

Sitzung vom 17. November 1927,

Vorsitzender: Geheimrat Busz. Herr W. Stempell:

Ueber eine bisher unbekannte Eigenschaft lebender Substanz.
(Vorläufige Mitteilung.)¹⁾

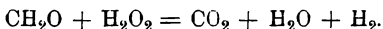
Das Leben ist ein Kreisprozeß zwischen Oxydation und Reduktion. Nach neueren Ansichten²⁾ entstehen bei der Photosynthese, die ja selbst eine Strahlenwirkung ist, durch Oxydation zunächst intermediäre Peroxyde, wahrscheinlich auch Wasserstoffsperoxyd, die bei der eigentlichen, darauf folgenden, ja reduktiven Photosynthese wohl zum Teil wieder verschwinden; und wir wollen in diesem Zusammenhang daran denken, daß ja H_2O_2 aus Wasser durch ultraviolette Strahlen entsteht, aber durch die gleichen Strahlen auch weitgehend zu Wasser reduziert wird. Da nun weiterhin Bestrahlung mit Lichtstrahlen, ultravioletten, Röntgen- oder Radiumstrahlen nicht nur die Bildung kolloidaler Kohlehydrate und Eiweißkörper, sondern bei richtiger Dosierung auch Zellteilung, Vitaminbildung u. a., also eine Reihe für den Lebensprozeß außerordentlich wichtiger Prozesse hervorruft bzw. hemmt, so kann kein Zweifel bestehen, daß irgendeine Form solcher elektromagnetischen Energie bei den so innig mit Oxydation und Reduktion zusammenhängenden Vorgängen in der lebenden Zelle eine ausschlaggebende Rolle spielt. Man kann sich wenigstens als Arbeitshypothese gut vorstellen, daß in dem Kreisprozeß Oxydation-Reduktion irgendwo und zwar wahrscheinlich zwischen Reduktion und Oxydation ein Strahlungsvorgang eingeschoben sei. Da nun H_2O_2 sehr wahrscheinlich in allen Zellen entsteht — das konstante Vorkommen eines nur zur H_2O_2 -Zersetzung dienenden Fermentes, der Katalase, in sämtlichen Zellen zwingt m. E. geradezu zu dieser Annahme³⁾ —, so liegt es vielleicht auch nicht so fern, den allerdings kühnen, aber in einer reinen Arbeitshypothese wohl erlaubten Gedanken zu hegen, dem durch Oxydation entstandenen H_2O_2 insofern eine Rolle bei der Entstehung der Strahlung zuzuschreiben, als es bei Reduktion solche abgäbe. Wir wissen ja aus einem bekannten Laboratoriumsversuch, daß bei Oxydation von Formaldehyd durch H_2O_2 in Gegenwart von Pyrogallol und Kaliumkarbonat — also bei Reduktion von H_2O_2 — sogar

1) Die ausführliche Darstellung wird demnächst an anderer Stelle erfolgen; doch habe ich diese Mitteilung genügend ausführlich gestaltet, um jedem schon jetzt die Möglichkeit zu geben, selbst die Versuche nachzuprüfen.

2) Vergl. z. B. Adams, E. Q., The efficiency of photosynthesis by *Chlorella* in: Journ. of the Americ. chem. soc. Bd. 48, Nr. 1 p. 292—294. 1926.

3) In Pflanzensäften und als Produkt gewisser anaerober Bakterien ist H_2O_2 auch bereits nachgewiesen worden.

sichtbare Lichtstrahlen entstehen. Der wesentliche Vorgang dabei ist wohl:



Als ich bereits lange mit den sich aus dieser Hypothese ergebenden Versuchen beschäftigt war, wurde mir bekannt, daß durch ganz andersartige Ueberlegungen Gurwitsch⁴⁾ dazu gekommen ist, eine von den Organismen ausgehende Fernwirkung festzustellen, die er deswegen, weil sie sich in der Beschleunigung von Zellteilungen dokumentiert, als „mitogenetische Strahlung“ bezeichnet und die er als sehr kurzwellige Strahlung auffaßt. So außerordentlich wertvoll diese Feststellungen für das von mir behandelte Problem sind, so betreffen sie doch lediglich physikalisch nicht kontrollierbare, schwer meßbare und kaum weiter analysierbare Wirkungen auf andere Organismen. Ich habe trotz der Gurwitschschen Publikationen absichtlich die damaligen Ergebnisse meiner Untersuchungen nicht eher veröffentlicht, weil mir weniger an Prioritätsrechten als daran lag, mein ganz selbständig gefundenes Ergebnis auf eine möglichst exakt fundierte Grundlage zu stellen; zumal gerade in punkto Strahlenwirkung der Organismen schon so viele und bedauerliche Irrwege gegangen worden sind⁵⁾.

Nehmen wir aber vor der Hand die Gurwitsch'schen Ergebnisse in die oben skizzierte Arbeits-Hypothese auch noch hinein, so kann man vielleicht kurz so zusammenfassen:

1. Entstehung von H_2O_2 durch Strahlung — Oxydation — Zellteilung.
2. Zersetzung von H_2O_2 durch weitere Strahlung — Reduktion — Hemmung der Zellteilung.
3. Infolge der Reduktion Entstehung von neuer Strahlung⁶⁾.

4) Z. B.: Arch. f. Entwicklungsmechanik Bd. 103. 1924. Ebenda Bd. 108 (1926), ferner in „Das Problem der Zellteilung, physiologisch betrachtet“. Berlin 1926. Hier auch zahlreiche Arbeiten seiner Schüler; eine anderweitige Bestätigung steht noch (Nov. 1927) aus.

