gleichen

¹⁾ Verworn's Zeitschr. 1905.

Verdauungsleistungen auch von dem Infusorium Paramäzium vollbracht werden, obgleich es keine vorgebildeten Verdauungsorgane besitzt. Die Bakterien enthaltende Wasserblase, welche von Paramäzium in ihren aus flüssigem Protoplasma bestehenden Leibesinhalt geschluckt wird, verwandelt sich erst in einen Magen, der durch das Auftreten freier Säure charakterisiert ist, welche die Bakterien abtötet. Dann verkleinert sich die Blase durch Wasserabgabe. Bei ihrer Wiedervergrößerung durch Wasseraufnahme aus dem Protoplasma ist der Blaseninhalt alkalisch oder neutral geworden. Zugleich werden tryptische Verdauungssäfte in ihn abgeschieden, die die abgetötete Nahrung auflösen. Die aufgelöste Nahrung verlässt in Form von Tröpfchen die Wasserblase und tritt ins Protoplasma über. Nun verkleinert sich die Blase abermals und treibt schliesslich die Exkremente durch den Anus nach aussen.

Auch hier sehen wir deutlich wie technische und mechanische Perioden einander ablösen. Nur sind die mechanischen Perioden hier sämtlich vegetativ. Immerhin muss während der eingeschobenen technischen Perioden eine Umbildung des den Tropfen umgebenden Protoplasmas stattfinden.

Die Formel dieses Vorganges wäre dementsprechend $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$ zu schreiben.

Abtötung, Verdauung, Ausstossung geschieht auch hier nach einer von vornherein festgelegten Regel, wenn auch nicht durch von vornherein festgelegte Organe. An Stelle der Raumgestalt der mehrzelligen Tiere ist bei Paramäzium die Zeitgestalt getreten.

Die Zeitgestalt.

Die beiden angeführten Beispiele werden genügen, um zu zeigen, dass es Zeitgestalten in der Natur gibt, in denen die Teile nicht nur räumlich nebeneinander, sondern auch zeitlich nacheinander geordnet sind.

Niemand behauptet, dass die Anordnung der Teile in einem Mechanismus, z. B. in unserer Taschenuhr, kausal zu verstehen sei. Die Feder, die Zahnräder und Zeiger sind, wie jeder zugeben wird, planmässig nach dem Gesetz von „Teil zum Ganzen“ ineinander gefügt.

Die Leistungen eines planmässigen Gefüges bilden ebenfalls ein planmässiges Ganzes, das sich meist über eine längere Zeit erstreckt. Das Leistungsganze eines Mechanismus lässt sich nun, obgleich es sich auch in die Zeit hinein erstreckt, in lauter Einzelleistungen zerlegen, die kausal auf das bloss räumlich gegliederte Ganze des Mechanismus zurückgeführt werden können. Die Feder treibt erst die Zahnräder, darauf treiben die Zahnräder die Zeiger und wiewohl darüber 24 Stunden vergehen, so sind doch Feder, Zahnräder und Zeiger gleichzeitig vorhanden und nur räumlich geordnet.

Darüber herrscht kein Zweifel, dass die zeitlich ausgedehnten Leistungen eines Mechanismus, obwohl sie gemeinsam ein planmässiges Ganzes bilden,

sich immer von einem räumlich geordneten planmässigen Gefüge werden ableiten lassen.

Ganz anders lautet die Antwort auf die Frage, ob sich die planmässige Form und Zusammensetzung der einzelnen Teile eines Mechanismus kausal auseinander ableiten lassen? Dies ist offenbar unmöglich. Man kann weder die Form der Zeiger aus den Zahnrädern, noch die Form der Zahnräder aus der Feder ableiten.

Nur unter der Voraussetzung, dass die Formen der einzelnen Gefügeteile die Leistungen eines anderen Mechanismus darstellen, könnte man diese kausal auf das planmässige Gefüge des anderen Mechanismus zurückführen.

Wenn es Uhren bauende Maschinen gäbe, könnte man das planmässige Gefüge der Uhren mit Leichtigkeit auf diese zurückführen. Nur wären die Uhren bauenden Maschinen viel verwickelter als die Uhren selbst. Ihre Planmässigkeit wäre die Vorbedingung für das Bauen der Uhren.

In der Natur sind solche Fälle bekannt: das äusserst planmässige Nest des Weibvogels lässt sich kausal auf die Planmässigkeit des Vogels zurückführen, die viel verwickelter ist als die des Nestes.

Von einer solchen Zurückführung der verschiedenen Mechanismen, die im Lebenskreis von Plasmodium auftreten, eines aus dem anderen kann aber gar keine Rede sein. Jeder Mechanismus, sei es des Sporozoiten, Schizonten, Gameten oder Ookineten erfüllt vor unseren Augen ausgesprochen planmässige Leistungen, die sich auf seinen planmässigen Körperbau kausal zurückführen lassen. Er besitzt aber nicht im mindesten die Fähigkeit, den ihm folgenden Mechanismus aus sich heraus aufzubauen. Im Gegenteil muss sein Gefüge erst verschwinden, damit das neue aus ihm hervorgehen kann.

Das gleiche gilt auch für die Zeitgestalt der Verdauungsorgane von Paramäzium. Der flüssige Protoplasmaschaum des Tierkörpers ist in seinem Gefüge viel zu einfach gestaltet, als dass er Magen und Darm fabrizieren könnte.

In beiden Fällen sehen wir vollwertige Mechanismen nacheinander auftreten, die weder unter sich noch von einem Dritten kausal ableitbar sind und doch bilden sie gemeinsam ein planmässiges Ganzes — eine Zeitgestalt.

Die Zeitgestalt ist keineswegs etwas so unerhört neues — jede Melodie ist eine Zeitgestalt. In der Melodie ist jeder Ton mit dem vorausgehenden und mit dem folgenden durch eine Regel verknüpft, die nicht der Kausalität sondern der Planmässigkeit folgt, welche die Teile zum Ganzen bindet.

Trotzdem bedarf es einer geistigen Neueinstellung, wenn man die Form der Zeitgestalt auch auf dreidimensionale Körper anwenden soll.

Der Begriff eines Mechanismus, der alle zeitlichen Leistungen auf eine Raumgestalt zurückführt, ist uns so geläufig und erscheint uns so zwingend, dass wir unwillkürlich jede Änderung in einem uns unbekanntem Gefüge

ohne weiteres als eine Leistung des Gefüges ansehen und kausal deuten zu müssen glauben.

Von diesem Gesichtspunkte aus hat denn auch Roux folgerichtigerweise die Entstehung des Gefüges der Lebewesen „Entwicklungsmechanik“ genannt und verlangt, dass alle Änderungen im entstehenden Gefüge auf mechanische Weise gedeutet werden sollen.

Zweifellos ist es durchaus angebracht, die kausale Erklärung soweit anzuwenden, als sie irgend reicht. Es gibt aber Grenzen, über die sie nicht hinausreicht und die Erscheinungen, die sich jenseits dieser Grenzen abspielen, verlangen peremptorisch eine andere Betrachtungsweise.

Wie wir sahen, ist es unmöglich, Sporozoit, Schizont, Gameten und Ookinet im Lebenskreis von Plasmodium vivax auseinander ursächlich abzuleiten. Trotzdem sind sie gesetzmässig miteinander verknüpft und bilden eine vollkommene Einheit — ein Tier.

Wir können dieses Tier nicht in nebeneinander liegende Teilmechanismen zerlegen wie wir das bei anderen Tieren gewohnt sind, deren Organe eine Raumgestalt bilden, sondern sehen, dass seine Teilmechanismen eine zeitliche Kette bilden. Ein jeder Teilmechanismus übt eine Zeitlang seine mechanische Wirkung voll aus. Dann aber geht er durch Umgestaltung seines Gefüges in den nächsten Teilmechanismus über.

Hier sind wir an die Grenze gelangt, wo die kausale Betrachtungsweise der planmässigen zu weichen hat. Denn kein Mechanismus vermag aus sich heraus sein eigenes Gefüge zu ändern. Selbst die vollkommenste Maschine besitzt nur maschinelle Fähigkeiten und keine übermaschinellen, keine ist soweit Herr über den eigenen Mechanismus, dass sie ihn zu einer neuen Maschine umformen könnte.

Neubildung, Umbildung oder Zurückbildung von Gefüge sind übermaschinelle Tätigkeiten und keine Leistungen des in Umformung begriffenen Gefüges.

Treten uns solche Erscheinungen in der Natur handgreiflich entgegen wie bei Plasmodium vivax und Paramäzium, so müssen wir sie eben als andersartige anerkennen und ihre Gesetzmässigkeit vorurteilsfrei zu prüfen versuchen.

Charakteristisch für die Zeitgestalt der Melodie ist es, dass die gesetzmässig aufeinander folgenden Töne immer neu erzeugt werden müssen und nicht auseinander hervorgehen. Bei den Zeitgestalten der Lebewesen hingegen formt sich jede neu auftretende Raumgestalt aus der vorhergehenden. Diese Periode der Umformung der Raumgestalt, die nicht mechanisch erklärt werden kann und die ich deshalb als „Technische“ bezeichnet habe, enthält die grössten Schwierigkeiten des ganzen Problems.

Um nicht ganz unvorbereitet an die Untersuchung der Naturtechnik heranzutreten, wollen wir uns die leitenden Gesichtspunkte der menschlichen

Technik vor Augen führen, wenn wir einen Gebrauchsgegenstand oder eine Maschine herstellen.

Ein jeder menschliche Gegenstand wird von einem ausserhalb stehenden Baumeister hergestellt, der die einzelnen Teile an einen Ort zusammenträgt, um sie daselbst zum Gegenstand zusammenzufügen. Der Bau erfolgt daher zentripetal.

Bei jedem Lebewesen, das keinen äusseren Baumeister besitzt, entsteht das Gefüge aus dem örtlich begrenzten Keim. Der Bau erfolgt daher zentrifugal¹⁾.

Der äussere Baumeister verfährt beim Erbauen eines Gegenstandes entsprechend einer bestimmten zeitlichen Regel oder einem zeitlichen Plan, der die Handlungsfolge festlegt.

Das Lebewesen, das sein Gefüge aus dem Keim herleitet, besitzt keinen ausserhalb stehenden Baumeister, sondern folgt unmittelbar der zeitlichen Bauregel oder dem Erbauungsplan. Bei ihm vertritt der Bauplan den Bauherrn. Der Erbauungsplan ist im Lebewesen keine blosser Anleitung zum Bauen, die man befolgen oder unterlassen kann, je nachdem, ob man sie für richtig oder falsch hält, sondern er selbst beherrscht den Bau und ist immer richtig, weil er selbst den Bau richtet. Der Erbauungsplan der Lebewesen ist ein selbsttätiges Naturgesetz oder besser gesagt ein Naturbefehl, dem sich das bildsame Material ohne weiteres fügt wie das Eisen dem Magnetismus.

