

Zeitschrift für angewandte Chemie

44. Jahrgang, S. 709—724

Inhaltsverzeichnis: Siehe Anzeigenteil S. 601

29. August 1931, Nr. 35

Über Strahlungerscheinungen an biologischen Objekten.

Von Dr. H. SCHREIBER,

Oberassistent am Institut für Strahlenforschung der Universität Berlin.

Vorgetragen in der Fachgruppe für Photochemie auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in Wien am 28. Mai 1931*).

(Eingeg. 27. Mai 1931.)

Die an Lebewesen beobachteten Strahlungerscheinungen sind von zweierlei Art, je nach den Wellenlängen der emittierten Strahlung. Auf das sichtbare Spektralgebiet entfallen die Erscheinungen der Biolumineszenz, der Erzeugung von Licht bei Tieren und Pflanzen, und im Ultravioletten sollen sich die Erscheinungen der sogenannten mitogenetischen Strahlung abspielen. Beides sind biologische Vorgänge, die besonders in ihrer Bedeutung für das lebende Objekt grundsätzlich voneinander verschieden sind und die hier nur aus äußeren Gründen zusammen behandelt werden. Die Existenz der mitogenetischen Strahlung kann überdies auch heute noch nicht als gesichert gelten, sie wird von einem sehr großen Teil der Forscher abgelehnt.

a) Die Erscheinungen der Biolumineszenz.

Nur wenige Gegenstände gibt es, die bei Vertretern so vieler verschiedener Wissenschaftswege Beachtung und Interesse erregten wie die Biolumineszenz, das bisweilen auftretende kalte Leuchten in der belebten Natur (1). Neben Biologen haben Physiker, Chemiker und auch Beleuchtungstechniker sich bemüht, ihre Probleme zu klären und sie ihren Zwecken nutzbar zu machen.

Die Biolumineszenz ist in der Natur ziemlich weit verbreitet. Die leuchtenden Lebewesen gehören recht verschiedenen Gruppen der Tier- und Pflanzenwelt an. Während man aber im Tierreich leuchtende Organismen von den einzelligen Lebewesen, den Protozoen, an über Quallen, Weichtiere, Stachelhäuter, Insekten usw. bis hinauf zu den Fischen vorfinden kann, ist im Pflanzenreich das Vermögen, Licht zu emittieren, nur auf die niederen Organisationsstufen, nämlich Bakterien, Algen und Pilze beschränkt. Inwieweit bei manchen höheren Tieren für das Leuchten eine Symbiose mit Leuchtbakterien verantwortlich zu machen ist, sei hier nicht weiter erörtert¹⁾.

Die leuchtenden Organismen kann man in zwei Klassen einteilen, je nachdem sich die Leuchterscheinung vollkommen innerhalb ihrer Zellen abspielt (intracellulare Lumineszenz), oder ob von einzelnen bestimmten Drüsenzellen Leuchtmaterie nach außen abgesondert wird (extracellulare Lumineszenz). Der biologische Vorgang bei letzterer wird durch die Abb. 1 veranschaulicht, die einen Schnitt durch die leuchtende Hautschicht eines Tausendfüßlers zeigt. Gewisse Zellen der Haut besitzen die Fähigkeit, ein Leuchtskret auszusondern, das dann mit Schleim vermischt über die Körperoberfläche verteilt wird. Auf dem Bild sind solche Leuchtzellen in ihren verschiedenen Stadien gut zu erkennen. Wegen der verhältnismäßig leichten Gewinnbarkeit der leuchtenden

Materie sind Organismen mit extracellulärer Lumineszenz besonders geeignet für chemische Untersuchungen. Demgemäß wurden die wichtigsten Erkenntnisse über die für das Leuchten verantwortlichen chemischen Reaktionen an zwei Vertretern jener Klasse, nämlich an Cypridina, einem Krebs, und Pholas, einer Muschel, gewonnen.

Für physikalische oder anders gerichtete Untersuchungen dagegen sind auch Leuchtkörperchen mit intracellulärer Lumineszenz von Bedeutung. Auch bei ihnen sind für die Erzeugung des Lichtes ganz beson-

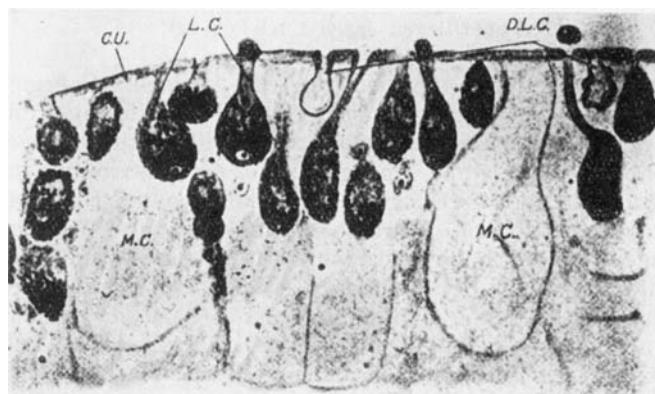


Abb. 1. Schnitt durch das Leuchtepithel von *Chaetopterus* (nach Dahlgren).

CU = Cuticula, LC = Leuchtzellen, D.L.C. = entleerte Leuchtzellen, MC = Schleimzellen.

dere Zellen vorhanden. Jedoch spielen sich die Vorgänge, die zur Lichtemission führen, vollkommen innerhalb dieser Zellen ab, nach außen wird kein Leuchtwasser abgesondert. — Besonders bei den Vertretern dieser Klasse findet man die mannigfachsten Typen von Leuchtkörperchen. Die höher entwickelten Formen (Insekten und Tiefseefische) sind oft mit höchst komplizierten Lampen ausgerüstet (2), die mit — manchmal beweglichen — Reflektoren, Linsen, Spektralfiltern und Verdunkelungseinrichtungen versehen sein können. Als Studienobjekt besonders geeignet sind von den Organismen mit intracellulärer Lumineszenz jedoch nur Leuchtbakterien und Leuchtkäfer.

