

die Sprosse zu welken und langsam zugrunde zu gehen. Nach dem Austopfen zeigte sich das Wurzelsystem in seiner Ausbildung nicht merklich hinter dem der Kontrollpflanzen, deren Sprosse unterdess etwa 570 mm Länge erreicht hatten, zurückgeblieben.

Fassen wir nun das, was die Versuche lehren, in kurzen Worten zusammen, so ergibt sich folgendes:

Die Röntgenstrahlen wirken hemmend auf das Wachstum ein. Nach der Bestrahlung ist zunächst nichts von einer derartigen Hemmung zu bemerken, ja es scheint sogar zunächst eine Wachstumsbeschleunigung auf die Bestrahlung zu folgen, ähnlich derjenigen, die nach leichten Verletzungen und sonstigen Schädigungen bei Pflanzen eintritt¹⁾. Die Hemmung erfolgt 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. Als besonders widerstandsfähig gegen die Wirkung der Röntgenstrahlen erwies sich *Brassica Napus*, dessen Samen bei einer Strahlungsintensität, welche bei *Vicia Faba* eine starke Reaktion hervorrufen, keine merkliche Hemmung in ihrer Weiterentwicklung erlitten. Ist die Intensität der Bestrahlung nicht stark genug gewesen, so bleibt die Wachstumshemmung nur eine vorübergehende. Die eine Zeitlang sistierten Wurzeln beginnen ihr Wachstum wieder aufzunehmen. Ein Aufheben der Keimkraft von trockenen wie gequollenen Samen war nicht, selbst nicht nach zweimaliger Bestrahlung von einer jedesmaligen Stärke von über 20 H. E. zu erreichen.

22. Max Koernicke: Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. □

Mit Tafel X.

Eingegangen am 24. Februar 1904.

Seit der Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar CURIE sind die Strahlen dieses Elements vielfach zu physiologischen Experimenten verwandt worden, die jedoch im Grunde darauf ausgingen, ihre Verwertbarkeit für die Heilkunde festzustellen. So wurden

1) TOWNSEND, The correlation of growth under the influence of injuries. Ann. of Bot., Vol. XI, 1897, p. 509 ff., dort die übrige Literatur. — Vielleicht können die Röntgenstrahlen bei gewisser Intensität auch keimungsanregend wirken, wie gewisse chemische und physikalische Einflüsse, die imstande sind, die Keimung von sonst schwer dazu zu bringenden Sporen zu veranlassen.

hauptsächlich an krebsartigen Hautgeschwüren, bei welchen die Röntgenstrahlen sich als wirksam erwiesen haben, Heilversuche mit Radiumbestrahlung angestellt, und zwar mit hervorragendem Erfolg¹⁾. Auch bei Krankheitserscheinungen, welche auf Bakterienwirkung zurückzuführen sind, wurden Versuche mit Radiumbehandlung gemacht, veranlasst durch die zahlreichen Angaben, dass den Radiumstrahlen bakterientötende Wirkung zukomme. Von rein botanischen Angaben lagen meines Wissens bei Beginn der vorliegenden Untersuchungen nur ein kurzer Bericht von BECQUEREL über die in seinem Institut von L. MATOUT angestellten Versuche, betreffend die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimfähigkeit der Samen²⁾, vor. Die Samen von Kresse, sowie von weissem Senf zeigten nach 24stündiger Bestrahlung keine merkliche Abnahme der Keimkraft. Samen, welche eine Woche und länger der Bestrahlung ausgesetzt worden waren, konnten jedoch nicht mehr zum Keimen gebracht werden.

Bevor ich mich den Versuchen selbst zuwende, halte ich es für zweckentsprechend, eine kurze Schilderung der für physiologische Untersuchungen in Rechnung zu ziehenden Eigenschaften des Radiums zu geben³⁾.

Nach dem momentanen Stand der physikalischen Forschung ist anzunehmen, dass von dem Radium drei verschiedene Strahlengattungen ausgehen, die α -, β - und γ -Strahlen. Die α -Strahlen tragen positive Ladung und sind leicht absorbierbar. Sie lassen sich nur durch sehr starke magnetische Felder ablenken. Die β -Strahlen sind gleich den Kathodenstrahlen Schwärme negativer Ladungen. Sie sind viel weniger absorbierbar als die α -Strahlen und können leichter feste Körper durchdringen, ohne so weitgehend geschwächt zu werden wie die α -Strahlen. Schon durch geringe magnetische Kräfte sind sie ablenkbar, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie die α -Strahlen. Die γ -Strahlen ähneln den Röntgenstrahlen. Sie sind noch weniger absorbierbar wie die β -Strahlen. Durch magnetische Felder sind sie überhaupt nicht ablenkbar. Die photographische Platte wird von allen drei Strahlengattungen geschwärzt.

