

# **Diverse Berichte**

den Eingang zur Rhinophorhöhle schützen, schwach ausgebildet. Die klappenartigen Lappen sind modifizierte Rückenhöcker, wie sie sich auf dem Rücken finden.

## E. Hertel's (Jena) Untersuchungen über die Wirkung von Lichtstrahlen auf lebende Zellen<sup>1)</sup>.

Die Einwirkung des Lichtes auf die Lebewesen hat seit langem alle biologischen Forscher auf das lebhafteste interessiert. So finden wir denn auch Botaniker, Zoologen und Physiologen zu gemeinsamer Arbeit auf diesem aussichtsreichen Forschungsgebiete vereint. Zu diesen Forschern ist aber in den letzten Dezennien auch der Kliniker hinzugekommen, seitdem die Lichttherapie in der klinischen Medizin mit so großem Erfolge geübt wird. Gerade von klinisch-therapeutischen Erwägungen ausgehend hat Hertel bei Anwendung der Lichtbehandlung in der Augenheilkunde praktische Erfolge gesehen, die ihn veranlassten, die Einwirkung des Lichtes auf lebende Zellen einer sorgfältigen experimentellen Untersuchung zu unterziehen. Die Hertel'schen vergleichend-physiologischen Untersuchungen stellen einen wesentlichen Fortschritt auf diesem Forschungsgebiete dar und haben so viele neue allgemein-biologische Erkenntnisse gebracht, dass eine zusammenfassende, ausführliche Besprechung in dieser Zeitschrift gerechtfertigt erscheint.

Seit den Untersuchungen von Widmark, Hammer, Finsen u. a. ist die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Gewebe bekannt, ebenso kennt man schon lange die bakterientötende Wirkung des Lichtes. Aber welcher besonderen Eigenschaft der Lichtstrahlen ihre physiologische Wirksamkeit zukommt, wodurch sie bedingt ist, darüber gaben die früheren Arbeiten keinen genügenden Aufschluss. Außerdem fehlten auch Angaben über die Wellenlängen der wirksamen ultravioletten Strahlen. Um diese Lücken auszufüllen, stellte Hertel zunächst Versuche mit spektral zerlegtem Licht aus dem unsichtbaren Teile des Spektrums an, indem er versuchte, an geeigneten Objekten die Wirkung der

1) Über Beeinflussung des Organismus durch Licht, speziell durch die chemisch wirksamen Strahlen. *Zeitschr. f. allg. Physiologie* Bd. 4, 1904. Über physiologische Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. *Ebenda* Bd. 5, 1905. Über die Einwirkung von Lichtstrahlen auf den Zellteilungsprozess. *Ebenda* Bd. 5, 1905. Einiges über die Bedeutung des Pigmentes für die physiologische Wirkung der Lichtstrahlen. *Ebenda* Bd. 6, 1906. Experimenteller Beitrag zur Kenntnis der Pupillenverengung auf Lichtreize. *v. Graefe's Arch. f. Ophthalmologie* Bd. 65, 1906. Über den Gehalt verschiedener Spektralbezirke an physiologisch wirksamer Energie. *Zeitschr. f. diätetische u. physikal. Therapie* Bd. 10, 1906/1907. Mitteilungen über die Wirkung von Lichtstrahlen auf lebende Zellen. *Nachrichten d. k. Ges. d. Wissenschaften z. Göttingen. Math. physik. Kl.* 1906.

chemisch wirksamen Lichtstrahlen innerhalb verschiedener, aber genau abgegrenzter Wellenlängenbezirke zu analysieren.

Da die Spektren der Metalle die intensivsten Linien im ultravioletten Lichte zeigen, so verwandte Hertel zu seinen Versuchen die Linien der Metallspektren, und zwar die Magnesiumlinie (280  $\mu\mu$  Wellenlänge), weil diese, als die intensivste der chemisch wirksamen Linien die beste Wirkung versprach.

Zuerst wurde der Wirkung dieser Lichtstrahlen (280  $\mu\mu$ ) auf eine Reihe gut beweglicher Bakterien (*Bacterium coli*, Typhus, Cholera, *Vibrio Metschnikoff*, *Bacillus prodigiosus*, *Proteus mirabilis*) untersucht. Die Bakterien zeigen im Beginn der Bestrahlung eine Beschleunigung der Bewegung, die nach wenigen Sekunden einer Verlangsamung und endlich völligem Stillstand Platz macht. Bei Bestrahlung von Fäulnisbakterien, die in kleinen Häufchen zusammengeballt waren, trat ein Zerstreuen der Häufchen auf, worauf eine Verlangsamung und endlich Sistierung der Eigenbewegungen folgte. Die Bakterien waren durch die Bestrahlung nicht nur immobilisiert, sondern auch abgetötet worden, wie die der Bestrahlung folgenden Kulturversuche lehrten. Kontrollversuche zeigten, dass die Nährböden durch das ultraviolette Licht nicht verändert wurden, somit war die direkte Einwirkung des Lichtes auf die Bakterien einwandfrei sichergestellt.

Die Bestrahlungsversuche an Protozoen (*Paramecium aurelia*, *Colpidium colpoda*, *Paramecium bursaria* Ehrenberg und verwandte kleine holotriche Ciliaten) zeigten eine sofort eintretende lebhaft Unruhe der bestrahlten Parameccien, die sich aus dem Strahlenfelde entfernten. Bei länger dauernder Bestrahlung trat Kreisbewegung und endlich Stillstand der Bewegung ein. Auch traten Störungen der Ciliarbewegung auf, unregelmäßige, directionslose Bewegungen der Cilien am stillliegenden Tier. Ferner trat Anschwellung und Quellung des Zelleibes ein und bei länger dauernder Bestrahlung kam es zur Abscheidung wasserheller Tröpfchen, und endlich zerplatzten, oder zerflossen die Tiere. Auch *Stentor polymorphus* zeigte bei der Bestrahlung analoge Erscheinungen, zuerst Beschleunigung der Vorwärtsbewegung, dann aber sehr bald, namentlich bei intensiver Bestrahlung Kontraktionsbewegungen mit Einziehung der peristomalen Wimpern und häufig ein Zerfließen des Plasmaleibes nach Platzen seiner äußeren durchsichtigen Hülle. Die kontraktionsauslösende Wirkung der Bestrahlung war sehr deutlich bei *Carchesium* zu konstatieren und bei *Epistylis plicatilis* trat sofort nach der Bestrahlung ein Neigen der Köpfechen zur Seite ein. Nach 30 Sekunden dauernder Bestrahlung hatten die Epistyliden ihre Bewegung eingestellt.

Von Cnidariern wurden *Hydra grisea*, *Hydra fusca* und *Hydra viridis* besonders untersucht. Bei den farblosen Hydren erfolgte

sofort nach der Bestrahlung eine lebhafte Kontraktion der Tentakel, auch der Leib zog sich ein. Nach 60 Sekunden war vollständiger Stillstand der Bewegung eingetreten. Viel widerstandsfähiger war *Hydra viridis*. Bei Bestrahlung des Vorderendes trat nach 2—3 Sekunden Kontraktion der Tentakel ein, nach Bestrahlung des Mittelkörpers erfolgte erst nach viel längerer Zeit (2 Minuten) eine Kontraktion des Leibes und der Tentakel, während bei Bestrahlung des ganzen Körpers die Kontraktion des Tieres schneller auftrat. Ein dauernder Stillstand wurde erst nach 6—8 Minuten langer Bestrahlung erzielt. Nach länger dauernder Einwirkung des ultravioletten Lichtes kam es zur Buckelbildung unterhalb des Tentakelkranzes und bei vielen Tieren trat von diesem Buckel aus ein Zerfließen des Körpers ein.