Besonders die Leuchtbakterien, die sich leicht auf verwesendem Fleisch entwickeln und in einfacher Weise weitergezüchtet werden können, sind oft für physikalische Untersuchungen benutzt worden. Das emittierte Licht besteht bei ihnen wie auch bei den anderen Leuchtbakterien aus einem kontinuierlichen Spektralband, das ganz im Sichtbaren liegt und keinerlei Banden oder Linien aufweist. Die Farbe des Lichtes variiert je nach Aufenthaltsort und Lebensweise der betreffenden Tiere zwischen Bläulich bis Gelblich. — Meeresbewohner bevorzugen meist Blau, vielleicht weil dicke Wasserschichten für blaues Licht die größte Durchlässigkeit besitzen. Land-

* Verhandlungsthema: „Chemilumineszenz“. Der Vortrag Beutler „Elementarprozesse der Chemilumineszenz“ wird ausführlich in dieser Zeitschrift erscheinen. Referat vgl. S. 490.

¹⁾ Es muß diesbezüglich auf das Buch von P. Buchner (vgl. Literaturverz.) verwiesen werden.

und Luftbewohner dagegen senden meist Licht mit einem Intensitätsmaximum im Grünen aus. Diese spektrale Zusammensetzung entspricht am besten den Bedürfnissen des menschlichen Auges und wohl auch des tierischen, da dieses ebenso wie das menschliche auf das Licht der Sonne mit seinem Intensitätsmaximum in Grün abge-

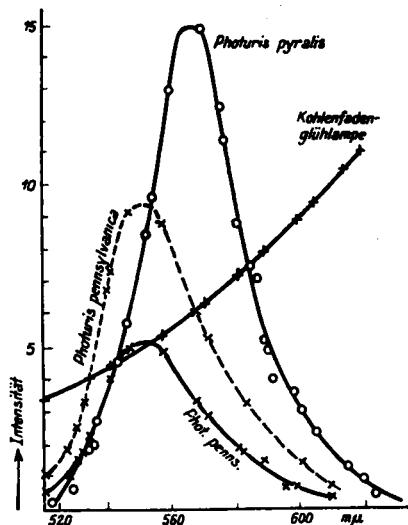


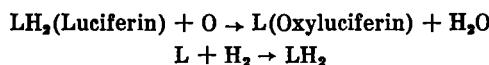
Abb. 2. Spektrale Energieverteilung des Lichtes verschiedener Feuerfliegen (nach Coblenz).

stimmt sein dürfte. Abb. 2 zeigt die spektrale Energieverteilung des Lichtes verschiedener Feuerfliegen. Zum Vergleich ist noch die spektrale Verteilungskurve einer Kohlefadenglühlampe angegeben, deren Maximum im Ultraroten liegt. Über die Emission von unsichtbaren Strahlen (Ultrarot, Ultraviolet und kürzere Wellenlängen) ist bei keiner einzigen Form etwas bekannt. Die Fälle, in denen bei Leuchttieren angeblich kurzwellige Strahlung gefunden sein sollte, konnten sämtlich auf unreine Versuchsbedingungen zurückgeführt werden. Tierisches Licht, das beim Entstehen nicht polarisiert ist, kann wie jedes gewöhnliche andere Licht polarisiert, reflektiert oder gebrochen werden und vermag, seinen Wellenlängen entsprechend, auch photochemische Wirkungen auszuüben. Seine Intensität schwankt bei den verschiedenen Lebewesen beträchtlich. Bei der Feuerfliege (*Photinus pyralis*) ergaben Messungen eine Helligkeit von etwa $0,03 \text{ HK/cm}^2$, das Licht der Leuchtbakterien ist noch um einige Größenordnungen schwächer und beträgt etwa 10^{-6} bis 10^{-7} HK/cm^2 (3).

Die chemischen Vorgänge, auf denen die Erscheinungen der Biolumineszenz beruhen, sind vor allem durch Dubois (4), Harvey (5) u. a. wenigstens teilweise aufgeklärt worden. Es konnte nachgewiesen werden, daß dem Leuchtvorgang eine katalytisch beschleunigte Oxydation zugrunde liegt. Die oxydierbare Substanz wurde von Dubois Luciferin genannt, während als Katalysator bzw. Enzym die Luciferase angenommen wird. Beide Stoffe, über deren chemische Natur noch nichts Näheres bekannt ist, können aus einem Leuchtorganismus extrahiert und im Reagensglas weiterstudiert werden. Luciferin ist im Gegensatz zu Luciferase temperaturbeständig, so daß es sich durch Aufkochen des Extraktes isolieren läßt. Luciferase wird gewonnen, indem der Kaltwasserextrakt der Leuchtdrüsen einfach bis zur völligen Oxydation des Luciferins stehengelassen wird. Luciferin und Luciferase werden durch saure Hydrolyse zerlegt und durch einige Enzyme verdaut. Luciferase besitzt die Eigenschaften eines Albumins, während Luciferin den Peptonen nahesteht.

Werden Luciferin und Luciferase in Gegenwart von Wasser und freiem Sauerstoff zusammengebracht, so oxydert sich das Luciferin unter Lichtemission zu Oxyluciferin, welches durch reduzierende Substanzen sowohl im lebenden Organismus als auch in Lösung wieder in Luciferin zurückverwandelt wird. Die Gegenwart von Luciferase ist hierbei für den Leuchtvorgang unbedingt notwendig, sie kann durch kein anderes Oxydationsmittel ersetzt werden. Die Intensität des emittierten Lichtes wird durch die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmt. Seine Farbe ist, wie durch Versuche mit Luciferinen und Luciferasen verschiedener Herkunft gezeigt werden konnte, unabhängig von der Natur des Enzyms.