5) Aus diesem Grunde will ich auch auf die zahlreichen älteren Arbeiten, besonders über die sog. N-Strahlen, deren meist trostlose Ergebnisse Ernst Mangold in Wintersteins Handbuch der vergleichenden Physiologie Bd. 3, 2. Hälfte (1910 bis 1914), sehr übersichtlich zusammengefaßt hat, hier nicht näher eingehen, zumal sie mit ganz anderen Arbeitshypothesen und Methoden arbeiten. Gerade die photographische Platte, die in jenen Untersuchungen eine so große Rolle spielt, ist mit beinahe ebenso vielen Fehlerquellen für den vorliegenden Zweck wie das menschliche Auge behaftet; sie hat auch mit dem Auge das gemeinsame, daß sie für sehr kurzwellige UV-Strahlen — wegen der Gelatineschicht — unempfindlich ist.

6) Damit sollen natürlich nur Richtlinien im Großen angedeutet sein, und es soll nicht etwa das Zellgeschehen in seiner ungeheuren Komplikation so kurzerhand abgetan werden.

Ich will in dieser vorläufigen Mitteilung nicht noch darauf eingehen, wie man sich auf Grund der hier kurz entwickelten Vorstellungen die Wirkung der Katalase, die ja wie die aller Fermente wohl eine rein physikalische — vielleicht oscillatorische — ist, vorstellen kann, und nun zur Schilderung meiner eigenen Versuche übergehen, die schon annähernd 600 betragen und sich auf den Zeitraum vieler Jahre erstrecken.

Als Reagenz oder „Detektor“ diene natürlich in allen Fällen das Wasserstoffsuperoxyd. Ich greife hier aus vielen zwei Versuchsreihen heraus, von denen die erste, die auf Gasmessung beruht, sozusagen nur ein halbes Ergebnis hatte, während die zweite, auf Kolorimetrie beruhende, ein wohl kaum anfechtbares, ganzes Ergebnis zeitigte.

Bei der ersten Versuchsreihe wurde mit etwa 30%igem Wasserstoffsuperoxyd gearbeitet. Die so sehr labile Natur des H_2O_2 , dessen Zersetzung bekanntlich nicht nur durch Licht, Wärme, Erschütterung usw., sondern schon durch minimale Oberflächenunterschiede und die Glassorte des Gefäßes, in dem es sich befindet, stark beeinflusst wird, machte die Versuche technisch recht schwierig, so einfach sie auch zunächst schienen, und da die Wirkungen, von denen ich sprechen werde, an sich nur geringfügige sind, es mußten die einzelnen Versuche oft lange ausgedehnt werden (häufig beanspruchte ein einzelner Versuch mehr als einen Monat).

Allgemein ging ich so vor, daß ich eine etwa 1 bis 1,3 cm weite, sehr dünnwandige, etwa 60 cm lange, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre, deren zugeschmolzenes Ende etwa 12 cm weit U-förmig umgebogen war, mit 30%igem Wasserstoffsuperoxyd oder auch Perhydrol (M e r c k) füllte, sie dann längere Zeit in nächster Nähe von lebenden Tieren oder Pflanzen aufstellte und mittels einer Skala am blind-endigenden Schenkel oder auch am offenen Schenkel (als Steigrohr) die Menge des Sauerstoffs maß, die in einer bestimmten Zeit abgeschieden war, während gleichzeitig eine zweite, gleiche, aber nicht den Organismen „exponierte“ Röhre den Stand der Sauerstoffentwicklung ohne Organismenwirkung anzeigte. Nicht immer stand die letztere Röhre fern von den Organismen in einem besonderen Gefäß, sondern in den meisten Fällen wurde sie sogar unmittelbar neben die andere Röhre und mit ihr mitten zwischen die Tiere oder Pflanzen gesetzt, aber ihr Gas ansammelnder Schenkel mit Stanniol, einer Bleikappe, Blattgold oder einem Pappkarton bedeckt, oder endlich sie stand hinter einer Zinkwand, welche die Organismen nicht durchbrechen konnten. Das Versuchsgefäß mußte natürlich in mannigfacher Weise den besonderen Lebensbedürfnissen und Gewohnheiten der benutzten Organismen angepaßt werden. Alle Versuchsanordnungen wurden dauernd im Dunkelzimmer belassen, um

Lichtwirkung auszuschließen, und außerdem noch — abgesehen von den kurzen Beobachtungszeiten — mit schwarzen Tüchern verhängt. Alle Röhren wurden — besonders bei den späteren Versuchen — sorgfältig gereinigt durch Ausspülen mit Salpetersäure, viermaliges Waschen mit Wasser, schließlich Ausspülen mit durch Glasfilter filtriertem, destilliertem Wasser und erst dann wurden sie mit durch Glasfilter filtriertem Wasserstoffsperoxyd gefüllt. Zum Schutz gegen Staub wurde das offene Ende der Steigröhre mit einer Glaskappe bedeckt. Als Versuchsorganismen dienten bisher keimende Erbsen, Aktinien, Regenwürmer, Mehlwurm-puppen, Stabheuschrecken, Wasserschnecken (Planorbis-Arten), Froschlaich, Kaulquappen, Frösche, Goldfische und weiße Mäuse.

Schon bei diesen einfacheren, gewissermaßen rohen Versuchen zeigten über 57% der durchgeführten Fälle eine auffällige Vermehrung des Sauerstoffs in der den Tieren exponierten Röhre gegenüber der anderen; während nur wenig über 21,5% der Versuche das umgekehrte Ergebnis — mehr O_2 in der nicht exponierten Röhre — hatten und 21,5% zweifelhaft blieben.