Rotatorien aus der Gattung *Philodina* reagierten auf die Bestrahlung mit einer augenblicklichen Kontraktion des Körpers. Dagegen waren Nematoden (*Rhabditis*) gegen die Bestrahlung ziemlich widerstandsfähig; erst nach 2—3 Minuten dauernder Einwirkung der Strahlen tritt der Tod in stark verschlungener Stellung ein, nachdem das Tier zuvor lebhafte Bewegungen ausgeführt hat. Später erfolgt eine langsame Wiederausdehnung des Tieres. Anneliden (*Chaetognaster*) antworten auf die Bestrahlung mit lebhaften Windungen, versuchen ebenso wie die Nematoden aus dem Strahlenfelde zu entfliehen. Bei kleinen Tieren trat der Tod schon nach 1 Minute dauernder Bestrahlung auf. Auch bei Mollusken (*Lymnaeus*-Embryonen) zeigte sich eine Beschleunigung der Bewegungen der in der Schleimhülle befindlichen Embryonen, die sich nach 2 Minuten verlangsamt und dann ganz aufhörte. Freischwimmende Embryonen versuchten aus dem Strahlenfelde zu entfliehen. Bei längerer Bestrahlung trat zunächst Kontraktion und nach wenigen Minuten der Tod ein.

Amphibienlarven (*Triton taeniatus*, *Siredon pisciformis*) reagierten auf Bestrahlung durch sehr lebhafte Flucht aus dem Strahlenfelde. Bei Bestrahlungsversuchen im Ziegler'schen Kompressorium gelang es bei Anwendung geringerer Strahlungsintensitäten kleinere Zellgruppen zu bestrahlen, wobei das Tier ruhig blieb. Am Epithel des Schwanzflossensaumes trat nach 5 Minuten dauernder Bestrahlung etwa eine Stunde später nach Aufhören der Bestrahlung eine Quellung der getroffenen Zellen ein, ferner zeigten sich Zellwanderungen am Begrenzungsrande der bestrahlten Partie und eine lebhafte Pigmentwanderung nach den bestrahlten Zellen zu. Nach 18—24 Stunden ließ der durch seinen Pigmentreichtum schon makroskopisch hervortretende bestrahlte Bezirk an seiner Grenze zahlreiche Kernteilungsfiguren erkennen. Die peripheren Zellen der Verbreiterungszone stießen sich allmählich ab, so dass der nach der Bestrahlung aufgetretene Buckel sich dem ursprüng-

lichen Begrenzungssaum wieder anschloss. An den Larven konnten auch die Blutgefäße bestrahlt werden. Nach 5—7 Minuten dauernder Bestrahlung der Blutgefäßkapillaren kam der Kreislauf in ihnen zum Stillstand.

Von Pflanzenzellen wurden solche untersucht, bei denen sich die Vitalität durch Bewegung der ganzen Zelle, oder des Plasmas kontrollieren ließ.

*Elodea Canadensis* zeigte bei Bestrahlung eine deutliche Verlangsamung der Plasmaströmung; in den Randpartien der Blätter hörte die Bewegung schon nach 2—3 Minuten dauernder Strahlungszeit auf, je näher der Mittelrippe die bestrahlten Zellen lagen, um so später kam die Plasmabewegung zum Stillstand. Bei kürzerer Bestrahlungsdauer begann die Strömung nach Aufhören der Belichtung wieder, aber nach 20 Minuten während der Bestrahlung kam die Protoplasmabewegung nicht wieder in Gang. Besonders interessant ist die Beobachtung, dass die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht an hell, namentlich mit gelbem Licht beleuchteten Blättern weniger rasch die vorher beschriebenen Veränderungen hervorbringt, als bei Bestrahlung der Blätter im Dunkeln. Stark heliotropische Oscillarien zeigten ein Zurückweichen der frei beweglichen Fäden aus dem Strahlenfelde. Nach Aufhören der Bestrahlung wandern die Fäden wieder in das Beleuchtungsfeld zurück, das ein schwaches, von ultravioletten Strahlen freies Licht hat. Aber dieses Zurückwandern erfolgt langsamer als das Auswandern. Bei längerer Bestrahlung hört die phototropische Bewegung ganz auf. Auch Diatomeen stellen ihre Bewegung bei Bestrahlung ein, braun gefärbte früher als grüne.

Aus den zunächst geschilderten Versuchen geht hervor, dass die untersuchten Organismen eine deutliche Reaktion auf die Bestrahlung mit Licht von  $280 \mu\mu$  zeigen; entweder wurde die Ortsbewegung beschleunigt, oder es erfolgte eine Zusammenziehung kontraktile Gewebe. Diese Erregungswirkung war auch bei Pflanzen (Oscillarien) zu sehen. Das zweite Stadium der Reizeinwirkung besteht in einer Lähmung, bezw. Verlangsamung und Stillstand der Bewegung, auf die endlich der Tod folgt. Diese Stadien gehen rasch ineinander über. Besonders stark scheinen die Strahlen auf die kontraktile Substanz zu wirken. Die beobachteten verschiedenen Zellveränderungen weisen darauf hin, dass die Reizwirkung der Strahlen durch eine direkte Einwirkung auf das Plasma der bestrahlten Zellen hervorgebracht wird. Ferner haben die Versuche an Hydroidpolypen eine besondere Beeinflussung des Nervensystemes durch das ultraviolette Licht erkennen lassen, denn die Tentakelbewegungen wurden am schnellsten bei Bestrahlung der Tentakelregion, die Nerven enthält.

Um eine Vorstellung von der eigentlichen Wirkungsart des Lichtes auf die Organismen zu bekommen, hat Hertel eine Reihe von Toxinen, Fermenten und labiler chemischer Substanzen der Bestrahlung mit Licht von  $280 \mu\mu$  unterworfen. Die Versuche mit Diphtherietoxin zeigten, dass für die einfache letale Toxindosis eine Bestrahlung von 5 Minuten genügte, um das Gift unwirksam zu machen. Dagegen war die 3—4fache Menge der scheinbar ganz unschädlichen Einzelndosis doch noch wirksam. Demnach war die einfache letale Toxindosis durch die Bestrahlung nur so weit abgeschwächt worden, dass sie keine merkliche Reaktion bei den Versuchstieren hervorrief. Zur absoluten Abtötung des Toxins war eine erheblich längere Bestrahlungszeit notwendig. Vollkommen unwirksam erwies sich die Bestrahlung auf Diphtherieantitoxin, das vor und nach der Bestrahlung die gleichen antitoxischen Eigenschaften hatte.

Sowohl Trypsin, wie Diastase, als auch Labferment wurden durch die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht in ihrer Wirksamkeit abgeschwächt, aber die Fermente brauchten eine bedeutend längere Strahlzeit als die Toxine, um geschädigt zu werden, sie sind demnach viel weniger labile Körper als die Toxine.