Die Oxydation von Luciferin entspricht der Bildung der Farbstoffe aus ihren Leukobasen. Nach Harvey findet eine Hydrierung und Dehydrierung statt:



Der erstere Vorgang verläuft unter Lichtentwicklung nur bei Gegenwart von Luciferase. Der hierbei erforderliche Partialdruck des Sauerstoffs ist sehr gering. Leuchtbakterien, die von Harvey in einer Wasserstoff-Sauerstoff-Atmosphäre gezüchtet wurden, büßten ihre Leuchtfähigkeit erst ein, als der Sauerstoffgehalt auf weniger als 0,0007% (dies entspricht einem Partialdruck von 0,0053 mm) reduziert wurde. Wurde der Sauerstoffgehalt erhöht, so stieg auch die Intensität des Lumineszenzlichtes, bis sie bei einem bestimmten Partialdruck ihr Optimum erreichte. Die Eigenschaft der Leuchtbakterien, noch auf geringste Mengen von Sauerstoff mit Aufleuchten zu reagieren, kann als Indikator benutzt werden. Man verfügt so über ein Reagens auf Sauerstoff, das größere Empfindlichkeit besitzt als Natriumhydrosulfit und Indigoweiß (6).

Die Erscheinungen der Biolumineszenz stellen, wie aus dem Gesagten hervorgeht, sowohl in physikalischer als auch in chemischer Hinsicht eine höchst ökonomische Lösung des Problems der Erzeugung sichtbaren Lichtes dar. Sparsam in chemischer Hinsicht ist hier die Natur,

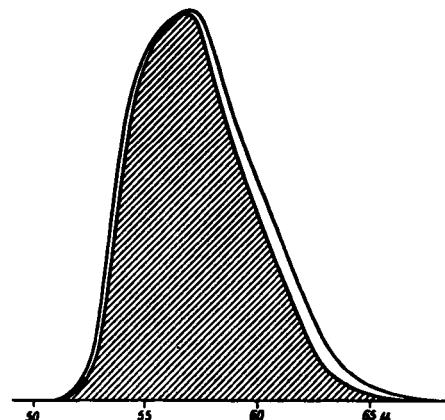


Abb. 3. Spektrale Energieverteilung des Lichtes einer Feuerfliege (äußere Kurve) und die vom menschlichen Auge ausgenutzte Energie (schraffiert). Nutzeffekt etwa 96%.
(Nach Lenard-Schmidt-Tomaschek).

da immer wieder das gleiche Brennmaterial verwendet wird, indem das gleiche Luciferin immer wieder oxydiert und reduziert wird. Fast die gesamte, bei der chemischen Reaktion freiwerdende Energie wird, wie calorimetrische Messungen Harveys ergaben, in Licht umgewandelt, das den Bedürfnissen des Lebens weitgehend angepaßt ist. Berücksichtigt man die Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Wellenlängen, so ergibt sich z. B. bei der Feuerfliege, daß bis zu 96%

der ausgestrahlten Lichtenergie auch wirklich visuell ausgenutzt werden. Für eine Kohlefädenlampe beträgt dagegen der entsprechende Wert nur 0,4% und bei einer gasgefüllten Metallfädenlampe nur 3,2%. Besser

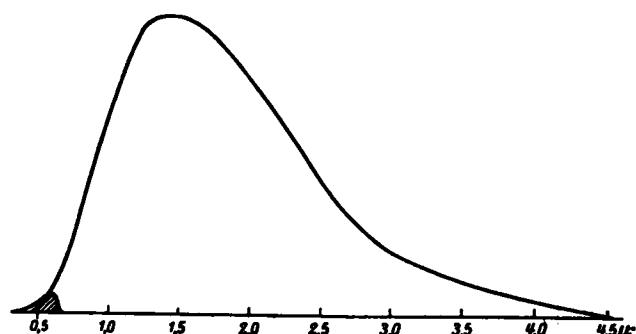


Abb. 4. Spektrale Energieverteilung des Lichtes einer Kohlefädenlampe und die vom menschlichen Auge ausgenutzte Energie (schraffiert). Nutzeffekt etwa 0,4%.
(Nach Lenard-Schmidt-Tomaschek.)

noch als diese Zahlen lassen die Abb. 3 und 4 erkennen, wie weit die Natur wie auf so vielen Gebieten auch hier aller menschlichen Technik überlegen ist.

b) Die mitogenetische Strahlung.

Die zweite biologische Strahlenart, die mitogenetische Strahlung, hat mit den Erscheinungen der Biolumineszenz hinsichtlich ihrer Bedeutung für die betreffenden Organismen keine gemeinsamen Berührungs punkte. Läßt uns die Biolumineszenz ganz allgemein das auf einige Tier- und Pflanzengruppen beschränkte Vermögen ganzer Organismen erkennen, zueinander in irgendwelche Beziehungen zu treten, so ist die mitogenetische Strahlung nach Ansicht ihres Entdeckers, des russischen Histologen Gurwitsch (7), ein universeller Faktor, der bei der Vermehrung der Bausteine eines jeden Organismus, der Zellen, eine maßgebende Rolle spielt.

