

(4. Mitteilung aus dem histologischen Institute der Universität Simferopol.)

## Untersuchungen über mitogenetische Strahlen.

Von

Dr. Lydia Gurwitsch,

Prosektor am Institute.

(Mit einem Beitrag von Nina Gurwitsch.)

Mit 1 Textabbildung.

(Eingegangen am 28. April 1924.)

### 1. Kapitel.

#### Über den Leitungsvorgang der Strahlung durch lebendes Gewebe.

Nachdem von Prof. *Gurwitsch* der Nachweis einer spezifischen Ausstrahlung aus Wurzelspitzen und Cotyledonen erbracht wurde, erscheint es natürlich von größter Wichtigkeit, einen Aufschluß über den Entstehungsort und Quelle derselben zu erlangen. Zwei Möglichkeiten sind hier denkbar: 1. Das ausstrahlende Gewebe, namentlich die in lebhafter Mitose begriffenen Wurzelspitzen sind zugleich auch der Ort des Entstehens der Strahlungsenergie, die von einer Zelle auf die benachbarte übertragen wird, um schließlich von der freien Oberfläche des betreffenden Organs in das umgebende Außenmedium zu gelangen, oder 2. Das Wurzel- bzw. Cotyledonengewebe sind nur rein passive Leitungsmedien für die Strahlung, die aus speziellen, mehr weniger lokalisierten und abgegrenzten Strahlungszentren stammt.

Es war der Gedanke naheliegend, zur Entscheidung der Frage das ausstrahlende Gewebe, zunächst Wurzeln, einer Narkose zu unterwerfen, die ja auch im Problem der Nervenleitung so aufklärend wirkte.

Über Narkose von Zwiebelwurzeln lag uns eine gründliche (nicht publizierte) Untersuchung aus dem hiesigen Laboratorium von *Nina Gurwitsch* vor, deren wesentlichste Ergebnisse hier kurz mitgeteilt werden mögen.

Die Wurzeln vertragen gut eine 0,5%ige Chloralhydratnarkose, die bis auf 24 Stunden währen darf. Der Zustand bleibt noch immer, trotz tiefgehender morphologischer Veränderungen und völligen Wachstumsstillstandes vollständig reversibel, wenn auch die Erholungsdauer eine entsprechend lange (ebenfalls bis etwa 24 Stunden) ist.

Die Reaktion der Wurzel auf Narkose ist eine außerordentlich prompte. Bei katetometrischer Ablesung des Gesamtwachstums ergab

sich regelmäßig eine scharfe Knickung der Wachstumskurve schon innerhalb der ersten 20 Minuten nach Eintauchen der Wurzel in die Chlorallösung. Die Knickung entspricht einem Sinken der Wachstumsgeschwindigkeit im Vergleich zur bisherigen bis ums Zehnfache, wie etwa folgendes Protokoll ergibt:

	Vor der Narkose		Narkose							
Versuchsdauer in Stunden. . .	1	0,5	1	2,5	4	5	6	7	8	9
Wachstumsintensität . . . .	5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4	0,1

Nach etwa 2 Stunden stellt sich ein einigermaßen stabiler Zustand eines sehr langsamen Wachstums ein, der nach 10—12 Stunden zum völligen Stillstand kommt. Daß es sich ausschließlich um Streckungswachstum handelt und die Zellvermehrung schon innerhalb 1—2 Stunden sistiert, ergibt sich aus den histologischen Befunden. Eine gewisse Alteration der achromatischen Figur macht sich schon nach etwa 30 Min. geltend. Es kommt nun innerhalb der ersten Stunden zu einer völligen Verunstaltung auch der chromatischen Figur, namentlich der Metaphase und Anaphase, wo die Chromosomen zu formlosen Haufen verklumpen. Spireme erweisen sich am stabilsten. Nach etwa 15 Stunden sind keine deutlichen Residuen von Mitosen mehr erkennbar. Es kann wohl kaum bezweifelt werden, daß es sich nicht um wirklich abgelaufene Zellteilungen handelt. Es sieht vielmehr darnach aus, als ob die mitotischen Figuren eine Art regressiver Metamorphose durchgemacht hätten, die auf den Ruhezustand der Kerne führen. Bei etwa 15—18stündiger Versuchsdauer treten auch im Zellplasma eigentümliche Gebilde auf, die Prof. *Gurwitsch* schon längst als Begleiterscheinungen von O-Mangel (Aufenthalt in reiner H- oder N-Atmosphäre) kannte<sup>1)</sup> und die den sogenannten Nebenkernen vieler Drüsenzellen (namentlich Pankreaszellen) täuschend ähnlich sind. Diese „Erstickungsfiguren“ sind auch noch völlig reversibler Natur.