Welche Wirkung hat nun das Licht von  $280 \mu\mu$ ? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir auf die Versuche an *Elodea* zurückgreifen, in denen eine Belichtung mit sichtbarem Licht eine Herabsetzung der Wirkung der ultravioletten Strahlen hervorbringt. Wurden ungefärbte Paramaecien im belichteten und dunklen Felde mit ultraviolettem Licht bestrahlt, so konnte kein Unterschied im Absterben der Versuchsobjekte beobachtet werden. Dagegen zeigte das grün gefärbte *Paramaecium bursaria* Ehrenberg deutliche Verschiedenheiten unter diesen Versuchsbedingungen. Die mit sichtbarem Lichte beleuchteten Tiere gingen leichter in das ultraviolette Strahlenfeld hinein und starben später als die im unbeleuchteten ultravioletten Feld befindlichen Kontrolltiere. Hertel erklärt dieses Verhalten damit, dass das Chlorophyll bei Gegenwart von Licht assimilierend wirkt, wodurch Sauerstoff abgespalten wird. Dieser abgespaltene Sauerstoff soll nun die schädigende Wirkung der ultravioletten Strahlen aufhalten, die dem Gewebe Sauerstoff entziehen.

Zur Stütze seiner Annahme verweist Hertel auf die Reduktionswirkung der sogen. chemisch wirksamen Strahlen. Eine kurz dauernde Bestrahlung einer Silbernitratlösung und Nylanderlösung zeigte durch die auftretende Schwärzung deutlich die reduzierende Wirkung der ultravioletten Strahlen von  $280 \mu\mu$ . Auch Oxyhämoglobin wurde durch Bestrahlung mit Licht von  $280 \mu\mu$  reduziert, woraus Hertel ganz allgemein eine reduzierende Wirkung dieser Strahlen auf die organische Substanz annimmt.

Hertel versuchte auch am lebenden Gewebe die durch die Strahlen hervorgebrachte Reduktion zu beobachten, aber seine Versuche haben zu keinen sicheren Resultaten geführt.

Um die Annahme von der Reduktionswirkung der Strahlen auf die lebende Substanz besser zu stützen, untersuchte Hertel, ob die durch notorische Reduktionsmittel bei Tieren bewirkten Absterbeerscheinungen ähnlich den durch die Bestrahlung hervorgerufenen sind. Ferrum hydrogenio reductum erzeugt bei Paramaecien ähnliche Erscheinungen wie die Bestrahlung, nur fehlte die Beschleunigung der Bewegung und außerdem traten alle Erscheinungen langsamer ein als bei der Bestrahlung. Die Wirkung des Ferrum hydrogenio reductum wurde wie die der ultravioletten Strahlen bei *Paramaecium bursaria* (mit Zoochlorellen) durch Beleuchtung mit sichtbaren Strahlen abgeschwächt. Die im Dunkeln der Eisenwirkung ausgesetzten Paramaecien starben früher als die belichteten. Dieser Versuch spricht nach Hertel wesentlich für die Reduktionswirkung der Strahlen auf die Zellen. Demnach würden diejenigen Organismen, welche selbst Sauerstoff produzieren (Chlorophyll), der desoxydierenden Eigenschaft der Strahlen länger widerstehen als solche, die keinen Sauerstoff produzieren. Zur weiteren Stütze seiner Annahme führt Hertel seine Beobachtungen über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Peroxydase und Katalase an. Die Peroxydase zeigte bei Bestrahlung eine Verminderung ihrer Wirksamkeit, während die Katalase eine Verstärkung ihrer katalytischen Wirkung auf Hydroperoxyd aufwies. Direkte Bestrahlung des Wasserstoffsperoxyds lieferte keine eindeutigen Resultate, wohl aber wird die katalytische Spaltung des Hydroperoxyds durch die Bestrahlung wesentlich erhöht, wenn die Spaltung schon durch einen katalytisch wirkenden Körper begonnen wurde.

Nach den geschilderten Versuchen mit Licht von der Wellenlänge von  $280 \mu\mu$  ging Hertel dazu über, auch Lichter von verschiedener Wellenlänge bezüglich ihrer Wirkung auf lebende Zellen zu untersuchen. Wenn man in einem Spektralgebiet physiologische Wirkungen beobachten kann, in einem anderen aber nicht, dann kann dieser Unterschied in der Wirkung ebensogut auf einer Verschiedenheit der wirksamen Energiemengen in den beiden Spektralgebieten, wie auf einer Verschiedenheit der Wellenlängen beruhen. Hertel hat deshalb die Gesamtenergie eines jeden auf seine physiologische Wirksamkeit zu untersuchenden Wellengebietes thermoelektrisch gemessen. Beim Vergleich zweier verschiedener Wellengebiete wurden durch geeignete Versuchsanordnungen die Energieintensitäten der beiden Wellengebiete gleich gemacht und erst dann in ihrer Wirkung auf die Organis-

men geprüft. Dadurch sind alle Fehler, welche auf einer Verschiedenheit der im Versuche verwendeten Energiemengen beruhen, ausgeschaltet.

Aus den in dieser Weise angestellten Versuchen an *Bacterium coli*, Paramaecien (*Paramecium aurelia*, *Colpidium colpoda*), Rotatorien (*Philodina*) geht hervor, dass die Wirkung ein und derselben Spektrallinie direkt abhängig ist von der thermoelektrisch gemessenen Gesamtintensität. Mit zunehmender Gesamtintensität wurde die zur Abtötung der Organismen nötige Bestrahlungsdauer wesentlich verkürzt, desgleichen nehmen die der Abtötung vorausgehenden Reizerscheinungen (beschleunigte Bewegung, Kontraktion) mit Zunahme der Energieintensität zu. Außerdem zeigten die Versuche mit gleichen Energieintensitäten, dass die physiologische Wirksamkeit der Strahlen mit dem Zunehmen der Wellenlängen abnimmt, wobei schon Differenzen von  $50 \mu\mu$  Wellenlänge deutliche Unterschiede in der physiologischen Wirksamkeit erkennen lassen. Sehr auffallend werden diese Unterschiede, wenn man weit auseinanderliegende Teile des Spektrums von gleicher Gesamtenergie miteinander vergleicht. Licht der Magnesiumlinie von  $280 \mu\mu$  tötet die Versuchsobjekte fast sofort, längstens aber nach 20 Sekunden dauernder Einwirkung, während Licht von der Wellenlänge von  $440 \mu\mu$  gleicher Intensität erst nach stundenlanger Einwirkung eine deutliche Beeinflussung der Lebensfähigkeit erkennen lässt. Ganz analoge Differenzen zeigen die Intensitäten und Wellenlängen bezüglich der an den Versuchsobjekten hervorgerufenen Reizerscheinungen (Bewegungen). Hertel hat die Ergebnisse seiner Versuche, in denen er die zur Reaktion notwendigen Schwellenwerte für die einzelnen Wellenlängen bestimmt hat, in Kurvenform dargestellt. Diese Kurven zeigen, dass die Werte der aufgewendeten Gesamtenergie außerordentlich zunehmen, je größer die Wellenlänge des verwendeten Lichtes ist.

Für das Zustandekommen der physiologischen Wirkung ist aber nicht nur die Gesamtenergie und Wellenlänge des verwendeten Lichtes von Bedeutung, sondern in erster Linie auch die Stärke der Absorption der Strahlen durch die Organismen, weil ja die physiologische Wirkung der Strahlen erst innerhalb des Organismus erfolgen kann. Die Absorptionsgröße der lebenden Gewebe für Licht ist sehr schwer zu bestimmen. Hertel hat durch sehr sinnreiche Versuche das von den Geweben bei der Bestrahlung erzeugte Fluoreszenzlicht als ein Maß der absorbierten Lichtmengen verwendet. In allen diesbezüglichen Versuchen zeigte sich bei gleicher Gesamtintensität der untersuchten Lichter eine Abnahme der Fluoreszenz mit der Wellenlänge, mithin absorbieren die bestrahlten Gewebe von dem auffallenden kurzwelligen Licht mehr als von dem langwelligen. Analoge Resultate ergaben auch Versuche, bei denen Bakterien in kleine Quarz-

kämmerchen eingeschlossen wurden, die hinter die Cornea in die vordere Augenkammer von lebenden Kaninchen gebracht wurden. Die Cornea zeigte in diesen Versuchen ein um so größeres Absorptionsvermögen, je kürzer die Wellenlängen des verwendeten Lichtes waren. Licht von einer Wellenlänge von 232 und 280  $\mu\mu$  wurde von der Cornea vollständig absorbiert, in der deutliche Veränderungen eintraten, während die hinter der Cornea befindlichen Bakterien unverändert blieben, obgleich diese Wellenlängen die Bakterien sehr rasch abtöten. Bei Lichtern mit Wellenlängen von 383  $\mu\mu$  aufwärts gingen genügend Strahlen durch die Cornea, um auch auf die Bakterien zu wirken, obwohl die Cornea auch noch einen Teil dieser Strahlen absorbiert.