Alle Zellen, aus denen jeder tierische oder pflanzliche Organismus aufgebaut ist, besitzen gewisse gemeinsame Merkmale. Die hauptsächlichsten Bestandteile einer Zelle sind der Zellkern und der Zellkörper. Wie der gesamte Organismus lebt auch eine einzelne Zelle. Sie kann sich in verschiedener Weise bewegen und spricht auf äußere Reize an, mögen sie nun mechanischer, thermischer, chemischer oder irgendwie anderer Art sein. Eine Zelle kann weiter ihr zugeführte Nahrungs stoffe aufnehmen und verarbeiten, und sie kann sich durch Teilung fortpflanzen. Man kann hier eine direkte Teilung oder Amitose und eine indirekte Teilung oder Mitose (auch Cariokinese) unterscheiden. Amitose ist dadurch gekennzeichnet, daß sich die Zelle ohne wesentliche innere Veränderungen ihres Kerns spaltet. Bei der normalen Form der Zellteilung, der Mitose, dagegen treten komplizierte innere Vorgänge auf, im Verlauf derer die Kernsubstanz in zwei vollkommen gleichen Hälften auf die beiden Tochterzellen übertragen wird. Abb. 5 zeigt schematisiert die einzelnen Teilungsphasen bei der Mitose eines Zellkernes im Hornhautepithel eines Frosches. Die einzelnen mitotischen Phasen, deren nähere Erörterung hier zu weit führen würde, können in Naturpräparaten natürlich nicht immer mit der gleichen Deutlichkeit wie hier auseinandergehalten werden, so daß insbesondere bei nicht ganz erstklassiger Technik oft Zweifel auftauchen können, ob sich ein Zellkern noch im Stadium der Ruhe oder schon im frühesten Zustand der Prophase befindet.

Die Vermehrung der Zellen ist schon seit etwa fünf Jahrzehnten erforscht und morphologisch genau bekannt, aber das Problem der kausalen Bedingungen für die Teilung einer Zelle ist bis heute noch nicht befriedigend gelöst. Auf besondere Schwierigkeiten stieß hierbei schon von jeher die Klärung der Frage nach den Ursachen von Zellteilungen, bei denen ein exogener Reiz angenommen werden mußte, wie z. B. bei Regenerationsmitosen. Wird nämlich ein Gewebe — etwa die Hornhaut oder Cornea eines Froschauges — verletzt, so treten, indem die Natur durch verstärktes Wachstum des angrenzenden Gewebes bemüht ist, den Schaden zu beheben, um die Wunde herum Mitosen in anormaler

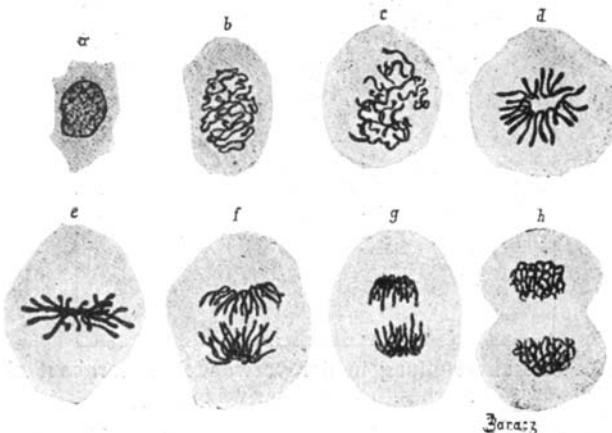


Abb. 5. Zellteilungsbilder in der Hornhaut eines Frosches.
(Nach Szymonowicz.)

- | | | |
|-------------------------------------|---|------------|
| a) Zelle mit Kern während der Ruhe. | } | Prophase. |
| b) Dichter Knäuel, Spiremstadium. | | |
| c) Lockerer Knäuel. | | |
| d) Mutterstern von oben. | | |
| e) Mutterstern von der Seite. | } | Anaphase |
| f) Tochtersterne. | | |
| g) Tochtersterne. | | |
| h) Tochtersterne. | | Telophase. |

Häufigkeit auf. Die Erklärung dieses Phänomens wurde von Haberlandt und von Gurwitsch versucht. Haberlandt (8) konnte zeigen, daß chemisch wirksame Reizstoffe, die bei Verwundungen (Wundhormone) oder auch beim Absterben von Zellen (Nekrohormone) entstehen, imstande sind, Zellteilungen auszulösen. Gurwitsch dagegen kam auf Grund theoretischer Überlegungen zu einer ganz anderen Erklärung der kausalen Bedingungen für die Mitosen und die Zellteilung. Wir wollen im folgenden seine Ansichten und die bisher vorliegenden experimentellen Ergebnisse näher kennenlernen, ohne zunächst selbst Stellung dazu zu nehmen.

Ausgehend von der von Driesch gewonnenen Erkenntnis, daß das „Schicksal eines Teiles eines Embryos im allgemeinen Funktion seiner Beziehungen zum Ganzen“ ist, postulierte Gurwitsch (1922) die Existenz eines embryonalen Feldes, wobei er unter Feld — im physikalischen Sinne — einen begrenzten Raum verstand, in dem die Summe aller Einwirkungen auf ein Objekt — in diesem speziellen Falle eine Embryozelle — durch seinen Ort eindeutig gegeben ist. Zur Stützung und Fortentwicklung dieser Hypothese wurden in der Folgezeit systematische Versuche angestellt, der Begriff dieses „Feldes“ immer enger umgrenzt und sein Inhalt näher festgelegt. Die ersten Versuche betrafen die Cornea des Froschauges. Wurde diese durch eine kleine Brandwunde verletzt, so reagierte das Cornealepithel, wie schon bekannt war, darauf nach einiger Zeit mit intensiver Mitosenbildung, die sich auf die ganze Hornhaut erstreckte. Wurde dagegen gleichzeitig noch möglichst schonend eine schmale strichförmige Wunde gesetzt, so entstand eine an der Mitosenverteilung kenntliche

Schattenwirkung der länglichen Wunde, genau so, als ob der von der Brandwunde ausgehende mitotische Reiz eine Strahlung wäre, für die sich die andere Wunde als halbdurchlässiger Schirm verhielt (Abb. 6). Durch