Die angeführten Daten mögen wohl genügen, um die Annahme zu rechtfertigen, daß eine 18—20stündige Einwirkung von  $\frac{1}{2}\%$ igen Chloralhydrat die Wurzel in tiefste Narkose versetzt, bei der die energetischen Lebensabläufe wohl auf ein Minimum reduziert sein dürften. Es scheint uns daher völlig berechtigt, in der Narkose ein Mittel zu erblicken, das uns zur Entscheidung der Frage, ob bei der Ausstrahlung aus der Wurzelspitze ein aktiver Prozeß seitens der letzteren oder eine passive, rein physikalisch zu fassende Fortleitung der aus einem,

<sup>1)</sup> Nach einer nicht publizierten Arbeit von *W. Polowzowa* aus seinem Petersburger Laboratorium.

irgendwo in der Zwiebel selbst gelegenen Zentrum kommenden Strahlung vorliegt.

Es wurden daher Wurzeln nach 15—18 stündiger Narkose in die ebenfalls mit  $\frac{1}{2}\%$  iger Chlorallösung gefüllte Röhre des Induktionsapparates eingeführt, und in üblicher Weise die Induktion vorgenommen. Elf Versuche (davon acht mit abgeschnittenen konischen Spitzen) worüber weiter unten<sup>1)</sup>, fielen sämtlich positiv aus und ergaben das gewohnte Induktionsbild. Die histologische Prüfung der induzierenden Wurzeln ergab, zum Überfluß das oben geschilderte Narkosebild. Die Wurzeln können mithin wohl kaum selbst als Strahlungsquellen gelten, es müssen vielmehr solche innerhalb der Zwiebel gesucht werden.

Es findet demnach die in einer vorangehenden Arbeit von Prof. *Gurwitsch* ausgesprochene Vermutung von dem nur sehr schwachen Dekrement der Strahlenintensität bei Durchgang der Strahlung durch lebendes Gewebe ihre volle Bestätigung.

## 2. Kapitel.

### Das Strahlungszentrum und der Ursprung der mitogenetischen Energie.

Der Gedanke war nun naheliegend, in erster Linie an den eigentlichen Ursprungsort der Wurzeln, die sogenannte Zwiebelsohle zu denken. Da wir durch vorangehende Untersuchungen bereits genügend davon unterrichtet waren, daß schon ein kleines, nur den eigentlichen Ursprung der Wurzel enthaltendes Stück der Sohle genügt, um die betreffende Wurzel tagelang im intensiven Wachstum und Zellvermehrung zu erhalten (abgeschnittene Zwiebelwurzeln bleiben höchstens zwei Tage am Leben und stellen ihre Zellvermehrung schon nach etwa 36 Stunden ein), so war der Versuch naheliegend, das Sohlenstück mit dem darin enthaltenen Wurzelursprung einer streng lokalisierten Narkose zu unterwerfen. Eine solche pflegt zu gelingen, wenn man statt einer wässrigen Chloralhydratlösung, das Chloralhydrat in Form einer Gelatinegallerte ( $1-1\frac{1}{2}\%$ ) benutzt, die man in eine weite Glasröhre einführt, das Sohlenstück darin eintaucht und erst daraufhin erstarren läßt. Die Glasröhre mit frei herausragender, nicht narkotisierter Wurzel wird nun in ein Gefäß für 18—22 Stunden aufgestellt, worin die Wurzel in Wasser taucht, die Gelatineschicht dagegen nicht in Berührung mit Wasser kommen darf, und durch einen kleinen Sturz vor Eintrocknung geschützt wird.