Neben den genannten Strahlen geht von den Radiumpräparaten noch eine stoffliche Emanation aus, ein radioaktives Gas, welches seine Radioaktivität den Körpern, die mit dem Radiumpräparat in Berührung kommen, induziert. Diese induzierte Radioaktivität hält nicht lange an, während die Radioaktivität der Radiumverbindungen selbst in messbaren Zeiträumen keine Abnahme erfährt.

Wenn man, wie das bei den folgenden Versuchen der Fall ist, mit in Glasröhren eingeschlossenen Radiumpräparaten experimentiert, so kommen ausschliesslich β - und γ -Strahlen zur Wirkung. Denn weder die α -Strahlen, noch die Emanation vermögen Glas zu durchdringen.

1) H. RIEDER, Die bisherigen Erfolge der Lichttherapie. Verh. der Gesellsch. deutscher Naturforscher und Ärzte, 75. Vers. zu Cassel 1903, S. 278.

2) H. BECQUEREL, Sur quelques effets chimiques produits par le rayonnement du radium. Comptes rendus, Bd. 133, 1901, S. 712.

3) Den Herren Dr. ERICH MARX, Leipzig, sowie Prof. Dr. MARCKWALD, Berlin, möchte ich auch an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank für ihre diesbezüglichen Belehrungen abstatten.

Wasserfreie Radiumpräparate zeigen ein deutliches Leuchten, sie haben dauernd etwas höhere Temperatur als die Umgebung.

Radioaktive Substanzen sind in Boden, Wasser und Luft in ungleicher Stärke verbreitet. Ihre Quelle ist die Erdrinde. Die verschiedenen Erdarten besitzen einen geringen wechselnden Gehalt an Radium, dessen Gegenwart bei den tonhaltigen verhältnismässig am deutlichsten hervortritt. Von hier aus dringt die radioaktive Emanation in die Bodenluft, dann einerseits durch Diffusion in die Atmosphäre, und ist es über dem Lande in grösserer Konzentration als über dem Meere vorhanden, andererseits löst sie sich in Quell- und Brunnenwasser, dem sie mittels Durchlüftung wieder entzogen werden kann¹⁾.

Zu meinen Versuchen benutzte ich in Glasröhrchen eingeschlossenes Radiumbromid (RaBr_2), rein kristallisiert in Mengen von 5 und 10 *mg*, von Dr. RICHARD STHAMER, Hamburg 8 bezogen.

Als erste Versuchsobjekte dienten Samen von *Vicia Faba*, die eben mit der Keimung begonnen hatten. Die Samen befanden sich in einem mit feuchtem Sägemehl gefüllten Blumentopf. An jedem Samen war auf der Embryoseite ein Radiumröhrchen (10 *mg*) angebracht, und zwar so, dass sich das untere Ende, in dem das RaBr lag, dicht neben der zunächst weiter wachsenden Wurzelspitze befand. Vier Tage lang dauerte die Bestrahlung der Wurzelspitze. Im Verlauf dieser Zeit hatten die Wurzeln eine Länge von 12 bzw. 21 *mm* erreicht, welche nach Wegnahme des Radiums beibehalten wurde. Die Wurzeln zeigten eine im Verhältnis zu den normal keimenden gleicher Grösse etwa um die Hälfte grössere Dicke; ihre Färbung erschien gelblich-bräunlich. Sie waren dabei turgescent und nicht tot, wie die histologische Untersuchung der einen Monat nach erfolgtem Wachstumsstillstand fixierten Objekte erwies. Sie unterschieden sich auf diese Weise stark von Wurzeln, welche anderweitig, z. B. durch Kälte, in ihrem Wachstum gehemmt waren, wie ich an *Vicia Faba*-Keimlingen konstatieren konnte, die bei einer Kälte von ca. 0° für etwa eine Woche ihr Wachstum eingestellt hatten und deren Wurzeln nur etwas tiefer gelblich als normal waren, sonst aber in ihrem Aussehen sich kaum von den gewöhnlichen Wurzeln unterschieden. Die längere der bestrahlten Wurzeln erschien, wie dies bei solchen, auf welche schädigende Einflüsse gewirkt hatten, öfters vorkommt, stark nach oben gekrümmt. Die Wurzeln der Kontroll-exemplare wiesen zu der Zeit, wo die bestrahlten Wurzeln stehen blieben, eine Länge von 75—90 *mm* auf. (Vergl. Fig. 1 und 2, Taf. X, welche die 12 *mm* lange bestrahlte und die 90 *mm* lange Kontroll-wurzel zeigen.)