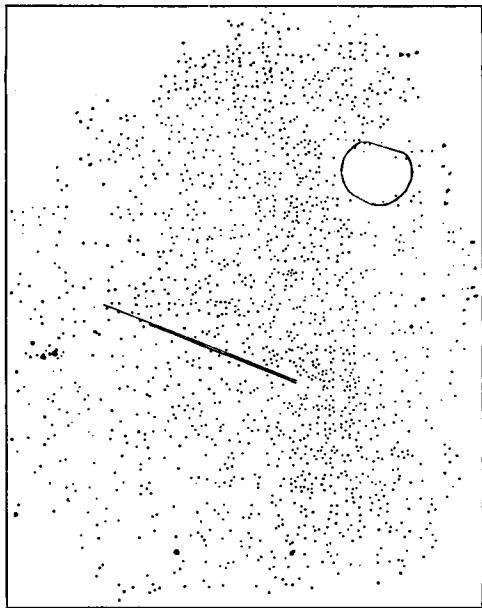


Abb. 6. Mitosenverteilung in der verwundeten Hornhaut eines Frosches. (Nach Gurwitsch.)

dieses Versuchsergebnis war nach Gurwitsch der Strahlungscharakter des von der Brandwunde ausgehenden mitotischen Reizes wahrscheinlich gemacht worden. Mitogenetisch, d. i. mitosenerzeugend²⁾, sollte diese neue Strahlung nur dann wirken, wenn sie auf teilungsfähige Zellen auftrifft.

Bei der nunmehr gewonnenen Überzeugung, daß der mitotische Reiz ein oscillatorischer Prozeß sei, lag die Annahme nahe, daß er sich nicht nur innerhalb lebender Gewebe, sondern auch außerhalb derselben im Raum fortpflanzt. Zur experimentellen Prüfung erschienen besonders Zwiebelwurzeln geeignet, an denen später überhaupt viele mitogenetische Ergebnisse gewonnen wurden.

Wenn man das Wachstum einer beliebigen Wurzel analysiert, so findet man, daß es sich aus zwei Komponenten, dem Teilungs- und dem Streckungswachstum, zusammensetzt. Zellteilungen (Mitosen) treten fast nur in einer an der Wurzelspitze gelegenen, etwa 1 bis 5 mm langen Zone, dem Meristem, auf. In den übrigen Teilen der Wurzel findet ausschließlich Streckungswachstum statt, d. h. die im Meristem neugebildeten Zellen vergrößern sich allmählich, ohne sich wieder zu teilen.

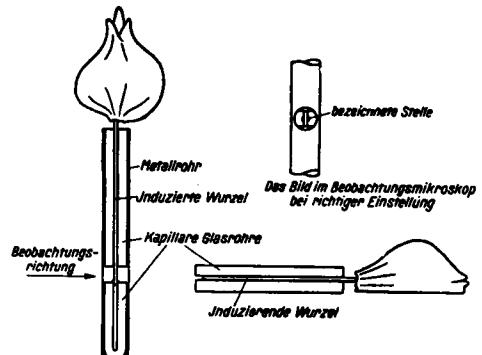


Abb. 7. Mitogenetischer Induktionsversuch mit zwei Zwiebelwurzeln. (Nach Reiter und Gábor.)

²⁾ Später wurde „mitogenetisch“ allgemein in dem Sinne „Zellteilungen erzeugend“ gebraucht, da zuerst durch Baron nachgewiesen wurde, daß auch amitotische Zellteilungen angeregt werden.

Wenn also die mitogenetische Strahlung an Zwiebelwurzeln nachgewiesen werden sollte, so konnte nur das Meristem als Meßinstrument in Frage kommen. Abb. 7 zeigt die experimentelle Anordnung des sogenannten Fundamentalversuchs von Gurwitsch zum Nachweis der mitogenetischen Strahlung an Zwiebelwurzeln. Zwei Zwiebeln werden so angeordnet, daß je eine ihrer Wurzeln senkrecht zueinander mittels Glascapillaren immobilisiert werden kann. Die eine Wurzel dient als Meßinstrument, als Detektor für die Strahlung, während die andere, deren Spitze mikroskopisch auf die Wachstumszone der ersten justiert ist, den Induktor darstellt, also mitogenetische Strahlen aussenden soll. Die beiden Wurzeln werden nach erfolgter Einstellung einige Zeit sich selbst überlassen. Hierauf wird die Detektorwurzel in mikroskopische Längsschnitte — manche Autoren (9) zogen im Gegensatz zu Gurwitsch Querschnitte vor — zerlegt und die Mitosenzahl und -verteilung im Meristem bestimmt. Unter der Annahme, daß bei unbefeuerten Wurzeln die Mitosenverteilung stets radiärsymmetrisch zur Wurzelachse ist, rechnet nun ein Überwiegen der Mitosen an der dem Induktor zugewendeten Seite als positives Ergebnis, während symmetrische Verteilung als negatives Resultat gebucht wird. Eine Verarmung der zugewendeten Seite an Mitosen, die besonders bei langer Versuchsdauer gefunden wurde, wird durch „mitogenetische Erschöpfung“ erklärt (10).

Die zweite nach dem Urteil von Gurwitsch (11) noch bessere Art des biologischen Nachweises benutzt die Eigenschaft der neuen Strahlenart, nicht nur mitotische, sondern auch amitotische Zellteilungen bei einigen einzelligen Organismen anzuregen. Baron, ebenfalls ein russischer Forscher, ließ Zwiebeln auf Agarkulturen von Bierhefe einige Zeit einwirken und bestimmte dann die prozentuale Zahl der in Teilung befindlichen Hefezellen, der Sprossungen, an verschiedenen Stellen der Kultur, die teils der „mitogenetischen Strahlung“ ausgesetzt, teils vor ihr geschützt waren. Auf diese Weise erhielt er einen positiven Ausschlag, indem sich an den beeinflußten Stellen relativ mehr Sprossungen befanden als an den anderen.