Aus den Versuchen geht also hervor, dass die Absorption der strahlenden Energie (innerhalb der untersuchten Grenzen) durch lebendes Gewebe um so geringer ist, je länger die Wellen der angewendeten Strahlen sind. Aus dieser Tatsache erklärt sich aber auch, warum die physiologische Wirkung der einzelnen Spektralbezirke bei gleicher Gesamtintensität verschieden stark und zwar umgekehrt proportional der Wellenlänge ist. Demnach hängt die Wirkung der strahlenden Energie auf den Organismus in erster Linie von dem Absorptionsvermögen der Organismen für diese Strahlen ab.

Wenn diese Anschauung richtig ist, dann müsste durch Erhöhung des Absorptionsvermögens die physiologische Wirkung schwach wirkender Wellenlängen verstärkt werden können, ganz analog wie bei photographischen Platten eine Sensibilisierung für verschiedene sonst wenig wirksame Strahlen hervorgerufen werden kann. Tappeiner und seine Schüler sowie andere Autoren haben durch Zusatz einer Reihe von Stoffen zum Nährmaterial der Organismen diese für Strahlen empfindlich machen können, die sonst keine oder nur eine unmerkliche Wirkung auf die Organismen ausübten. Hertel untersuchte nun Strahlen von bekannter Wellenlänge und Gesamtintensität auf ihre physiologische Wirksamkeit, indem er die Versuchsobjekte das einmal in Flüssigkeiten bestrahlte, die Eosin oder Erythrosin enthielten, das anderemal in derselben Flüssigkeit, die aber frei von diesen Zusätzen war. Außerdem verwendete Hertel zur Bestrahlung Wellenlängen, die von den genannten Lösungen sicher absorbiert wurden und zur Kontrolle solche Wellenlängen, die von den Lösungen nicht absorbiert wurden. Hertel's Versuche ergaben nun in Übereinstimmung mit den Versuchen früherer Autoren, dass es möglich ist, durch Zusatzstoffe die Wirkung von Strahlen auf die Organismen dadurch beträchtlich zu steigern, dass diese Stoffe Strahlen absorbieren, die sonst von den Organismen nicht absorbiert werden und deshalb wirkungslos bleiben.

Aus Hertel's Versuchen geht ferner hervor, dass zur Abtötung der auf diese Weise sensibilisierten Organismen mit sichtbarem Licht fast die gleiche Bestrahlungsdauer erforderlich ist, wie bei dem stark wirksamen ultravioletten Licht von  $280 \mu\mu$ . Strahlen, die früher erst nach mehreren Stunden wirkten, waren so wirksam geworden, dass sie schon nach 70 Sekunden ihre Wirksamkeit entfalteten. Aus diesen Versuchen schließt Hertel, dass zwei weit auseinanderliegende Spektralbezirke von gleicher Gesamtintensität, deren physiologische Wirkung ohne Berücksichtigung der bestehenden Absorptionsverhältnisse große Differenzen aufweist, nach Ausgleich der Absorption auch annähernd gleiche physiologische Wirkung zeigen, sowohl in bezug auf die Stärke als auch auf die Art der Wirkung.

Die in der Natur beobachtete sogen. komplementär chromatische Anpassung vieler Pflanzen und Tiere (Engelmann, Gaidukow) ist ein den beschriebenen Sensibilisationsversuchen ganz analoger Vorgang. Dabei nehmen die Pflanzen eine Farbe an, die der Farbe der sie treffenden Strahlen komplementär ist, also das sie treffende Licht möglichst absorbiert. So tritt nach Gaidukow bei Bestrahlung von *Oscillaria Sancta* mit grünem Licht Rotfärbung, mit rotem Licht Grünfärbung, mit gelbem Licht Blaugrünfärbung etc. der Kulturen ein, indem das Chromophyll der Algen immer mehr und mehr die komplementäre Farbe des sie treffenden Lichtes annahm. Es ist dies ein besonders lehrreicher Fall von Anpassung an die gerade gegebenen Existenzbedingungen, da die Algen die strahlende Energie zur Erhaltung ihres Lebens unbedingt brauchen. Auf Grund dieser Versuche wird auch die physiologische Bedeutung des Sehpurpurs in der Retina verständlich, er scheint als Sensibilisator für die nervösen Netzhauptelemente (Stäbchen) von Wichtigkeit zu sein (v. Kries, Koenig).

Aus all den bisher geschilderten Versuchen geht hervor, dass die physiologische Wirksamkeit der Strahlen nicht an bestimmte Spektralgebiete gebunden ist, sondern die strahlende Energie ist ein allgemein wirksames Prinzip. Die Wellenlänge ist nur insofern von Bedeutung, als durch sie die Gesamtenergie, sowie das Absorptionsvermögen mitbestimmt wird. Die Strahlen selbst bewirken nach Hertel nur eine Sauerstoffabspaltung aus leicht desoxydablen Substanzen; trifft der abgespaltene Sauerstoff zur Oxydation geeignete Moleküle, dann wirken die Strahlen oxydierend, fehlen aber diese Moleküle, dann tritt nur eine Reduktionswirkung ein. Die Strahlen wirken gewissermaßen nur als Katalysator. Durch eine derartige Auffassung der Strahlenwirkung klären sich viele Widersprüche über die bakterizide Wirkung der Strahlen auf. Ebenso lässt sie die

Latenzwirkung der Strahlen, die erst später nach dem Aufhören der Bestrahlung eintritt, verständlich erscheinen.

Hertel konnte bei der Behandlung eitrigiger Hornhautgeschwüre mit ultraviolettem Lichte die Beobachtung machen, dass diese Geschwüre unter Zurücklassung sehr zarter Narben heilten. Die anatomische Untersuchung derartig bestrahlter Hornhäute zeigte eine starke Vermehrung der Kernteilungsfiguren im Epithel und Wucherungserscheinungen in den Hornhautkörperchen der Grundsubstanz, Befunde, die von Ogneff und Birch-Hirschfeld bestätigt wurden. Da Hertel das zahlreiche Auftreten der Mitosen mit der Bestrahlung in Beziehung brachte, so untersuchte er den Einfluss des Lichtes auf die Zellteilung an künstlich befruchteten Seeigeleiern (*Echinus microtuberculatus*).

Für die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht wurden ausschließlich Strahlen von  $280 \mu\mu$  Wellenlänge verwendet, zur Bestrahlung mit sichtbarem Licht kam die Dermolampe mit gekühlten Eisenelektroden in Anwendung. Die Bildchen der einzelnen zur Bestrahlung angewendeten Spektrallinien waren so klein, dass nur einige der in der Durchstrahlungskammer enthaltenen Eizellen bestrahlt wurden, während die übrigen unbestrahlt bleiben und so als Kontrollzellen dienen konnten.