Nach Ablauf der angegebenen Zeit wird mit der Wurzel in gewöhnlicher Weise induziert, wobei das Sohlenstück natürlich in Narkose verbleibt. Von fünf angestellten Versuchen ergaben drei das erwartete Ergebnis: die zum narkotisierten Sohlenstück gehörige Wurzel

<sup>1)</sup> Die Zahlenangaben werden in der nachfolgenden Mitteilung angeführt.

war mitosenfrei, ihre Induktionswirkung auf andere Wurzeln, wie zu erwarten, gleich Null. In zwei Fällen blieb die Narkose offenbar aus: die betreffenden Wurzeln enthielten zahlreiche Mitosen und übten dementsprechend die gewohnte Induktion aus. Das Verfahren ist eben technisch etwas unsicher, da man nie volle Gewißheit darüber haben kann, wo der, weiter unten zu schildernde Ursprungskegel jeder Wurzel innerhalb des Sohlenstückes eben steckt. Bleibt derselbe durch eine übermäßig dicke Gewebslage von der Narkosegallerte geschützt, so bleibt offenbar die gewünschte Narkosewirkung aus. Die drei positiven Fälle dürften jedoch ausreichen, um uns über die Lokalisation des Zentrums innerhalb der Wurzel zu unterrichten. Unsere Kenntnis desselben kann aber noch durch histologische Befunde erweitert werden.

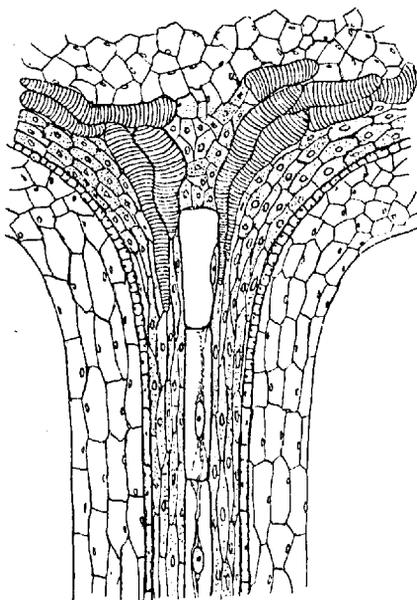
Das Ursprungsniveau der Wurzeln wird in der Sohle durch mächtige, horizontale Lagen von Tracheiden markiert, von denen ganze Bündel sich in den trichterförmigen Ursprung jeder Wurzel einsenken, aber nicht besonders weit in die Tiefe derselben vordringen. Der von den Tracheiden nicht ausgefüllte Raum der scharf abgesetzten trichterförmigen Wurzelbasis wird durch zweierlei Zellarten ausgefüllt. Es sind erstens kompakte Lagen von kleinen, plasmareichen Zellen, die namentlich in regelmäßiger Weise die Innenkonturen des Ursprungstrichters auspolstern, dann die Ursprungszellen der mächtigen Zentralsäule, die die ganze Wurzel bis auf ihre Spitze durchsetzt und aus einer Zellreihe, häufiger aus zwei oder drei besteht. Der Ursprung der Zentralsäule innerhalb des Trichters ist ganz scharf und unvermittelt, indem eine enorme zylindrische Zelle sich kleinzelligem Gewebe anschließt und sich in der Richtung der Wurzel in eine Längsreihe ähnlich beschaffener Zellen fortsetzt. Es ist dabei zu beachten, daß die ersten Zellen dieser Reihe sehr plasmaarm sind, der Zellinhalt eine einzige große Vakuole darstellt, und der Kern an die Wand plattgedrückt ist. Die distalen Glieder sind bekanntermaßen durch einen axialen, gestreiften Plasmazug mit großem zentral gelegenen Kern ausgezeichnet.

Die äußere Begrenzung des Ursprungstrichters ist von einer außerordentlich regelmäßigen Zellschicht ausgekleidet, die namentlich durch ihre helle Färbung von mehr nach innen gelegenen vorhin erwähnten plasmareichen Polsterzellen absticht: die betreffenden Zellen sind nämlich faktisch plasmafrei zu nennen, da ihr Inhalt ebenfalls nur eine einzige große Vakuole darstellt. Indem sich diese Zellage in die Wurzel fortsetzt, bildet sie daselbst die äußere Bekleidung des großen zentral gelegenen Gefäßbündels. Das Periblem und Dermatogen der Wurzel stammen somit aus kleinzelligem Gewebe, das *außerhalb* des Ursprungstrichters der Wurzel gelegen ist.

