

Über die Wirkung verschieden starker Röntgenstrahlen auf Keimung und Wachstum bei den höheren Pflanzen.

Von

M. Koernicke, Bonn.

Mit 4 Textfiguren¹⁾.

Gelegentlich eines Studienaufenthalts (Winter 1902/03) in Leipzig, den ich vor allem zur Arbeit im dortigen botanischen Institut verwendete und der für mich schon wegen der vielen Anregungen von hohem Wert war, die ich dem Leiter dieses Instituts, dem Jubilar, verdanke, wurde ich auf die Frage nach der Wirkung von stark durchdringenden Strahlen auf den lebenden Organismus hingelenkt. Im Anschluß an die damals gerade im Gange befindlichen Untersuchungen über den Einfluß von Röntgen- bzw. Radiumstrahlen auf menschliche und tierische Gewebe und Sexualzellen²⁾, deren Ergebnisse auf einen wachstumshemmenden Einfluß dieser Strahlen hinwiesen, studierte ich die Wirkungen von Röntgen- und Radiumstrahlen auf die verschiedensten Lebens-tätigkeiten der Pflanze³⁾, vor allem auf die Keimung und das

1) Die photographischen Vorlagen zu den Bildern, welche kurz vor dem Kriegsausbruch abgesandt worden waren, konnten bis zum Termin der Drucklegung nicht ausfindig gemacht werden. Statt ihrer sind z. T. Schemata reproduziert worden, welche die an den gegebenen Orten geschilderten Verhältnisse genügend klar erkennen lassen.

2) G. Perthes, Über den Einfluß von Röntgen- und Radiumstrahlen auf menschliche und tierische Gewebe und auf die befruchteten Eier von *Ascaris megaloccephala*. Archiv für klinische Chirurgie, Bd. LXXI, 1903, Heft 4, S. 46 ff. Ferner: Derselbe, Über die Behandlung des Karzinoms mit Röntgenstrahlen und über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung. Münch. med. Wochenschrift, LI. Jahrg., 1904, Nr. 6, S. 282/3, und Versuche über den Einfluß der Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen auf die Zellteilung. Deutsche med. Wochenschrift, XXX. Jahrg., 1904, Nr. 17, S. 632 und Nr. 18, S. 668.

3) M. Koernicke, Über die Wirkung von Röntgenstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch., Bd. XXII, 1904, S. 148 ff. — Der-

Wachstum, jene Vorgänge, die uns auch hier speziell beschäftigen sollen. Die Hauptergebnisse dieses Teils meiner damaligen Untersuchungen lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen: Röntgen- und ähnlich auch die Radiumstrahlen wirken in genügend starker Intensität hemmend auf das Wachstum ein. Nach der Bestrahlung ist zunächst nichts von einer derartigen Hemmung zu bemerken, ja es tritt zunächst meist eine Wachstumsbeschleunigung zutage. Die Hemmung folgt vielmehr erst einige Zeit nach der Bestrahlung. Der Zeitpunkt des Eintretens dieser eigenartigen Nachwirkung ist von dem Objekt und seinem physiologischen Zustand im Moment der Bestrahlung abhängig. Ist die Intensität der Bestrahlung nicht stark genug gewesen, so bleibt die Wachstumshemmung nur eine vorübergehende. Ein Aufheben der Keimkraft von trockenen, wie gequollenen Samen der zu den Versuchen herangezogenen Pflanzenarten war selbst nach zweimaliger, sehr intensiver Bestrahlung nicht zu erreichen. Die verschiedenen Pflanzenarten zeigten oft starke Unterschiede in ihrer Sensibilität den Strahlen gegenüber.

Diese Untersuchungen, von denen wir des weiteren die mit Röntgenstrahlen angestellten allein berücksichtigen wollen, erlangten zunächst nur bis zu einem gewissen Grade das Interesse der Biologen. Die Botaniker vor allem, die sich anfangs lebhaft bei der Erforschung der Röntgenstrahlen-Wirkungen auf die Pflanze beteiligt hatten, setzten ganz aus. Der Grund dazu lag wohl hauptsächlich in dem Umstand, daß unter natürlichen Verhältnissen eine Wirkung von Röntgenstrahlen kaum in Betracht kommt¹⁾, ferner für physiologische, insbesondere Fortpflanzungs- und Vererbungsfragen betreffende Versuche in den meisten Fällen weit günstigere Objekte auf tierischem Gebiet sich finden. Da unternahmen es die Mediziner, die ihnen wertvoll erscheinenden Erkenntnisse auch nach dieser Seite hin sich selbst zu verschaffen.

selbe, Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. Ebenda, S. 155 ff. — Derselbe, Weitere Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf die Pflanzen. Ebenda, Bd. XXIII, 1905, S. 324 ff. — Derselbe, Über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf pflanzliche Gewebe und Zellen. Ebenda, 1905, S. 404 ff. — Derselbe, Über die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf die Pflanze. Himmel und Erde, Berlin, Bd. XVII, 1904, S. 1 ff. — Derselbe, Die Wirkung der Radiumstrahlen auf den pflanzlichen Organismus. Sitzber. der niederrhein. Gesellsch. für Natur- und Heilkunde zu Bonn, Dezember 1905.

1) Vgl. N. J. C. Müller, Kommen die Röntgenstrahlen im Sonnenstrahl für die Pflanze zur Wirkung? Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch., Bd. XIV, 1896, S. (66) ff.