Nach 7 Minuten dauernder Bestrahlung mit intensivem Magnesiumlicht ( $280 \mu\mu$ ) war Abtötung der bestrahlten Eizellen zu erkennen, die Furchung blieb aus, einige Zellen zerfielen krümelig und zerflossen. Die nicht bestrahlten Zellen entwickelten sich normal. Bei Herabsetzung der Strahlungsintensität auf die Hälfte zeigte sich bei den bestrahlten Eiern eine wesentliche Verspätung im Beginn der Furchung; bei unbestrahlten Zellen war bereits das Achtzellenstadium erreicht zu einer Zeit, wo bei den bestrahlten Eiern die Furchung eben erst begann. Einzelne bestrahlte Eier blieben sogar ungeteilt. Nach Herabsetzung der Strahlungsintensität auf ein Drittel konnte nach 5 Minuten dauernder Bestrahlung eine mehr oder weniger ausgesprochene Hemmung der Teilung an den bestrahlten Zellen beobachtet werden. An bereits in Furchung begriffenen Eiern wurde durch Einwirkung schwacher ultravioletter Strahlen die Weiterentwicklung entweder gehemmt oder ganz aufgehoben. Bei partieller Bestrahlung eines Eies oder einer Furchungskugel entwickelte sich die nicht bestrahlte Seite normal weiter, während die bestrahlte Seite in ihrer Entwicklung gehemmt wurde. Durch Anwendung stärkerer Strahlenintensitäten wurde aber nicht nur die Weiterentwicklung gehemmt, sondern es trat sogar Rückbildung (Umwandlung des Zweizellenstadiums in das Einzellenstadium, des Vierzellenstadiums in das Zweizellenstadium) ein und endlich erfolgte ein Zerfließen und Zerplatzen der Zellen. Bei kurzdauernder Bestrahlung zeigten sich auch sehr interessante

Latenzerscheinungen der Strahlenwirkung, indem bei manchen der bestrahlten Eier die erste Teilung keine nennenswerte Verzögerung aufwies, während die später folgenden Teilungen immer mehr und mehr verzögert wurden. Auch unvollkommene Furchungen konnten häufig beobachtet werden. Ferner tritt das Zerfließen an bereits gefurchten Eiern häufiger und schon bei geringerer Strahleneinwirkung ein als bei noch nicht gefurchten Eiern. Aus all den zahlreichen Versuchen Hertel's geht unzweifelhaft hervor, dass die ultravioletten Strahlen auf die Teilung der Eizelle, in welchem Teilungsstadium sie sich auch immer befinden mag, eine ungünstige, ja sogar schwer schädigende Wirkung ausüben. Da es gelingt, durch isolierte Bestrahlung einzelner Furchungszellen diese zu zerstören, so stellt gerade die Bestrahlung eine sehr wertvolle Methode für entwicklungsphysiologische Experimentaluntersuchungen dar, weil diese Ausschaltung einzelner Furchungszellen viel weniger roh ist als die üblichen operativen Eingriffe.

Von dem spektral zerlegten sichtbaren Licht der Dermolampe wurde die Wirkung der blauen ( $440 \mu\mu$ ), grünen ( $523 \mu\mu$ ) und gelben ( $558 \mu\mu$ ) Strahlen auf den Zellteilungsprozess untersucht. Alle diese Strahlen lassen einen gewissen verzögernden Einfluss auf die Zellteilung erkennen, die zeitlichen Differenzen sind zwar nicht groß, aber doch regelmäßig vorhanden und werden mit zunehmender Intensität der Bestrahlung größer. Namentlich erfolgt die eigentliche Durchschnürung des Plasmas, die beim normalen Zellteilungsprozess sehr rasch von statten geht, nach der Bestrahlung auffallend langsam. Nachhaltige Wirkungen, wie dauernde Unterdrückung oder Hemmung der Teilung konnten nach Bestrahlung mit sichtbarem Licht nicht beobachtet werden. Die Unterschiede in der Wirkung des sichtbaren und ultravioletten Lichtes führt Hertel auf die geringe Absorption des sichtbaren Lichtes durch die Eier zurück, wenigstens zeigt der Versuch mit durch Eosinzusatz sensibilisierten Eiern eine nicht unwesentliche Zunahme der die Zellteilung verzögernden Wirkung des sichtbaren Lichtes.

Um den natürlichen Lebensbedingungen näher zu kommen, untersuchte Hertel auch den Einfluss des diffusen Tageslichtes und direkten Sonnenlichtes auf den Furchungsprozess. Die Versuche ließen selbst bei kurzdauernder Einwirkung des direkten Sonnenlichtes eine Schädigung der Furchung erkennen, die nur auf die Lichtstrahlen zu beziehen ist, da die Wärmewirkung durch geeignete Kühlvorrichtung ausgeschlossen ist. Dagegen ließ das diffuse Tageslicht keine wesentliche Beeinträchtigung des Furchungsprozesses erkennen, was wohl in erster Linie auf die zu geringe Intensität des Lichtes zurückzuführen

ist. In einer Versuchsreihe, die an sensibilisierten Eiern (Eosin-zusatz zum Seewasser) ausgeführt wurde, konnte denn auch eine deutliche Behinderung des Eintrittes der einzelnen Furchungsphasen nach der Bestrahlung mit diffusem Tageslicht beobachtet werden, die sich bis in relativ späte Entwicklungsstadien verfolgen ließ.

Aus den geschilderten Versuchen ergibt sich nun unzweifelhaft, dass die Lichtstrahlen einen ungünstigen, hemmenden oder schädigenden Einfluss auf den Zellteilungsvorgang ausüben, allerdings tritt diese Wirkung erst bei höherer Intensität der Lichtstrahlen auf. Deshalb widersprechen die Versuche von Driesch, der keinen sichtbaren Einfluss der Belichtung auf den Ablauf der Furchung und die Entwicklung der Organanlagen in seinen Versuchen finden konnte, nur scheinbar den Befunden Hertel's, denn Driesch hatte in seinen Versuchen diffuses Tageslicht oder filtriertes spektral zerlegtes Tageslicht angewendet, also zu geringe Intensitäten des Lichtes einwirken lassen.

Wenn wir nun zu der Frage zurückkehren, ob die an den Hornhäuten nach der Bestrahlung beobachteten zahlreichen Mitosen auf die Einwirkung der Lichtstrahlen zu beziehen sind, so müssen wir konstatieren, dass Hertel's Versuche über diese Frage keine Aufklärung gebracht haben. Das scheint auch nicht wunderbar, denn eine befruchtete und sich furchende Eizelle stellt einen ganz anderen Organismus als eine sich teilende Epithelzelle dar. In dem einen Falle haben wir ein totipotentes System vor uns, während die Epithelzelle ein in ihren noch möglichen Leistungen engbegrenztes, bereits stark differenziertes System von ganz umschriebener Entwicklungspotenz repräsentiert, dessen Reaktionsfähigkeit infolge der weitgehenden Differenzierung schon sehr verändert ist.