Außer mittels der hier erwähnten Methoden wurde die mitogenetische Strahlung auf biologischem Wege noch nachgewiesen durch Vermehrung von Bakterien und durch abnorme Entwicklung von Seeigeleiern. Mit allen diesen Verfahren wurden die mannigfachsten Ergebnisse erhalten und kleinste Einzelheiten festgelegt. So konnte dargelegt werden, daß bei der Zwiebel nicht das Meristem der Wurzel für die Strahlenentstehung in Frage kommt, sondern der Ursprung der Wurzel, der Zwiebelkuchen, auch Zwiebelsohle genannt. Wurde diese mit Chloralhydrat narkotisiert oder die Induktowurzel ganz abgeschnitten, so trat keine Strahlung auf. Das gleiche geschah aber auch, wenn nur die Wurzelspitze entfernt worden war. Wurde letzteres aber getan, solange die Wurzel selbst narkotisiert war, so trat kein Verlust des Strahlungsvermögens ein. Abgeschnittene, der Spitze beraubte Wurzeln erlangten ihr Strahlungsvermögen wieder, wenn sie mit künstlichem Ultraviolett vorbestrahlten wurden. Eine geometrische Konstruktion des Strahlenverlaufes von der Zwiebelsohle zur Wurzelspitze ergab, daß das an der Spitze austretende Strahlbündel annähernd parallel sei und sein Durchmesser nur etwa 40μ betragen dürfe. Auch für dies konnten wie für alle anderen theoretischen Voraussagen bestätigende experimentelle Ergebnisse erhalten werden.

Da weiter nun die Zwiebelsohle als Strahlenproduzent festgestellt war, konnte gefolgt werden, daß auch

Brei daraus eine Induktionswirkung ausübe, was tatsächlich auch der Fall war. Nach dem Vorbild von Du bois und Harvey konnten weiterhin durch entsprechende Versuche zwei für die Strahlenemission notwendige Fermente, die von Gurwitsch Mitotin und Mitotase genannt wurden, aufgefunden werden. Vorstufen dieser Fermente sollten nach späteren Untersuchungen ganz allgemein in den Gefäßbündeln entstehen oder fortgeleitet werden, und ihre Aktivierung sollte im Meristem, nach einer anderen Mitteilung dagegen schon etwa 1 cm vor der Spitze erfolgen. Durch Beugungs-, Spiegelungs- und Absorptionsversuche wurde schließlich auch die Wellenlänge der mitogenetischen Strahlen mit etwa 2000 Å bestimmt.

Nachdem an der Zwiebelwurzel diese Erkenntnisse gewonnen worden waren, wurden noch eine ganze Anzahl anderer pflanzlicher und tierischer Objekte auf mitogenetische Ausstrahlung untersucht. Es ist hier natürlich vollkommen unmöglich, alle die vielen Einzelresultate, die sich zudem, besonders als weitere Forscherkreise sich aktiv für die mitogenetische Forschung zu interessieren begannen, teilweise widersprachen, auch nur zu erwähnen. Lediglich die wichtigsten mögen noch berührt werden. Es wurde festgestellt, daß bei Amphibienlarven das Gehirn unter gewissen Bedingungen für die Strahlenemission in Frage kommt. Gesundes Blut, gesunder Harn und bösartige Geschwülste erwiesen sich weiterhin als besonders gute Strahler. Bei gewissen Krankheiten dagegen büßen, wie Siebert (12) und andere feststellten, Blut und Harn ihr Strahlungsvermögen ein, so daß diese Tatsache für diagnostische Zwecke (z. B. Frühdiagnose auf Krebs usw.) nach der Ansicht einiger Autoren Bedeutung gewinnen könnte. Diese letzten Resultate sind vor allem dafür verantwortlich zu machen, daß die Untersuchungen Gurwitschs besonders in medizinischen Kreisen allergrößtes Aufsehen erregten.

So ist es denn nicht weiter verwunderlich, wenn in den letzten Jahren allerorts die Ergebnisse der russischen Schule aufgegriffen wurden und eine Hochflut mitogenetischer Forschung einsetzte. Die Resultate Gurwitschs wurden in verschiedener Richtung nachgeprüft und darüber hinausgehende neue Einzelheiten mitgeteilt. War anfangs bisweilen sowohl von mitogener, d. h. bei der Zellteilung entstehender, als auch von mitogenetischer, d. h. Zellteilung erzeugender Strahlung die Rede gewesen, so trat allmählich die erste Definition hinter der zweiten völlig zurück, da gefunden worden war, daß sich das Strahlungsvermögen nicht nur auf embryonales, wachsendes Gewebe beschränkte.

Wie weit sind denn nun alle diese Ergebnisse gesichert und tragfähig? Wenn auch vielfach die Ergebnisse der russischen Forscher bestätigt und erweitert werden konnten, so wurden andererseits auch bei scheinbar im großen und ganzen mit Gurwitsch übereinstimmenden Untersuchungen so viel abweichende Einzelresultate erhalten, daß sich bei einem Überblick über die gesamte vorliegende mitogenetische Literatur fast für alle Einzelfeststellungen einander widersprechende Versuchsergebnisse finden lassen. Hiermit wird aber das mitogenetische Strahlungsproblem zurückgeführt auf den Grundversuch, die Existenz der Strahlung selbst nachzuweisen. Alle Schlüsse und Folgerungen aus den Versuchen, die hierüber hinausgehen, sind nach unserer Ansicht, die wir mit noch anderen Autoren teilen, viel zu verfrüht, denn sie stehen und fallen mit der noch umstrittenen Existenz der Strahlung.