Dadurch ermutigt, aber nun auch gerade zweifelnd, begann ich ausgedehntere Versuche mit Kontrollen anzustellen, die, um alle Fehlerquellen möglichst auszuschalten, meist in folgender Weise angesetzt wurden. Da sich gezeigt hatte, daß auch zwei scheinbar ganz gleiche Röhren unter gleichen Bedingungen und ohne Organismen aufgestellt, oft große Unterschiede in der O_2 -Entwicklung aufweisen, so wurde zunächst jedesmal ein Vorversuch in dieser Weise angestellt, um die Eigenart der Röhren zu ermitteln. Darauf wurden zwei in punkto O_2 -Abscheidung nahezu gleiche Röhren (ganz gleiche scheint es nicht zu geben) mit den Organismen in einem Hauptversuch angesetzt, und schließlich wurde nach Entweichenlassen des Sauerstoffs aus den beiden Röhren mit diesen und der alten Füllung noch ein „organismenloser“ Anhangs- (Kontroll-) Versuch gemacht. Durch ein- oder zweimalige Ablesung am Tage wurde während der ganzen Versuchsdauer (3—6 Wochen je nach der Außentemperatur) der jeweilige Stand der Flüssigkeit (meist am Steigrohr) gemessen und in Kurven eingetragen. Diese fortlaufende Beobachtung war deswegen nötig, weil sich herausgestellt hatte, daß eine und dieselbe Röhre sich sogar in verschiedenen Stadien der Füllung sehr verschieden verhalten kann. Mittels der angegebenen Methode kann man aber durch Vergleichung der 4 Kurven in entsprechenden Füllungsstadien alle in der Verschiedenheit der Röhren liegenden Fehlerquellen so weit als möglich ausschließen und in der Regel ein klares Bild gewinnen. Da endlich der wichtige Einwand gemacht werden kann, daß bei der ganzen H_2O_2 -Zersetzung die Wärmewirkung der Organismen eine Rolle spiele, so habe ich außerdem noch

eine Reihe von Wärmeversuchen mit keimenden Erbsen und weißen Mäusen (bei letzteren natürlich ausschließlich solche) angestellt. Bei den Erbsen-Wärmeversuchen standen beide Röhren mit den Umbiegungsstellen in Wasser, das konstant auf einer Temperatur von etwa 30° gehalten wurde, bei den weißen Mäusen waren die kurzen Schenkel der beiden Röhren von einem weiteren, kühlerähnlichen Gefäß mit Thermometer umgeben, und durch dieses Gefäß wurde aus einem Kessel dauernd 42—45° warme, konzentrierte Alaunlösung oder Wasser gleicher Temperatur hindurchgeleitet, so daß die Röhren stets eine höhere Temperatur als die Mäuse hatten, deren Versuchsgefäß außerdem, um ein genügendes Wärmegefälle herzustellen, durch außen es umspülendes Kühlwasser auf einer Temperatur von etwa 21° gehalten wurde. Bei diesen Versuchen konnte also weder fließende noch strahlende Wärme von den Organismen auf die Röhren übergehen. Es sei aber gleich bemerkt, daß die komplizierte Anordnung der Mäuseversuche, bei denen sich oft aus dem Wasser oder der Alaunlösung auf den Röhren und im „Kühler“ dichte Niederschläge bildeten, nur in wenigen Fällen klare Resultate ergab, und nur wenig besser war das Resultat bei den Wärme-Erbsenversuchen. Die hochprozentige H_2O_2 -Lösung ist eben ein beinahe explosibler, bei höherer Temperatur sehr ungleichmäßig reagierender Körper.

In allen Fällen, wo es sich um stark bewegliche und lebhafte Tiere handelte, welche die Röhren erschüttern konnten (Frösche, Mäuse usw.), befanden sich die Röhren in einer gemeinschaftlichen Hülse oder hinter einer Wand von weitmaschigem Drahtnetz, sodaß die Tiere die Röhren nicht berühren konnten; ähnlich waren auch viele Erbsenversuche angeordnet. Häufig wurde während des Hauptversuchs ein Experimentum crucis angestellt, indem die Organismen während des Versuchs hineingesetzt oder herausgenommen wurden, oder indem die Bedeckung der Röhren vertauscht wurde.

Das Gesamtergebnis aller dieser (etwa 70) Versuche ist ohne Zweifel eine erhebliche Förderung der O_2 -Produktion in den exponierten Röhren durch die Organismen, d. h. es wurde hier relativ mehr O_2 abgeschieden als in der nicht exponierten Vergleichsröhre. 73% der eindeutigen Versuche waren eindeutig positiv nach dieser Richtung, die übrigen negativ. (Die Zahl der zweifelhaften stieg mit den Kontrollen.) So gelang es auch mehrfach, u. a. bei einem bei Zimmertemperatur stattfindenden Erbsenversuch (bei dem, wie auch in einigen anderen Fällen, eine Doppelröhre, d. h. eine Röhre mit zwei Gasentwicklungsröhren an einem Steigrohr, benutzt wurde), durch Vertauschung der Bedeckung (dickes Bleirohr) die Sauerstoffabscheidungskurven der beiden Röhren ohne weiteres und mehrfach (bis vier Mal) zur Kreuzung zu bringen. Außer mit gewöhnlichem

Thüringer Glas wurden übrigens auch Versuche mit weißem und braunem Jenenser Glas, mit Röhren aus Quarz und Zelluloid angestellt, die nicht wesentlich andere Ergebnisse lieferten als die Versuche mit Glas, während Metalle in dünnsten Folien ganz oder stark undurchlässig zu sein scheinen.

Immerhin konnte dies Resultat, das doch nur ein halbes war, nicht befriedigen, da Wärmewirkung bei der ganzen Versuchsanordnung nicht ganz auszuschließen war. So konnte man z. B., wenn man bei dem Erbsenversuch die keimenden Erbsen durch einen Gummischlauch ersetzte, durch den warmes Wasser geleitet wurde, eine ähnliche — mal stärkere, mal schwächere — Wirkung mit Kreuzung der Kurven hervorrufen. Den Wärme-Einwand mußte man hier also an sich gelten lassen; doch andererseits wurde das Versuchsergebnis dadurch m. E. auch nicht ganz ad absurdum geführt, da die Wärme, die man zur Erreichung einer ähnlichen Wirkung anwenden mußte, wohl viel größer war, als die Wärme, welche die keimenden Erbsen erzeugen konnten⁷⁾. Jedenfalls wurde diese Versuchsreihe schon vor längerer Zeit abgebrochen.