Das Material, aus dem der menschliche Bauherr den Gegenstand formt, beherrscht er nur insoweit er seine Eigenschaften kennt und zu verwerten versteht.

Von dieser Beschränkung ist der Naturbefehl frei. Er beherrscht sein Material mit souveräner Vollkommenheit.

Das Baumaterial, das der menschliche Baumeister verwendet, kann aus jedem beliebigen toten oder lebendigen Stoff bestehen.

Das Baumaterial des lebendigen Erbauungsplanes besteht ausschliesslich aus lebenden Zellen. Nur soweit es sich um lebende Zellen oder Zellgruppen handelt, ist der Erbauungsplan unmittelbar wirksam. Bereits die Zellprodukte, die nicht mehr in den Zellen eingeschlossen sind, wie das Knochengewebe oder die Haare unterliegen nicht mehr dem Naturbefehl. Nur indirekt durch Verwendung lebender Zellen vermag er das Knochengewebe dank der Osteoklasten und Osteoblasten umzugestalten.

Welches ist nun der Angriffspunkt in der Zelle, an dem der Erbauungsplan einsetzen kann, um seine Befehle durchzusetzen?

Wenn wir diese Frage einigermaßen befriedigend beantworten wollen, so müssen wir auf die eigenartige Zellmechanik des Tierkörpers zurückgreifen.

¹⁾ Die Folgen, die sich hieraus für die Morphologie ergeben und die Lehre von den Entstehungszeichen, sind in meiner theoretischen Biologie, Verlag Paetel, nachzulesen.

Die Mechanik des Tierkörpers beruht nämlich nur zum geringen Teil auf Bewegungsübertragung, wie sie in unseren Maschinen zur Verwendung kommt, sondern besteht vornehmlich in Erregungsübertragung von Zelle zu Zelle.

Der ausgebildete Tierkörper besteht, wie schon Max Schultze gezeigt hat, aus Zellen, die in einen gefügten und einen ungefügten Teil zerfallen. Der ungefügte Teil besteht aus dem Kern und dem Rest an Protoplasma, das den gefügten Teil geliefert hat. Der gefügte Teil ist je nachdem, welchem Gewebe die Zelle angehört, verschieden gebaut. Die Zellen des Nerven-, Muskel- oder Drüsengewebes unterscheiden sich deutlich durch den Bau ihres gefügten Teiles. Damit dies innere Zellgefüge in Tätigkeit tritt, bedarf es eines äusseren Reizes, der die Zelle in Erregung versetzt. Eine Kette von Zellen gerät nur dadurch in geordnete Tätigkeit, dass jede in Erregung geratene Zelle die Nachbarzelle reizt, worauf auch diese in Erregung gerät. Auf Erregungsübertragung mittels Reizung sind alle Reflexe sowie alle Hormonwirkungen aufgebaut.

Der Kern der Zelle spielt hierbei keine Rolle. Er tritt erst in Tätigkeit, wenn es sich um den Wiederaufbau zerstörten Gewebes handelt. Seine Rolle ist daher keine mechanische, sondern eine übermechanische.

Diese Ansicht wird gestützt durch die Tatsache, dass die Zellen des Keimes, die zum Aufbau des ganzen Körpers berufen sind, kein Gewebgefüge sondern nur Kern und Protoplasma besitzen.

Das Protoplasma stellt einen flüssigen Schaum dar, dessen Hohlräume verschiedenartige ebenfalls flüssige Einschlüsse enthält. Auf diesen sehr empfindlichen, in stetem Wechsel befindlichen Schaum kann der Kern durch Freigabe verschiedener Fermente umgestaltend einwirken.

Nach dieser Auffassung stellt der Kern ein Klavier dar, dessen einzelne Tasten aus Fermenten bestehen, die, sobald sie frei werden, im Protoplasma der Zelle einen Prozess erregen, der für jedes Ferment eine andere fest umschriebene Wirkung auslöst, welche entweder als Bewegung oder Stoffänderung oder als Gefügeverschiebung zum Ausdruck kommt.

Jede Zelle stellt mithin einesteils einen Mechanismus dar, der auf äussere Reize entsprechend seinem augenblicklich vorhandenen Gefüge antwortet, andernteils besteht sie aus der im Kern versammelten wohlgeordneten Gruppe von fermentähnlichen Faktoren mit einem grösseren oder geringeren Rest von Protoplasma, das durch Fermentwirkung befähigt wird, sowohl das vorhandene Gefüge aufzulösen als auch neues zu bilden.

Über Eines darf man sich keiner Täuschung hingeben, dass selbst ein solcher höchst verwickelter Organismus nicht lebt, wenn er nicht von einem beherrschenden Plan gelenkt wird und durch ihn zu einer dauernden Einheit — einem Subjekt verbunden wird.

Diesen beherrschenden Plan, der allein befähigt ist, das Leben zu erzeugen, will ich Subjektregel oder Subjektmelodie nennen.

Da das Fermentklavier des Kernes aus lauter selbständigen Faktoren besteht, können diese nur durch lauter einzelne Wirkungen, die von der Subjektregel ausgehen, in Tätigkeit versetzt werden. Diese isolierten Wirkungen der Subjektregel habe ich „Impulse“ genannt.

Auch bei Plasmodium haben wir zwei Angriffspunkte anzunehmen, einen zur Auslösung der mechanischen und einen zur Auslösung der technischen Vorgänge im Tier.

Die reizbare Oberfläche verwandelt die äusseren Reize in Erregung, die das mechanische Gefüge in Tätigkeit versetzt. Der die Impulse aufnehmende Kern setzt Fermente in Freiheit, die das mechanische Gefüge nicht in Tätigkeit setzen, sondern es selbst angreifen, indem sie es abbauen, umbauen oder neu aufbauen.

Uns Aussenstehenden ist es nicht vergönnt, das Einsetzen der Impulse im Kern zu belauschen. Das einzige, was wir feststellen können, ist die Tatsache, dass es eine Lebensregel gibt, die das Gefüge von Plasmodium vivax nach eigenem Gesetz formt und umformt. Äussere Reize können dieses Spiel wohl verlangsamten oder beschleunigen, ja selbst unmöglich machen, irgend einen Einfluss auf die Melodie des Spieles haben sie nicht. Diese ist völlig autonom und ein Naturfaktor in sich selbst.

Nur durch Anerkennung einer Subjektmelodie, die sich selbst immer und immer wieder im Körper von Plasmodium abspielt, erhalten wir einen einigermassen befriedigenden Überblick über den Zusammenhang dieses gestaltwechselnden Tieres. Sie kann uns als Ausgangspunkt dienen, um in das Wesen der Zeitgestalten überhaupt einzudringen.

Subjekt und Umwelt.

Die Vorstellung eines Fermentklaviers im Kern der Keimzelle verdankt ihren Ursprung der besonders durch Morgan und seine Schüler erweiterten Lehre Mendels.

Danach dürfen wir annehmen, dass die Chromosome des Kernes aus lauter selbständigen Chromomeren bestehen, die nur ausnahmsweise mit einander verkoppelt sind. Ein jedes Chromomer vermag eine ihm eigentümliche Wirkung auf das Protoplasma der Zelle auszuüben und eine ganz bestimmte Umgestaltung in demselben hervorzurufen, die sich von allen anderen Chromomerwirkungen unterscheidet.

Dadurch wird ein jedes Chromomer zu einer fest umschriebenen Erbanlage oder Gen, das durch seine Wirkung auf das Protoplasma eine fest umschriebene Eigenschaft der Zelle erteilt.

Alle Chromomeren gemeinsam bilden gleichsam den Samen, aus dem das Protoplasma die Eigenschaften des fertigen Tieres hervorgehen lassen wird.

Die Mitglieder der gleichen Rasse sind mithin nicht nur durch die gleichen Eigenschaften ihres ausgebildeten Körpers, sondern mehr noch durch die gleiche Zusammenstellung ihrer Gene im Kern des Keimes charakterisiert, oder, um mit Johannsen zu reden, durch den gleichen „Genotypus“.

Der Genotypus ist es nun, der in der Vorstellung des Fermentklavieres die Tastatur darstellt.

Aber selbst das Klavier mit der vollkommensten Tastatur genügt nicht — es muss auch jemand da sein, der es spielt. Als diesen Jemand setze ich die Subjektregel ein. Und zwar ist dieser Jemand die Hauptsache. Es ist zwar zweifellos, dass die Subjektregel auf einem Klavier, dem wichtige Tasten fehlen, nicht richtig spielen kann. Aber auch das beste Klavier wird nichts leisten können, wenn es von jemand gespielt wird, der die zu spielende Melodie nicht beherrscht. Diese Besorgnis brauchen wir freilich beim Kernklavier nicht zu hegen, denn die Melodie spielt sich selber.

Wenn wir einen Menschen Klavier spielen hören, so können wir wohl aus seinem Spiel auf seine musikalische Begabung schliessen, sonst erfahren wir aber nichts über ihn.

Anders liegen die Dinge, wenn wir das Abspielen der Subjektmelodie aus dem Wechsel, der sich ablösenden Gestalten erlauschen. Dann kennen wir den Spieler von Grund aus, denn irgend eine andere Fähigkeit, als sich selbst zu spielen, brauchen wir ihm nicht zuzuschreiben.

Wenn wir den Blick über die immer wiederkehrende Gestaltenreihe von *Plasmodium vivax* gleiten lassen, so entrollt sich uns zugleich die Subjektmelodie dieses Tieres. Was uns fehlt, ist nur die Kenntnis der intimen Vorgänge beim Wirksamwerden der einzelnen Fermente. Aber in grossen Zügen vermögen wir doch die Hauptsache zu erkennen. Es ist immer das gleiche Klavier, das gespielt wird und die Melodie ist immer die gleiche, die sich in der stets wiederholten Abfolge bestimmter Akkorde kund gibt.

Der Reichtum an Eigenschaften, die in den verschiedenen Formen von *Plasmodium* in immer wechselnder Zusammenstellung auftreten, ist gering. Und wenn wir die Zahl der Eigenschaften auf die entsprechende Zahl von Genen zurückführen, so erhalten wir ein Klavier, das entweder nur eine beschränkte Tastatur besitzt oder von dem nur eine beschränkte Tastatur benutzt wird.