Nach diesem, mehr zur Orientierung dienenden Versuch, aus welchem der wachstumshemmende Einfluss der Radiumstrahlen sich

1) Cf. die letzte Mitteilung von J. ELSTER und H. GEITEL, Über die radioaktive Substanz, deren Emanation in der Bodenluft und der Atmosphäre enthalten ist. Physikal. Zeitschr., Jahrg. V, 1904, S. 11—20.

erkennen liess, wurde weiterhin zum Erlangen einer eingehenderen Erkenntnis der Wirkung dieser Strahlen die Versuchsanstellung nach den verschiedensten Seiten hin variiert. Zunächst wurden Samen im trockenen und im gequollenen Zustande, dann solche bei Beginn der Keimung, ferner in schon weiter fortgeschrittenen Keimungsstadien bestrahlt. Die Dauer der Exposition wurde gewechselt, ferner die Mengen, indem einmal 5 *mg*, das andere Mal 10 *mg* RaBr₂ in Anwendung kamen. Die Samen stammten von *Vicia Faba*, *Brassica Napus* und *Papaver somniferum*. Des weiteren wurden sowohl grüne, wie etiolierte Sprosse von *Vicia Faba*, kallusbildende Zweigstücke von *Populus alba*, trockene, wie auf Nährsubstrat ausgesäte Sporen von *Aspergillus niger*, schliesslich Leuchtbakterien bestrahlt.

Von den zahlreichen Versuchen, die ich im Hinblick auf die angegebene¹⁾, die Keimungskraft zerstörende Wirkung der Radiumstrahlen mit trockenen und gequollenen Samen anstellte, greife ich folgende heraus:

Ein trockener Samen von *Vicia Faba* war 24 Stunden mit 10 *mg* RaBr₂ bestrahlt gewesen, kam dann für zwei Tage in Wasser bei + 26° C. und darauf in Sägemehl. Nach einem Tage begann die Wurzel hervorzutreten, um am zweiten Tage der Keimung auf einer Länge von 20 *mm* stehen zu bleiben. — Die Kontrollwurzel war ziemlich gleich entwickelt. — Die Wurzel zeigte bräunliche Färbung. 17 Tage nach erfolgtem Wachstumsstillstand der Wurzel — an der Kontrollpflanze hatte sich unterdess ein stark ausgebildetes Wurzelsystem entwickelt, ihr Spross war etwa 30 *cm* lang — brachen aus dem Epicotyl des unterdess bis zu der beträchtlichen Länge von 75 *mm* herangewachsenen Sprosses Adventivwurzeln hervor, welche rapid weiter wuchsen. Drei Tage nach dem Erscheinen dieser Wurzeln begann die Hauptwurzel zu faulen, ebenso auch die Sprossspitze.

Weiter wurden zwei an der Embryoseite von ihrer Schale befreite Samen von *Vicia Faba* mit 10 *mg* RaBr₂ 24 Stunden lang an der entblössten Stelle bestrahlt, anderthalb Tage in Wasser gequollen, dann in feuchtes Sägemehl gebracht. Zwei Tage nach der Bestrahlung zeigten beide 5 *mm*, die Kontrollexemplare 6 bzw. 7 *mm* lange Keimwurzeln. Tags darauf hatten die bestrahlten Exemplare 7 bzw. 10 *mm*, die Kontrollexemplare beide je 22 *mm* Wurzellänge erreicht. Während die eine Wurzel auf 7 *mm* Länge stehen blieb, wuchs die andere noch drei Tage weiter bis zu einer Länge von 17 *mm*. Die Kontrollwurzeln waren zur selben Zeit schon 55 bzw. 92 *mm* lang geworden und hatten mit der Bildung von Seitenwurzeln begonnen.

Trockene Samen von *Vicia Faba*, welche drei Tage mit 10 *mg*

1) BECQUEREL resp. MATOUT, l. c. S. 712.

RaBr₂ bestrahlt worden waren, keimten ebenfalls und blieben in ungefähr derselben Zeit auf 13 mm Wurzellänge stehen. Dasselbe Ergebnis zeigten Bohnen, die in gleicher Weise, doch mit 5 mg RaBr₂, ferner, wie ich nach Schluss des Manuskripts noch mitteilen kann, solche, die nur neun Stunden mit 5 mg RaBr₂ bestrahlt worden waren.

Um zu kontrollieren, ob die durch die Bestrahlung mit Radium den Objekten induzierten Eigenschaften weiterhin erhalten bleiben, wurden vier im trockenen Zustande mit 10 mg RaBr₂ 24 Stunden lang bestrahlte *Vicia Faba*-Samen in Zwischenräumen von je einem Tag zum Keimen gebracht, so dass der letzte Same erst drei Tage nach Bestrahlung in das zum Quellen dienende Wasser gelangte. Die aus den verschiedenen Samen hervorgehenden Keimlinge zeigten jedoch in ihrer Entwicklung keine merklichen Unterschiede. Ihre Wurzeln blieben sämtlich ca. sechs Tage nach Übertragung ins Wasser in ihrem Wachstum stehen. Ihre Länge differierte allerdings um einige Millimeter, was jedoch, da sich keine Gesetzmässigkeit hierin zeigte, auf die individuelle Verschiedenheit der einzelnen Samen zurückzuführen ist.