Bei der kolorimetrischen Versuchsreihe wurde mit sehr schwachen Lösungen von H_2O_2 und meist mit Zwiebelwurzeln (*Allium*) gearbeitet. Anfänglich wurden die Versuche meist folgendermaßen — stets im Dunkelzimmer oder unter Lichtschutz — aufgebaut. Unter einer Glocke oder einem Exsikkator (mit Tubus im Deckel) als feuchter Kammer (Schale mit Wasser oder am Boden etwas Wasser) wurde an einem drehrunden, 5 mm dicken Treibriemen, der durch eine Glasröhre des oberen, durchbohrten Gummistopfens ohne Reibung hindurchging und oben an einem durch Trieb genau verstellbaren Stativ befestigt war, mittels Hakens eine von Stanniol umwickelte Zwiebel mit kräftigen, nicht zu langen Wurzeln nach unten aufgehängt, und dann wurden möglichst viele, gleichlange Wurzeln zu einem Bündel zusammengebunden. Genau unter die Wurzeln kam ein sorgfältig mit Alkohol gereinigter Bergkristallobjektträger (0,5 mm dick, senkrecht zur optischen Achse geschliffen und poliert)⁸⁾ in einem Aluminium-Objektträgerhalter. Der Objektträger wurde auf der Seite, die den Tropfen aufnehmen sollte, durch zweimaliges Hindurchziehen durch die Flamme und darauf durch siebenmaliges Hindurchziehen

7) Bei dem einen Versuch mit dem Gummischlauch betrug z. B. die Temperatur in der Nähe der Röhre etwa 30° (bei $24,5^\circ$ Zimmertemperatur), während die keimenden Erbsen höchstens 25° warm waren (bei $24,5^\circ$ Zimmertemperatur). Allerdings kommen ja bei keimenden Erbsen Erwärmungen um 2° vor; aber das ist auch noch viel weniger als $5,5^\circ$!

8) Wie er von Zeiß-Jena für den Köhlerschen Apparat zur Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht geliefert wird. Glas ist wegen seines Alkaligehaltes nicht einwandfrei.

durch die Flamme auf der anderen Seite sterilisiert⁹⁾. Auf die Mitte des Objektträgers kam ein runder Tropfen einer sterilen Lösung von 3 Tropfen einer ca. 3%igen H_2O_2 -Lösung¹⁰⁾ in 20 ccm destillierten Wassers (der Tropfen enthält also etwa $1,12 \cdot 10^{-5}$ gr. H_2O_2). Für einige Versuche wurde auch mit Vorteil eine fünffach stärkere Lösung benutzt. Die Wurzeln wurden so eingestellt bezw. beim Wachsen so nachgestellt, daß sie je nach der Zimmertemperatur 15—50 Stunden lang mit ihren Spitzen etwa 1—2 mm von der Oberfläche der Tropfenmitte entfernt waren. (Das machte etwa alle halben Stunden eine Kontrolle der Versuche nötig.) Ein zweiter, genau gleich behandelter Objektträger mit einem Tropfen von gleicher Form und Größe kam meist in die gleiche feuchte Kammer, aber nicht unter die Wurzeln. Das Ganze wurde in der Dunkelkammer aufgestellt. Später wurde diese Versuchsanordnung dann noch einwandfreier gestaltet, da sich gezeigt hatte, daß bei der geschilderten Anordnung unter Umständen — wenn auch selten — Schimmelpilze und Milben in den Tropfen gelangen konnten. So wurde die Zwiebel, an der nur eine besonders kräftige Wurzel von 3—5 cm Länge belassen wurde, umgekehrt, also mit der Wurzel nach oben, in einer Drahtspirale befestigt und mittels eines zweimal rechtwinklig gebogenen Drahtes an der oben beschriebenen Einstellvorrichtung oder innerhalb der feuchten Kammer am Unterende einer an einem krahartigen Gestell befestigten Einstellschraube aufgehängt. Zwischen dem Aufhängepunkt und der Zwiebel befand sich in der feuchten Kammer ein kleiner Tisch aus lackiertem Zink- oder Kupferblech, dessen Oberfläche mit einer Glasplatte bedeckt oder paraffiniert war¹¹⁾. Die Tischplatte trug unter der Aufhängevorrichtung ein Loch und in diesem — oben nur wenig hervorragend — eine 3 mm weite und etwa 3 cm lange Glasröhre zur Aufnahme des Zwiebelwurzel-Endes. Um das Auftreten von Schimmelpilzen in der Nähe der oben aus der Glasröhre austretenden Wurzelspitze zu vermeiden, war nicht nur die Glasröhre innen und außen mit Paraffin überzogen, sondern auch die obere Tischplatte, wenn sie aus Glas bestand, in der näheren Umgebung der oberen Glasröhrenmündung mit Paraffin überzogen. Genau über das Glasröhrenende mit der wenig hervorragenden Wurzel-

9) Zu starkes Erhitzen läßt die Platten zerspringen. Mehr als zweimaliges Hindurchziehen durch die Flamme hat auf der für den Tropfen bestimmten Seite ein Auseinanderlaufen des Tropfens zur Folge. (Niederschläge aus dem Gas.)

10) Durch Titration festzustellen, da die Handelsware meist schwächer als angegeben ist. Die benutzte verdünnte Lösung ist möglichst oft frisch zu bereiten, da sie in 8 Tagen schon merklich schwächer wird und dann undeutlichere Resultate ergibt.