Eingangs war gesagt worden, daß die wichtigsten biologischen Nachweismethoden für die mitogenetische Strahlung auf der Mitosenverteilung in Wurzeln und auf der Sprossungsintensität von Hefe beruhen. Die Zwiebelmethode, wie wir kurz den Grundversuch von Gurwitsch nennen wollen, wurde von verschiedenen Seiten mit wechselndem Erfolg nachgeprüft. Schewemle, der sämtliche bis 1929 in der Literatur vorliegenden Zwiebelversuche kritisch auswertete, kommt zu dem Schluß, daß bei Berücksichtigung der Fehlergrenzen selbst die vorliegenden positiven Versuchsergebnisse noch nicht ausreichen würden, um die Existenz der mitogenetischen Strahlen zwingend zu beweisen. Diese Feststellung Schewemles wird durch negative experimentelle Ergebnisse anderer Autoren bestätigt.

Bei der Hefemethode liegen die Verhältnisse ähnlich. Besonderes Licht auf die hier herrschenden Verhältnisse werfen noch unveröffentlichte Versuche von Nakaidzumi und Schreiber. Nach unseren Untersuchungen, deren nähere Darlegung hier zu weit führen würde, sind auch bei der Hefemethodik die Fehlerquellen so groß, daß die Ergebnisse keineswegs als beweiskräftig angesehen werden können. Lebende Zellen reagieren eben auf äußere Reize mechanischer, chemischer und anderer Art oft mit Mitosen bzw. Sprossungen oder, wie dies bei Seegeleieren der Fall ist, mit anormaler Weiterentwicklung. Es ist leider bei der gesamten mitogenetischen Strahlungsforschung oft versäumt worden, Fehlerquellen der angedeuteten Art genügend zu berücksichtigen.

Bei der schon früh erkannten Unsicherheit aller biologischen Nachweismethoden versuchte man, mit physikalischen oder chemischen Hilfsmitteln einen einwandfreien Existenzbeweis zu liefern. Sehr nahe lag bei einer Strahlung die Verwendung der photographischen Platte, wie dies auch oft, aber stets³⁾ mit negativem Erfolg getan wurde. Gurwitsch stellte durch Vergleich mit künstlichem Licht entsprechender Wellenlänge fest, daß die mitogenetische Strahlung intensitätsmäßig nur etwa 1/200 des Schwellenwertes der von ihm verwendeten Photoplatten betrug.

Auf anderem Wege glaubte dann Stempell durch die von ihm gefundene Beeinflussung Liesegang'scher Ringfiguren durch Zwiebelohlenbrei einen einwandfreien Nachweis gefunden zu haben. Doch konnten viele andere Autoren den Mechanismus dieser Beeinflussung aufklären und darlegen, daß hierfür nur ätherische Öle verantwortlich zu machen sind, die gasförmig von dem verwendeten Zwiebelohlenbrei ausgingen.

Auch lichtelektrisch suchte man die mitogenetische Strahlung zu erfassen: Rajewsky mit Zwiebeln, Carcinomen, Blut und gereizten Muskeln, Friedrich und Schreiber mit Hefe. Die von den genannten Autoren angewendeten Methoden, die beide auf dem empfindlichen Geigerschen Prinzip der Zählung einzelner Elektronen beruhten, unterschieden sich von einander durch Gasdruck und Art des lichtelektrischen Metalles. Während Rajewsky Cadmium bei einem Druck von 50 mm verwendete, benutzten wir Kalium bei etwa 2 bis 3 mm Hg. Rajewsky fand nur bei Zwiebeln und Carcinombrei einen positiven Effekt,

³⁾ Positive Resultate erhielt nur Cremonese und in einem einzigen Falle auch Reiter und Gabor. Die Ergebnisse des ersten können wegen der vielen methodischen Fehlerquellen nicht ernstlich als positiv gewertet werden, und Reiter und Gabor legen ihrem einzigen positiv ausgefallenen Versuch selbst keinerlei Bedeutung bei.

wir konnten bei Hefe keine Strahlung feststellen. Die Empfindlichkeit unserer Apparatur war so groß, daß wir einwandfrei registriert hätten, wenn eine einzelne sprossende Hefezelle in etwa einer Viertelstunde ein einziges Quant in Richtung unserer Zelle emittiert hätte. Gurwitsch wandte gegen unsere Versuche ein, daß nach neueren Feststellungen in seinem Institut Hefe nur bei Licht mitogenetisch strahlen würde, während wir wegen des verwendeten Kaliums doch sorgfältig alles Licht von unserer Apparatur ferngehalten hätten. Wir haben daraufhin neuerdings unsere Versuche in etwas abgeänderter Methodik bei Tageslicht mit Platin als licht-elektrischem Metall wiederholt, konnten aber bisher wiederum an Hefe keinerlei mitogenetische Strahlung finden.

Gesenius hat manometrisch die Beeinflussung des Gärungs- und Atmungsstoffwechsels von Hefekulturen durch Blut und Hefe untersucht. Er fand, daß die Gärung erhöht, die Atmung der Hefezellen dagegen vermindert wird, und schloß daraus auf die Existenz der nachzuweisenden Strahlung. Seinen Ergebnissen, die von anderer Seite nicht nachgeprüft wurden, wäre vielleicht gegenüberzustellen, daß Rajewsky mit Blut licht-elektrisch keine Strahlung nachweisen konnte. — Wir sehen also auch hier bei exakten physikalisch-chemischen Methoden einander widersprechende Versuchsergebnisse, für die wir keine Erklärung zu geben vermögen. Das gleiche gilt auch für die öfter angestellten Versuche, mit künstlichem Licht Stimulation, d. h. zellteilungsfördernde Wirkung zu erzielen. Die russische Schule findet diese nur in einem Wellenlängenbereich um 200 m μ , während Reiter und Gabor im Gegensatz dazu eine solche nur um 280 und 340 m μ haben feststellen können.