Trotzdem ist der Erfolg ein vollkommener. Wenn es auch einfache Mechanismen sind, die einander ablösen, so ist doch ihr Bau ungeachtet der geringen Anzahl von Eigenschaften unübertrefflich. Ein jeder Mechanismus ist in die ihm gegenüberstehende Umwelt jedesmal auf das genaueste eingepasst.

Dies ist überaus erstaunlich, denn heterogenere Dinge wie die Blutkörperchen des Menschen und die Speicheldrüsen der Mücke lassen sich kaum zusammenreimen. Und doch geschieht das durch die Subjektmelodie von *Plasmodium vivax*.

Zur Illustrierung der sehr interessanten Beziehungen zwischen der Subjektregel von Plasmodium und seinem Umwelttunnel diene beiliegendes Schema (Fig. 2).

Unter Umwelttunnel verstehe ich den Lebensweg eines Subjektes, der nach allen Seiten von Objekten abgeschlossen ist, welche zugleich den Sinnesorganen des Subjektes als Merkmalträger und seinen Handlungsorganen als Wirkungsträger dienen.

Der Umwelttunnel von Plasmodium vivax zeigt zwei Tore, die jedesmal durch den Stachel der Mücke gebildet werden. Durch diese Tore wird das Tier passiv zuerst aus den Speicheldrüsen der Mücke ins menschliche Blut und dann wieder passiv aus dem Menschenblut in den Mückendarm befördert.

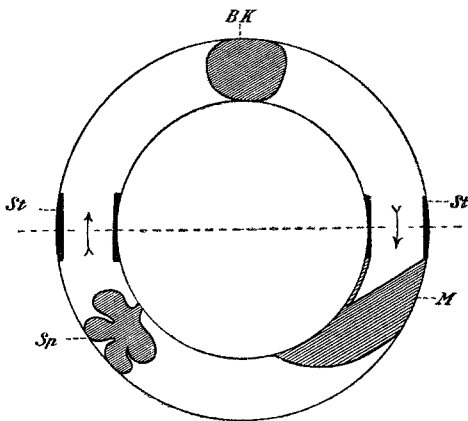


Fig. 2. Umwelttunnel von Plasmodium vivax. Die obere Hälfte verläuft im Menschen, die untere in der Mücke. St = Stachel, M = Magen, Sp = Speicheldrüse Bk rotes Blutkörperchen.

Auf der Menschenseite gibt es für Plasmodium nichts anderes als Blutflüssigkeit und Blutkörperchen. Auf der Mückenseite ist die Umwelt reicher. Da gibt es Darm- und Blutflüssigkeit und Speicheldrüsen. Das Schema gibt die wenigen Objekte, die von Plasmodium in seinem Umwelttunnel zu einer Einheit verbunden, wieder. In Wirklichkeit bildet der Umwelttunnel keine geschlossene Bahn, denn er führt vom Menschen A zur Mücke a, dann zum Menschen B und zur Mücke b und so fort ad indefinitum.

Ist man schon erstaunt darüber, welche heterogene Objekte hier zu einer Einheit verbunden sind, so erstaunt man noch mehr, wenn man nachprüft, welche Eigenschaften der Objekte es sind, die als Merkmalträger oder als Wirkungsträger in den Umwelttunnel von Plasmodium eintreten. Vom Standpunkt des Plasmodium aus wird man z. B. über die Speicheldrüsen der Mücke nie etwas anderes erfahren, als dass sie einen chemischen Reiz aussenden, der vom Sporozoiten als Wegweiser benutzt wird und dass sie ein lockeres Gewebe besitzen, das dem Sporozoiten den Eingang ermöglicht.

Der sonstige Bau dieser fein durchgearbeiteten Organe kommt für Plasmodium gar nicht in Betracht. Er dient nur dazu den Merkmalträger mit dem Wirkungsträger zu verbinden. Von all den Eigenschaften der Speicheldrüsen sind nur zwei aus dem Zusammenhang gerissen und dazu benutzt worden wie Zapfen und Fugen in die Fugen und Zapfen des Tierkörpers eingepasst zu werden. Die gesamte übrige Organisation des Objektes dient nur als gleichgültiges Gegengefüge dem Gefüge des Körpers des Subjektes.

Aus dem Zusammenhang gerissene Eigenschaften heterogener Objekte sind es die den Umwelttunnel von Plasmodium bilden. Nur durch seine Beziehungen zum Subjekt bildet der Umwelttunnel ein Ganzes. Und doch ist dieses Ganze von grosser Bedeutung, denn es bietet uns das räumlich geordnete Gegenbild zur Zeitgestalt von Plasmodium.

Wenn wir die Eigenschaften, die als Merkmalträger dienen in Form von Zapfen und die Eigenschaften, die als Wirkungsträger dienen in Form von Fugen in den Umwelttunnel einzeichnen, so können wir aus ihrem räumlichen Nebeneinander ablesen, welche Fugen und Zapfen Plasmodium seinerseits zeitlich nacheinander in seinem Körpergefüge ausbilden muss, um seinen Lebensweg zu durchlaufen.

Es ist, wie wir hier aus der Anschauung lernen, grundsätzlich gleichgültig, ob die Fugen und Zapfen des Körpergefüges von vornherein gegeben sind, oder ob sie sich immer neu bilden. Es muss nur im richtigen Moment die richtige Fuge resp. der richtige Zapfen vorhanden sein, wenn der Körper

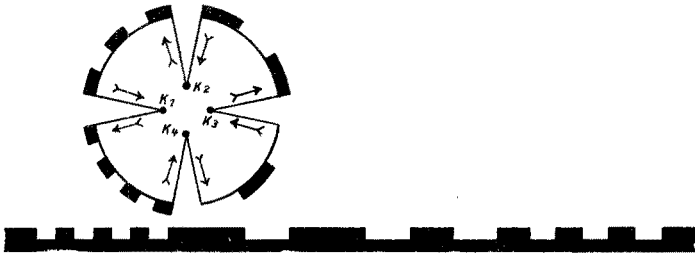


Fig. 3. Schema der Zeitgestalt von Plasmodium vivax.

des Subjektes den Umwelttunnel entlang rollt wie ein Zahnrad an einer Zahnstange.

Benutzen wir das Bild von Zahnrad und Zahnstange um ein Schema zu entwerfen, das uns über die grundlegenden Beziehungen zwischen Plasmodium und seinem Umwelttunnel aufklären soll, so werden wir das Zahnrad, das Plasmodium wiedergibt in vier Sektoren zerlegen, entsprechend den vier aufeinanderfolgenden Mechanismen nach der Formel $A_1 \rightarrow V_1 \rightarrow A_2 V_2 \rightarrow A_3 V_3 \rightarrow$.

Da uns hier der Unterschied zwischen animalen und vegetativen Mechanismen nicht interessiert, können wir die Formel einfach $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_4 \rightarrow$ schreiben, womit nur ausgedrückt wird, dass vier verschiedene Mechanismen aufeinander folgen, die immer durch eine technische Periode miteinander verbunden sind.

Im Schema (Fig. 3) drücke ich das so aus, dass ich dem ersten Sektor nur einen Zapfen gebe, dem zweiten zwei usw. An der Umweltstange bringe ich die entsprechenden Fugen in gleicher Zahl und gleicher Reihenfolge an.

Das Zahnrad gibt die Zeitgestalt von Plasmodium schematisch wieder. Die einzelnen Sektoren sind durch zwei nach dem Zentrum gehende Linien unterbrochen, die durch Pfeile bezeichnet sind. Der zentripetal gerichtete

Pfeil deutet an, dass hier der Mechanismus aufgelöst, der zentrifugal gerichtete Pfeil, dass hier der Mechanismus aufgebaut wird. Alle Linien münden in Punkte, die mit K_1 — K_4 bezeichnet sind.

K bedeutet Keim, aus folgendem Grunde. Plasmodium ist nämlich nichts anderes als eine Amöbe, die ihren ganzen Körper in ein Pseudopodium verwandelt, das fünf verschiedene Formen annimmt. Bevor ein neues Pseudopodium entsteht, muss das alte zuvor in Protoplasma zurückverwandelt worden sein. Im Hinblick auf die höheren Tiere kann man diese Tatsache auch so ausdrücken: Plasmodium lässt den jeweiligen Mechanismus seines Körpers aus einem protoplasmatischen Keim entstehen, um ihn nach getaner Arbeit wieder in den Keim zurück zu verwandeln.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt, die Entstehung der mehrzelligen Tiere, die nach der Formel $AV + K \rightarrow AV + K \rightarrow AV + K$ ¹⁾ (wofür man auch $M + K \rightarrow M + K$ usw. schreiben kann) zu beurteilen ist, so würde hierfür ein vollständiges Zahnrad zu zeichnen sein, das aus seinem in der Mitte belegenen Keim hervorgegangen ist und das nun in vielen Umdrehungen an seiner Umweltzahnstange entlang läuft. Die Umweltzahnstange der mehrzelligen Tiere besitzt aber eine wohlabgemessene Länge, während die von Plasmodium ad indefinitum weiter dauert. Dieser Unterschied stammt daher, dass das Zahnrad der mehrzelligen Tiere sich nicht mehr rückbildet, dafür aber einen neuen Keim abspaltet, der zum Ursprung eines neuen Zahnrades wird, während die abgenutzten zugrunde gehen.

Das Bild des Zahnrades soll vor allen Dingen dazu dienen, uns die Trennung der mechanischen Leistungen von den technischen Vorgängen zu erleichtern. Nur das Abrollen des Zahnrades an der Zahnstange ist eine mechanische Leistung. Das Entstehen des Zahnrades hingegen aus seinem zentralen Keim ist ein technischer Vorgang.

Die technischen Vorgänge und ihr Mass.

Erst wenn wir uns über den grundsätzlichen Unterschied zwischen mechanischem und technischem Geschehen durch die Anschauung klar geworden sind, werden wir zur Überzeugung gelangen, dass wir bei Betrachtung der technischen Vorgänge einem ganz neuen Weltgeschehen gegenüberstehen, in dem die kausalen Verknüpfungen der mechanischen Gesetze in den Hintergrund zu treten haben. Dann erst werden wir in der Lage sein die spezifischen Eigentümlichkeiten der technischen Gesetze, die der Planmässigkeit angehören, ans Licht zu ziehen.

¹⁾ Verbindet man in dieser Formel die zu einem Individuum gehörigen Teile durch eine Klammer $AV + [K] \rightarrow AV + [K] \rightarrow AV + [K]$, so erhält man die Generationskette, die immer wieder durch den Keim zusammengehalten wird. Die Kreuzung der Geschlechter kann hier vernachlässigt werden.