Die 24stündige sowohl durch 5 mg, wie durch 10 mg RaBr₂ bewirkte Bestrahlung von zwei, drei und vier Tage lang gequollenen ungekeimten und eben mit der Keimung beginnenden Samen förderten keine merkliche Abweichung zutage. Nach drei bis vier Tagen hielten alle Wurzeln im Wachstum ein. Hier und da war eine anfängliche Beschleunigung in Keimung oder Wachstum im Vergleich zu dem der Kontrollpflanzen zu konstatieren. Die Sprosse entwickelten sich dabei oft zu einer Länge, die im Vergleich zu der geringen Entwicklung der stehen gebliebenen Wurzeln auffallend war. Sprosslängen von 5 cm bei einer Wurzellänge von 12 mm waren nichts seltenes. Durch tieferes Einsetzen der Keimlinge in das Sägemehl konnte man eine Adventivwurzelentwicklung vom Epikotyl aus hervorrufen.

Um die Wirkungskraft des Radiums auf die Entfernung hin zu erproben, wurde dicht an einem 5 mg RaBr₂ enthaltenen Röhrchen, ferner in Entfernung von 2 und 4 cm gequollene Bohnen in feuchten Raum gebracht, 3¹/₂ Tage der Wirkung ausgesetzt und dann in Sägemehl gesetzt. Nach dieser Zeit wies die Wurzel der Bohne, die sich dicht beim Radium befunden hatte, eine Länge von 8 mm auf, die 2 cm und ebenso die 4 cm entfernt gewesene waren 24 mm lang. Drei Tage darauf zeigte die Wurzel der ersten Bohne eine Länge von 13 mm und blieb auf dieser Länge stehen; die der zweiten war 42 mm, der dritten 95 mm lang geworden. Die zweite blieb auch weiterhin stark hinter der dritten zurück, ohne jedoch ihr Wachstum einzustellen oder abnormes Aussehen zu zeigen; auch die Sprossentwick-

lung der zweiten ging langsamer von statten als die der dritten, so dass man annehmen darf, dass auf 2 *cm* eine Beeinflussung vom Radium her stattgefunden hatte. Auf 4 *cm* schien das RaBr_2 , wie der Vergleich mit einem Kontrollexemplar lehrte, nicht mehr imstande gewesen zu sein, einen Einfluss auszuüben.

Eine Abschwächung der Radiumwirkung, wenn auch keine besonders starke, schien die doppelte Umhüllung des Radiumröhrchens mit schwarzem Papier zu haben. 10 *mg* RaBr_2 wirkte so auf zwei gequollene Samen von *Vicia Faba* drei Tage lang ein. Erst nach acht Tagen kamen die Wurzeln zum Stillstand bei einer Länge von 19 bzw. 14 *mm*. Die Länge der Sprosse betrug zur selben Zeit 15 und 10 *mm*. Die Kontrollpflanze hatte unterdessen schon ein stattliches Wurzelsystem und einen ca. 10 *cm* hohen Spross gebildet.

Interessante Resultate lieferte die Bestrahlung längerer Keimwurzeln von *Vicia Faba*. Es wurden Keimlinge gewählt, deren Wurzeln 3–11 *cm* lang waren. Die Bestrahlung mit 5 *mg* RaBr_2 dauerte ca. fünf Tage, konnte jedoch nicht gleichmässig geschehen, da die Wurzelspitzen namentlich des Nachts, wo keine Revision stattfand, an dem das RaBr_2 enthaltenden Röhrchenende vorbei weiter wuchsen. Doch so kamen auch ihre hinter der Spitze gelegenen Partien, wenigstens zeitweilig, in den Bereich der Radiumwirkung. Am vierten Tage der Bestrahlung war bei diesen Wurzeln ein Sistieren des Wachstums eingetreten, und zwar betrug die Zuwachsgrösse vom Beginn der Bestrahlung an bei allem Exemplaren ziemlich gleichmässig 35 *mm*. Die Wurzelspitze bräunte sich nach Aufhören des Wachstums, blieb aber wie bei allen diesen Versuchen zunächst kräftig und turgescient. Mit der Wachstumssistierung Hand in Hand ging die reichliche Ausbildung von Seitenwurzeln. Die Hauptwurzel begann ca. 20 Tage nach dem Hervorbrechen der Seitenwurzeln abzusterben. Eine Wiederaufnahme des Wachstums auf früherem Zustand durch Entfernen der hervorbrechenden Seitenwurzeln gelang nicht.

Die Beobachtung sei nicht unerwähnt gelassen, dass bei den *Vicia Faba*-Pflanzen, deren Wurzeln ihr Wachstum eingestellt hatten, die Kotyledonen nach und nach ergrüntem.