Zusammenfassend kann man sagen, daß das Problem der mitogenetischen Strahlen von einer Klärung noch sehr weit entfernt ist. Die biologischen Nachweismethoden können sämtlich unseres Erachtens einer

strengen Kritik nicht standhalten, und die angewandten physikalisch-chemischen Methoden waren entweder zu unempfindlich oder haben einander widersprechende Resultate geliefert. Es gilt daher vor allem, vollkommen einwandfreie Methoden auszuarbeiten und vorhandene Widersprüche aufzuklären. Einzelheiten zu untersuchen, ist heute noch unmöglich, denn es werden unseres Erachtens noch viele Versuche nötig sein, um erst einmal die Existenz der mitogenetischen Strahlung einwandfrei zu beweisen oder — was wir nach unseren Erfahrungen beinahe noch eher glauben möchten — zu widerlegen.

[A. 82.]

Literaturverzeichnis.

1. Zusammenfassende Bearbeitungen: H. Molisch, Leuchtende Pflanzen, Jena 1912. R. Dubois, La vie et la lumiere, Paris 1914. E. N. Harvey, The nature of animal light, Philadelphia 1919. A. Pratje, Das Leuchten der Organismen, München 1923. P. Buchner, Tierisches Leuchten und Symbiose, Berlin 1926.
2. U. Dahlgren, Journ. Franklin Inst. 180 [1915]. E. Mangold, H. Wintersteins Hdb. d. vergl. Physiol. 3, II [1910].
3. P. Lenard, F. Schmidt u. R. Tomaschek, Wien, Harms Hdb. d. Experimentalphys. 23, II. 1024.
4. R. Dubois, Bull. Soc. Zool. de France 11, 1 [1886].
5. E. N. Harvey, Naturwiss. 12, 165 [1924].
6. M. W. Beijerinck, Arch. Néerland. 23, 416 [1889]; Botan. Ztrbl. 96, 298 [1904].
7. Zusammenfassende Darstellungen: A. Gurwitsch, Das Problem der Zellteilung, physiologisch betrachtet, Berlin 1926. J. Schwemmlé, Biol. Ztrbl. 49, 421 [1929]. A. Gurwitsch, Protoplasma 6, 443 [1929].
8. G. Haberlandt, Sitzungsber. d. Berl. Akad. 45, 318 [1913]; 46, 1096 [1914]; 51, 320 [1916]; 51, 721 [1919]; 52, 323 [1920]; 53, 221 [1921].
9. T. Reiter u. D. Gabor, Zellteilung und Strahlung, Wissenschl. Veröffentl. Siemens-Konzern, Berlin 1928.
10. H. Sussmanowitsch, Roux-Archiv 113, 753 [1928].
11. A. Gurwitsch, in Abderhaldens Hdb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 2, 1929.
12. W. Siebert, Biochem. Ztschr. 202, 123 [1928]; 215, 152 [1929]; 220, 487 [1930]; 226, 253 [1930].

Über die katalytische Reduktion der Carboxylgruppe.

Von W. NORMANN, Chemnitz.

(Eingeg. 20. April 1931¹⁾.)

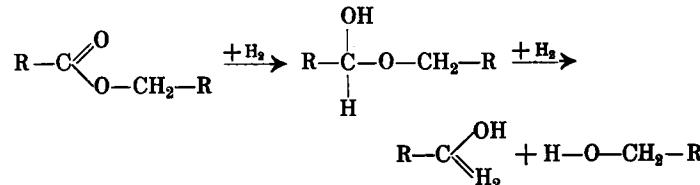
Die nachstehende Untersuchung hatte den Zweck, festzustellen, ob sich die Carboxylgruppe aliphatischer Verbindungen auf katalytischem Wege ebensogut zur alkoholischen Hydroxylgruppe reduzieren läßt wie nach der bekannten Methode mit metallischem Natrium.

Durch eine längere Versuchsreihe wurde gefunden, daß die Reduktion besonders gut mit Kupfer, aber auch mit Nickel und anscheinend auch mit allen übrigen zur Ölhärtung, bezüglicherweise zur Wasserstoffanlagerung an Doppelbindungen geeigneten Katalysatoren durchführbar ist, wenn man geeignete Versuchsbedingungen wählt. Diese wurden gefunden in einem hohen Wasserstoffdruck und einer hohen Temperatur. Man kommt auf diese Weise ohne Schwierigkeit zu einer Ausbeute an Alkohol bis zu 97% der Theorie. Die katalytische Reduktion ist ebenso wie die Natriumreduktion mit einem Ester ausführbar, und im Gegensatz zur Natriumreduktion auch mit freien Säuren.

Es war nicht möglich, für das Studium bzw. für die zahllosen vergeblichen Vorversuche genügende Mengen eines passenden, reinen, einheitlichen Ausgangsstoffes zu beschaffen; die Arbeit wurde daher mit nur an-

nähernd einheitlichen Fraktionen von Äthylester der Fettsäuren natürlicher Fette, mit natürlichen Glyceriden sowie mit reinen Fettsäuren und Gemischen von Fettsäuren, die aus natürlichen Glyceriden freigemacht waren, ausgeführt.

Der Ablauf der Reaktion ist noch nicht ganz sicher gestellt, doch ist an folgender Umsetzung wohl kaum zu zweifeln:



Das Zwischenprodukt, ein Halbacetal, ist noch nicht isoliert worden.

Wurden Glyceride als Ausgangsstoff gewählt, so stellte sich heraus, daß nicht, wie nach der vorstehenden Umsetzungsgleichung zu erwarten ist, Glycerin abgespalten wird, sondern daß dieses Glycerin zum Propylalkohol abgebaut wird. Der Abbau reinen Glycerins zu Propylalkohol wurde zur Bestätigung mit annähernd quantitativem Ergebnis in einem besonderen Versuche durchgeführt.

¹⁾ Die Arbeit war am 27. Oktober 1930 als versiegeltes Schreiben beim V. d. Ch. hinterlegt worden.