Die Entstehung aller mehrzelligen Tiere aus dem einzelligen Ei geht immer in der gleichen Weise vonstatten. Erst furcht sich die Keimzelle mehrfach und die so entstandenen Tochterzellen bilden einen kugligen Zellhaufen — die Morula. Darauf treten die Zellen auseinander und es entsteht die einschichtige Hohlkugel — Blastula. Diese stülpt sich an einem Pol ein und bildet die Gastrula, die aus dem äusseren Keimblatt, dem eingestülpten inneren Keimblatt und dem mittleren Keimblatt besteht. Das mittlere Keimblatt entsteht meist durch Zellwucherung am offenen Pol (Urmund) und schiebt sich zwischen die anderen Keimblätter ein. So stellt die Gastrula einen dreischichtigen Sack dar.

Hält man sich vor Augen, dass die Zellen der Morula alle Anlagen für die künftigen Gewebszellen enthält, dabei aber selbst einen soliden Zellhaufen bilden, so kann man wohl verstehen, dass aus der Morula ohne das Zwischenstadium der Blastula keine Gastrula werden kann, denn es ist mechanisch unmöglich einen soliden Körper einzustülpen. Es ist aber nicht ohne weiteres verständlich, warum nicht einige Zellen der Morula sich sogleich zu Gewebszellen differenzieren und Muskelfasern, Haare oder Knochenlamellen bilden. Das wäre mechanisch wohl sehr möglich, ist aber offenbar technisch unmöglich.

Die Entstehung der Gewebe des fertigen Tierkörpers beginnt erst nachdem ein langer Weg dauernder Umgestaltung durchmessen ist. Ich will ihn den „technischen Weg“ nennen, obgleich er sich nicht in den Raum sondern in die Zeit hinaus erstreckt.

Wie es uns unmöglich ist beim Durchwandern einer Landstrasse auf den ersten Kilometer gleich den zehnten folgen zu lassen, so ist dies beim technischen Weg auch nicht möglich, weil sich zwischen dem ersten Schritt und dem letzten notwendig eine grosse Anzahl Zwischenschritte einschieben, die ausgeführt werden müssen, um bis zum letzten zu gelangen.

Das ist bei Betrachtung von Plasmodium augenfällig, weil bei ihm ein jeder technische Schritt durch eine mechanische Periode jederseits abgegrenzt ist, die mechanischen Perioden aber in ihrer Reihenfolge durch den räumlichen Umwelttunnel ein für allemal festgelegt sind. Auf den Sporozoiten kann nicht unmittelbar der Ookinet folgen, weil die Merozoiten- und Gametenperiode dazwischen liegen, die jedesmal einen neuen technischen Schritt erfordern.

Bei der Entstehung der mehrzelligen Tiere aber folgt ein technischer Schritt auf den anderen mit der gleichen Notwendigkeit, obgleich keine mechanischen Perioden dazwischen liegen. Dadurch wird auch die Abgrenzung der technischen Schritte voneinander viel schwieriger.

Zwar für den Anfang ist es leicht einen Morulaschritt, einen Blastulaschritt und einen Gastrulaschritt zu unterscheiden. Aber für die späteren Stadien wird die Abmessung der Schritte, je länger der technische Weg sich hinzieht, um so schwieriger.

Was haben wir unter einem „technischen Schritt“ zu verstehen? Die Beantwortung dieser Frage ist von grundlegender Bedeutung. Denn falls es uns gelingt hierauf eine präzise Antwort zu geben, dann wird es möglich sein, einen einheitlichen Masstab an alle technischen Vorgänge zu legen, der sich vielleicht auch rechnerisch verwerten lässt. Dadurch wird uns die Aussicht eröffnet das sprödeste Gebiet der Biologie in eine exakte Wissenschaft zu verwandeln, wenn man unter einer exakten eine der Rechnung zugängliche Wissenschaft versteht.

Jeder technische Schritt beginnt mit einem Impuls. Der Impuls setzt, wie wir uns überzeugt haben, im Kern der lebenden Zelle ein und setzt daselbst ein oder mehrere Fermente in Wirksamkeit. Damit ist der technische Schritt nach einer Seite hin abgegrenzt. Er hat immer einen ganz bestimmten Anfang. Aber hat er auch ein ganz bestimmtes Ende? Ein ad indefinitum ablaufender Prozess, der vom Ferment im Protoplasma ausgelöst wurde, besitzt an sich keinen fest bestimmbareren Abschluss. Nur im Falle, dass eine bestimmte Hemmung vorhanden ist, kann man den Schritt nach beiden Enden hin abgrenzen.

Diese Hemmung kann in vielerlei Dingen bestehen. Entweder ist der Stoff, der durch das Ferment verwandelt werden soll, genau dosiert, oder der ablaufende Prozess schafft sich selbst in irgendwelcher Form eine eigene mit Sicherheit eintretende Hemmung. Auch hier sind viele Möglichkeiten denkbar. Welche von ihnen realisiert wird, lässt sich nicht von vorneherein sagen. Aber dass die Hemmung realisiert wird, dürfen wir voraussetzen.

Ich habe schon vor Jahren den Satz ausgesprochen: Struktur hemmt Strukturbildung oder besser gesagt: Gefüge hemmt Gefügebildung. Diese Ansicht vertreten auch mehrere Forscher¹⁾ beim Spezialfall der Linsenbildung des Auges.

Wir finden diese Vorstellung bereits bei K. E. v. Baer der allen Lebewesen eine Zielstrebigkeit zusprach. Auch das Ziel hemmt die Zielstrebigkeit. Wenn Baer die Entstehung eines Tieres aus dem Keim mit dem Abschiessen einer Kugel auf ein Ziel vergleicht, so setzt das Aufschlagen der Kugel auf das Ziel seiner Bahn ein Ende. Die Bahn von der Abschussstelle bis zum Ziel wird dadurch nach beiden Enden fest begrenzt.

Nachdem wir jetzt erkannt haben, dass es nicht bloß ein Impuls ist, der dem Keim seine Gefügebildung vorschreibt, sondern dass eine grosse Menge von Impulsen am Werke sind, um die Gefügebildung zu vollenden, so müssen wir annehmen, dass es auch eine Menge von Zielen gibt, die als Zwischenstationen eingeschaltet sind, bevor das letzte Ziel erreicht wird.

¹⁾ Siehe Dürken: Einführung in die Experimentalzoologie, Berlin, Springer, 1919 und Wachs: Neue Versuche zur Wolffschen Linsenregeneration, Archiv für Entwicklungsmechanik, 1914.

Wir werden daher ganz unabhängig davon, welcher Art die Hemmung ist, die dem einzelnen von einem Impuls angeregten Prozess ein Ende bereitet, sagen dürfen, ein jeder technische Schritt hat sein Ziel.

Durch Impuls und Ziel ist jeder technische Schritt abgegrenzt und die Erreichung des Endzieles geschieht Schritt für Schritt. Die zeitliche Schrittfolge des technischen Weges ist gesetzlich festgelegt und sie kann ebenso wenig wie die räumliche Schrittfolge beliebig verändert werden.

Mit dem technischen Schritt, der vom Impuls zum Ziele führt, haben wir den einheitlichen Masstab gewonnen, den wir überall einsetzen können, wenn wir den technischen Weg der Entstehungsvorgänge festlegen wollen. Die technischen Schritte sind zwar nicht gleichartig, aber gleichwertig und daher auch rechnerisch brauchbar.

Die Einführung des technischen Schrittes hat noch den grossen Vorteil, dass wir der Erforschung der Impulse und ihrer Beziehungen zueinander überhoben werden, denn alles, was wir über diese Beziehungen aussagen könnten, wären nur Rückschlüsse aus den Erfahrungen, die wir über die Zusammensetzung der Schritte bei der Untersuchung der Gefügebildung gewinnen.

Das klassische Beispiel der Gefügebildung ist die karyokinetische Zellteilung. Sie übertrifft an Häufigkeit bei weitem alle übrige Gefügebildung, weil sie sich bei allen Lebewesen überall auf die gleiche Weise wiederholt. Sie ist dementsprechend auch am besten durchforscht.

An ihr wollen wir den neugewonnenen Masstab anlegen und auf seine Brauchbarkeit prüfen. Der erste Impuls trifft bei der Zellteilung das Centrosoma und teilt es in 2 polar entgegengesetzte Hälften, die sich gegenseitig abstossen und sich sogleich auf die Wanderschaft durch das flüssige Protoplasma begeben, bis sie an ihrem Ziele den entgegengesetzten Polen der Zelle angelangt sind. Damit ist der erste technische Schritt vollendet. Inzwischen hat der zweite Impuls den Kern selbst getroffen und ruft unter den Chromosomen eine Spannung hervor, die sie zwingt, sich wie Soldaten in eine Reihe aufzustellen, womit auch dieses Ziel erreicht ist. Ein dritter Impuls löst die Kernmembran auf. Ein vierte bildet die kontraktile Spindel, die die Chromosomen mit den beiden Centrosomen verbindet. Damit ist der innere mechanische Kernteilungs-Apparat fertig gestellt, der jetzt in Funktion tritt. Er spaltet die Chromosomen der Länge nach und zieht je eine Hälfte von ihnen an das zunächst gelegene Centrosoma heran. Darauf wird der Kernteilungs-Apparat wieder aufgelöst. Weitere technische Schritte vollziehen die Teilung des Protoplasmas und die Neubildung zweier Kernmembranen, innerhalb derer die Chromosomen sich wieder entspannen.

Wenn auch die technischen Vorgänge ineinander greifen und die technischen Schritte zum Teil gleichzeitig erfolgen, so ist dennoch eine Abgrenzung der einzelnen Schritte unverkennbar. Das kommt besonders dadurch zum Ausdruck, weil die ersten technischen Schritte mit der Bildung eines mecha-

nischen Teilungs-Apparates abschliessen. Darauf folgt eine kurze mechanische Periode, welche die Trennung der Chromosomen bewirkt, worauf weitere technische Schritte den ganzen Vorgang zum Abschluss bringen.

So löst sich dieser rätselhafte übermaschinelle Vorgang bei näherem Zusehen in drei Perioden auf, von denen die erste und die letzte technischer, die mittlere mechanischer Natur ist. Ein Apparat wird durch das Zusammenwirken mehrerer technischer Schritte geschaffen, er vollführt seine mechanische Leistung und wird wieder aufgelöst. Welchen Teilvorgang wir ins Auge fassen, er enthüllt sich immer als technischer Schritt, der auf nicht mechanische Weise durch einen Impuls ausgelöst wird und an einem bestimmten Ziel endet.