Neben *Vicia Faba* wurden noch andere Samen, besonders die von *Brassica Napus* zu den Versuchen verwandt. Diese Samen erwiesen sich wie gegen Röntgenstrahlen, so auch gegen die Radiumeinwirkung besonders resistent. Eine dreitägige Bestrahlung mit 10 *mg* RaBr_2 wirkte auf die Keimung und Weiterentwicklung nicht störend ein. Gequollene Samen, die mit derselben RaBr_2 -Menge bestrahlt wurden, zeigten eine Beschleunigung in der Keimung den Kontrollsamens gegenüber. Eine genauere Revision der in Sägemehl

gebrachten Keimlinge fand nicht statt. Es wurde bloss konstatiert, dass nach acht Tagen die Sprosslänge beider Partien die gleiche war, nach weiteren zehn Tagen jedoch von den zehn aus den bestrahlten Samen hervorgegangenen Keimlingen acht Stück mit einer Sprosslänge von 8 *cm* gegen die übrigen zwei und die Kontrollexemplare zurückgeblieben waren, die sämtlich ca. 12 *cm* Sprosslänge aufwiesen. Das stärkere Wachstum der beiden 12 *cm* langen Versuchspflanzen lässt sich entweder auf individuelle Veranlagung zurückführen oder vielleicht auch darauf, dass sie vom Radiumpräparat bei der Bestrahlung entfernter waren als die übrigen.

Diese Resistenz, welche die Samen von *Brassica* gegen die Einwirkung von Radiumstrahlen zeigten, liess sich auch aus Versuchen mit Samen ersehen, deren Schale teilweise entfernt war. Auch da entwickelten sich die Keimlinge der an der entblössten Stelle bestrahlten, wie der nicht bestrahlten im grossen und ganzen gleichmässig. Eine auffallende Reaktion trat erst an Versuchen mit solchen Samen zutage, die im trockenen Zustand zehn Tage lang der Radiumwirkung (10 *mg*) ausgesetzt worden waren. Von den zehn bestrahlten Exemplaren, die auf feuchtem Fliesspapier bei einer Temperatur von + 26° C. gehalten wurden, begannen erst nach zwei Tagen drei Samen zu keimen, während sieben Kontrollsamens schon am ersten Tage unter gleichen Verhältnissen gekeimt waren und die übrigen am zweiten nachfolgten. Am dritten Tage nach der Bestrahlung waren sämtliche Samen verschieden stark ausgekeimt, standen aber in ihrer Sprosslänge ganz erheblich gegen die der Kontrollpflanzen zurück. Am vierten Tag begannen fünf der kleinsten Keimlinge abzusterben, und 14 Tage nach der Bestrahlung waren fünf Exemplare noch am Leben. Ihre Sprosslänge betrug 8—20 *mm*, im Gegensatz dazu die der Kontrollpflanzen 130 *mm*. Auf diesem Zustand wurden die Kulturen photographiert (Tafel X, Fig. 3 und 4). Die Kotyledonen waren bei den Strahlungsversuchspflanzen noch von der Samenschale umhüllt, ebenso beim Schluss des Versuchs 10 Tage später, wo bloss noch die drei längsten Keimlinge am Leben waren. — Bei längerer als zehntägiger Betrachtung würde wohl, wie aus dem Versuch geschlossen werden darf, die Keimkraft der *Brassica*-Samen zerstört worden sein.

Bestrahlung der Vegetationspunkte von *Vicia Faba*-Sprossen ergab ähnliche Resultate wie die der Wurzeln. Etiolierte und nicht etiolierte Sprosse wurden verwandt, und zwar junge Sprosse, an deren Enden die Blattanlagen noch nicht den Vegetationspunkt umschlossen, und ältere, deren Internodien sich schon zum Teil gestreckt hatten. Die Bestrahlung geschah drei Tage lang mit 5 *mg* RaBr₂. Bei allen Sprossen zeigte sich bald nach der Einwirkung des Radiums eine Verlangsamung des Wachstums. Wachstumsstillstand

trat bei den verschiedenen Sprossen in verschiedenen Zeiträumen ein. So fanden die jungen, nicht etiolierten Sprosse oft schon einen Tag nach Beginn der Bestrahlung ihren Stillstand, wie z. B. der in Fig. 5, Tafel X, wiedergegebene, der bei Beginn der Bestrahlung 30 mm, nach einem Tage und weiterhin 33 mm mass und am 37. Tage nach seinem Stillstand zugleich mit der Kontrollpflanze (Tafel X, Fig. 6), die unterdessen die stattliche Länge von 65 cm erreicht hatte, photographiert wurde. Junge etiolierte Sprosse stellten erst nach längerer Zeit ihr Wachstum ein, was wohl in der bei etiolierten Sprossen besonders starken Streckung der von der Bestrahlungssphäre entfernter liegenden Stengelelemente zurückzuführen war. Es dauerte manchmal fünf Tage, bis der Stillstand eintrat. Die Länge der Kontrollsprosse betrug dann mehr als das Doppelte. — Bei den im Moment der Bestrahlung weiter entwickelten Sprossen trat der Stillstand erst vier bis sechs Tage nach Entfernen des Radiums ein. Dieses Verhalten lässt sich wohl daraus erklären, dass die vom Radium nicht beeinflussten unteren Stengelpartien Blätter in ihrer Arbeit nicht gehindert wurden. Die etiolierten zeigten in ihrem Verhalten keinen auffallenden Unterschied von den nicht etiolierten Sprossen. Zur Zeit des Stillstandes der bestrahlten Sprosse wiesen die Kontrollsprosse in beiden Fällen etwa die doppelte Grösse der bestrahlten auf.