Wertvoll, ja notwendig waren entsprechende Versuche deshalb geworden, weil die auf physikalischem Gebiet gewonnenen Erfahrungenschaften zu einem weiteren Ausbau und einer Verbesserung der bei der Röntgentherapie zur Anwendung gebrachten Apparatur geführt hatten, die in den Einrichtungen von harten und weichen Röhren, Filtern, Strahlungsmessern usw. heute vorliegen. So bot sich die Aussicht, einwandfreiere Resultate zu erhalten, als es früher möglich war, und manche Widersprüche zu beseitigen, die sich wohl nur auf die Unvollkommenheit der früher zu Gebote stehenden Vorrichtungen zurückführen ließen und naturgemäß ein Gefühl der Unsicherheit bei der therapeutischen Verwendung der Röntgenstrahlen im Gefolge hatten.

Die meisten der damaligen Versuche, die oft mit sehr starken Strahlungsintensitäten angestellt worden waren¹⁾, ergaben ähnliche Resultate, wie die von mir bei meinen Untersuchungen erhaltenen. Man war geneigt, diese Wirkungsweise starker Röntgenstrahlungsmengen, die in einer Wachstumssthemmung ihren Ausdruck findet, allgemein für alle Intensitäten der in Anwendung gebrachten Röntgenstrahlen anzunehmen. Es mehrten sich aber im Lauf der Zeit die Angaben, die einem wachstumsbeschleunigenden Einfluß der Strahlen das Wort sprachen. Auffällig waren schon die 1906 veröffentlichten Versuchsergebnisse Evlers gewesen. Evler sah, daß geröntgte Samen von Bohnen, Radieschen, Kresse, Kürbis und Gurken schneller aufgingen, kräftigere Pflanzen gaben und eher zur Blüte kamen, als die ungeröntgten Samen derselben Pflanzenarten²⁾. Ähnliche Resultate ergaben die 1910 publizierten Versuche von H. E. Schmidt. Es waren da sechs Stunden gequollene, einjährige Zuckererbsen, die vor der Aussaat mit z. T. sehr geringen Mengen von Röntgenstrahlen behandelt wurden und bei ihrer Weiterentwicklung gegenüber den unbestrahlten Kontrollen eine viel stärkere Wachstumsintensität erkennen ließen³⁾.

1) Vgl. das Nähere in meinem Beitrag zum IV. Band des Handbuchs der gesamten mediz. Anwendungen der Elektrizität, dessen Herausgabe nach Beendigung des Krieges erfolgen wird.

2) Evler, Über die heilende Wirkung der Röntgenstrahlen bei abgegrenzten Eiterungen. Veröffentl. a. d. Gebiete des Militär-Sanitätswesens, II. XXXV, Berlin, 1906, zugleich Festschr. für E. v. Bergmann.

3) H. E. Schmidt, Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung kleinerer und größerer Röntgenstrahlungsmengen auf junge Zellen. Berliner klin. Wochenschr., 1910, Nr. 21, S. 972.

Den Angaben H. E. Schmidts kam deshalb ein besonderer Wert zu, weil aus ihnen genauer die Strahlenmengen zu ersehen waren, die bei den Versuchsobjekten zur Wirkung gelangten. Sie sind dort in „Erythemdosen“ (E. D.) angegeben. Eine solche Erythemdosis stellt nach den heute geltenden Messungen fünf Holz-knecht-Einheiten (H.) dar. Die Holz-knecht-Einheiten werden mit dem Chromoradiometer bestimmt, dessen Prinzip auf der Farbenänderung eines neben das zu bestrahlende Objekt gelegten Reagenzkörpers beruht, der durch die Röntgenstrahlen je nach der Zeit der Expositions-dauer verschieden intensiv grün gefärbt wird. Durch Vergleich mit einer Standardskala wird die Stärke der Farbenänderung festgestellt. — Die Holz-knecht-Einheiten ihrerseits werden heute meist mit je 2x eingeschätzt. Jedes x stellt dabei eine quantimetrische Einheit der Röntgenstrahlenmengen dar, die nach Kienböck¹⁾ auf folgende Weise bestimmt wird: „Zur Dosenmessung wird die radiochemische Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Schichte ausgenutzt. Man verwendet Chlorbromsilbergelatinepapier von bestimmter Empfindlichkeit. Quantimeterpapier: von diesem werden schwarz kuvertierte Streifen für die Dauer der therapeutischen Sitzung in der Dunkelkammer einer bestimmten Entwicklung mit nachfolgender Fixierung unterzogen. Die Entwicklung des Streifens geschieht mit Entwickler von vorgeschriebener Zusammensetzung bei Zimmertemperatur (18° C) eine Minute lang, wodurch sich das Reagenz-papier um so dunkler grau färbt, je größere Lichtmengen absorbiert wurden. Aus dem Entwickler wird der Streifen nach raschem Eintauchen in Wasser in eine gewöhnliche Fixierlösung gebracht, wo er auch nur kurz verweilt und die Färbung des Papiers lichtbeständig wird. Der Streifen wird nun noch feucht oder nach dem Trocknen mit der Normalskala verglichen. Diese besteht aus demselben photographischen Papier wie der Reagenzstreifen und ist von der Fabrik durch stufenweise Belichtung mit bestimmten graduierten Glühlichtmengen 1—20 und durch nachfolgende Entwicklung hergestellt, zeigt demnach eine ganze Reihe stufenweise dunkler werdender Felder. Diese geben in quantimetrischen Einheiten, x genannt, Röntgenlichtdosen an.“ So ist denn eine Erythemdosis (1 E. D.) = fünf Holz-knecht-Einheiten (5 H.) = zehn Kienböck-Einheiten (10 x). — Bei der Mehrzahl der einschlägigen Publikationen