In dem soeben beschriebenen Ursprungstrichter der Wurzel dürften wir wohl ihr Strahlungszentrum erblicken, dessen Narkotisierung die zugehörige, aus ihm stammende Wurzel sowohl ihrer eigenen Mitosen, wie auch des Ausstrahlungsvermögens der mitogenetischen Energie beraubt. Es entsteht nun die wichtige Frage: ist jeder Trichter als ein autonomes Zentrum zu betrachten, oder wird durch die Kontinuität der geweblichen Verbindung aller Zentren einer Zwiebel durch ihre Tracheenbündel und plasmareiches Gewebe auch eine solche physiologischer Art hergestellt? Diese Frage muß im negativen Sinne beantwortet werden: jedes Zentrum ist in der Tat physiologisch autonom, was aus folgenden Versuchen erhellt:

Es wurde bereits von Dr. *Rawin* für *Helianthus*wurzeln beschrieben und von Prof. *Gurwitsch* für Zwiebelwurzeln bestätigt, daß die Abtragung der konischen Wurzelspitze einen vollständigen Stillstand der mitogenetischen Ausstrahlung aus der verletzten Wurzel zur Folge hat.

Jetzt, wo wir die Sicherheit haben, daß die mitogenetische Strahlung nicht aus dem Wurzelgewebe, sondern aus dem Zentrum stammt, läßt sich dieses merkwürdige Verhalten nur durch eine inhibitorische Wirkung auf das Zentrum des durch das Trauma gesetzten Choks erklären. Eine längere Erholungszeit der Wurzel zu gewähren, führt nicht zum Zweck, da von der Wundfläche nach einigen Stunden sich Degenerationserscheinungen einzustellen pflegen. Es wurde daher versucht, die Abtragung der Spitze in tiefer Narkose der Wurzel zu versuchen, um die vermutete Chokwirkung auszuschließen. Es gelang auch dieses in der Tat ohne weiteres. Es lassen sich, wie in der nachfolgenden Mitteilung des näheren ausgeführt werden soll, beliebige Stücke von Wurzeln abtragen, die Ausstrahlung aus den Wurzelstümpfen geht ungestört, in recht intensiver Weise vor sich. Die Vermutung, daß es sich bei Verletzung der nicht narkotisierten Wurzel um eine inhibierende Chokwirkung auf das Zentrum handelt, besteht demnach zu Recht. Wir wissen aber andererseits, daß ein unvergleich-



lich größeres Trauma, und zwar die Abtragung sämtlicher Wurzeln einer Zwiebel bis auf eine, diese letztere ganz unbehelligt läßt, werden ja alle unsere Versuche mit derartigen Wurzeln vorgenommen. Es steht demnach fest, daß die Chokwirkung auf das Zentrum nur von ihrer eigenen Wurzel aus, nicht aber von benachbarten Zentren übertragen werden kann, oder, was dasselbe mit anderen Worten ausdrückt, daß *jedes Zentrum physiologisch autonom* ist.

Ein autonomes cirkumscriptes Zentrum, welches im Organismus als Strahlungsquelle auftritt, lenkt von selbst die Gedanken auf eine Analogie, die uns schon mehrfach vorher in unseren Überlegungen über Entstehungsort und Entstehungsweise der mitogenetischen Strahlungen lockte und zwar mit biologischen *sichtbaren* Strahlungen, die von Leuchtorganen verschiedener Organismen produziert werden. Wenn wir uns an die einfach gebauten Leuchtorgane bestimmter Insekten, z. B. die neue Schilderung von *Walter Heß* (*Photurus pensilv.* *Journal of Morphology* V. 36, 1922) halten, so finden wir eine oberflächlich, subcuticulär gelegene, aus einer Syncytiallage zusammengesetzte photogene Schicht, derselben unmittelbar anliegend eine regelmäßige mehrschichtige Epitellage, die vom Verfasser als Reflektor aufgefaßt wird (mit welchem Grund, ist allerdings aus dem Text nicht ersichtlich). Die photogene Schicht wird reichlich durch Tracheen versorgt, die senkrecht zur Körperoberfläche verlaufend, mit ihren Ausläufern dicht an die Innenfläche der Cuticula heranreichen und feinste Ausläufer in die Syncytialmassen senden.

In unserem Objekt dürfen wir wohl die Lagen der plasmareichen, den Trichter teilweise anfüllenden Zellen ebenfalls für die „photogene“ Funktion in Beschlag nehmen. Auch eine „Reflektorlage“ könnte in der äußersten, sehr regelmäßigen Schicht vakuolisierter Zellen erblickt werden. Auch die enorm reiche Versorgung mit Tracheiden dürfte im Sinne der gesuchten Analogie verwertet werden, sofern man die Angaben über Gebundenheit von Peroxydasen an die Tracheidenwände berücksichtigt, was, wie wir im weiteren sehen werden, für uns von Bedeutung ist.