Die Analogie mit den Vorgängen bei *Plasmodium vivax* ist unverkennbar, wenn auch bei der Zellteilung der neugeschaffene Apparat nicht nach aussen, sondern im Inneren der Zelle seine Wirkung ausübt. Bei beiden ist die Bildung eines mechanischen Gefüges das erste Ziel der technischen Schritte — seine Auflösung das zweite.

Die technischen Wege der mehrzelligen Tiere.

Bestünde der technische Weg, der den einzelligen Keim zur vollendeten Körpergestalt führt, bloss in der Zellteilung, so wäre seine zeitliche Bahn leicht zu übersehen.

Da sich immer wieder das gleiche wiederholt, nämlich die Spaltung jeder Mutterzellen in zwei Tochterzellen, so erweckt der ganze Teilungsweg durch eine beliebige Anzahl von Tochtergenerationen hindurch den Eindruck eines sich immer wieder dichotomisch teilenden Geästes.

Auch das auf diese Weise entstehende Gebilde würde nicht der Ordnung ermangeln. Da schon die Keimzelle sich in 2 Hälften teilt, was sich als die erste Verzweigung darstellt, so müssen alle weiteren Äste aus den beiden Grundästen durch weitere Verzweigung hervorgehen. Gingen die weiteren Teilungen im gleichen Tempo vorwärts, so wäre mit dem ersten Teilungsvorgang auch die Teilung des endlichen Gebildes in zwei gleiche Hälften gegeben, was tatsächlich bei vielen Tieren der Fall ist.

Stellen wir uns vor, die Keimanlage des Hühnchens, dem sehr reichlich Dotter zur Verfügung steht, täte nichts anderes als sich fortgesetzt teilen, so würden wir, nachdem die sich teilenden Zellen allen Dotter in sich aufgenommen, einen soliden Haufen von Zellen vor uns haben, der annähernd kuglige Gestalt besässe. Alle Zellen gehörten der n-ten Generation an. Die eine Hälfte des Zellhaufens bestünde aus Nachkommen der einen Tochterzelle der ersten Furchung, die andere Hälfte aus Nachkommen der anderen Tochterzelle. Von jeder Hälfte der Zellen bestünde wieder je eine Hälfte aus den Nachkommen einer der 4 Tochterzellen aus der zweiten Furchung usf. Auf diese Weise zerfiel der ganze Zellhaufen in lauter gleichgrosse Zellgruppen

die je von einem gemeinsamen Ahnen abstammten. Man kann sich die gleichen Zellgruppen in Form von lauter Pyramiden angeordnet denken, die ihre Basis an der Kugeloberfläche, ihre Spitze im Zentrum der Kugel haben. Das wäre aber auch das äusserste an Ordnung, was durch die Zellteilung zu erreichen wäre, wenn es nur diesen einen technischen Weg gäbe.

Nun geht ja bezeichnenderweise die Zellteilung vom Centrosoma also einem ausserhalb des eigentlichen Zellkernes gelegenen Punkte aus. Die Vorgänge, die sich gleichzeitig in den Fermentklavieren abspielen, werden durch die Teilung nicht berührt. Es können alle Klaviere bei jeder Teilung in toto getroffen werden und mit ungeschmälerter Tastatur bis auf die letzte Zellgeneration vererbt werden. Es kann aber auch an irgend einem Zeitpunkt, veranlasst durch einen besonderen Impuls, die „erbungleiche“ Teilung einsetzen, der zufolge die Tochterzellen nur eine gewisse Auswahl aus der Tastatur erhalten. Geschieht diese Auswahl entsprechend den zur Gewebsbildung notwendigen Fermenten, so bestünde der endgültige Zellhaufen aus lauter „gewebsgleichen Anlagen“ die als Pyramiden in der eben besprochenen Weise den kugligen Zellhaufen gliederten. Und käme es schliesslich zur Ausbildung der verschiedenen Gewebe selbst, so hätten wir als Endprodukt nicht ein Hühnchen vor uns, sondern ein Mosaik aus Geweben. Eine Pyramide mit Muskelzellen schliesse sich unvermittelt an eine Pyramide mit Nervenzellen oder federtragenden Hautzellen.

Also auch der technische Weg der Gewebeteilung führt nicht zum Ziel. Erst wenn es gelingt, die gewebsgleichen Anlagen so zu gruppieren, zu gestalten und ineinander einzuschieben, dass sie nach Ausbildung der Gewebe sofort zu funktionsfähigen Teilen des Körpermechanismus werden, ist das Ziel erreicht.

Dazu gehört aber das Eingreifen eines dritten technischen Weges, des Organbildungsweges.

Das Eingreifen von Impulsen, die zum dritten Weg gehören, ist möglich, weil die durch Teilung entstandenen Zellen, während der inneren Umgruppierung der Tastatur, die zur Gewebsteilung führen, äussere Verschiebungen der ganzen Zellen stattfinden können, ohne dass ein Vorgang den anderen stört.

Auch für die äussere Verschiebung sitzt der Angriffspunkt der Impulse im Kern. Wenn gleichzeitig in einer Gruppe von Zellen der gleiche Impuls einsetzt und die gleichen Fermente in Tätigkeit setzt, die die gleichen Spannungs- und Bewegungserscheinungen auslösen, so werden alle Zellen gemeinsam arbeiten. Diese Arbeit besteht dann in einer Umgruppierung, die zu einem bestimmten Ziele führt, worauf der einzelne Organbildungsschritt vollendet ist.

Die ersten technischen Schritte der Organbildung kennen wir schon, es sind der Morulaschritt, der Blastulaschritt und der Gastrulaschritt.

Mit dem Gastrulaschritt ist für viele Tiere, wie Polypen, Medusen, Aktinien und Korallen die Organbildung der Hauptsache nach beendet.

Die Differenzen in ihrem Bau betreffen mehr die verschiedene Differenzierung ihrer Gewebe als die geringen Unterschiede der Gestalt. Beim Süswasserpolypt brauchen nach Ausbildung der Gastrula nur noch Tentakel auszuwachsen und die Gewebsbildung einzusetzen, so ist das Tier fertig.

Wenn bei vielen niederen Tieren die Ausbildung des Körpers nicht auf diesem schematischen Wege erfolgt, so hängt das mit dem Nahrungsbedürfnis während der Bildungsperiode zusammen, das den Keimling zwingt, Larvenorgane für die Nahrungsaufnahme zu bilden.

Bei den höheren Tieren ist das meist nicht der Fall, sie besitzen genügend Nahrungsdotter, um die drei Kardinalschritte, die alle tierische Formbildung einleiten, ohne weiteres auszuführen. Wenn, wie beim Hühnchen, die Dottermenge so gross ist, dass sich mechanische Verschiebungen beim jungen Keimling bemerkbar machen, so bleibt dennoch der klassische Anfang des Organbildungsweges vollkommen deutlich.

Durch die bahnbrechenden Arbeiten von Driesch ist eine der wichtigsten Fragen der tierischen Formbildung in diesen ersten Stadien eindeutig beantwortet worden.

Es gibt zwei Möglichkeiten die ersten technischen Schritte zu deuten. Entweder besitzt jede einzelne Teilungszelle des Keimes von vorneherein nicht bloss eine bestimmte Tastatur ihres Fermentklaviers, die sie bei der erbungleichen Teilung übernommen hat, sondern auch eine spezielle Subjektregel, welche die Impulsfolge für sie und ihre Teilungsprodukte festlegt — oder aber die Impulsfolge betrifft alle Zellen, die sich im gleichen Stadium des technischen Weges befinden gemeinsam? Dann gibt es nicht viele parallel laufende Impulsregeln in vielen Zellen, sondern nur eine für alle. Im ersten Fall ist die „prospektive Bedeutung“ für jede einzelne Zelle von vorneherein festgelegt, im anderen Fall kann jede Zelle durch Vertauschung ihres Ortes eine neue prospektive Bedeutung erhalten. Dann ist, wie Driesch sich ausdrückt, ihre „prospektive Potenz“ grösser als ihre prospektive Bedeutung.

Das konnte nur durch den Versuch entschieden werden, und Driesch gelang es zu zeigen, dass ein Seeigelkeim im Morulastadium zwischen zwei Glasplatten gepresst, die Anordnung seiner Furchungszellen völlig verändert und trotzdem nach Aufhebung des äusseren Druckes eine normale Blastula und Gastrula bildet, die ohne Rücksicht auf die veränderte Stellung der Zellen eine normale Pluteuslarve wird.

Damit war festgestellt, erstens dass in diesem Stadium eine jede Zelle noch ihre vollständige Tastatur besitzt (also die Gewebsteilung noch nicht begonnen hat) und zweitens, dass alle Zellen gemeinsam einem Impuls gehorchen.

Es ist also nicht notwendig anzunehmen, dass eine jede Zelle ihren eigenen technischen Weg besitzt und jeden ihrer Schritte ohne Rücksicht auf die Schwesterzellen vollführt, sondern dass wenigstens in den ersten

Stadien der gleiche Weg allen gemeinsam ist, auf dem sie in beliebiger Anordnung marschieren können.

Alle Zellen, die sich auf dem gleichen Punkt des gleichen technischen Weges befinden, sind in allen wesentlichen Eigenschaften einander gleich und können beliebig gegeneinander ausgetauscht werden. Sie gehorchen alle einem gemeinsamen Impuls, beteiligen sich alle am gleichen Schritt und haben alle das gleiche Ziel.

Durch diese Erkenntnis ist das fast unentwirrbare Problem der Keimesgestaltung sehr vereinfacht worden.

Die späteren Stadien der Gefügebildung.

Die späteren Stadien der Gefügebildung höherer Tiere lassen sich nicht ohne Kenntnis der von Spemann angewandten Untersuchungsmethoden erörtern. Die beiliegenden Figuren Fig. 4 (1–4) aus Spemanns zusammenfassender

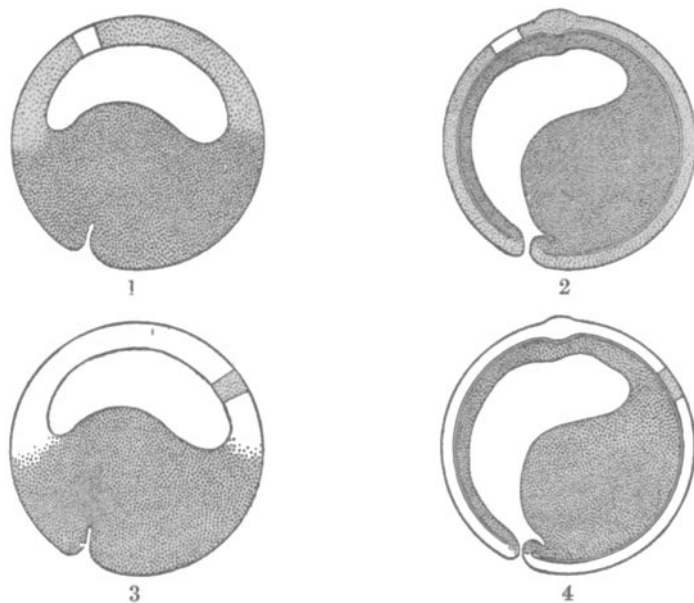


Fig. 4.