1) R. Kienböck, Radiotherapie. Stuttgart, 1907, zitiert in H. Gocht, Handbuch der Röntgenlehre, IV. Aufl., Stuttgart, 1914, S. 447.

ist über die Intensität der zur Wirkung kommenden Strahlenmengen nichts Präzises zu erfahren, wobei ja wohl als Grund der zu berücksichtigen ist, daß erst in neuerer Zeit die Dosierungstechnik mehr gefördert worden ist. Jedenfalls sind manche Abweichungen in den Versuchsergebnissen auf die geringe Kontrollmöglichkeit der jeweils zur Wirkung gebrachten Strahlungsintensitäten zurückzuführen.

Die Annahme, daß geringe Röntgenstrahlendosen wachstumsfördernd wirken, wurde weiterhin (1913) durch die Untersuchungsergebnisse von Erwin Schwarz gestützt. In seinem Bericht darüber¹⁾ ist die Versuchsanordnung auch genauer angegeben, so daß man sich ein einigermaßen klares Bild von den dabei zur Wirkung gekommenen Strahlungsintensitäten machen kann.

Als Versuchsobjekte benutzte Erwin Schwarz die dicke Bohne, *Vicia Faba*²⁾. Je drei ruhende Samen davon wurden mit Gundelach-, Polyphos- und Müller-Röhren von einem Härtegrad von 5—6 Wehnelt bei einer Belastung mit 1—2 DMA der Bestrahlung ausgesetzt, und zwar 30, 60, 90, 150 und 300 Sekunden lang, entsprechend einer Dosis von etwa $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{6}$ x. Gleich nach der Bestrahlung gelangten die Samen in die Erde. Nach 8 Tagen erschienen zuerst die Keimsproßchen der mittelbestrahlten Bohnen; nach 3 Wochen zeigten die 30-Sekunden-Pflanzen eine geringere, die 60-, 90-, 150-Sekunden-Pflanzen jedoch eine auffallend größere Höhe, als die Kontrollpflanzen, während die 300-Sekunden-Pflanzen nur $\frac{1}{10}$ der Höhe der Kontrollpflanzen und $\frac{1}{20}$ der Höhe der 150-Sekunden-Pflanzen aufzuweisen hatten. — Es zeigte sich im übrigen, daß in der vorhin angegebenen Weise bestrahlte Samen, einige Zeit trocken aufbewahrt und dann zum Keimen gebracht, den Wachstumsreiz 4 Wochen beibehielten, während er nach 8-wöchentlicher Aufbewahrung bei der Keimung nicht mehr zu erkennen war.

Bei der Untersuchung des Einflusses der gleichen, eben angegebenen Strahlenmengen auf bereits gekeimte Samen, wurden von den vorgekeimten Bohnen, um das Spiel des Zufalls möglichst auszuschließen, als Kontrollpflanzen die kräftigsten Exemplare aus-

1) Erwin Schwarz, Der Wachstumsreiz der Röntgenstrahlen auf pflanzliches und tierisches Gewebe. Münch. mediz. Wochenschrift, 1913, Nr. 39. Kurzer Bericht darüber in der „Umschau“ 1914, Nr. 1, S. 15.

2) E. Schwarz gibt allerdings im Text grüne Bohne (das wäre botanisch *Phaseolus*) an. Es handelt sich aber, wie die Bilder zeigen, um die dicke Bohne, u. a. auch Puffbohne genannt, *Vicia Faba*.

gesucht und dann für die Versuche mit geringerer Bestrahlungsdauer die größten Exemplare verwandt, so daß die schwächsten Exemplare die stärkste Strahlenmenge erhielten. Auch bei diesen Versuch zeigten sich nach 3 Wochen die 30-, 60- und 90-Sekunden-Pflanzen beträchtlich im Wachstum gefördert. Die 150- und 300-Sekunden-Pflanzen waren dagegen im Wachstum stark zurückgeblieben.

Die in den eben zitierten E. Schwarz'schen Versuchsergebnissen zutage tretende wachstumsfördernde Wirkung geringer Strahlungsmengen war so auffällig, daß sie mich, der ich bisher eigentlich nur die wachstumshemmende Wirkung dieser Strahlen in meinen früheren Versuchen kennen gelernt hatte, zur Wiederaufnahme von Röntgenversuchen anregten und veranlaßten, besonders der Wirkung geringer Strahlungsintensitäten auf den pflanzlichen Organismus mein Augenmerk zuzuwenden und sie auf breiterer Basis, als es von E. Schwarz geschehen war, zu studieren. Es war ja u. a. möglich, daß diese Versuche bis zu einem gewissen Grade auch praktische Bedeutung gewinnen und, nachdem in der Landwirtschaft die Aussichten auf eine erfolgreiche Elektrokultur immer mehr geschwunden waren, solche auf eine eventl. praktisch verwendbare Röntgenkultur sich eröffneten.

