

# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Dritter Jahrgang.

31. Dezember 1915.

Heft 53.

## Die Kennzeichen des Lebens.

Von Prof. Dr. A. Pütter, Bonn.

Wenn es schon nicht leicht ist, logisch die Kriterien des Lebens zu umgrenzen, so wird es vollends praktisch häufig unmöglich, Merkmale festzustellen, durch die der lebende Zustand in einem bestimmten Augenblick erkannt werden kann. Die Aussage, ein Organismus, den wir untersuchten, „lebt“, kann einen sehr verschiedenen Sinn haben. Wir können damit in erster Linie sagen wollen: er besitzt *Lebensfähigkeit*, er *wird* alle typischen Lebenserscheinungen zeigen, wenn wir ihn unter geeignete Bedingungen bringen. In einem solchen Falle, in dem wir nur die *Lebensfähigkeit* behaupten, können wir im Augenblick keine *Lebenserscheinungen* an dem Organismus konstatieren, und der Beweis für die Richtigkeit unserer Behauptung ist nur zu erbringen durch nachträgliche Kultur unter geeigneten Bedingungen, bei der sich dann zeigen muß, ob die Fähigkeit, sich zu teilen, die Fähigkeit der Vermehrung vorhanden ist.

Sobald wir die Fähigkeit, sich zu teilen und wiederum teilungsfähige Tochterindividuen hervorgehen zu lassen, bei einem Organismus festgestellt haben, wissen wir sicher, daß er lebt, daß *er alle notwendigen und hinreichenden Bedingungen erfüllt*, durch die wir den Zustand des Lebens kennzeichnen.

Der weiteste Sinn, den die Aussage, ein Organismus „lebt“, haben kann, ist also der: er teilt sich und zeigt damit seine virtuell unbegrenzte Erhaltungsfähigkeit bei wechselndem stofflichen Bestande. Aber es gibt sehr viele Elementarorganismen, sehr viele Zellen und Zellarten, die sich nicht teilen, vielleicht sogar unter den günstigsten äußeren Lebensbedingungen sich nicht mehr teilen *können*, und die trotzdem noch Jahre, Jahrzehnte lang leben; z. B. teilen sich im menschlichen Körper nach der Geburt nicht mehr die Zellen, aus denen die Kristallinse des Auges aufgebaut ist, es teilen sich die Sinneszellen (Stäbchen- und Zapfenzellen) nicht mehr, die in der Netzhaut des Auges liegen, und auch das ganze Heer der Nervenzellen (Ganglienzellen), die in dem Gehirnteil der Netzhaut des Auges, im Rückenmark und im Gehirn liegen, haben schon bei der Geburt ihre Teilungsfähigkeit verloren, und zwar haben sie nicht nur die Teilungen eingestellt, solange sie im wohl erhaltenen Verbands der Organe liegen, sondern auch bei Verletzungen, wenn andere Zellarten durch lebhaftes Teilung das Verlorengegangene regenerieren, erweisen sie sich als völlig unfähig zu dieser Leistung.

Trotzdem besteht gar kein Zweifel darüber, daß diese teilungsunfähigen Zellen *lebende* Elementarorganismen sind, freilich solche, deren Leben durch den unvermeidlichen Tod begrenzt ist, während für eine teilungsfähige Zelle eine solche Begrenzung nicht unbedingt besteht, wie die virtuelle Unsterblichkeit von Protozoen und Bakterien unter günstigen Lebensbedingungen sowie diejenige der Geschlechtszellen am deutlichsten zeigt.

Zellen, die sich nicht teilen und trotzdem leben, beobachten wir nicht nur im Gewebsverbande der Tiere und Pflanzen, sondern auch bei Einzelligen unter bestimmten Bedingungen. In jeder Bakterien-, Hefen- oder Pilzkultur können wir einen Zustand antreffen, in dem die Organismen zwar noch leben, wie sich an ihrem oft noch sehr lebhaften Stoffumsatz zeigt, aber sich nicht mehr vermehren, keine Teilungen mehr ausführen.