11) Metallflächen scheinen den Versuch zu stören. Glasplatten wurden mit Sublimat sterilisiert.

spitze kam in kurze Entfernung der an der Unterseite des Bergkristallobjektträgers hängende Tropfen der H_2O_2 -Lösung, neben diesen Objektträger ein gleichbehandelter mit dem ebenfalls hängenden Vergleichstropfen. Zur Auflage der beiden Objektträger trug die Tischplatte zwei Glasleisten, in deren Umgebung sie zur Abhaltung von kriechenden Milben usw. mit Raupenleim (venet. Terpentin + Paraff. liquid.) bestrichen war. Unbedingt gleiche Größe und Form der beiden Tropfen wurde mittels einer senkrecht aufgestellten, oben fein ausgezogenen Mikropipette erzielt, die unten einen am Ende verschlossenen und mit Schraubenquetschhahn versehenen Gummischlauch trug, mit Teilmarken versehen war und oben ein Gestell zum Darauflegen der Objektträger trug, an dessen Unterseite ja der Tropfen angebracht werden sollte. Beide Objektträger wurden dann in der feuchten Kammer noch mit einer Petrischale bedeckt. Durch diese Versuchsanordnung wurden alle Fehlerquellen, wie ungleiche Verdunstung der beiden Tropfen, verschiedene Größe und Form derselben, Hineingelangen von Fremdkörpern, so gut wie vollständig ausgeschlossen. Versuche, bei denen die Wurzelspitze auch nur einen Moment in den Tropfen eingetaucht war, wurden natürlich verworfen.

Nach 15—50stündigem Stehen¹²⁾ des Versuchs bei voller Einstellung der Wurzel¹³⁾ wurde dann jeder Tropfen mittels einer Pipette restlos aufgesogen und in ein Reagenzglas mit 20 ccm dest. Wassers gebracht (natürlich mit mehrfacher Nachspülung). Die beiden Reagenzgläser für einen Versuch müssen genau gleich weit und von gleichgefärbtem Glase sein. Dann kommen in jedes Reagenzglas 2 ccm einer konzentrierten Lösung von Titansulfat in verdünnter Schwefelsäure (15 ccm conc. reiner Schwefelsäure [1,3] + 85 ccm Aq. dest.). Die entstehende Gelbfärbung beider Flüssigkeiten (TiO_3) wird dann bei Längsdurchsicht durch die Reagenzgläser auf weißem und dunkelblauem oder schwarzem Hintergrund bei Tageslicht mit einem Auge verglichen. Oft — bei feinen Unterschieden — genügt aber eine so einfache kolorimetrische Vergleichung noch nicht zur vollen Sicherheit, da einmal subjektive Momente (Autosuggestion) mitspielen, und es auch kaum zwei ganz gleich gefärbte Reagenzgläser gibt¹⁴⁾. Ich bin daher zuletzt stets folgendermaßen vorge-

12) Zu langes Stehen macht wegen dann zu schwachen H_2O_2 -Gehalts die Reaktion undeutlich.

13) Unterbrechungszeiten, z. B. Nachts, natürlich nicht gerechnet. Sich zu stark seitwärts krümmende, nicht wachsende Wurzeln und solche mit vertrocknender Spitze müssen natürlich durch neue ersetzt werden.

14) Der Unterschied in der Glasfarbe spielt besonders bei Durchsicht auf dunklem Hintergrunde eine große Rolle, weniger auf hellem Hintergrunde.

gangen: Ich habe zunächst zwei möglichst gleiche, nummerierte Gläser, sagen wir 1 und 2, genommen, zuerst die Flüssigkeit mit dem „bestrahlten“ Tropfen in Nr. 2, die andere in Nr. 1 getan und dann drei unwissentliche Bestimmungen, d. h. ohne Kenntnis der Nummern, vorgenommen. Darauf habe ich wieder 3 Bestimmungen mit einem zweiten Gläserpaar, sagen wir 3 und 4, mit der „bestrahlten“ Flüssigkeit in 4 gemacht. Darauf wurde wieder das erste Gläserpaar, aber mit vertauschten Flüssigkeiten (also „bestrahlt“ in 1) benutzt und endlich das zweite ebenfalls mit vertauschten Flüssigkeiten. Nur wenn alle 12 unwissentlichen Bestimmungen das gleiche Resultat ergaben, wurde es als gesichert (+ bzw. —) bezeichnet, sonst je nachdem als + ? — ? oder + —. Diese Methode war sogar sicherer und zuverlässiger als Bestimmung mit dem Duboscq'schen Kolorimeter, zumal für dieses die Flüssigkeitsmengen auch nicht recht ausreichten.

Die ersten Versuchsreihen (204 Vers.) ergaben außer zahlreichen unentschiedenen Fällen nun regelmäßig trotz mannigfacher Variationen der Versuchsanordnung in 86% der ein eindeutiges Ergebnis zeigenden Fälle eine meist deutlich größere Gelbfärbung der den Kontrolltropfen enthaltenden Flüssigkeit (positives Resultat), d. h. also eine größere Abnahme des H_2O_2 -Gehaltes in dem der Zwiebelwurzel ausgesetzten Tropfen, die sich bei den gewählten Verdünnungen in der Intensität der Reaktion sofort bemerkbar macht. 14% der ein Ergebnis zeigenden Versuche boten aber stets — wenn auch meist schwach — das umgekehrte Bild (negativ). Erst als ich die geschilderte feinere kolorimetrische Vergleichung und bessere Versuchsanordnung einführte, verschwanden die schwachnegativen Ergebnisse, die wohl meist auf Rechnung der ungleichen Glasfärbung kamen, ganz, und es verblieben zunächst nur etwa 35% + ? und + —-Ergebnisse. (26 Vers.) Daß sich diese schwer ganz vermeiden lassen, ist klar, wenn man bedenkt, daß viele Wurzeln schlecht oder gar nicht wachsen, infolge Verletzung absterben, an der Spitze vertrocknen, sich abwärts krümmen usw. Läßt man die Versuche immer mindestens 35 Stunden stehen und schaltet alle diese Fehlerquellen sorgfältig aus, so fallen aber auch die + —-Ergebnisse ganz fort, d. h. alle Versuche gelingen ohne Ausnahme. (13 Vers.)