Da Hertel bei seinen Versuchen auch Veränderungen des Pigmentes nach Bestrahlung mit ultraviolettem Lichte beobachtet hatte, so wurden später von ihm genaue Versuche über die Bedeutung des Pigmentes für die physiologischen Wirkungen der Lichtstrahlen angestellt. Als Versuchsobjekte wurden zunächst Larven von *Triton taeniatus* benützt, die in einem Ziegler'schen Kompressorium so gehalten wurden, dass die Tiere keine größeren Bewegungen ausführen konnten. Es war sogar möglich, an den durchsichtigen Larvenschwänzen einzelne Pigmentzellen zu bestrahlen. Bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht von  $280 \mu\mu$  Wellenlänge trat nach wenigen Minuten eine deutliche Bewegung des Pigmentes ein, die in einer zitternden und tanzenden Bewegung der einzelnen Körner und in einer Retraktion des Pigmentes gegen den Zellkörper bestand und nach 10—15 Minuten dauernder Belichtung zu einer vollständigen Ballung des Pigmentes führte. Nach einiger Zeit traten an den Zellen die

schon bekannten Veränderungen, Quellung und Verschiebung der Zellen, ein. Wurde die Bestrahlung nach 3 Minuten, vor der vollständigen Retraktion des Pigmentes unterbrochen, dann ging die Pigmentretraktion noch eine kurze Zeit lang weiter, kehrte sich dann aber vollständig um, d. h. es trat Expansion des Pigmentes ein. Wurden die Zellen mit starkem Licht bestrahlt, dann kam es sogleich zur Retraktion des Pigmentes, die aber sehr bald zum Stillstand kam, noch bevor eine vollkommene Ballung des Pigmentes eingetreten war, weil die Zellen durch die intensive Bestrahlung abgetötet worden waren.

Zur Bestrahlung der Pigmentzellen mit sichtbarem Licht wurden die blauen ( $440 \mu\mu$ ) und gelben ( $558 \mu\mu$ ) Strahlen der Dermolampe verwendet. Beide Strahlenarten führten eine Retraktion des Pigmentes herbei und nach ungefähr 15 Minuten dauernder Bestrahlung war eine vollständige Ballung des Pigmentes eingetreten. Nach Aufhören der Bestrahlung trat wieder vollständige Expansion des Pigmentes ein. Durch Verstärkung der Lichtintensität nahm die Geschwindigkeit der Pigmentbewegung zu, ein Unterschied in der Einwirkung von sichtbaren und ultravioletten Strahlen bestand nur insofern, als durch die sichtbaren Strahlen die spätere Expansion des Pigmentes nicht geschädigt wurde.

Hertel stellte auch Versuche an Cephalopoden (*Sepiolo*, *Octopus*, besonders aber *Loligo vulgaris*) an. Die im Dunkeln gehaltenen Versuchstiere nehmen eine hellgraue Farbe an. Wird an einem solchen hellgrau gefärbten Exemplar eine umschriebene Stelle mit Licht von  $280 \mu\mu$  Wellenlänge bestrahlt, dann färbt sich die belichtete Stelle fast sofort braungelb oder braunrot. Kurze Zeit darauf tritt die gleiche Färbung an dem ganzen Tiere auf, das Zeichen lebhafter Unruhe darbot und sich durch Fortschwimmen der Bestrahlung entzog. Auch *Loligo* wurde mit den sichtbaren blauen ( $440 \mu\mu$ ) und gelben ( $558 \mu\mu$ ) Strahlen aus dem Spektrum der Dermolampe bestrahlt. Bei Bestrahlung mit blauem Licht zeigte sich namentlich an jungen *Loligo*-Exemplaren zuerst eine Bewegung der gelben Pigmentzellen, erst viel später begannen auch die violett-roten Pigmentzellen zu expandieren. Dagegen trat bei Bestrahlung mit gelbem Licht zuerst eine Expansion der violett-roten Chromatophoren ein und erst viel später der gelben Pigmentzellen. Eine Ausbreitung der Verfärbung auf das ganze Tier konnte bei Bestrahlung einer umschriebenen Stelle mit sichtbarem Licht niemals beobachtet werden.

Bestrahlungsversuche mit ultraviolettem Licht von  $280 \mu\mu$  Wellenlänge an toten *Loligines* ließen eine sofortige Expansion der Pigmentzellen erkennen. Nach 5–10 Minuten dauernder Bestrahlung blieb die eingetretene Expansion lange bestehen und erst viel später trat eine unregelmäßige Retraktion des Pigmentes ein,

die wohl als Absterbeerscheinung aufzufassen sein dürfte. Auch der Unterschied in der Wirkung des blauen und gelben sichtbaren Lichtes konnte am toten Tier mit Sicherheit konstatiert werden.

Hertel stellte auch Bestrahlungsversuche mit unzerlegtem Tageslicht an, von dem die ultravioletten Strahlen abfiltriert worden waren, wobei wiederum ein deutlicher Unterschied in der Einwirkung auf die beiden Arten von Pigmentzellen eintrat, indem hier zuerst die violettroten und erst später die gelben Chromatophoren expandierten. Wurde dagegen Tageslicht benützt, das noch die ultravioletten Strahlen besaß, dann konnte ein zeitlicher Unterschied in der Reaktion der beiden Pigmentzellenarten ebensowenig gefunden werden, wie bei der Verwendung reinen ultravioletten Lichtes. Selbst exzidierte Hautstücke reagierten auf eine Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ( $280 \mu\mu$ ) mit einer sofortigen Expansion der Pigmentzellen, die später in Expansionsstellung stillstanden. Eine Mitbewegung nicht bestrahlter Zellen konnte aber in diesen Versuchen nicht beobachtet werden, wohl aber war der Unterschied in der Wirkung des gelben und blauen sichtbaren Lichtes auch an den exzidierten Hautstücken noch deutlich zu erkennen.

Die beschriebenen Unterschiede in der Wirkung der Lichter von verschiedenen Wellenlängen veranlassten Hertel, die Lichtabsorption der verschiedenen Pigmentzellen mit dem Engelmann'schen Mikrospektrophotometer genauer zu untersuchen, wobei sich herausstellte, dass die verschiedenen Pigmentzellen das auf sie fallende Licht in ganz verschiedener Weise absorbieren. Ultraviolette Strahlen werden von allen Pigmentzellen gleichmäßig absorbiert, dagegen lagen die Absorptionsmaxima für sichtbares Licht je nach der Färbung der Pigmentzellen an verschiedenen weit auseinanderliegenden Teilen des Spektrums. Daraus erklärt sich nun ohne weiteres die verschiedene Wirkung der verschiedenen Lichter. Die von allen Zellen vollkommen aufgenommenen ultravioletten Strahlen von  $280 \mu\mu$  Wellenlänge wirken deshalb auch sehr rasch und intensiv auf alle Chromatophoren. Die blauen Strahlen von  $440 \mu\mu$  Wellenlänge lagen am nächsten dem Absorptionsmaximum der gelben Pigmentzellen, das bei etwa  $460 \mu\mu$  liegt, weshalb sie die gelben Zellen am stärksten erregen. Die violettroten Chromatophoren hatten ihr Absorptionsmaximum bei  $550 \mu\mu$ , also ganz nahe bei der Wellenlänge des verwendeten gelben Lichtes von  $558 \mu\mu$ , von dem sie am stärksten erregt wurden. Bei den mit schwarzem Pigment versehenen Chromatophoren der Tritonen, das alle Lichter gleich stark absorbiert, konnte deshalb ein Unterschied der Erregbarkeit durch verschiedenwellige Lichter natürlich nicht gefunden werden. Nur die ultravioletten Strahlen zeigen inso-

fern einen Unterschied gegenüber allen anderen Strahlen, als sie eine intensivere und tiefer in das Zellenleben eingreifende Wirkung entfalten als die sichtbaren Strahlen.