Bei einer Reihe von Zellen erfolgt nach der letzten Teilung, die sie in ihrem normalen Lebensablauf vollziehen, noch ein beträchtliches *Wachstum*, und auch diese Leistung kann als hinreichendes Kennzeichen des Lebens dienen. So wachsen die embryonalen Nervenzellen, deren Zahl sich nicht mehr vermehrt, so auch die Zellen der Niere, in der es nach der Geburt kaum mehr zur Bildung neuer Harnkanälchen kommt, in der die Zahl der Zellen kaum zunimmt, und die beim Erwachsenen doch 12,5mal schwerer als beim Neugeborenen ist, bei der also jede Zelle ungefähr auf das 12fache Volumen, d. h. etwa auf das 2,3fache in jeder linearen Dimension gewachsen ist, ohne sich geteilt zu haben.

Wir sehen im Wachstum und in der Teilung, in den Prozessen, die zur Vermehrung der lebendigen Substanz führen, die deutlichsten Zeichen des sogen. *Baustoffwechsels*, der Fähigkeit, neue artgleiche Stoffe in charakteristischer räumlicher Anordnung aus artfremden, räumlich nicht bestimmt geordneten Stoffen aufzubauen.

Aber auch eine Zelle, die sich nicht mehr teilt, und die nicht mehr wächst, muß noch Prozesse des Baustoffwechsels unterhalten, muß neue lebendige Substanz aufbauen können, um den Verlust an Stoffen zu decken, mit dem jede Lebens-tätigkeit verbunden ist, sie muß aber ferner noch die Fähigkeit haben, die Prozesse des sog. *Betriebsstoffwechsels* zu unterhalten. Im Betriebsstoffwechsel werden die Nahrungsstoffe umgesetzt, gespalten oder verbrannt, und die freie Energie, die dabei auftritt, wird zu den Leistungen des Organismus verwendet. Diese Energie wird teils beim Aufbau neuer lebendiger Substanz

verbraucht, und erscheint außerdem in den verschiedenen Energieformen, die lebende Organismen zu produzieren vermögen.

Wenn wir an einer Zelle, die sich nicht teilt und nicht wächst, die Tatsache des Lebens feststellen wollen, so liegt es am nächsten, zu untersuchen, ob sie *Stoffwechselprozesse* zeigt. In den Vorgängen des Stoffwechsels sehen wir ja so recht eigentlich dasjenige, was für das Leben charakteristisch ist.

Die Verwendung von Stoffwechselvorgängen als Kriterien des Lebens bietet aber eine Reihe von Schwierigkeiten, die gerade da am deutlichsten hervortreten, wo uns am meisten daran liegt, scharfe Unterscheidungsmerkmale für „belebt“ und „unbelebt“ zu haben, an den Grenzen zwischen Leben und Tod. Sehen wir zunächst von der Schwierigkeit ab, daß unsere chemischen Methoden im allgemeinen viel zu grob sind, um an einer einzelnen Zelle den Stoffwechsel feststellen zu können, so ist auch dann, wenn genügende Mengen von Zellen zur Verfügung stehen, mit dem Nachweis eines chemischen Umsatzes, der durch die Zellen bewirkt wird, noch nicht der Nachweis des Lebens erbracht.