1 und 3 Amphibienkeime zu Beginn der Gastrulation, deren Pfropfstücke ausgetauscht wurden. 2 und 4 die gleichen Keime zum Schluss der Gastrulation. Die Pfropfstücke haben sich der Umgebung angepasst. Der Epidermispfropf wird zu Gehirn und der Gehirnpfropf zu Epidermis.

Die Naturwissenschaften 1919, Heft 32.

Arbeit¹⁾ zeigen, welche Mittel er angewandt hat. Zu Beginn der Gastrulation wurde aus einem dunkelfarbigem Keim von *Triton taeniatus* ein kleines Stück des äusseren Keimblattes an der Stelle entnommen, die später die Medullarplatte bilden soll und durch ein ebenso grosses Stück des äusseren Keim-

¹⁾ Spemann: Experimentelle Forschungen zum Determinations- und Individualitätsproblem. — Die Naturwissenschaften. 1919.

blattes eines hellgefärbten Keimlings ersetzt, das später Epidermis bilden soll (Fig. 1). Andererseits erhielt der hellgefärbte Keimling das dem dunkelfarbigem Keim entnommene Stück, das aus der künftigen Medullarregion in die künftige Epidermisregion versetzt wurde (Fig. 3). Figur 2 und 4 zeigen, dass nach vollendeter Gastrulation, die beiden heterogenen Stücke sich der neuen Umgebung angepasst haben und dass die ursprünglich zur Gehirnbildung bestimmten Zellen Epidermis werden, während die ursprünglich zur Epidermisbildung bestimmten Zellen zu Gehirn werden.

Dieser Erfolg tritt aber nur dann ein, wenn die dem äusseren Keimblatt entnommenen Stücke durch die fortschreitende Gastrulation vom mittleren und inneren Keimblatt noch nicht unterwachsen sind. Ist dies geschehen, so gestalten sich die Stücke nach ihrer Vertauschung nicht mehr „ortsgemäss sondern „herkunftsgemäss“ oder, was dasselbe sagen will, „bestimmungsgemäss“.

Diese mit bewunderungswürdiger Technik ausgeführten hochinteressanten Versuche zeigen uns, dass der bis zur Gastrulation für alle Zellen gleichlaufende technische Weg sich mit Beginn der Gastrulation zu teilen beginnt. Und zwar betreten die der oberen Urmundlippe zunächst liegenden Zellen als erste die neuen Wege, dann folgen die anderen. Von Zelle zu Zelle eilen die neuen Impulse und geben die neue Richtung an, welche die von ihnen ausgelösten technischen Schritte einzuschlagen haben. Jeder Impuls kennt genau den Bezirk, der ihm zugewiesen ist. Nur die Zellen seines Bezirkes erhalten seinen Befehl und alle gehorchen ihm, mögen sie dort aufgewachsen oder aus anderen Bezirken dorthin verpflanzt worden sein. Auch dies beweist wieder, dass die Zellen, solange sie noch den gleichen Weg wandern, untereinander vertauscht werden können.

Sobald aber die Zellen verschiedene Wege eingeschlagen haben, hört die Vertauschbarkeit auf. Eine Zellgruppe, die den Impuls erhalten hat Medullarplatte zu werden, wird Medullarplatte, auch wenn sie mitten unter Epidermiszellen versetzt wird und umgekehrt. Dann ist die Zellgruppe gegen fremde Impulse immun geworden und verfolgt den eigenen Weg, der ihr von ihrem eigenen Impulse vorgeschrieben wird.

Der Impuls, der die Medullarregion beherrscht, teilt sich gleich wieder, so dass die drei Hirnregionen und die Region der Augenblasen ihre eigenen Impulse erhalten und sich in getrennte Anlagen sondern, die nun auch den Impuls zur Gewebsteilung erhalten. Diese vier neuen Regionen kann man bereits als gewebsgleiche Anlagen ansprechen.

Wie es innerhalb einer gewebsgleichen Anlage hergeht, wissen wir durch die Versuche von Braus an der Schulteranlage von Amphibien. Er entnahm der Anlage, welche die Pfanne bilden sollte, die Hälfte der Zellen und dennoch wurde eine vollständige, wenn auch um die Hälfte verkleinerte Pfanne gebildet. Also auch hier das gleiche Gesetz, dass alle Zellen, die sich auf dem gleichen Wege befinden, dem gleichen Impuls gehorchen.

Die kleine Pfanne wurde gebildet ganz ohne Rücksicht darauf, dass der Kopf des Humerus, der von der Nachbaranlage in normaler Grösse geliefert wurde, nicht in sie hineinpasste.

Alle Zellen einer gewebsgleichen Anlage legen den letzten organbildenden Schritt, der bis zur Ausbildung des endgültigen Gewebes heranhöhrt, gemeinsam zurück.

Über den letzten technischen Schritt, der zur Gewebsbildung führt, haben wir ebenfalls durch Spemann überraschende Aufklärung erhalten.

Ihm gelang es ein Stück voraussichtlicher Epidermis von Triton cristatus an die Stelle voraussichtlicher Medullarplatte von Triton taeniatus zu verpflanzen. Aus diesem Fremdling wurde „ortsgemäss“ Gehirn, aber nicht Taeniatusgehirn sondern Cristatusgehirn.

Die Cristatuszellen hatten wohl den fremden Impulsen gehorcht, solange sie sich auf dem Organbildungsweg befanden, der im wesentlichen dem eigenen technischen Wege glich. Selbst den Gewebsteilungsweg hatten sie mit den fremden Nachbarzellen gemeinsam beschritten und sich ortsgemäss entsprechend den ihren Bezirk beherrschenden Impulsen weitergebildet. Aber das Gewebe, das sie endlich schufen, entsprach ihrer eigenen Tastatur. Woher hätten sie auch die artfremden Fermente, das artfremde Protoplasma hernehmen sollen? Dass sie entsprechend den artfremden Impulsen ihre Schritte regelten, ist schon wunderbar genug.

Dieser Versuch, der besagt, dass die Übertragung von Impulsen auf artfremdes Zellmaterial möglich ist, eröffnet ungeahnte Aussichten. Zum mindesten beweist er auf das Eindringlichste die Unabhängigkeit der Impulse vom Stoff.

Wenn man die angeführten Ergebnisse der neuesten Untersuchungen überblickt, so erhält man bereits einen flüchtigen Überblick über die Richtung, die die drei technischen Wege einschlagen. Zwar sind wir noch weit davon entfernt die drei technischen Wege, die gemeinsam ihre Impulsschritte den Zellen aufzwingen, in allen Einzelheiten zu entwirren, aber es ist doch schon möglich einige grundlegende Eigenschaften der technischen Wege festzustellen.

Als obersten Grundsatz konnten wir aufstellen, dass alle Zellen, die den gleichen technischen Schritt ausführen (mag dieser auf dem anfänglichen allen Zellen des Keimes gemeinschaftlichen Wege oder auf einem der späteren Abzweigungen, die nur von einzelnen Zellgruppen betreten werden, ausgeführt werden) immer einem gemeinsamen Impulse gehorchen.

Wie steht es aber mit den Zellen, die zwar auf der gleichen Strasse wandern aber um einige Schritte vor den anderen voraus sind? Auch darauf antwortet Spemann: Man kann den Austausch zwischen voraussichtlicher Medullarplatte und voraussichtlicher Epidermis bei zwei Keimen vornehmen, von denen sich der eine am Anfang, der andere am Ende der Gastrulation befindet, mit dem Ergebnis, dass die verpflanzten Stücke sich wie nach dem

Austausch zwischen zwei gleichalten Keimen ortsgemäss weiter gestalten. Dabei behalten sie aber ihr verschiedenes Alter bei. Man findet daher etwa im älteren Keim ein Stück Gehirn, welches weniger weit umgestaltet ist, als seine Umgebung — es hätte im jüngeren Keim zur Epidermis werden sollen; man findet im jüngeren Keim ein Stück Epidermis, welches weiter umgestaltet ist als seine Umgebung — es hätte im älteren Keim Gehirn werden sollen. Beide Stücke lassen sich infolge ihres verschiedenen Umgestaltungsgrades noch spät als ortsfremde Bestandteile erkennen.

Das beweist, dass es ebenso unmöglich ist einer Zelle auch nur einen technischen Schritt zu ersparen, indem man sie unter Zellen versetzt, die bereits eine längere Strecke Weges zurückgelegt haben, als auch eine Zelle zu zwingen, den gleichen Weg zweimal zurückzulegen, indem man sie unter Zellen versetzt, die weniger weit vorgeschritten waren.

Zugleich offenbart uns dieser Versuch, dass die einzelnen technischen Schritte viel kleiner sind als die grossen Wegabschnitte, die wir bisher als Marken benutzt haben.

So viel wissen wir jetzt: Eine jede Zelle wandert mit ihren Weggenossen den gleichen Weg und gehorcht den gleichen wegweisenden Impulsen wie diese. Hat sie die gleiche Schrittzahl wie die anderen zurückgelegt, so kann sie ohne weiteres den Platz einer jeden mitschreitenden Zelle einnehmen. Alle gemeinsam schreitenden Zellen stellen somit das einheitliche Material dar, aus dem die wegweisenden Impulse jede Organgestalt zu bilden vermögen. Hat das Material an Menge abgenommen, so können dennoch die Impulse selbst aus der noch vorhandenen Hälfte der Zellen die gleiche, wenn auch verkleinerte Organgestalt hervorgehen lassen. Zehn Zellen können ebenso gut im Kreise aufgestellt werden wie zwanzig — nur wird der Kreis entsprechend kleiner sein.

Wie verhalten sich aber die Zellgruppen zueinander, die gleichzeitig, aber auf verschiedenen Wegen wandern? Darauf lautet die Antwort: sie beeinflussen sich gar nicht.