Einige Tage nach Sistierung des Wachstums begannen bei jungen Keimpflanzen am Grunde des Epikotyls Adventivsprosse, bei den älteren die Knospen in den Achseln der Laubblätter sich zu entwickeln, eine Erscheinung, die sich gewöhnlich dann beobachten lässt, wenn der Hauptspross geschädigt wurde. Diese mehrmals nach einander auftretenden Sprosse wurden kurz nach dem Hervortreten entfernt, in der Absicht, ein Weiterwachsen des Hauptsprosses zu veranlassen, was jedoch nicht gelang. Die Vegetationsspitze, die zunächst äusserlich vollkommen normal und kräftig aussah, ging weiterhin, bei den etiolierten Pflanzen früher als bei den nicht etiolierten, zugrunde.

Wachstumshemmung durch Radiumwirkung konnte ich auch bei Zweigstücken von *Populus alba* beobachten, welche zur Kallusbildung angeregt waren. Drei solcher glatt abgeschnittener, in Erde in triëdrischer Anordnung gesetzte Zweigstücke wurden in einem feuchten Raum bei $+23^{\circ}\text{C}$. dunkel gehalten. Die Stücke waren gleich lang und ihre oberen, in gleicher Höhe befindlichen Endflächen berührten einander mit den Innenrändern. Daneben wurde noch ein gleiches Zweigstück zur Kontrolle gebracht. Nach zwei Tagen wurde über der Berührungsstelle der drei Schnittflächenränder das Röhrchen mit 10 mg RaBr_2 derart angebracht, dass es sich dicht über dem Innenrand eines Zweigstückes befand, während es von den

benachbarten nur etwas, aber verschieden weit entfernt war. Nach dreistündiger Wirkung wurde das Radium weggenommen. Zwei Tage später begann an den Zweigstücken die Kallusbildung, die, wie sich besonders deutlich weiterhin zeigte, an der Stelle, wo das Radium am meisten genähert gewesen war, so gut wie ganz unterblieb, während an den weniger intensiv bestrahlten Stellen der beiden anderen Schnittflächen sich wohl Kallus bildete, der aber gegen den an den nicht bestrahlten Stellen dieser Stücke und dem Kontroll-exemplar bedeutend in der Entwicklung zurück- und stehen blieb. An dem zumeist in der Kallusbildung gehemmten Exemplar entwickelten sich in der Folge zuerst die Adventivknospen.

Von niederen Organismen wurden Schimmelpilze und Bakterien zu den Versuchen herangezogen.

In einer kleinen, 2 cm hoch mit Pilznährlösung beschickten Kristallisierschale wurden Konidien von *Aspergillus niger* möglichst gleichmässig ausgesät. Dicht über die Oberfläche der so infizierten Lösung brachte ich, ohne dass es eintauchte, das 5 mg RaBr₂ in seinem einen Ende gehäuft enthaltende Glasröhrchen, welches in zwei Drahtaken lag, die an dem die Schale verschliessenden Glasdeckel mit Siegellack befestigt waren. Das Ganze wurde dunkel bei +28°C. gehalten. Nach zwei Tagen war die ganze Oberfläche der Nährlösung von Mycel bedeckt bis auf die Stelle, über der das Radium lag. Dort war ein Loch geblieben, welches bis jetzt, d. h. 33 Tage später, noch erhalten ist. Die am dritten Tage schon weit vorgeschrittene Konidienträgerbildung der Myceldecke machte in der Nähe des Loches halt und auch nach der Entfernung des Radiums am dritten Tage entwickelte der das Loch umgebende Mycelrand keine Konidienträger, wie auch das 30 Tage nach Wegnahme des Radiums aufgenommene Bild zeigt (Taf. X, Fig. 7). Die mikroskopische Untersuchung ergab ausser einem dickeren Anschwellen der Hyphenenden keine auffälligen Unterschiede von dem fruktifizierenden Mycel. Anders verhielt sich nach den kürzlich veröffentlichten Untersuchungen von J. DAUPHIN¹⁾ *Mortierella*. Da blieb auch die Partie, wo das Radium lag, „unfruchtbar“, dagegen war die Bildung von zahlreichen Chlamydosporen zu konstatieren, deren Zahl mit der Entfernung von der bestrahlten Stelle abnahm. Diese besass, wie ihr Verhalten nach Übertragung in frische Nährgelatine bewies, noch, wenn auch um drei Tage verzögerte Keimfähigkeit. Die Sporen waren aber nicht tot, sondern im Zustand latenten Lebens. In demselben Zustand befanden sich aller Wahrscheinlichkeit nach auch die Hyphen des nicht fruktifizierenden Mycelrandes meiner *Aspergillus*-Kultur. Von einer auf frische Nährgelatine gebrachten Probe aus