Die verbreitetsten Stoffwechselvorgänge sind: der Verbrauch von Sauerstoff und die Produktion von Kohlensäure, Prozesse, die nach alter Tradition als *Atmung* bezeichnet werden. Zwar verbrauchen nicht alle Organismen Sauerstoff, und wir können uns nur Wesen denken, die als Endprodukt ihres Kohlenstoffumsatzes keine Kohlensäure liefern, sondern vielleicht Oxalsäure oder Ameisensäure usw.; ja tatsächlich bilden jene seltsamen Wesen, die anorganisches Material oxydieren, um aus ihm ihre Betriebsenergie zu ziehen, keine Kohlensäure, sondern etwa Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure, Wasser (aus Wasserstoff), salpetrige oder Salpetersäure (aus Ammoniak) und dergleichen; aber wenn wir das Fehlen von Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion bei einer Zellmasse nachgewiesen haben, so können wir wohl behaupten, daß diese Organismen keine Lebenserscheinungen zeigen, daß sie tot oder im Zustande des latenten Lebens sind. — Daß dieser letztere Zustand, bei dem die Lebensfähigkeit noch erhalten ist, durch Kulturversuche zu erkennen wäre, wurde schon oben erwähnt. — Viel schwieriger liegt die Sache, wenn wir Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion an einer Substanz nachweisen können und nun sagen sollen, ob sie lebt oder nicht. Diese Frage muß im Hinblick auf die zahlreichen Untersuchungen erörtert werden, die in den letzten Jahren über den Sauerstoffverbrauch oder die Kohlensäureproduktion bei überlebenden Geweben, im Organbrei oder bei Preßsäften von Organen oder Organismen gemacht worden sind.

Daß in den Preßsäften, z. B. von Hefen, keinerlei Substanzen enthalten sind, die man als „lebendige“ bezeichnen dürfte, ist seit *Buchners* Untersuchungen über die „*Zymase*“ als gesichert anzu-

sehen, und doch zeigen diese Säfte, die keine geformten Bestandteile enthalten, eine für das „Leben“ der Hefezellen charakteristische Fähigkeit, die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure. Diese Fähigkeit besitzt u. a. auch die Acetonhefe, die durch Eintragen von Hefezellen in Aceton und Auswaschen mit Äther erhalten wird, eine Behandlung, bei der das „Leben“ zerstört wird.

Behandelt man in derselben Weise Staphylokokken<sup>1)</sup>, so erhält man ein Pulver, das in wäßrigen Lösungen erheblichen Sauerstoffverbrauch und entsprechende Kohlensäureproduktion zeigt, die sich bei geeignet gewählter Temperatur stundenlang auf gleicher Höhe erhalten und einen respiratorischen Quotienten ( $\text{CO}_2 : \text{O}$ ) von 0,65—0,90 ergeben, also — nur an diesen Kriterien gemessen — durchaus der „physiologischen Verbrennung“ innerhalb lebender Organismen gleichen.

Als „lebendig“ werden wir die mit Aceton und Äther behandelten Kokken nicht betrachten wollen, obgleich die mikroskopische Untersuchung keine Veränderung in der Struktur erkennen läßt. Daß sie nicht mehr vermehrungsfähig sind, ist direkt nachgewiesen.

Vielleicht noch handgreiflicher zeigt sich die Trennung von „Atmung“ und Lebensfähigkeit bei den Eiern von Seeigeln (*Parechinus miliaris*), bei denen wir an die Möglichkeit, daß sie eine Aceton-Äther-Behandlung lebend überstehen sollten, gar nicht denken können, und wo doch das aus ihnen bereitete Acetonpulver noch einen meßbaren Sauerstoffverbrauch zeigt (*Meyerhoff* l. c.).

Was mit dem Sauerstoff geschieht, den die angeführten Präparate verbrauchen, woher die Kohlensäure stammt, die sie abgeben, das ist nicht ohne weiteres zu sagen, denn es ist durchaus keine zwingende Annahme, daß sie zu den gleichen Prozessen verbraucht werden, bzw. aus ihnen entstehen, wie in der lebenden Zelle. Wir können es der Kohlensäure nicht ansehen, ob sie aus der Verbrennung von Eiweiß, Fett, Kohlenhydraten oder aus Spaltungen, z. B. des Zuckers, stammt (die thermochemische Untersuchung läßt eine Entscheidung zwischen den beiden Möglichkeiten zu), wir können es auch dem verschwindenden Sauerstoff nicht ablauschen, welche Stoffe er oxydiert.