Als Versuchspflanzen wurden gewählt: *Vicia Faba*, *Phaseolus multiflorus* und *Phaseolus vulgaris*, *Lupinus albus*, *Brassica napus*, *Sinapis arvensis*, *Papaver somniferum*, *Zea Mays*, *Triticum vulgare*, *Avena sativa*. Es waren also Pflanzen, deren Samen die verschiedensten morphologischen und keimungsphysiologischen Unterschiede aufwiesen. Neben solchen, wo die Hauptmasse der Samen die Keimblätter ausmachen, die sich bei den einen über den Erdboden erheben, ergrünen und sich bis zu einem gewissen Grade weiter entwickeln (*Phaseolus vulgaris*, *Lupinus*, *Brassica*, *Sinapis*, *Papaver*), bei den andern mehr oder minder im Boden stecken bleiben, dabei sich wenig weiter entwickeln (*Vicia Faba*, *Phaseolus multiflorus*), waren es die Getreidearten (*Zea Mays*, *Triticum vulgare*, *Avena sativa*), deren Körner der Hauptmasse nach aus nicht weiter entwicklungsfähigem Endosperm bestehen.

Es gelangten zunächst trockene, ruhende Samen zur Bestrahlung, weiterhin solche, die 1 Tag, 2 Tage und mehr in Wasser gequollen waren, ferner solche, die bereits das Keimwurzeln entwickelt hatten und endlich in Töpfen gekeimte, junge, gleich kräftig erscheinende Pflänzchen.

Die Bestrahlungen wurden mit einem „Apex“-Röntgeninstrumentarium ausgeführt und zwar mit harten und weichen Röhren, teils mit, teils ohne Filter.

Für die harten Bestrahlungen wurde eine Müller-Wasserkühlröhre verwandt, die bei einer Stromstärke von 3—4 MA die Härte 13 nach Wehnelt aufwies und in einer Entfernung von 24 cm ohne Filter eine Erythemdosis (10 x) in 5 Min. 55 Sek., mit 2 mm Aluminiumfilter dieselbe Dosis in 14 Minuten ergab.

Die weichen Bestrahlungen wurden mit einer Gundelach-Therapieröhre durchgeführt, die bei 2¹/₂ MA Stromstärke die Härte 5¹/₂ bis 6 nach Wehnelt aufwies und mit der man ohne Filter in 24 cm Entfernung eine Erythemdosis in 14 Min. erhielt¹⁾.

Die in den einzelnen Versuchsreihen applizierten Strahlungsdosen wurden zunächst abgestuft in solche von 10 x, 7 x, 5 x, 3 x, 1 x, ¹/₅ x, ¹/₁₀ x, ¹/₂₀ x, ¹/₃₀ x und ¹/₅₀ x.

Es waren somit die Strahlungsintensitäten ¹/₃₀ x bis ¹/₆ x, bei welchen E. Schwarz eine besondere Beeinflussung der Versuchspflanzen feststellte, in ihnen enthalten, daneben noch beträchtlich höhere.

Weiterhin wurden in besonderen Fällen noch stärkere Dosen verabreicht. Diese wurden mit Quantimeterstreifen in der Ebene der bestrahlten Objekte gemessen.

Die Samen — bei jedem Versuch 220—3000 Exemplare — gelangten gleich nach der Bestrahlung in mit feuchtem Pappelsägemehl beschickte Blumentöpfe, in denen sie unter möglichst gleichen Bedingungen ihre erste Entwicklung durchmachten. Hierauf wurden sie ins Freiland ausgesetzt.

Von den Versuchspflanzen wies eine sichtliche Beeinflussung des Wachstums durch die Röntgenstrahlen eigentlich nur *Vicia Faba* auf. Betreffs der Keimung zeigten allerdings die übrigen Versuchspflanzen, außer den Getreidearten, bei welchen überhaupt keine Wirkung zu erkennen war, analoge Verhältnisse wie *Vicia Faba*, wenn auch in schwächerem Maße. In der weiteren Entwicklung glich sich bei ihnen der anfänglich zu beobachtende geringe Vorsprung bald aus, und nach einiger Zeit war kein Unterschied mehr zu bemerken.

1) Für die Überlassung der genannten Röntgeneinrichtungen zum Zweck meiner Bestrahlungsversuche und die dabei gewährte Hilfeleistung durch sein Personal bin ich Herrn Kollegen Paul Krause, Direktor der medizin. Poliklinik in Bonn, zu aufrichtigem Dank verpflichtet, ebenfalls meinem Assistenten, Herrn Dr. F. Arens, der sich um die Durchführung der Versuche nach den verschiedensten Seiten hin verdient gemacht hat.

Aus den zahlreichen, von uns durchgeführten Versuchsreihen seien zunächst jene hier vorgeführt, bei welchen die auffälligsten Wirkungen sich zeigten. Das war, wie auch schon angedeutet, bei *Vicia Faba* der Fall. Die verschiedenen Versuchsanstellungen ergaben dabei folgendes:

Von den ruhenden Samen keimten die stärker bestrahlten durchweg früher als die schwächer oder gar nicht bestrahlten, und dementsprechend waren die daraus hervorgehenden Pflänzchen zunächst etwas in der Entwicklung voraus (vgl. Fig. 1): doch glich sich dieser Unterschied in der weiteren Entwicklung aus und war zur Blütezeit nicht mehr zu erkennen.

Ebenso verhielten sich die Pflanzen, welche aus den nach 1- und 2-tägiger Quellung bestrahlten Samen gezogen waren.