1) Comptes rendus Nr. 3, 1904, p. 154—156.

entwickelten sich neue Mycelfäden, wobei es allerdings nicht ausgeschlossen ist, dass durch den Luftzug beim Öffnen der Kulturschale einige auf das Mycel übertragene Konidien dabei im Spiele waren¹⁾.

Um mehr Klarheit in diesen Verhältnissen zu gewinnen, wurde noch folgender Versuch angestellt. Das 10 mg RaBr₂ enthaltende Röhrchen wurde mit Nährgelatine überzogen, welche *Aspergillus*-konidien gleichmässig verteilt enthielt, und das Ganze feucht, dunkel, bei + 28° C. gehalten. Nach einem Tage war das ganze Röhrchen dicht mit Mycel überzogen bis auf das unterste Ende, wo die Konidien unregelmässige Keimungsformen aufwiesen, zum Teil gar nicht gekeimt waren. Tags darauf war das ganze Röhrchen bis auf 12 mm des unteren das RaBr₂ enthaltenden Endes mit Konidienträgern bedeckt. Die durch die Radiumwirkung gesetzte Grenze in der Konidienbildung wurde auch weiterhin eingehalten. Drei Tage nach Einwirkung des Radiums wurde von der das RaBr₂ im Innern bergenden Kuppe des Röhrchens eine Probe der konidienhaltigen Gelatine entnommen. Ein Teil, mikroskopisch untersucht, zeigte dicke, gedrungene, amöbenähnliche Keimungsformen, daneben noch ungekeimte Sporen; ein anderer Teil, in frische Nährgelatine gebracht, begann nach ca. vier Tagen ein normal aussehendes, später auch fruktifizierendes Mycel zu bilden. Mit ähnlicher Verzögerung entwickelte sich auf frischer Gelatine auch das Mycel weiter, welches etwas vom Radium entfernt, jedoch noch so stark beeinflusst gewesen war, dass es nicht zur Konidienträgerbildung schreiten konnte.

Einige bis vier Tage lang mit 10 mg RaBr₂ bestrahlte, trockene Konidien von *Aspergillus niger* verloren nicht ihre Keimkraft, wenngleich ihre Keimung entsprechend der Länge der Bestrahlung weniger oder mehr verzögert wurde.

Auch gelang es nicht, durch längere Einwirkung der mir zur Verfügung stehenden Radiumpräparate Leuchtbakterien zu töten²⁾.

1) Der Grund, warum sich trotz der aller Wahrscheinlichkeit nach vorhandenen Entwicklungsfähigkeit des Mycels die von ihm umschlossene Öffnung nicht ausgefüllt wurde, ist wohl in dem mechanischen Hindernis zu suchen, welches die dichte Verfilzung der Pilzfäden am Mycelrand bot, kaum darin, dass zu der Zeit, wo die Entwicklung hätte beginnen können, die geeigneten Nährstoffe schon von der übrigen Myceldecke verbraucht worden waren. Es ist kaum anzunehmen, dass eine dieser Stelle induzierte Radioaktivität, welche zu unbeständig gewesen wäre, dabei eine Rolle spielen sollte, zumal mehrfach durch Hin- und Herneigen der Kultur die Nährlösung an dieser Stelle durch solche ersetzt wurde, die der Bestrahlung nicht oder nur wenig ausgesetzt war.

2) W. HOFMANN, Hyg. Rundsch., Jahrg. XIII, 1903, S. 913, hat vor kurzem noch berichtet, dass *Bacillus prodigiosus* in 3 Stunden, *Staphylococcus pyogenes aureus* in 24 Stunden, trockene Sporen von *Bacillus Anthracis* in 2—3 Tagen durch Einwirkung von 5—12 mg RaBr₂ in 1—3,5 mm Abstand auf die Agar-Kulturen ge-