Ich will nun einige mögliche Einwände besprechen. Um den Einwand auszuschalten, daß Wärmewirkung am Spiele sei¹⁵⁾, wurden zunächst zwei gleichgroße, gut verschlossene Reagenzgläser aus Jenaer Glas mit gleichen Mengen der schwächeren H_2O_2 -Lösung steril beschickt, das eine bei 30° 24 Stunden lang gehalten, das andere

15) Da ja in der feuchten Kammer keine wesentliche Verdunstung stattfindet, könnte immerhin eine gewisse Wärme von der Wurzelspitze produziert werden.

bei Zimmertemperatur hingestellt: bei Anstellung der Probe mit je einem Tropfen ergab sich kein sichtbarer Unterschied. Der gleiche Versuch wurde mit der schwächeren und der stärkeren Lösung in Reagenzgläsern von geschmolzenem Quarz bei einem Temperaturunterschied von 3° über 47 bzw. 73 Stunden vorgenommen; auch hier ließ sich bei der schwachen Lösung nur eine sehr geringe, unsicher zu konstatierende und bei der stärkeren gar keine Einwirkung der Wärme mit meinen Methoden feststellen.

Nun könnte aber gesagt werden, die von der Zwiebelwurzelspitze produzierte Wärme wirke auf einen isolierten Tropfen mit seiner großen Oberfläche viel stärker als auf die in Röhren eingeschlossene Lösung. Um auch diesen an sich sehr berechtigten Einwand zu prüfen, wurden noch zahlreiche Wärmeversuche mit einzelnen, wie im Zwiebel-Versuch in feuchten Kammern angeordneten Tropfen auf Grund folgender Ueberlegung angestellt. Nehmen wir einmal zunächst an, der der Wurzel exponierte Tropfen erwärme sich durch den Einfluß der Wurzelspitze dauernd um $0,5^{\circ}$ mehr als der nicht einer Wurzelspitze gegenüberstehende, und der Versuch dauere 40 Stunden¹⁶⁾, so müßte eine Erwärmung eines isolierten Tropfens um 3° über etwa 7 Stunden wenigstens annähernd den gleichen Effekt hervorbringen¹⁷⁾. Zahlreiche Vergleichsversuche, bei denen ein Tropfen der schwächeren Lösung bei 14° , ein anderer bei 17° verschieden lange standen, ergaben nun, daß bis 7stündiges Stehenlassen des Versuchs bei 3° die Wirkung des Temperaturunterschiedes in der Reaktion bei den beiden Tropfen gar nicht hervortreten ließ, während längeres, etwa 10stündiges Stehen bei 3° Unterschied oder auch kürzeres Stehen bei entsprechend größerem Temperaturunterschied bei einzelnen Tropfen (nicht in geschlossenen Röhren) eine merkliche Abnahme des H_2O_2 in dem wärmer gehaltenen Tropfen zeitigte. Allgemein ergab sich bei der schwächeren Lösung, daß das Produkt aus der Zeit (in Stunden) und dem Temperaturunterschied (in Celsius-Graden) 20 nicht erheblich überschreiten durfte, um keinen Unterschied im H_2O_2 -Gehalt zu ergeben. Dasselbe gilt für die stärkere Lösung, nur mit dem Unterschied, daß hier sogar 23stündiges Stehen bei 3° Unterschied noch keinen deutlich wahrnehmbaren Effekt hatte (Zeit-Temperaturprodukt = 70)¹⁸⁾.

16) In Wirklichkeit dauerten die Versuche meist viel weniger lange.

17) Von einer genauen physikalischen Bestimmung kann man hier wohl absehen.

18) In Wirklichkeit sind die reinen Wärmewirkungen auf die H_2O_2 -Zersetzung wohl noch geringer, als es nach den Versuchen scheint, da die sicher stärkere Verdunstung des wärmeren Tropfens das Resultat ja vergrößert.

Da nun die Grundannahme, der der Wurzelspitze exponierte Tropfen erwärme sich um $0,5^{\circ}$ mehr als der nichtexponierte, daneben liegende, zudem zweifellos ein viel zu großes Temperaturintervall zwischen den beiden Tropfen voraussetzt, so dürfte der ganze Wärme-Einwand als entkräftet gelten. Ich habe übrigens auch versucht, die Temperatur über und an der Wurzelspitze, bezw. an vielen zusammengebundenen Wurzelspitzen, durch ein empfindliches, in $\frac{1}{10}$ Grade geteiltes Thermometer direkt zu messen und sie mit der in kurzer Entfernung von der Wurzelspitze in der gleichen feuchten Kammer herrschenden Temperatur verglichen; aber niemals einen greifbaren Unterschied feststellen können¹⁹⁾.

Gegen eine Wirkung der Temperatur bei den Versuchen spricht auch deutlich das Ergebnis sehr zahlreicher Versuche, bei denen eine Wurzelspitze ein $0,17$ — $0,2$ mm dickes Deckgläschen aus geschmolzenem Quarz 12 — 60 Stunden lang von unten berührte, während $\frac{1}{4}$ Tropfen der stärkeren Lösung sich auf der Oberseite des Deckgläschens befand; wobei also die Wärmeleitung sicher besser war als bei den Bestrahlungsversuchen durch Luft auf Entfernungen von 1 — 2 mm: das Resultat war in den meisten Fällen $+$, seltener $-$ (d. h. der exponierte Tropfen enthielt sogar mehr H_2O_2 , als der nicht exponierte); fast nie aber positiv. Wir kommen auf diese Versuche unten noch zurück.

Kann durch die zahlreichen Wärme-Kontrollversuche auch der Wärme-Einwand als völlig widerlegt gelten, so haben diese Versuche doch darüber hinaus insofern Interesse, als sie einen wohl gangbaren Weg zeigen, auf dem man in Zukunft die von der Wurzelspitze ausgehende Energie vielleicht wird messen können. Denn wenn z. B. ein etwa 15 stündiges Erwärmen eines Tropfens schwacher Lösung um 3° ein kolorimetrisch gleiches Ergebnis hat, wie eine Wurzelexposition von bestimmter Dauer, so ließe sich diese Wirkung in Kalorien ausdrücken. —

Um bei der bisher geschilderten Versuchsanordnung auch chemische Einflüsse, etwa von der Wurzelspitze abgeschiedene Gase, auszuschalten²⁰⁾, habe ich u. a. Tropfen mit mehreren abgeschnittenen Wurzeln radiär — aber ohne Berührung — bis 51 Stunden lang umlegt, ohne deutliche Unterschiede mit dem Kontrolltropfen (meist in anderer feuchter Kammer) feststellen zu können. Immerhin hat sich später gezeigt, daß auch abgeschnittene, überlebende Wurzeln

19) Die Versuche waren natürlich ebenso aufgebaut, wie diejenigen mit dem Tropfen, an dessen Stelle sich nur die Quecksilberkugel des sehr empfindlichen Thermometers befand.