Es sei noch im Zusammenhange mit hier ausgeführten auch folgendes hervorgehoben. Berücksichtigt man die Zwiebelsohle in ihrer Gesamtheit, so muß man folgerichtig in dieselbe auch mitogenetische Zentren für den eigentlichen Stammteil der Pflanze verlegen. Die anatomische Anordnung der Gewebe, die wir vermutungsweise mit der mitogenetischen Funktion verknüpfen, entspricht vollauf den Anforderungen, da die kontinuierlichen horizontalen Lagen des plasmareichen präsumptiv „mitogenetischen“ Gewebes, die von den Zwiebeltrichtern gewissermaßen durchbrochen werden und unten mit Tracheidenlagen und der einzelligen Schicht vakuolisierter Zellen ausge-

polstert werden, ihre Strahlung ebenso nach oben, wie die entsprechenden Gewebe innerhalb der Trichter nach unten senden müßten.

Die Berechtigung zu allen vorangehenden, gewiß sehr gewagten Zusammenstellungen mit tierischen Leuchtorganen dürfte wohl angesichts der Tatsache anerkannt werden, das der merkwürdige, schon im Jahre 1887 von *Dubois* für Leuchtorgane entdeckte Chemismus der Entstehung sichtbarer Strahlen in prinzipiell übereinstimmender Weise auch in unserem Fall vorzuliegen scheint.

Die von *Dubois* entdeckten Luziferin und Luziferase lassen sich, wie bekannt, aus den Leuchtorganen extrahieren und erzeugen den Leuchteffekt auch *in vitro*. Einer eben erschienenen Arbeit von *Harwey* (Naturwissenschaften, 1924 Nr. 9) läßt sich außerdem entnehmen, daß es sich nicht um weitgehende Zerstörung des Luziferins durch Luziferase, sondern um bloße, reversible Oxydation desselben in Oxy-luziferin handelt. Durch diese Erfahrungen angeregt, versuchten wir mit einem frisch bereiteten mit Wasser verdünntem Brei aus der Zwiebelsohle zu induzieren. Der Erfolg war durchschlagend, wie ein Auszug aus unseren Versuchsprotokollen (Induktion auf 5 mm Abstand durch Luft) ergibt<sup>1)</sup>.

#### Tabelle.

Induktion mit frischbereitetem Brei aus der Zwiebelsohle.  
(Nur Differenzen zwischen induzierter und nichtinduzierter Seite der Wurzel angegeben.)

—4	—5	17	22	12	17	18	14	13	17	7	19	14	13	24		
27	32	28	22	16	4	9	9	28	18	33	14	23	16	15	2	—1

Da diese Befunde eine ganz ungeahnte Erweiterung des neu erschlossenen Gebietes mitogenetischer Strahlungen versprechen, mögen hier nur diese Angaben genügen. Es sei nur noch die weitere Tatsache erwähnt, die natürlich als wichtige Stütze für die Analogie mit den Luziferinprozessen erscheint und gleichzeitig die Wichtigkeit der Anwesenheit von Peroxydase in den Tracheiden dartut: die mitogenetische Induktionswirkung geht nur von einem frisch bereiteten Brei aus, nach Verlauf einer Stunde ist der Induktionseffekt des Breies gleich Null<sup>2)</sup>. Als Energiequelle der Ausstrahlung dürften demnach, wie übrigens auch zu erwarten, Oxydationsprozesse in Betracht kommen.

<sup>1)</sup> Die fein zerschnittene Sohle wurde in einem Mörser mit geringen Wassermengen möglichst fein zerrieben und die trübe Flüssigkeit in eine Glasröhre von etwa 2 mm Weite eingesogen und sofort mit der Röhre induziert. Die Induktionsresiduen sind dementsprechend breit (erstrecken sich z. B. in dem in der Tabelle angeführten Fall auf 28 Schnitte à 10  $\mu$ ).

<sup>2)</sup> Diese Tatsache ist auch in anderer Hinsicht von großem Interesse: ist die mitogenetische Strahlung nach einer Stunde völlig abgeklungen, und konnte trotzdem ein intensiver Effekt erreicht werden, so ergibt sich, daß die eigentliche Induktion von Mitosen nur sehr kurzer Zeit bedarf, und die übliche 3-stündige Versuchsdauer, wenn überhaupt, so nur für die große Latenzzeit der Reaktion und langsamen Ablauf derselben von Belang ist.