Denken wir z. B. daran, daß Lecithin, das in allen Formen lebendiger Substanz vorkommt, mit Sauerstoff eine Autoxydation<sup>2)</sup> eingeht, die durch die katalytische Wirkung, z. B. von Eisensalzen, zu nennenswerter Geschwindigkeit gebracht werden kann, so würde uns schon ein Teil des Sauerstoffverbrauches, der von dem Leben unabhängig ist, verständlich erscheinen.

1) O. Warburg und O. Meyerhof, Über Atmung in abgetöteten Zellen und in Zellfragmenten. Pflüg. Arch. Bd. 148 (1912), S. 295—310.

2) T. Thunberg, Untersuchungen über autoxydable Substanzen und autoxydable Systeme von physiologischem Interesse. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 24 (1911), S. 90.

Wenn ein Organ frisch dem lebenden Körper entnommen wird, so lebt es in diesem Augenblick noch, wird es dann zerkleinert, so kann man an dem Organbrei noch längere Zeit Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion beobachten, die aber in quantitativer Hinsicht sich sehr bald bedeutend von dem Verbrauch des intakten Organs unterscheiden, nämlich viel geringer werden. *Batelli* und *Stern*<sup>1)</sup> unterscheiden auf Grund einer ganzen Anzahl von Untersuchungen zwischen „Hauptatmung“ und „akzessorischer Atmung“, die an dem Brei verschiedener Organe (Leber, Niere, Milz, Lunge, Gehirn, Pankreas) nachweisbar sind. Die Hauptatmung nimmt nach Herstellung des Organbreis rasch ab, wird durch Gifte in geringen Dosen ganz aufgehoben, hat ihr Optimum bei 40°, wird durch Alkohol- und Acetonfällung vernichtet. Die akzessorische Atmung dagegen erhält sich stunden-, selbst tagelang auf ziemlich unveränderter Höhe, wird durch Gifte erst bei hohen Dosen herabgesetzt, ist bei 50° stärker als bei 40° und wird auch durch Alkohol- oder Acetonfällung nicht aufgehoben. In der „akzessorischen Atmung“ haben wir sicherlich nur den Ausdruck enzymatischer Prozesse zu sehen, die den Namen „Leben“ nicht mehr beanspruchen dürfen. Ob die „Hauptatmung“ des Organbreies noch als Ausdruck des „Lebens“ anzusehen ist, kann nicht sicher behauptet werden.

Wir können also sagen: wenn wir eine Substanz als „lebendige Substanz“ bezeichnen wollen, so ist eine *notwendige* Eigenschaft, daß sie einen Stoffwechsel haben muß, aber in dem Nachweis eines solchen können wir noch keine *hinreichende* Kennzeichnung lebendiger Substanz gegenüber nicht lebendiger oder abgestorbener erblicken, denn auch an Substanzen, die wir keinesfalls mehr als lebendige bezeichnen dürfen, können Stoffwechselvorgänge ablaufen. Die Möglichkeit von Stoffwechselprozessen ist nicht an die Erhaltung der *normalen Struktur* der lebendigen Substanz gebunden, auch wenn diese zerstört ist, kann noch Stoffwechsel nachweisbar sein, wenn auch in vermindelter Intensität und vielleicht in veränderter Qualität.

Wenn wir nach weiteren Kennzeichen des Lebens suchen, so bietet sich noch die Fähigkeit der *Energieproduktion* als methodisches Hilfsmittel zur Unterscheidung von belebt und unbelebt. Es könnte scheinen, als ob wir ein Kennzeichen zweiter Ordnung benutzten, wenn wir die erkennbaren Energieumwandlungen zur Kennzeichnung des Lebens verwenden, denn — wie schon betont — stammt die Energie, welche Lebewesen abgeben, aus dem Umsatz der Nahrungsstoffe im Betriebsstoffwechsel. Man könnte also meinen, wir wiesen durch die Produktion verschiedener Energieformen nur die Tatsache des Betriebsstoffwechsels nach.