20) Für die endgültige Entscheidung kommen sie vielleicht nicht in Frage, da, wie wir noch sehen werden, die Wirkung auch durch Bergkristallplatten hindurch erfolgen dürfte.

eine ähnliche Wirkung haben wie an der Zwiebel belassene, wenn sie mit der Spitze senkrecht zu der Fläche des Tropfens orientiert werden.

Nun könnte noch gesagt werden, daß der in der Nähe des Wurzelendes vielleicht infolge der Atmung vorhandene höhere Partiardruck der Kohlensäure oder der ebenda herrschende niedere Partiardruck des Sauerstoffs einen Einfluß auf die Zersetzung des H_2O_2 haben könnte. Ich habe daher auch diese Frage durch Kontrollversuche geprüft. Läßt man einen Tropfen der stärkeren Lösung in CO_2 -Atmosphäre und einen anderen in O_2 -Atmosphäre 48—72 Stunden lang liegen, so zeigt sich stets in CO_2 eine größere Menge H_2O_2 , also eine Hemmung des Abbaus im Vergleich mit dem Tropfen in Sauerstoff. Der eventuell höhere Partiardruck der Kohlensäure an der Wurzelspitze könnte also, wenn er in Betracht käme, nur hemmen, nicht beschleunigen. Vergleicht man Tropfen schwacher oder starker Lösung in Luft und reinem Sauerstoff nach 48 Stunden, so ist kein deutlicher Unterschied festzustellen, so daß ein wesentlicher Einfluß geringeren O_2 -Druckes jedenfalls nicht anzunehmen ist.

Als m. E. letztmöglicher Einwand käme in Frage, daß an der Wurzelspitze irgendwelche mit dem Auge nicht wahrnehmbare schwache Lichterscheinungen aufträten, zumal u. a. Schläpfer²¹⁾ eine bei lebenden Zellen vorkommende schwache Photoaktivität (Photolumineszenz oder Chemilumineszenz) beschrieben hat, und ja auch schwaches Bakterienlicht wirksam sein könnte. Diese Möglichkeiten mußten demnach auch ausgeschlossen werden. Läßt man aber Tropfen starker oder schwacher Lösung 3 Tage lang einerseits bei schwachem Licht und andererseits in absoluter Dunkelheit stehen, so zeigen sich bei der benutzten Methode keine wahrnehmbaren Unterschiede im H_2O_2 -Gehalt: irgend welche Lumineszenz kann also keine Rolle spielen.

Natürlich war es von Anfang an mein Bestreben, die Wirkung der Wurzelspitze auf den Tropfen auch als durch Bergkristallplatten und Deckgläschen aus geschmolzenem Quarz durchgehend festzustellen. Diese Versuche zeitigten zunächst einander sehr widersprechende Resultate, ja bei den Versuchen mit den 0,17—0,2 mm dicken Deckgläschen aus geschmolzenem Quarz ergaben sich außer einer weit überwiegenden Zahl unentschiedener Resultate (+ —) sogar auffallenderweise viele geradezu negative Befunde (der nicht exponierte Tropfen enthielt scheinbar weniger H_2O_2 als der exponierte), wenn der Versuch etwa 12 Stunden oder wenig länger gestanden hatte (+ : — = 1 : 7). Da man auch bei direkter kurzer (7—9stündiger) Exposition durch Luft zuweilen — wenn auch sehr

21) s. Pflügers Archiv Bd. 108 (1905), 114 (1906).

selten — negative Resultate erhält, und die Platte aus geschmolzenem Quarz wohl ein großes Hindernis darstellt, so neige ich — wenn auch mit großem Vorbehalt — dazu, anzunehmen, daß der Abbau des H_2O_2 durch die Wurzelspitze gegenüber dem Abbau im Kontrolltropfen zunächst auf kurze Zeit eine Hemmung und erst später eine Beschleunigung erfährt, so daß sich also die Abbaukurven beider Tropfen im Anfang kreuzen würden. Immerhin sind die Unterschiede bei diesen Minus-Versuchen außerordentlich gering und nur sehr schwer festzustellen. Da es auch aus rein technischen Gründen nicht möglich ist, die Durchlässigkeit der Deckgläschen aus geschmolzenem Quarz durch länger dauernde Versuche zu analysieren (sie sind zu klein, um mehr als $\frac{1}{4}$ Tropfen starker Lösung aufzunehmen, und bei diesen geringen Mengen stört meist schon nach 2 Tagen die Verdunstung den Versuch), so ließ sich diese Spezialfrage vor der Hand nicht entscheiden. Ganz anders liegt die Sache aber wohl bei den senkrecht zur optischen Achse geschliffenen Objektträgern aus Bergkristall, die auch bei den Gurwitsch'schen Versuchen sich als durchlässig erwiesen. Bei genügend langer und intensiver Einwirkung läßt sich hier die unzweifelhaft positive Wirkung durch die relativ dicken Objektträger erhalten. Nimmt man etwa 20 ungefähr gleich lange (4,5 cm) und kräftige, abgeschnittene Wurzeln und ordnet sie unter einem Bergkristall-Objektträger so an, daß die Spitzen der in einem kleinen Gläschen mit Wasser stehenden, zusammengebundenen Wurzeln die Unterseite des Objektträgers berühren, ersetzt man ferner die abgestorbenen Wurzeln nach 2—3 Tagen durch neue, so läßt sich nach 5—6 Tagen in den meisten Fällen eine sehr deutliche Verringerung des H_2O_2 in dem „bestrahlten“ Tropfen gegenüber dem „unbestrahlten“ feststellen. (Es wurde hierzu stets die stärkere Lösung benutzt.) Diese Versuche sind allerdings sehr schwer ganz einwandfrei anzustellen und noch schwerer zu deuten. Einmal besteht bei zu schwacher Einwirkung auch hier die Neigung zu Minus-Ergebnissen, und da man ja gezwungen ist, mit abgeschnittenen Wurzeln zu operieren, so hat man natürlich die Intensität der Wirkung nicht sicher in der Hand. Bei der langen Versuchsdauer können dann mannigfache Versuchsfehler das Ergebnis stören und sogar negativ machen, wie z. B. ungleiche Verdunstung der beiden Tropfen, Hineingeraten von Milben oder anderen Fremdkörpern in einen oder beide Tropfen usw. Milbenringe aus Harz hindern zwar die Milben, könnten aber andererseits dadurch, daß sie zu nahe an den Tropfenrand geraten, ihrerseits den Versuch stören²²⁾. Immerhin sprach trotz alledem das Ergebnis der Versuche