Auf Grund seiner früheren Versuche über die Einwirkung des ultravioletten Lichtes auf die Plasmaströmung bei *Elodea canadensis*, Bakterien und Infusorien nimmt Hertel an, dass bei den Chromatophoren die ultravioletten Strahlen nicht nur von den pigmenthaltigen Teilen, sondern auch von dem pigmentfreien Plasma der Zellen aufgenommen werden, auf das sie eine entsprechende Wirkung ausüben. Da bei den sichtbaren Strahlen von gleicher Intensität auch bei gleicher Bestrahlungsdauer eine schädigende Wirkung auf die Zellen fehlt, so glaubt Hertel, dass die Wirksamkeit der sichtbaren Strahlen nur an das sie absorbierende Pigment geknüpft ist, von dem aus sich die Wirkung erst auf das pigmentfreie Plasma als Reiz geltend macht. Demnach wäre zur Entfaltung der Reizwirkung der sichtbaren Strahlen innerhalb der verwendeten Intensitäten die Vermittlerrolle des Pigmentes unbedingt notwendig.

Da die Pigmentplatten der Chromatophoren von einem dichten Nervenfibrillennetz umgeben sind, wäre es denkbar, dass nicht die kontraktile Grundsubstanz der Zellen, sondern die Nerven durch die vom Pigment aufgenommenen Reize erregt werden, die dann erst eine Kontraktion der Radiärfasern auslösen. Um die Frage zu entscheiden, ob Nervenfasern durch Licht direkt erregt werden können, bestrahlte Hertel den Bauchstrang vom Regenwurm mit ultraviolettem Licht von 280  $\mu\mu$  Wellenlänge, worauf eine deutliche Kontraktion der im Reizbezirk gelegenen Segmente eintrat, der sehr bald eine lebhafte Krümmung des ganzen Tieres folgte. Bei Bestrahlung mit sichtbarem Licht trat kein wahrnehmbarer Reizerfolg ein, was wegen der geringen Absorption des sichtbaren Lichtes durch die Plasmagebilde ohne weiteres erklärlich scheint.

Bestrahlungsversuche am Bauchstrang von *Sipunculus nudus* zeigten, dass bei diesem Versuchsobjekte die sichtbaren und unsichtbaren (ultravioletten) Strahlen gleich wirksam waren. Die histologische Untersuchung ergab nun, dass der Bauchstrang von *Sipunculus* allenthalben mit Pigment durchsetzt ist, das in allen Gewebsbestandteilen aufgefunden wird, während beim Regenwurm das Pigment vollkommen fehlt. Das bräunliche und schwarzbraune Pigment vermittelt bei *Sipunculus* gerade so wie bei Tritonenlarven die Aufnahme der langwelligen Strahlen, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, dass diese Strahlen eine Wirkung auf die Nervensubstanz ausüben, die ihnen beim Regenwurm wegen des Pigmentmangels auszuüben unmöglich ist. Die ultravioletten Strahlen dagegen brauchen zur Entfaltung ihrer Wirkung kein Pigment, weil

sie von allen Geweben direkt absorbiert werden. Hertel glaubt damit den Beweis für die Erregbarkeit des Nervensystems durch Licht erbracht zu haben, wenn das Licht entweder direkt oder durch die Vermittlung der Chromatophoren vom Nervengewebe aufgenommen wird.

Nach diesen Beobachtungen über die Reizbarkeit des Nervensystems durch Licht musste nun die Frage entschieden werden, ob die Reizwirkung der Lichtstrahlen auf die Pigmentzellen von den Nervenfasern oder vom kontraktile Plasma selbst ausgeht. Hertel stellte deshalb Versuche an *Sipunculus* an, dessen Nervensystem durch Atropinisierung ausgeschaltet wurde. An einem atropinisierten Schlundretraktor brachte selbst kräftige Bestrahlung des Bauchstranges keine Kontraktion hervor, während der nicht atropinisierte Retraktor unter den gleichen Versuchsbedingungen prompt reagierte. Bei direkter Reizung des atropinisierten Muskels erwies sich das ultraviolette Licht wirksam, das sichtbare Licht aber unwirksam. Um nun eine genügende Absorption auch für die sichtbaren Strahlen zu erzielen, wurde eine Eosinlösung in den atropinisierten Muskel injiziert, worauf es gelang, auch mit grünem Licht von  $518 \mu$  Wellenlänge Kontraktionen des Muskels zu erzielen, die mit Verstärkung der Belichtungsintensität an Stärke deutlich zunahmten. Bestrahlungsversuche an atropinisierten *Loligo* zeigten keinen Unterschied gegenüber solchen an nicht atropinisierten Tieren; demnach scheinen bei den Chromatophoren von *Loligo* die zu den Pigmentzellen ziehenden Nervenfasern zur Reizung der Zellen durch Lichtstrahlen nicht nötig zu sein, es muss also der Reiz direkt auf das Plasma der Zellen einwirken, wobei für die langwelligen Strahlen das Pigment selbst die Rolle des Sensibilisators spielt. Es sind demnach die Pigmentzellen durch Licht direkt erregbar, eine Annahme, die von vielen Autoren, namentlich von Steinach auf Grund seiner Versuche bereits früher ausgesprochen worden ist, aber durch Hertel erst vollkommen einwandfrei bewiesen wurde. Außerdem hat sich aus Hertel's Versuchen ergeben, dass die irritablen pigmentierten Gewebe durch Licht reizbar sind, wobei die Wirksamkeit des Lichtreizes an kein bestimmtes Spektralgebiet gebunden ist, sondern wesentlich nur von der Stärke der Absorption des Lichtes durch die Gewebe abhängt.

Hertel konnte bei seinen Versuchen an *Loligo* neben der die Pigmentzellen direkt angreifenden Wirkung der Bestrahlung auch noch eine Reizwirkung beobachten, die nur reflektorisch übermittelt worden sein konnte. Die Ausbreitung der Färbung über den ganzen Körper bei *Loligo*, sowie die Fluchtbewegungen, die auch an Tritonenlarven infolge zirkumskriptor Bestrahlung der Haut mit ultraviolettem Licht auftraten, sind dahin zu deuten, dass die

ultravioletten Strahlen, welche allein die eben erwähnten Wirkungen ausüben, auch die übrigen Hautnerven der bestrahlten Stelle erregen, die reflektorisch die Verfärbung des ganzen Tierkörpers, sowie die Fluchtbewegungen hervorrufen. Dass beim Zustandekommen dieser Reflexe die Chromatophoren nicht beteiligt sind, geht daraus hervor, dass der gleiche Erfolg eintritt, wenn das ultraviolette Licht auf die pigmentfreien Saugnäpfe von *Loligo* geleitet wird.

Da die Hertel'schen Versuche gezeigt haben, dass das Nervensystem durch ultraviolettes Licht direkt, durch sichtbares Licht indirekt unter Vermittlung des Pigmentes erregbar ist, so brauchen wir für die Wirkung des Lichtes nicht unbedingt eigens an den Lichtreiz angepasster Aufnahmeapparate, Photorezeptoren, sondern motorische als auch sensible Nerven sind durch Licht direkt erregbar. Nach diesen Anschauungen sind die Pigmentflecken der wirbellosen Tiere, welche als Augen, Ocellen gedeutet worden sind, als Stellen anzusehen, wo der Lichtreiz durch genügende Absorption infolge des Pigmentes, auf die Nervensubstanz übertragen wird. Eigene Photierzellen, wie sie Beer annimmt, brauchen gar nicht vorhanden zu sein, da die Nervensubstanz durch das Pigment für die sichtbaren Lichtstrahlen sensibilisiert wird, während das ultraviolette Licht auch ohne Sensibilisator auf die Nerven wirkt.