Dieser Einwand gegen die Verwendung der Energieproduktion als Zeichen des Lebens in den Fällen, in denen die Untersuchung des Stoffwechsels zu keiner klaren Entscheidung geführt hat, trifft in der Tat für drei Energieformen zu: für Wärme, Licht und chemische Energie. Wärme entsteht bei den allerverschiedensten physikalischen (Lösung, Kristallisation) und chemischen (Neutralisation, Spaltung, Oxydation) Vorgängen, und Wärmeproduktion eignet sich daher zur Kennzeichnung des lebendigen Zustandes nicht besser als der Nachweis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureproduktion. Das Licht, das Organismen produzieren, beruht ausschließlich auf Chemolumineszenz und ist nicht nur in lebendigen Systemen, sondern auch in abgesondertem Schleim nachweisbar („Sekretleuchten“), den wir keinesfalls mehr lebendig nennen können.

Die chemische Energie der lebenden Organismen, die sich z. B. in der Synthese bestimmter Stoffe äußert, kann auch nicht als ein allein hinreichendes Kennzeichen des Lebens betrachtet werden, denn auch Enzyme, die keinesfalls mehr lebend zu nennen sind, können Synthesen ausführen, gar nicht zu reden von den Oxydations- und Spaltungsvorgängen, die wir schon vielfach als Leistungen einzelner, aus abgetötetem Material hergestellter Enzyme kennen gelernt haben.

Wenn wir aber die Produktion *mechanischer Energie* oder die *Elektrizitätsproduktion* als Kennzeichen des Lebens benutzen, liegen die Verhältnisse anders, und wir weisen durch diese Fähigkeiten mehr nach, als nur die Tatsache des Stoffwechsels.

Mechanische Energie produzieren lebendige Systeme in verschiedener Form; uns beschäftigen hier nur die Fälle, in denen sie in Form von aktiven Bewegungen sichtbar wird.

Die Fähigkeit, sich aktiv zu bewegen, ist ja von altersher das souveräne Kennzeichen des Lebens. Den einfachsten Fall stellen die sogenannten „spontanen“ Bewegungen von Tieren und Pflanzen dar, wie sie sich als amöboide Bewegung, Flimmerbewegung, Muskelbewegung, Plasmaströmung verbreitet in Pflanzen- und Tierreich zeigen. Besteht kein Zweifel an der Dauer des Lebens, solange „spontane“ Bewegungen zu beobachten sind, so muß in den Fällen, in denen keine spontanen Bewegungen mehr ausgeführt werden, geprüft werden, ob durch Reize noch Bewegungen ausgelöst werden können.

Hier kommt also ein neues, und ungemein wichtiges Kennzeichen des lebendigen Zustandes zur Verwendung: Die *Reizbarkeit* oder *Erregbarkeit* (Irritabilität), und in dieser Hinsicht geht die Verwendung der Bewegungserscheinungen als Kriterium des Lebens über das hinaus, was der Nachweis des Stoffwechsels lehrt.

Für den geordneten Ablauf des Lebensgeschehens ist eine ganz bestimmte *räumliche Anordnung* der reagierenden Stoffe und ein bestimmter *zeitlicher Ablauf* aller Einzelreaktionen er-

<sup>1)</sup> Biochem. Zeitschr. Bd. 21, S. 504–505.

forderlich, es sind nicht nur Prozesse des *Stoffwechsels*, die zur Erhaltung des Lebens notwendig sind, sondern auch Prozesse des *Stoffaustausches* zwischen den einzelnen Teilen eines lebenden Systems.

Der Ablauf dieser Prozesse des Stoffaustausches wird nun noch viel mehr als jener der Stoffwechselvorgänge beherrscht von der *räumlichen Anordnung der Elementarteile*, d. h. von der Struktur der lebendigen Substanz.