22) Versuche mit abgeschnittenen Wurzeln, die sich in verschlossenen Glasröhren befanden, deren einer Seite die den hängen-

sehr deutlich für eine positive Wirkung, denn bei Berücksichtigung aller ein eindeutiges Ergebnis zeigenden Fälle (17 von 21) waren mit Einschluß aller Fehlerquellen doch etwa 88% positiv und nur 12% negativ, und wenn man nur diejenigen Versuche berücksichtigt, bei denen kein vollständiges Verschwinden des H_2O_2 in einem der beiden Tropfen eingetreten war, und also wohl kaum irgendwelche Fehlerquellen in Betracht kamen, so waren von 13 Versuchen sogar 11 +, 1 + ? und 1 + -.

Nach den Ergebnissen aller Versuchsreihen — am sichersten nach den oben geschilderten „direkten“ Versuchen — ist an einer Fernwirkung der von der Wurzelspitze ausgehenden Kräfte nicht zu zweifeln. Ob man diese Fernwirkung nun „Lebensstrahlung“ oder „fermentative Fernwirkung“ nennt oder sie — bei besonders vorsichtiger Einschätzung der zuletzt geschilderten Versuchsreihe — als Wirkung einer allerdings sehr hypothetischen „gasförmigen Katalase“ oder anderer Gase auffaßt, ist zunächst ziemlich gleichgültig, solange nähere Daten darüber fehlen. Auch darüber, ob diese Fernkräfte mit den Gurwitsch'schen „mitogenetischen Strahlen“ identisch sind, läßt sich vor der Hand natürlich nichts Sicheres sagen; es ist aber wenigstens wahrscheinlich. Ueber ihre Natur wissen wir vorläufig so gut wie nichts. Wenn wir uns aber zurzeit diese Natur physikalisch nicht erklären können, so beweist das angesichts der gefundenen Tatsachen andererseits doch nur, daß unsere Erklärungsmöglichkeiten eben ungenügende sind. —

Zweck dieser Untersuchung war es lediglich, zunächst einfach die Tatsache festzustellen, daß von der Spitze der wachsenden Zwiebelwurzel eine Fernwirkung ausgeht, welche die normale Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds erheblich beschleunigt und die nicht Wärme und auch wohl nicht chemische Wirkung im gewöhnlichen Sinne ist. Wir haben — vielleicht zu sehr — bisher alles im Organismus Geschehende rein chemisch erklären wollen und sind wohl darum gerade in der Lehre von den Hormonen und Fermenten und damit in der Erklärung wichtiger Lebensvorgänge nicht recht weiter gekommen. Und da diese Lehren einige Zentralfragen der Biologie, nämlich die nach der Entstehung

den Tropfen tragende Quarzplatte angekittet war (mit Krönigschem Lack), konnten noch nicht in genügender Menge angestellt werden, weil im Herbst infolge schlechten Wachsens der Zwiebelwurzeln Mangel an solchen war, und Wurzeln anderer Pflanzen (Porree, frühe Tulpen, pikierete Erdbeeren) einen nur ungenügenden Ersatz boten. Uebrigens sind auch solche Versuche nicht ohne Fehlerquellen, da die Sterilisation der zu „bestrahlenden“ Platte nicht sicher durchgeführt werden und die Verdunstung auf beiden Platten kaum gleichmäßig gestaltet werden konnte.

der organischen Form und die nach den Ursachen der Zellteilung aufs innigste berühren, so hoffe ich, daß die obige Feststellung einer winzigen, aber wohl nicht unbeträchtlichen Tatsache uns auf biophysikalischem Wege etwas, wenn auch wenig, dem Grundproblem des Lebens näher bringen kann. Denn, wie gesagt, wohl nicht über die Chemie, sondern nur über die Physik werden wir zu einer Kausalanalyse der lebenden Form gelangen.

Auf weitere, ja so naheliegende theoretische und praktische Folgerungen möchte ich vorerst verzichten, da ja zu deren Begründung noch umfangreiche messende Untersuchungen nötig wären, wie ich sie, als Biologe in meinem Privatlaboratorium allein auf mich angewiesen, bisher noch nicht ausführen konnte, und die daher der Zukunft überlassen bleiben müssen. Voreilige sensationelle Aufbauschung kann auch einer guten Sache mehr schaden als nützen. Vor der Hand möchte ich darum mit den Worten Ehrenbergs schließen, die auch Mangold in seiner Zusammenfassung angeführt hat: „Es ist schwer, genau und fein zu beobachten, aber noch schwerer, aus dem Beobachteten nicht mehr zu folgern, als es enthält.“ —

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [84](#)

Autor(en)/Author(s): Stempell Walter

Artikel/Article: [Sitzun g vom 17. November 1927. Ueber eine bisher unbekannte Eigenschaft lebender Substanz. \(Vorläufige Mitteilung.\) B002-B016](#)