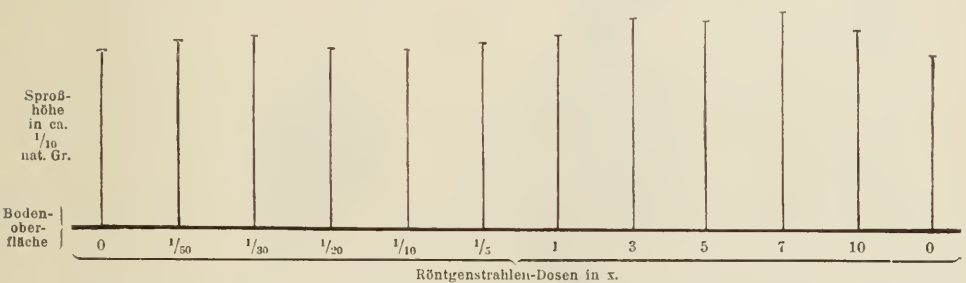


Fig. 1. Schematische Darstellung der Sproßhöhe 4 Wochen alter Versuchspflanzen von *Vicia Faba*, die aus Samen erzogen waren, welche in ruhendem Zustand verschieden starke Dosen von Röntgenstrahlen empfangen hatten. — Bei 0 die Sproßhöhe der aus unbestrahlten Samen hervorgegangenen Kontrollpflanzen.

Bei den 3 Tage gequollenen Samen zeigte sich jedoch in sofern ein Unterschied, als die mit 7 x und 10 x bestrahlten zunächst ein wenig im Wachstum gehemmt wurden, was aber bei der weiteren Entwicklung sich ausglich.

Wurden die Samen mit eben hervorgebrochenem Wurzeln der Bestrahlung ausgesetzt, so blieben bereits die 3 x-Pflänzchen bei der weiteren Keimung zunächst zurück, wogegen die mit $1/30$ bis $1/10$ x applizierten sich gegen die Kontrollen etwas gefördert zeigten. Auch bei diesen Versuchsreihen glich sich der anfangs z. T. beträchtliche Unterschied weiterhin fast vollkommen aus; zur Blütezeit wiesen diese Pflanzen bis auf die etwas schwächeren 10 x-Pflanzen ein gleichmäßiges Aussehen auf. Aus Fig. 2 ist der schädigende Einfluß stärkerer Röntgenstrahlungen deutlich ersicht-

lich. Sie zeigt einen unbestrahlten (*a*), einen mit 10 x (*b*) und einen mit 15 x (*c*) bestrahlten Keimling 9 Tage nach der Bestrahlung.

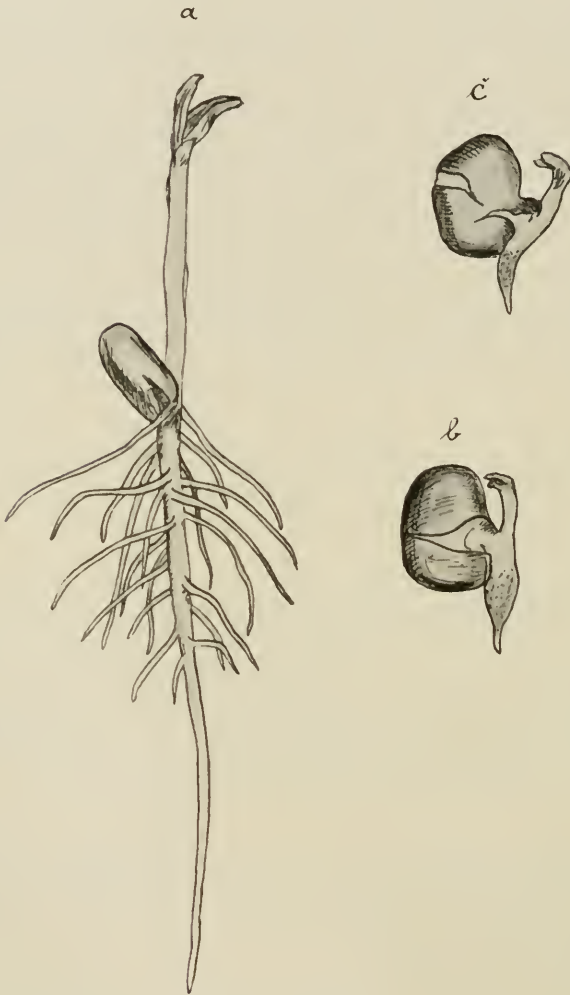


Fig. 2.

Keimlinge von *Vicia Faba*, hervorgegangen aus Samen, die in gequollenem Zustand mit eben hervorgebrochenem Würzelchen bestrahlt worden waren. 9 Tage nach der Bestrahlung. Die zur Wirkung kommende Strahlungs-dosis betrug bei *a* . . . 0 x, bei *b* . . . 10 x, bei *c* . . . 15 x. — $\frac{3}{8}$ nat. Größe.

Während die Kontrollpflanze eine starke Hauptwurzel mit zahlreichen Seitenwurzeln ausgebildet hatte, waren bis zu dieser Zeit die Wurzeln der stark bestrahlten Individuen, wie die in Fig. 2 zur Darstellung

gekommenen, meist kaum gewachsen, schlaff und gebräunt. Weiterhin gingen die Wurzeln dieser bestrahlten Pflänzchen zugrunde; es bildeten sich aber in der Folge am Wurzelhals Adventivwurzeln, die den Pflänzchen ein, wenn auch zunächst entsprechend langsames, Weiterwachsen erlaubten.