Die geordnete Lagerung der Teile, die *Struktur*, ermöglicht erst die Umwandlung chemischer Energie in mechanische und elektrische, d. h. in Energieformen, deren Entstehung viel unwahrscheinlicher ist, als jene von Wärme (*Boltzmann*), und die Erhaltung der Struktur ist eine *notwendige*, wenn auch vielleicht noch nicht hinreichende *Bedingung* für die „Erregbarkeit“.

Wenn wir aktive Bewegungen, die auf Reize erfolgen, bei Organismen beobachten, so haben wir nicht nur das Bestehen eines zum Leben hinreichenden Stoffwechsels, sondern auch die *physiologische Intaktheit der Struktur* nachgewiesen.

Unter *physiologischer Intaktheit* der Struktur verstehen wir nicht das unveränderte Aussehen eines histologischen Präparates der betreffenden Zellart! Es kann eine Zelle im histologischen Bilde, wie es die heutige mikroskopische Technik liefert, ganz unverändert aussehen und kann doch schon solche Störungen der physiologisch wichtigen, jenseits der Leistungsgrenze des Mikroskopes liegenden Strukturen erlitten haben, daß sie auf Reize nicht mehr mit Energieproduktion zu antworten vermag, und es kann andererseits eine Zelle histologisch schwer verändert erscheinen und doch noch funktionsfähig sein, wenn die Funktion auch vielleicht nicht mehr normal in bezug auf Quantität oder Qualität ist. So erscheint ein mit Fluornatrium vergiftetes Darmepithel histologisch nicht geschädigt, während es sich im physiologischen Versuch wie eine tote Membran verhält und die charakteristischen Eigenschaften des lebenden Epithels völlig verloren hat, die diesem ermöglichen, Stoffe durch den aktiven Vorgang der Resorption *gegen das Konzentrationsgefälle* vom Darmlumen zum Blut zu transportieren, und andererseits Stoffen, wie dem Zucker, den Durchtritt vom Blut in den Darm zu verwehren.

Das Kennzeichen der Ausführung von Bewegungen, seien es spontane oder Reizbewegungen, läßt aber bei sehr vielen lebenden Gebilden im Stich, weil es eine ganze Anzahl von Zellarten gibt, die überhaupt keine Bewegungen ausführen. (Abgesehen von den Massenverschiebungen, die bei der Teilung und beim Wachstum stattfinden, und die uns hier nicht interessieren, da wir ja die Kennzeichen des Lebens bei Zellen, die sich nicht mehr teilen und nicht wachsen, erörtern wollen.) An Sinneszellen, Ganglienzellen und peripheren Nerven, an den Epithelien

der Haut und vieler Schleimhäute sowie an den Drüsenzellen sind entweder überhaupt keine Bewegungen nachweisbar, oder diese treten doch nicht in einer Weise in die Erscheinung, daß man sie als Kriterien des Lebens verwenden könnte. Bei allen diesen Arten lebendiger Substanz verfügen wir nun über ein ganz außerordentlich feines Kennzeichen des Lebens: das ist die Produktion von *Elektrizität*, welche mit dem geordneten Ablauf des biochemischen Geschehens verbunden ist. Durch unsere feinen Instrumente, vor allem durch das Saitengalvanometer, das auch sehr *schnellen* Änderungen der elektrischen Potentiale mit seinen Bewegungen zu folgen vermag, kann sie nachgewiesen werden. Bei einem lebenden Gebilde, wie dem peripheren Nerven, ist der Nachweis des Aktionsstromes das *einzige* Kriterium, das wir zur Unterscheidung des lebenden und toten Zustandes benutzen können. Erfolgt auf irgendeine Einwirkung auf den Nerven ein Aktionsstrom, so haben wir „Erregbarkeit“ nachgewiesen. Es kann aber die Erregbarkeit schwinden, und trotzdem das Leben noch nicht zerstört sein, wie die Rückkehr der Erregbarkeit unter geeigneten Bedingungen lehrt. An einem solchen unerregbar gewordenen Nerven haben wir vorläufig kein *momentan anwendbares* Kriterium zur Unterscheidung des lebenden und toten Zustandes, und erst *nachträglich*, wenn die Erregbarkeit nicht wiederkehrt, können wir konstatieren, daß der Tod bereits (wann?) eingetreten war, während die Rückkehr der Erregbarkeit den Fortbestand des Lebens anzeigt.