Der mitgeteilte Versuch von Braus mit der verkleinerten Pfanne, in die der normalgrosse Humeruskopf nicht mehr hineinpasst, enthielt bereits die eben gegebene Antwort. Braus hat aber einen noch viel verblüffenderen Versuch mitgeteilt, der mit Recht ein grosses Aufsehen verursacht hat. Er berichtet hierüber¹⁾: Bei fast allen schwanzlosen Lurchen werden die Anlagen der Vorderbeine zusammen mit den Kiemen durch eine häutige Schutzdecke, das Operculum überwachsen, das während des Larvenstadiums bestehen bleibt. Kommt die Zeit heran, da das Tier an Land geht und seiner Vorderbeine bedarf, so entsteht im Operculum ein Loch, aus dem die inzwischen fertig ausgebildeten Vorderbeine herausschlüpfen. Dieses Loch entsteht, wie

¹⁾ Braus: Über die Gesetzlichkeit der Körperform. Verhandlungen des Naturhistor. Vereins Heidelberg. Neue Folge. XIV. 1920.

Braus zeigen konnte, auch wenn die Vorderbeinanlagen unter dem Operculum wegoperiert worden sind, so dass jetzt kein Bein mehr vorhanden ist, das durchschlüpfen könnte. Die Bildung des Loches im Operculum gehört zum technischen Weg der Operculumzellen, ob der technische Weg der Beinanlage wirklich begangen wird, ist für die Operculumzellen, die ihre eigene Marschroute haben völlig gleichgültig.

Am weitesten geht die Unabhängigkeit jener Organanlagen, die alle zur Funktion nötigen Gewebsanlagen in sich schliessen. Diese können bis zur Bildung eines selbständigen Mechanismus fortschreiten und sogar isoliert ihre Teilfunktion ausüben. So ist es Eckmann im Brausschen Laboratorium gelungen, die Anlage des Herzens einer Unke herauszupräparieren und isoliert zu züchten. Braus gibt darüber folgende Mitteilung¹⁾: „Bei schonender Behandlung überhäutet sich das herausgenommene Stückchen von selbst, so dass ein kleines Kügelchen entsteht, das mit dem blossen Auge gerade sichtbar ist, in welchem aber das Herz des Tieres zur Entwicklung kommt und selbsttätig schlägt. Unter dem Mikroskop kann man die einzelnen Teile des Herzens sehen und ihre Schlagfolge studieren..... Ein neuer Organismus lebt, der nichts als Herz ist.“

Wie steht es aber mit jenen Anlagen, die nicht alle Faktoren in sich schliessen, die nötig sind um einen geschlossenen Mechanismus zu bilden?

Nachdem es Harrison gelungen war, eine Methode zu finden, um einzelne Organanlagen in der eigenen Lymphe des Tieres weiter wachsen zu lassen, wurde von ihm und dann von Braus festgestellt, dass aus isolierten Zellen des Medullarrohrs Nerven auswachsen, die wie Pseudopodien mancher Amöben lange Fäden bilden, die aber keine bestimmte Richtung nehmen. Hier sehen wir, dass der Impuls zwar einsetzt, der letzte Schritt aber nicht zu Ende geführt werden kann, weil ihm das Ziel fehlt, das im normalen Ablauf der Gestaltung vielleicht im Muskel der Extremität gelegen ist.

Aus all diesen Beispielen lässt sich wohl der Schluss ziehen, dass der Gestaltungsvorgang des Keimes ein rein technischer ist. Jeder technische Vorgang lässt sich auf eine zeitlich gegliederte Folge von Impulsen zurückführen. Jeder neue Impuls ruft eine neue Stoff- oder Gestaltsänderung hervor, die an einem ganz bestimmten Ziel ihren Abschluss findet. Diese nach beiden Seiten abgegrenzte Stoff- oder Gestaltsänderung nannte ich einen technischen Schritt. Die technischen Schritte besitzen das Charakteristikum nur der Zeit nach miteinander zusammenzuhängen. In ihrem gesamten Zusammenhang stellen sie einen vielfach verzweigten technischen Weg dar. Dieser zeitliche Zusammenhang ist kein kausaler, sondern ein planmässiger, wie die Abfolge der Töne in einer Melodie. Während aber die gleichzeitig angeschlagenen Töne in einem Akkord zusammenklingen, ist das bei den technischen Schritten

¹⁾ Braus: Tierische Propfungen. Chimären und Teilzüchtungen ausserhalb des Körpers. Süddeutsche Monatshefte. 1921.

nicht der Fall. Die gleichzeitig aber auf verschiedenen Wegen zurückgelegten Schritte haben untereinander gar keinen Zusammenhang.

Sie können wohl harmonisch genannt werden, weil sie Teile einer grossen harmonischen Zeitgestalt sind. Irgend eine Möglichkeit, sich gegenseitig zu beeinflussen, besteht aber nicht. Der gesamte Gestaltungsvorgang geht ruhig seine verschiedenen Strassen weiter, völlig unbekümmert darum, ob einzelne Wege gar nicht oder nur von einer ungenügenden Anzahl von Zellen begangen werden.

Die gegenseitige mechanische Beeinflussung der Zellgruppen im Keime, die im engen Raum dieses Körpers unvermeidlich ist, spielt keine richtunggebende Rolle. Sie ist im Gegenteil im Plane des technischen Weges vorausgesehen, genau so wie die mechanischen Bedingungen innerhalb der einzelnen Zelle. Alle materiellen Faktoren werden mitbenutzt, sie gehören mit zu den notwendigen Beziehungen, die beim Einsetzen der Impulse die normale Voraussetzung bilden. Geraten sie in Unordnung, so wird dadurch wohl die Abfolge der technischen Schritte gestört, aber irgendwelchen zusammenfassenden Einfluss auf das Fortschreiten der gleichzeitig auf verschiedenen Wegen befindlichen Zellen haben sie nicht.

Das ändert sich von Grund aus, sobald die Gewebe gebildet worden sind und die Körperfunktionen eingesetzt haben. Deshalb ist es notwendig, die Vorgänge der Regeneration streng von den Vorgängen bei der Entstehung aus dem Keim zu trennen.

Der auf dem technischen Bildungswege befindliche Keim ist kein in sich geschlossener Mechanismus sondern soll erst einer werden. Alle mechanische Betrachtungsweise, welche die sich bildenden Organe als eine funktionelle Einheit anspricht, ist von der Hand zu weisen. Solange es sich nicht um mechanische Leistungen sondern um Gestaltung handelt, ist der technische Gesichtspunkt der allein massgebende.

Die Stufen des technischen Weges.

Wenn wir nur den Zellteilungsweg und den Gewebsteilungsweg im Auge haben, sehen wir die technischen Schritte geradlinig ablaufen, d. h. der Weg vom Keim bis zum Endziel kann nicht mit weniger Schritten erreicht werden. Es lässt sich schlechterdings nicht behaupten, diese Vorgänge könnten auf irgendwelche Weise abgekürzt werden.

Anders liegen die Dinge für den Organbildungsweg. Für Polypen, Medusen und ähnliche, freilich scheint auch der Organbildungsweg, der vom Keim über Morula und Blastula zur Gastrula als ihrer typischen Körperform führt, der kürzeste zu sein.

Aber sobald die Gastrula nicht mehr den Grundstock des Körpers bildet, sondern wie bei den höheren Tieren nur als Mittel dient, um die drei Keimblätter zu liefern, müssen wir doch die Möglichkeit zugeben, dass dieses

Ziel auf kürzerem Wege durch Gewebsspaltung und Höhlenbildung der Morula zu erreichen wäre, besonders in den Fällen, wo der Urmund weder zum Mund noch zum After wird.

Diese Betrachtung würde gewiss eine müßige Spekulation sein, wenn sich nicht in späteren Stadien der Organgestaltung die Möglichkeit der Abkürzung des technischen Weges immer wieder aufdrängte.

Betrachten wir z. B. den Querschnitt eines Hühnerembryos, wie ihn Kölliker auf Seite 81 seines klassischen Grundrisses der Entwicklungsgeschichte abgebildet hat. Da sehen wir drei vom mittleren Keimblatt stammende Organanlagen, den Urnierengang, die Urwirbel und die Chorda, abgebildet, die sämtlich nicht zur Ausbildung gelangen, sondern nur eine vorläufige Gruppierung des Zellmaterials darstellen, aus dem ganz andere Organe hervorgehen sollen.

Es ist nur allzu bekannt, welche Flut von Vererbungspekulationen solche und ähnliche Tatsachen hervorgerufen haben. Hier handelt es sich um etwas ganz anderes, nämlich zu entscheiden, wie der technische Weg zu zeichnen ist, um diesen Tatsachen gerecht zu werden.

Wiederum sind es die Ergebnisse der Forschungen Spemanns, die auf diese Tatsachen Licht werfen. Spemann konnte zeigen, dass mit Beginn der Gastrulation bei Triton in der oberen Urmundlippe ein „Organisationszentrum“ auftritt, von dem aus, wie er sich ausdrückt, „Differenzierungsströme“ ausgehen, die den bisher indifferenten Zellen des äusseren Keimblattes die neue Gestaltungsrichtung aufzwingen. Von Zelle zu Zelle eilen die neuen Impulse, wie ich mich ausdrückte, um ihnen den neuen technischen Schritt aufzuzwingen.

Spemann konnte nun zeigen, dass, wenn man zwei Keime im ersten Gastrulationsstadium halbiert, wobei man den Schnitt genau durch die Mitte der oberen Urmundlippe gehen lässt, man es in der Hand hat, zwei rechte oder zwei linke Keimhälften so zur Verheilung zu bringen, dass sich nun sowohl unter wie über dem Urmunde eine halbe Oberlippe befindet. Jede dieser halben Oberlippen beherbergt jetzt ein Organisationszentrum, das sich aus der ihr zugekehrten halben Unterlippe ergänzt und darauf ihre Differenzierungsströme sowohl auf der Ober- wie auf der Unterseite des Keimes ausbreitet. Die Folge davon ist, dass sich auf beiden Seiten des Keimes eine Medullarplatte ausbildet und der ganze Keim zwei Medullarplatten erhält.