An den bereits im vorgerückten Keimungszustand bestrahlten Pflanzen war von einer Förderung des Wachstums, auch nach Applizierung der schwächeren Dosen, nichts zu bemerken. Bei den Dosen von 3 x an aufwärts fiel dagegen besonders stark der schädigende Einfluß auf: die Pflänzchen blieben bald entsprechend der Intensität der erhaltenen Dosis in ihrer Entwicklung zurück. Die Blätter blieben klein, krümmten sich unregelmäßig ein und zeigten ein mehr oder minder gespreckeltes Aussehen. Mit zunehmendem Alter traten diese Erscheinungen noch deutlicher hervor. Vier Wochen nach der Bestrahlung waren die 10 x-Pflanzen kaum weitergewachsen und auch die 3-, 5- und 7 x-Pflanzen entsprechend zurückgeblieben. Weiterhin starb bei den 10 x-Pflanzen z. T. der Hauptsproß ab. Er wurde dann zuweilen durch Adventivsprosse ersetzt. Diese, wie die erhalten gebliebenen Hauptsprosse der stark bestrahlten Pflanzen ließen auch nach 10 Wochen noch eine deutliche Wachstumshemmung erkennen, die auch in der weiteren Entwicklung nicht ausgemerzt wurde.

Ein Überblick über die im Vorigen niedergelegten Versuchsergebnisse weist darauf hin, daß die verschiedenen Pflanzenarten eine verschiedene Röntgenempfindlichkeit besitzen; er stützt ferner die Annahme, die auch von anderen Seiten vertreten wird, daß, je reger die Lebenserscheinungen in einem Organismus von statten gehen, desto stärker und eher der Einfluß der Bestrahlung sich geltend macht. In unseren Versuchen ließ sich dabei ein Unterschied in der Wirkung harter und weicher Strahlen nicht konstatieren, auch nicht ein solcher in der Wirkung gefilterter und ungefilterter Strahlen¹⁾.

Ganz besonders röntgenempfindlich hat sich die dicke Bohne, *Vicia Faba* erwiesen, die im Zusammenhang mit den

1) Ein solcher war von C. J. Gauss und H. Lembecke (Röntgentherapie Berlin-Wien 1912) allerdings bei Wirkung der stärkeren Strahlungsintensität 85 x angegeben worden. Ihre Versuche mit *Vicia Faba* schienen den Schluß zuzulassen, daß gefilterte Strahlen eine stärkere Schädigung auf die Pflanzen ausüben und zwar steigend mit steigender Filterdicke.

gleichgerichteten Versuchen von E. Schwarz in ihrem Verhalten den Röntgenstrahlen gegenüber genauer studiert wurde. Bringen wir unsere speziell bei dieser Pflanzenart gewonnenen Versuchsergebnisse in Vergleich mit denen von E. Schwarz, so ergibt sich folgendes: Wohl ließ sich auch in unseren Versuchsreihen eine auf die Wirkung der Röntgenstrahlung zurückzuführende Wachstumsförderung erkennen, und zwar, entsprechend den Schwarzsehen Angaben, nur bei Bestrahlung von ruhenden oder gekeimten Samen; doch erreichte diese Wachstumsförderung in keinem Fall den von E. Schwarz angegebenen hohen Grad (vgl. die Fig. 3);

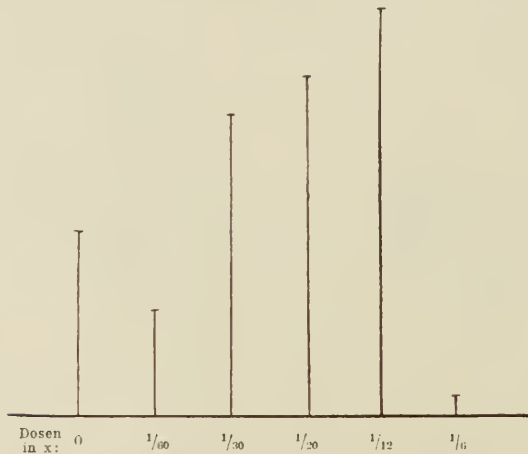


Fig. 3. Sproßhöhen der in der Fig. 1 der Schwarzsehen Publikationen dargestellten Versuchspflanzen. Sie wurden mit den in Fig. 1 dieser Arbeit wiedergegebenen Sproßhöhen unserer Versuchspflanzen ins gleiche Größenverhältnis (1 : 10) gebracht ¹⁾.

ferner trat sie erst bei Strahlungsintensitäten von 1-5 x bzw. $\frac{1}{30}$ - $\frac{1}{10}$ x auf, während die E. Schwarzsehen Versuchspflanzen schon nach Bestrahlung mit $\frac{1}{30}$ - $\frac{1}{12}$ x

1) Die hier dargestellten Sproßhöhen der 3 Wochen alten Schwarzsehen Versuchspflanzen sind schon an und für sich beträchtlicher als die unserer, noch 1 Woche älteren Pflanzen. Der Grund dafür liegt wohl darin, daß die Schwarzsehen Versuchspflanzen, obgleich am Fenster gezogen, unnatürlich schwaches Licht empfangen hatten. Den Bildern nach zu urteilen, waren sie stark vergeilt. Wenn auch dies Moment mit in Rechnung gestellt, also die Höhe der einzelnen Pflanzen entsprechend reduziert wird, bleibt übrigens doch noch ein beträchtlicher Höhenunterschied zwischen unseren und den Schwarzsehen Versuchspflanzen bestehen.

bezw. $\frac{1}{60}$ - $\frac{1}{15}$ x die bedeutende Wachstumssteigerung aufwiesen. Bei einer Strahlungsintensität von $\frac{1}{6}$ x, die bei den E. Schwarz'schen Versuchen mit ruhenden Samen bereits eine deutliche Hemmung des Wachstums bewirkte, zeigten unsere entsprechenden Versuchspflanzen keine Beeinflussung. Eine solche wurde erst, und zwar nach der wachstumsfördernden Seite, wie schon gesagt mit 1.5 x erreicht. Eine Hemmung des Wachstums trat erst nach einer Bestrahlung über 100 x zutage.