Zeigt uns die Erregbarkeit, festgestellt an Bewegungen oder Aktionsströmen, indirekt die Intaktheit der Struktur, so entsteht die Frage, ob wir bei Zellen, die keine Reizbewegungen zeigen, und bei denen aus äußeren Gründen keine Elektrizitätsproduktion nachweisbar ist, Mittel haben, um die *Intaktheit der Struktur* direkt nachzuweisen. Ein generell anwendbares Mittel zu diesem Nachweise fehlt uns vorläufig, aber wir können schon die Richtung angeben, in der sich die Forschungen bewegen müssen, die uns ein solches vielleicht verschaffen werden.

Seit langem betrachtet die Botanik den Nachweis, daß eine Zelle lebt, als erbracht, wenn sie die Fähigkeit zeigt, durch Salzlösungen entsprechender Konzentration „*plasmolisiert*“ zu werden, während eine Zelle, die diese Fähigkeit eingebüßt hat, als tot gilt. Hier wird der Nachweis der normalen osmotischen Eigenschaften der Plasmahaut als Kennzeichen des Lebens verwendet. Für tierische Zellen ist ein der Plasmolyse entsprechender Versuch nicht zu machen, aber im Prinzip liegt ein ganz ähnlicher Gedanke den Versuchen zugrunde, die in letzter Zeit vielfach über die Unterschiede im osmotischen Verhalten einerseits, in der Fähigkeit der Quellung und Entquellung andererseits für lebende und abgestorbene oder abgetötete Gewebe durchgeführt worden sind. Wenn wir z. B. die Kontraktion

des Muskels als eine Quellungserscheinung auffassen und die Totenstarre als die letzte Kontraktion, auf die keine Entquellung (Expansion) folgt, wie bei dem normalen Muskel, sondern eine *Gerinnung*, die als „Lösung der Totenstarre“ bemerkbar wird, so würden wir den Eintritt des Todes auf den Moment festlegen, in dem die Eiweißkörper des Muskels in der *Gerinnung* eine *irreversible* Zustandsänderung erfahren haben, also auf den Moment der *Lösung der Starre*, da im Stadium der Starre noch die Möglichkeit einer Entquellung und damit einer Rückkehr zur Erregbarkeit, zum Leben bestehen würde; denn die Säurequellung des Muskels ist ein reversibler Prozeß. Wir müßten dann den totenstarren Muskel noch als „lebend“ bezeichnen, obgleich er nicht mehr erregbar ist und keine Elektrizitätsproduktion zeigt.

Im Prinzip steht nichts im Wege, entsprechende Methoden auf den unerregbaren peripheren Nerven oder andere Systeme anzuwenden, die keine Lebenserscheinungen zeigen und doch noch lebensfähig sind. Das Wesentliche würde bei diesen Mitteln zur Kennzeichnung des lebenden oder lebensfähigen Zustandes darin liegen, daß durch bestimmte physikalische Eigenschaften direkt die *Intaktheit der Struktur* der lebenden Substanz nachgewiesen wird, die wir bisher nur indirekt durch die Erregbarkeit oder die Fähigkeit zur Produktion mechanischer oder elektrischer Energie nachweisen konnten.

Fassen wir zusammen, so kann man sagen: Das einzige völlig unzweideutige und *allein* hinreichende Kennzeichen des Lebens ist die Produktion neuer lebendiger Substanz im *Wachstum* oder der *Zellteilung*.

Für Systeme, die diese Fähigkeit nicht mehr besitzen, kann der Nachweis der Belebtheit als erbracht gelten, wenn an ihnen aktive Bewegungen oder Elektrizitätsproduktion auf Reize hin, d. h. also *Erregbarkeit* nachgewiesen ist.