Hier sehen wir deutlich, dass sich in den bisher indifferenten Zellen ein neuer treibender Faktor niedergelassen hat, der die Umgestaltung des Keimes in die Hand nimmt und sich gegen alle Wahrscheinlichkeit auch in den gänzlich bestimmungsfremden Zellen durchzusetzen vermag. Dieser Faktor scheint selbst nicht materieller Natur, denn er lässt sich ohne weiteres verdoppeln, wenn man die Zellgruppe, in der er aufgetreten ist, halbiert. Zudem sind auch die Ströme, die von ihm ausgehen, ebenfalls nicht materieller Natur. Materielle Wirkungen könnten bestenfalls als Reize wirken und in ver-

schiedenen Zellen verschiedene Reaktionen hervorrufen. Die Zellen sind aber noch gar nicht verschieden, sondern werden erst durch diese Ströme verschieden gemacht, und zwar ohne Rücksicht darauf, ob diese Differenzierung mit ihrer Bestimmung übereinstimmt oder nicht.

Nehmen wir an, dass sich der neue Faktor nicht auf die Urmundlippe niedergelassen hätte. Was würde dann aus dem Tritonkeim werden, falls die Gestaltung weiter ginge? Aller Wahrscheinlichkeit ein polypenähnliches Wesen, weil die Polypen und ihre Verwandten dieses Faktorens entbehren. Dass dieses Wesen lebensfähig wäre, ist nicht anzunehmen, da die Gewebs- teilung von Triton nicht der des Polypen entspricht und das Fermentklavier von Triton nicht imstande wäre, Polypengewebe zu liefern.

Durch das Auftreten des neuen Organisationszentrums wird der Gastrula- keim von Triton auf eine höhere Stufe gehoben.

Wir werden, um dieser Tatsache gerecht zu werden, den technischen Weg der Organbildung der niederen Gastrulatiere als in einer Ebene ver- laufend zeichnen. Den technischen Weg der Keime höherer Tiere aber in dem Augenblick, da sie den neuen Organisationsimpuls erhalten, nach einer höheren Ebene umbiegend zeichnen, die um eine Stufe über der Ebene der niederen Tiere gelegen ist.

Ob sich eine solche Stufenfolge wiederholt lässt sich noch nicht behaupten. Wahrscheinlich ist sie aber in all den Fällen, wo bereits bekannte Organ- anlagen sich zeigen und diese plötzlich verlassen werden, um anderen auf einer höheren Stufe der Mannigfaltigkeit stehenden Organanlagen Platz zu machen. Das plötzliche Abschwenken des technischen Weges ist in manchen Fällen sehr deutlich. Die sich bereits zu bestimmten Organanlagen gliedernden Zellen, hören auf sich in der gegebenen Richtung zu gestalten und werden zu indifferentem Baumaterial für einen neuen Bauplan.

Ob wir aus diesen Tatsachen der Keimesgeschichte auf entsprechende Vorgänge in der Stammesgeschichte überhaupt schliessen dürfen, ist eine Frage, die nicht hierher gehört.

Hier genügt es festzustellen, warum der technische Weg der höheren Tiere nicht geradlinig zu verlaufen braucht; weil nämlich jeder neu ein- setzende Impuls die Möglichkeit hat alle Zellen, soweit sie nicht durch Gewebs- teilung einseitig festgelegt sind, in neue Bahnen zu zwingen. Das ist aber nur deshalb möglich, weil keine Zelle eine individuelle Subjektregel besitzt, sondern ihr die Subjektregel zugleich mit all ihren Weggenossen Impuls für Impuls aufgezwungen wird.

Technische und mechanische Funktionen.

Auf dem Physiologen-Kongress in Würzburg zeigte Wessely zwei aus- gewachsene Kaninchen, von denen das eine ein normales und ein zu grosses Auge, das andere ein normales und ein zu kleines Auge besass.

Dies merkwürdige Ergebnis hatte Wessely dadurch erzielt, dass er bei beiden Kaninchen die Linse des einen Auges entfernte und den Regenerationsprozess der neuen Linse unter verschiedener Spannung der Linsenmuskeln ablaufen liess.

In dem einen Fall regenerierte eine zu grosse, im anderen eine zu kleine Linse. Das Merkwürdige aber war, dass das Wachstum aller übrigen Gewebe des betroffenen Auges, selbst der knöchernen Orbita, mit dem Wachstum der Linse gleichen Schritt hielt. Wodurch das seltsame Ergebnis erzielt wurde.

Vergleicht man diesen Versuch mit dem angeführten Versuch von Braus, der bewies, dass die Verkleinerung der Pfannenanlage keinerlei Einfluss auf das Wachstum des Humeruskopfes besitzt, so sieht man, dass die beiden Ergebnisse sich schnurstrack widersprechen. Wenn es sich um Keimesgestaltung handelt, werden die benachbarten Organanlagen durch die anormalen Grössenverhältnisse der operierten Anlage gar nicht beeinflusst — wenn es sich um Regeneration eines bereits fertigen und funktionierenden Gefüges handelt, nehmen alle Nachbarorgane am veränderten Wachstum Teil.

Was hat sich inzwischen geändert, wodurch die Beziehungen der Nachbarorgane so von Grund aus umgestaltet wurden?

Der technische Weg hat sein Ziel erreicht. Aus den auf der Wanderschaft befindlichen Zellen sind Gewebszellen von Organen geworden, die einem geschlossenen Mechanismus angehören und gemeinsam mit allen übrigen Organen ihren Dienst tun. Das erreichte Ziel bildet überall die Hemmung für den technischen Schritt. Während des Ablaufes des Gestaltungsvorganges waren die Ziele, die von den gemeinsam marschierenden Zellgruppen auf den verzweigten technischen Wegen von Schritt zu Schritt erreicht wurden, voneinander isoliert und hatten gar keine Beziehungen zueinander.

Das wird mit einmal anders, sobald das Körpergefüge ausgebildet ist und der Bauplan des Mechanismus die bisher unabhängig nebeneinander marschierenden Zellgruppen zu einer geschlossenen Einheit miteinander verbindet, wodurch auch die bisher getrennten Ziele zusammengefügt werden.

Ich habe darauf hingewiesen, dass bei der Keimesgestaltung, im Gegensatz zur Herstellung unserer Maschinen, kein äusserer Baumeister eingreift, sondern dass der zeitliche Erbauungsplan (die Entstehungsmelodie) selbst seine Rolle übernimmt und die Impulsfolge regelt. Ebenso wird die fertige Maschine von einem ausserhalb stehenden Betriebsleiter übernommen, der dafür zu sorgen hat, dass der räumliche Bauplan, der sich in den Beziehungen der Teile untereinander und zum Ganzen ausspricht, erhalten bleibe. Diesen äusseren Betriebsleiter ersetzt nun im Lebewesen der räumliche Bauplan selbst, der einen Impulsakkord und keine Impusmelodie darstellt. Der räumliche Bauplan ist wie der zeitliche Erbauungsplan ein aktiver Faktor.

In dem Augenblick, da die Gewebe und Organe fertiggestellt sind — wenn, wie wir sagen, die Funktion beginnt, geht die technische Leitung aus der Hand des Erbauungsplanes in die Hand des Bauplanes über. Ich nenne diesen Augenblick den kritischen Punkt.

Nach dem kritischen Punkt beginnt die Funktion. Unter Funktion versteht man zweierlei; einmal die Beziehung der Leistung zum Bauplan des Mechanismus (mechanische Funktion), zweitens die durch den Bauplan gegebenen Beziehungen der Teile des Mechanismus unter sich und zum Ganzen, wodurch die Leistungen erst möglich gemacht werden (technische Funktion).

Die mechanische Biologie bekümmert sich nur um die Leistungen der Lebewesen und ihre Beziehungen zum Bauplan des Körpers. Wobei die Frage nach dem eigentlichen Wesen des Bauplanes, ob er einen passiven oder aktiven Faktor darstellt, gar nicht gestellt wird. Diese Frage aber ist es gerade, die die technische Biologie zu beantworten sucht.

Der Wesselysche Versuch zeigt uns schlagend die aktive Wirkung des Bauplanes, so weit es sich um das Wachstum der Organe handelt. Seine Funktion, im technischen Sinne, beherrscht die Gesamtheit der Zellen und lenkt sowohl die Teilungsvorgänge der Gewebszellen wie ihre Gestaltungsvorgänge. Auch hier werden wir technische Wege und technische Schritte aufzusuchen haben.

Der Bauplan beherrscht aber auch aktiv die Regenerationserscheinungen und da offenbart sich sehr bald der Zwiespalt, den man bereits aus seiner Definition heraus lesen kann und den uns die räumliche Anschauung eines einzelnen Bauplanes stets vor Augen führt. Der Bauplan stellt wie ich sagte, die Beziehungen der Teile untereinander und zum Ganzen dar. Welche dieser Beziehungen die stärkeren sind, kann nur von Fall zu Fall durch den Versuch entschieden werden.

Bald überwiegen bei der Regeneration die Beziehungen des einen Teiles bald die des anderen, bald überwiegen die Beziehungen einzelner Teile die des Ganzen, bald ist es umgekehrt.

Das Beobachtungsmaterial, das heute vorliegt, ist schon sehr gross, aber noch gar nicht zu entwirren, weil so viele Faktoren mitsprechen, die wir nicht übersehen. Wir wissen z. B. nicht, warum bei einigen Tieren gewisse Organe regenerieren, bei den nächsten Verwandten aber nicht. Solange wir nicht wissen, welche Fermentastatur den einzelnen Gewebszellen mitgegeben ist, können wir darüber nichts aussagen.

Mit dem eigentlichen Betrieb des Körpermechanismus hat die Naturtechnik, die sich nur mit der Gefügebildung befasst, nichts zu tun. Eine jede Tierhandlung verläuft vollkommen zwangsläufig und rein mechanisch. Sie verlangt daher ein bis in die letzte Einzelheit ausgebautes Gefüge. Ob dieses Gefüge aber dauernd vorhanden ist, oder ob es von Fall zu Fall neu gebildet wird, ist dabei gleichgültig.

Die Möglichkeit, das Gefüge stets neu zu bilden, wird vor allen von dem Zentralnervensystem der höchsten Tiere in weitem Masse ausgenutzt. Die Neubildung des Gefüges, die immer auf dem Eingreifen von Impulsen beruht, verschafft diesen Tieren die Möglichkeit Erfahrungen zu sammeln.

Durch die im vorstehenden angebahte Trennung der Lebensvorgänge in mechanische und technische (indem ich ihre Lehre als zwei getrennte Zweige der Biologie darstellte), hoffe ich das Verständnis für die Lebensvorgänge selbst erleichtert zu haben und zugleich die Aufmerksamkeit auf die zwar nicht sichtbare aber „übersichtbare“ Zeitgestalt gelenkt zu haben, die nicht nur das zeitlich gegliederte *Plasmodium vivax*, sondern auch den Menschen von seiner Geburt bis zum Tode zu einer ununterbrochenen Einheit verbindet.