Auch die Einwirkung des Lichtes auf die glatte Muskulatur der Iris hat Hertel einem eingehenden Studium unterzogen. Zu diesem Zwecke wurden Bestrahlungsversuche an Augen von Kaninchen, Katzen und Fröschen angestellt, deren Sehnerven zuvor durchschnitten worden waren. Bei Kaninchen zeigte sich nach Belichtung der Augen mit Tages- oder Gaslicht keine Verengerung der Pupille, wurde dagegen als Lichtquelle elektrisches Licht gewählt, so konnte schon nach 10—15 Sekunden langer Belichtung eine langsame Verengerung der Pupille beobachtet werden, die bei fortgesetzter Belichtung mehr und mehr zunahm. Bei diesen Versuchen war eine Einwirkung der von der Bogenlampe ausgehenden Wärmestrahlen durch Vorschaltung von Kühlkammern mit Quarzwänden vollständig ausgeschaltet worden. An Katzen, die eine lebhaftere Pupillenreaktion als die Kaninchen haben, waren die geschilderten Versuchsergebnisse noch deutlicher zu konstatieren. Außerdem konnte bei den Versuchen an Katzen gezeigt werden, dass die strahlende Wärme der Bogenlampe die anfänglich durch die Belichtung hervorgerufene Pupillenverengerung verlangsamt, ja dass Wärme von gewissen Intensitäten sogar eine Erweiterung der Pupille herbeiführen kann. Es handelt sich dabei wohl um einen ganz analogen Vorgang, wie bei der Erschlaffung anderer glatten Muskel infolge Wärmeeinwirkung, wie z. B. Erschlaffung des Gefäßmuskel durch Wärme.

Auch an Menschen mit traumatischer Optikusatrophie konnte Hertel beobachten, dass nach Belichtung der Iris mit elektrischem Licht eine Pupillenverengerung eintritt, während sie bei Belichtung mit Gaslicht ausbleibt. Namentlich war deutlich eine lokale Wirkung bei Bestrahlung einer engumschriebenen Stelle der Regenbogenhaut zu sehen.

Die Untersuchung der Pupillenreaktion an Kaninchen mit spektral zerlegtem Licht ergab, dass die Intensitäten der Reizschwellenwerte zunehmen mit Zunahme der Wellenlängen in den einzelnen Spektralbezirken. Versuche an Fröschen lieferten ganz analoge Ergebnisse. Vergleicht man aber die beim Kaninchen zur Reaktion notwendige Gesamtenergie mit der beim Frosch erforderlichen, so ergibt sich, dass beim Kaninchen eine durchwegs größere Energiemenge aufgewendet werden muss als beim Frosch. Aber auch die verschiedenen Wellenlängenbezirke verhalten sich bei den beiden Versuchstieren nicht ganz übereinstimmend. Zur Entfaltung einer Reizwirkung durch Strahlen von kurzer Wellenlänge (ultraviolettes Licht) war bei beiden Tierarten die gleiche, oder wenigstens annähernd die gleiche Energiemenge nötig. Die in den Versuchen beobachteten Größenunterschiede in den Lichtintensitäten erklären sich ohne weiteres durch die größere Dicke der Kaninchenkornea gegenüber jener der Frösche, so dass bei den Kaninchen eine stärkere Lichtabsorption in der Hornhaut stattfindet, wodurch die Intensität der auf die Iris gelangenden Strahlen mehr geschwächt wird als beim Frosch.

Viel bedeutender waren dagegen die Intensitätsunterschiede bei den langwelligen Strahlen; und zwar waren beim Kaninchen ganz beträchtlich höhere Reizintensitäten als Schwellenwerte erforderlich als beim Frosch. Erst gegen das Ende des Spektrums hin, im Orange und Rot kamen sich die Reizschwellenwerte der Intensitäten wieder ganz nahe. Diese Verschiedenheiten der zum Reizerfolg notwendigen Energiemengen erklären sich jedoch durch die Pigmentation der Muskelfasern in der Iris der Frösche, während die Irismuskeln der Kaninchen unpigmentiert sind. Durch das Pigment wurde die Absorption für die sichtbaren Strahlen vom Violett bis zum Grün wesentlich verstärkt, weshalb die Strahlen schon bei geringerer Intensität eine Reizwirkung auf die Froschiris hervorzubringen vermögen. Dagegen absorbiert das Pigment die gelben Strahlen schon weniger und im Orange und Rot ist die Absorption durch das Pigment nur noch sehr schwach. Deshalb müssen in diesen Strahlenbezirken wieder höhere Intensitäten zur Erzielung einer Reizwirkung aufgewendet werden. Dadurch werden die Bedingungen für den Eintritt eines Reizerfolges für die Frosch- und Kanincheniris wieder ganz ähnlich. Die ultravioletten Strahlen werden aber von beiden Irides (Frosch und Kaninchen) gleich stark absorbiert.

Aus diesen eigenartigen Absorptionsverhältnissen der Irides erklärt sich auch ein auffallender Unterschied in der Wirkung von elektrischem Licht einerseits und Tages- und Gaslicht andererseits auf die Iris der Kalt- und Warmblütler. Die Regenbogenhäute der Warmblütler reagieren nur auf die Bestrahlung mit elektrischem Licht, wegen dessen Reichtum an ultravioletten Strahlen, dagegen sind sie unerregbar durch sichtbares, längerwelliges Licht, weil diese Lichter zu wenig von den Iris-muskeln absorbiert werden und deshalb in zu geringer Intensität wirksam werden. Die Regenbogenhäute der Kaltblütler reagieren aber wegen ihres Pigmentgehaltes in den Muskelfasern, der sensibilisierend wirkt, auch auf das längerwellige sichtbare Tageslicht. Hertel's Versuche haben also den stringenten Beweis dafür erbracht, dass auch die Iris-muskeln direkt ohne Nerveneinfluss auf Licht reagieren, sie haben damit eine Angabe Steinach's, die allerdings nach den von Steinach angestellten Versuchen nicht zweifellos feststand, vollkommen exakt bestätigt.

Nach all den reichen und überaus interessanten Ergebnissen der vergleichend-physiologischen Versuche von Hertel kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, dass die Hertel'schen Untersuchungen eine wesentliche und vor allem exakte Bereicherung unserer Erkenntnis von der Einwirkung des Lichtes auf die lebenden Zellen darstellen.

R. F. Fuchs (Erlangen).

### *Deutscher Verein für öffentliche Gesundheitspflege.*

*Die diesjährige Jahresversammlung des Vereins wird in den Tagen vom 11. bis 14. September in Bremen stattfinden.*

*Folgende Verhandlungsgegenstände sind in Aussicht genommen:*

1. *Verbreitungsweise und Bekämpfung der epidemischen Genickstarre.*  
Referent: Geh. Medizinalrat Prof. Dr. Flügge (Breslau).
2. *Wie hat sich auf Grund der neueren Forschungen die Praxis der Desinfektion gestaltet?*  
Referent: Prof. Dr. Tjalen (Bremen).
3. *Die Mitwirkung der Krankenkassen auf dem Gebiete der öffentlichen Gesundheitspflege.*  
Referent: Sanitätsrat Dr. Mugdan, M. d. R. (Berlin).
4. *Die Gartenstadt.*  
Referent: Prof. Dr. C. I. Fuchs (Freiburg i. Br.).
5. *Der moderne Krankenhausbau vom hygienischen und wirtschaftlichen Standpunkte.*  
Referenten: Prof. Dr. Lenhartz (Hamburg) und Baurat F. Ruppel (Hamburg).

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [27](#)

Autor(en)/Author(s): Redaktion Biologisches Centralblatt

Artikel/Article: [Diverse Berichte 510-528](#)