Suchen wir nach einer Erklärung der erheblichen Abweichungen, die zwischen dem Verhalten unserer Versuchsreihen und dem der entsprechenden von E. Schwarz bestehen, so ist zunächst der Punkt auszuschalten, es wären bei unseren Versuchen andere Strahlungsintensitäten zur Anwendung gekommen, als bei den E. Schwarzschen. Die im Anschluß an die von E. Schwarz angegebenen Dosierungen erfolgte, sorgfältige Berechnung der Strahlungsintensität durch die in der Bonner medicin. Poliklinik wirkenden Experten und die Beobachtung aller Kautelen, welche die modernen Hilfsmittel gewähren, schließen wenigstens einen Fehler unsererseits aus. Die nach der Richtung gehende Erklärungsmöglichkeit, es läge ein Spiel des Zufalls vor, indem gerade Individuen mit sehr starker Wachstumsenergie unter der verhältnismäßig sehr geringen Zahl von Versuchspflanzen, mit der Schwarz operierte, zur Auswahl gekommen wären, wird, wenn wir uns der Art der Versuchsanstellung von E. Schwarz erinnern¹⁾, wenigstens für die gekeimten Bohnen ausgeschaltet. E. Schwarz berichtet darüber mit folgenden Worten: „Um die Möglichkeit auszuschließen, daß zufällig nur immer solche Keime bestrahlt wurden, die an sich schon sich durch eine vermehrte Wachstumsenergie auszeichneten, wie sie innerhalb normaler Grenzen liegt, und um die Strahlenwirkung auf bereits keimende Pflanzen zu studieren, habe ich in mehreren Versuchen die Bohnen vor der Bestrahlung in feuchten Tupfern im Brutschrank aufkeimen lassen. Wenn nach etlichen Tagen die Triebe zum Vorschein kamen, wurden die drei Bohnen, die die längsten und kräftigsten Triebe aufwiesen, ausgesucht und als Kontrollpflanzen in den ersten Topf gesetzt. Alle anderen Bohnen mit ihren verschieden langen und kräftigen Trieben wurden bestrahlt und zwar so, daß diejenigen von ihnen, die am stärksten

1) Vgl. S. 420, 421.

getrieben hatten, am schwächsten bestrahlt wurden, die Bohnen mit schwachen oder gar keinen Trieben jedoch am stärksten.“ Die Resultate ergaben dabei, daß die Bohnen, welche sich den anderen gegenüber durch eine gewisse Keimträgheit kennzeichneten, durch schwache Bestrahlung derart angeregt wurden, daß sie die normal sich entwickelnden Kontrollpflanzen, zu denen, wie wir erinnern, besonders kräftige Exemplare ausgesucht worden waren, weit überholten. Die Annahme, daß E. Schwarz eine besonders sensible *Vicia-Faba*-Sorte in die Hand geraten war, die er bei seinen Versuchen benutzte, gibt wohl am ehesten die Erklärung zu dem von dem der unsrigen abweichenden Verhalten seiner Versuchs-

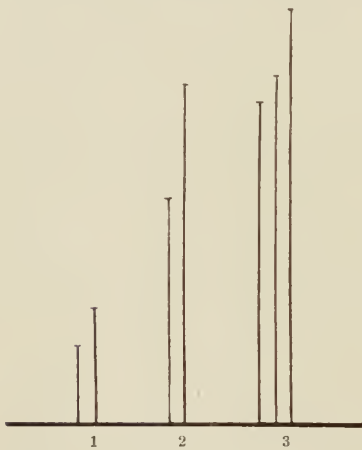


Fig. 4. Höhenunterschiede der Einzelindividuen von *Vicia Faba* in drei Kulturen von E. Schwarz.

pflanzen. Daß aber auch dabei die einzelnen Exemplare eine individuell verschiedene Wachstumsenergie besessen haben, darauf weist u. a. die Abbildung 2 seines Aufsatzes in der Münchener medizin. Wochenschrift hin, deren Höhenunterschiede aus der nebenstehenden Fig. 4 zu erkennen sind.

Mit der Feststellung der Tatsache, daß die meisten der zu den Versuchen herangezogenen Samen von Kulturpflanzen so wenig röntgenempfindlich sind, dazu bei der am meisten röntgenempfindlichen dicken Bohne die Sensibilität je nach der Sorte und bis zu

einem gewissen Grade auch bei jedem Individuum innerhalb der Sorte schwanken kann, ist die Aussicht auf eine praktische Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen in der Landwirtschaft, wie sie sich in Anknüpfung an die Schwarzschen Untersuchungsergebnisse zunächst zu eröffnen schien, geschwunden.