Der Nachweis von Sauerstoffverbrauch oder Kohlensäureproduktion zeigt das Vorhandensein eines *notwendigen*, aber allein nicht *hinreichenden* Kennzeichens des aktuellen Lebens: des *Stoffwechsels*, der aller lebenden Substanz zukommt, solange sie sich nicht im Zustande des latenten (virtuellen) Lebens befindet.

Während aber die Produktion von Bewegung und von Elektrizität sowie das Bestehen von Erregbarkeit die *Erhaltung der normalen Struktur* der lebendigen Substanz fordert, ist diese für die Stoffwechselvorgänge nicht unbedingt erforderlich. Nur die quantitativen Unterschiede in der Intensität der Prozesse der Atmung (oder Gärung) bei lebenden und abgetöteten Organismen sowie der Verlauf in länger dauernden Versuchen ermöglichen meist eine Unterscheidung dieser beiden Zustände. Als allgemeinstes Definitionsmerkmal jenes lebenden Zustandes, in dem die Vermehrungsfähigkeit verloren gegangen ist,

können wir allein die *Intaktheit der Struktur* betrachten, der räumlichen Anordnung der kleinsten Teile, die — nicht mit dem Mikroskop nachweisbar — sowohl die Erregbarkeit wie die Produktion von Elektrizität und mechanischer Energie unter geeigneten Bedingungen ermöglicht, und zu deren Nachweis physikalische Methoden verwendet werden müssen, die wir noch nicht in solcher Feinheit und allgemeinen Anwendbarkeit besitzen, daß wir in jedem Falle eine entschiedene Antwort auf die Frage geben können, ob eine Zelle, die wir untersuchen, „lebt“ oder tot ist.

Als den Moment des Zelltodes würden wir den Zeitpunkt zu bezeichnen haben, in dem die räumliche Anordnung der feinsten Teile, die *Struktur* der Zelle zerstört wird, so daß das geordnete Zusammenwirken aller der vielen Einzelprozesse nicht mehr möglich ist, die *alle* notwendigen Bedingungen des Lebens sind, und deren *Gesamtheit* wir erst mit dem Namen „*Leben*“ als etwas *Eigenartig-Einheitliches* dem viel einfacheren, nicht *organisierten* Geschehen in der unbelebten Natur gegenüberstellen.

Wir erhalten also eine Skala der Kennzeichen des Lebens: Das höchste Kriterium ist die *Fähigkeit* der Teilung, der *Vermehrung*, das folgende der Nachweis der „*Erregbarkeit*“, die sich in der Fähigkeit äußert, mechanische und elektrische Energie zu produzieren, und das letzte: der Nachweis der *Intaktheit der Struktur*, ein Kennzeichen, das prinzipiell auch auf die Zustände des latenten Lebens anwendbar wäre, zu dessen Anwendung uns aber zurzeit noch vielfach die experimentelle Möglichkeit fehlt.

## Die XVII. ordentliche Hauptversammlung der Schiffbau- technischen Gesellschaft.

(Schluß.)

### Das Wesen der Schiffshavarien.

Vorgetragen von

Diplomingenieur Fr. W. Achenbach, Berlin.

Sicherheit des Passagierverkehrs und Zuverlässigkeit der Warenbeförderung zur See sind elementare Anforderungen an die internationale Schifffahrt; sie können durch systematische Auswertung der Erfahrungen bei Seeunfällen unter Veredelung der schiffbaulichen Konstruktionen gesteigert werden. Von diesem Gedanken geleitet, hat der Vortragende in gedrängter Form eine Darstellung vom Wesentlichen der Seeunfälle gegeben.

Vom Standpunkt der Zweckmäßigkeit teilt er die Schiffsunfälle in drei Gruppen:

I. Die Ursache der Beschädigung oder des Totalverlustes ist bekannt:

1. Strandung,
2. Zusammenstoß,
3. Eis,
4. schweres Wetter,