Über die innere Ursache der auch bei unseren Versuchs-Sorten immerhin deutlich in die Erscheinung getretenen Röntgenempfindlichkeit von *Vicia Faba* läßt sich vor der Hand Sicheres nicht aussagen, ebenfalls nicht über die der geringen Sensibilität der anderen zu den Versuchen verwendeten Pflanzenarten. Die Erklärung wird evtl. im Zusammenhang mit der Größe der Versuchsobjekte, vielleicht auch der Zahl und Größe der einzelnen Zellen

derselben stehen, wovon, bis zu einem gewissen Grade wenigstens, die Absorptionsmenge der sie treffenden Strahlenenergie abhängt. Darauf deuten folgende Versuchsergebnisse hin, die ich mit verschieden großen Samen erhielt: Bei der dicken Bohne (*Vicia Faba*) zeigte sich eine Schädigung bei Intensitäten über 100 x; bei dem Mais (*Zea Mays*), dessen Körner beträchtlich geringeren Umfang besitzen, erst bei 250 x; die winzigen Mohnsamen (*Papaver somniferum*) schließlich keimten noch bei Dosierungen von 500 x fast ungeschwächt. — Auch der Plasmareichtum und Wassergehalt der Zellen muß bei der evtl. Lösung dieser Frage in Betracht gezogen werden. Die auffallend starke Widerstandsfähigkeit der Bakterien, Organismen von sehr geringer Größe mit sehr geringem, dabei wasserarmem Plasma, und die auffallend starke Röntgenempfindlichkeit der im Vergleich zu den vegetativen Zellen beträchtlich größeren, plasmareicheren, wohl auch wasserhaltigeren Sexualzellen bezw. Sexualzellbildner, dürften hier entsprechende Anknüpfungspunkte geben.

In ihrer Wirkung auf den pflanzlichen Organismus lassen sich die Röntgenstrahlen mit anderen Strahlungen¹⁾ in Parallele stellen, die in stärkerer Intensität einen wachstumshemmenden Einfluß ausüben, ja direkt schädigen, in schwächerer jedoch wachstumsanregend, bezw. -beschleunigend wirken können und so sich ähnlich verhalten wie andere in stärkerer Applizierung dem Pflanzenleben schädliche Agentien, z. B. Verletzungen²⁾, vor allem Gifte, deren wachstumsstimulierende Wirkung bei schwächeren Dosen gerade jetzt wieder eingehendere Untersuchung erfährt³⁾. Das aus den Erfahrungen

1) S. u. a. die Literatur in L. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, III. Aufl., 1913, S. 418. — H. Molisch, Über den Einfluß der Radiumemanation auf die höhere Pflanze. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss., Wien. 1912, Bd. CXXI, Abt. I, S. 833. — Derselbe, Das Radium und die Pflanze. Vortr. des Vereins zur Verbreit. naturwiss. Kenntnisse in Wien, LIII. Jahrg., Heft 6, 1913. — E. J. Russel, Boden und Pflanze. (Deutsch von H. Brehm). 1914, S. 64 ff.

2) C. O. Townsend. The correlation of growth under the influence of injuries. Ann. of Bot., Vol. XI, 1897, S. 509 ff.

3) Neben den Angaben in W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Aufl., I. Bd., 1897, S. 408 ff. und II. Bd., 1904, S. 127 ff., s. a.: F. Czapek, Biochemie der Pflanzen, I. Aufl., II. Bd., 1905, S. 892 ff. und ebenda, II. Aufl., I. Bd., 1913, 3. Kapitel. — V. Grafe, Einführung in die Biochemie, 1913. S. 334. — Vgl. im besonderen: Clausen, Weitere Erfahrungen mit der Anwendung sogenannter Reizstoffe. Deutsche Landwirtschafts. Presse, Dezember 1913, S. 1217. — A. Stutzer, Neue Ziele bei der Herstellung und Anwendung von Düngestoffen. Jahrb. d. deutsch. Landwirtschaftsgesellsch., Bd. XXIX, 1914, S. 47. — Derselbe, Die Wirkung von Reizstoffen (katalytischer Dünger) auf den Ernteertrag. Arbeiten d. deutsch. Landwirtschaftsgesellsch., H. 258. Fünfjährige

über die Wirkung von Giften auf bestimmte Tätigkeiten des Organismus¹⁾ hergeleitete, von F. Hueppe formulierte Gesetz, demzufolge „jeder Körper, der in bestimmten Konzentrationen Protoplasma tötet, in geringerer Menge die Entwicklungsfähigkeit aufhebt, in noch geringeren Mengen umgekehrt als Reiz wirkt und die Lebenseigenschaften erhöht“²⁾, läßt sich damit auch auf die Röntgenstrahlen, wohl auch auf die anderen Strahlengattungen ausdehnen.

Düngungsversuche in Ostpreußen, 1914, S. 205 ff. — Derselbe. Weitere Erfahrungen mit der Anwendung sogen. Reizstoffe. Deutsche Landw. Presse, 1914, S. 1.

1) Vgl. dazu W. Pfeffer, Über Elekton organischer Nährstoffe. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. XXVIII, 1895, S. 238, Anm. 1.

2) F. Hueppe, Naturwissenschaftliche Einführung in die Bakteriologie, 1896, S. 55.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [56](#)

Autor(en)/Author(s): Koernicke Max

Artikel/Article: [über die Wirkung verschieden starker Röntgenstrahlen auf Keimung und Wachstum bei den höheren Pflanzen. 416-430](#)