Von Schellfisch erhaltene und weiter kultivierte Bakterien der Art *Micrococcus phosphoreus* Cohn wurden auf ein 10 mg RaBr_2 enthaltendes mit Fischgelatine überzogenes Röhrchen geimpft, das in feuchtem Raum aufgehängt wurde. Die Bakterien entwickelten sich gut auf der Gelatine und leuchteten stark auch am unteren Röhrenende, wo das RaBr_2 lag. Nach $2\frac{1}{2}$ Tagen nahm unten das Leuchten, welches ein Zeichen für die besonders starke Lebenstätigkeit dieser Bakterien ist, ab. Am dritten war von einem Leuchten des unteren Endes nichts mehr zu erkennen; ebenfalls nicht am vierten Tage, wo die vom Radium entfernten Bakterien noch deutlich leuchteten. Am dritten und vierten Tage wurden neue Proben der nicht mehr leuchtenden Gelatinepartie in frische Fischgelatine gebracht. Nach einem Tage leuchtete die erste, nach $2\frac{1}{2}$ Tagen auch die zweite Kultur wieder, und jetzt nach fünf Tagen sind beide Kulturen wieder zu stark leuchtenden Flecken herangewachsen.

Man kann somit aus allen angeführten Versuchen ersehen, welche wachstumshemmende Wirkung den Radiumstrahlen innewohnt¹⁾, wie ähnlich ferner ihre Wirkung auf den Organismus derjenigen der Röntgenstrahlen ist. Dort wie hier ist bei geeigneter, nicht zu starker Strahlenintensität zunächst eine Weiterentwicklung der bestrahlten Objekte, dann die eigenartige Nachwirkung in dem erst einige Zeit nach vollzogener Bestrahlung erfolgenden Wachstumsstillstand zu beobachten. Dabei sind die sistierten Pflanzenteile nicht getötet. Ihre Zellen erscheinen vielmehr lebenskräftig. Ob der Wachstumsstillstand demgemäss oft auch bloss ein temporärer sein kann und nicht zu stark vom Radium beeinflusste Wurzeln in ähnlicher Weise, wie die Versuche mit Röntgenstrahlen es zeigen, imstande sind, nach einiger Zeit ihr Wachstum wieder aufzunehmen, konnte bis jetzt noch nicht festgestellt werden. Durch Dekapitieren der Wurzelspitze bestrahlter Sämlinge in verschiedener Höhe liess sich ein Wachstum nicht anregen. Keimungszustände von *Aspergillus*-Konidien entwickeln sich auf frischem Nährboden zu fruktifizierenden normalen Mycelien, ebenso entwickelt sich von Radium bestrahltes, in der Entwicklung

tötet wurden. Dagegen ergaben die Versuche von DIXON und WIGHAM, Nature 1903, Vol. LXIX, p. 81, dass verschiedene *Bacillus*-Arten, unter diesen auch *Bacillus prodigiosus* und *Anthraxis*, auf Agar kultiviert, von 4,5 mm Entfernung mit 5 mg RaBr_2 bestrahlt, wohl im Wachstum gehemmt, aber nicht getötet wurden. Der Widerspruch wird wohl aus der verschiedenen starken Aktivität der angewandten Radiumpräparate zu erklären sein.

1) Wenn, wie ich aus der kürzlich in meine Hände gelangten Mitteilung von H. DIXON, Radium and Plants, Nature, Vol. LXIX, Nov. 1903, ersehe, dieser Forscher keine besonders auffallenden Wirkungen bei der Keimung von Kressensamen beobachten konnte, so lag das wohl in der Hauptsache daran, dass sein Radiumpräparat (RaBr_2 5 mg) zu weit von den einzelnen Samen war, um eine nachhaltige Wirkung ausüben zu können.

gehemmtes und der Fähigkeit, Konidienträger zu bilden, beraubtes Mycel, auf frischen Nährboden gebracht, nach einiger Zeit weiter und schreitet zur Fruktifikation. Ebenfalls auf frischen Nährboden übertragene bestrahlte Leuchtbakterien erhalten ihre Entwicklungsfähigkeit und Leuchtkraft wieder.

Bei Vergegenwärtigung der Ergebnisse unserer Samenbestrahlungsversuche, insbesondere desjenigen, welcher zeigte, dass einmal bestrahlte Samen, wenn sie auch nach mehreren Tagen erst zum Keimen gebracht werden, doch die Eigenschaft behalten, nach einiger Zeit ihre Entwicklung einzustellen, werden auch wir zu dem Satz geführt, den G. BOHN, der den Einfluss der Radiumstrahlen auf tierisches Wachstum studierte, aussprach, dass beim Durchdringen der Körper durch die Radiumstrahlen die Gewebe Eigentümlichkeiten erhalten, welche während längerer Zeit im latenten Zustand verharren können, um sich in dem Moment sofort zu offenbaren, in welchem die Aktivität der Gewebe wächst¹⁾.

Von Interesse ist die in vielen Fällen beobachtete Wachstumsbeschleunigung bei der Keimung der dem Einfluss von Röntgen- und Radiumstrahlen ausgesetzt gewesenen Samen, die auf eine anfänglich wachstumserregende Wirkung der Strahlen hinweist. Ob es u. a. gelingen wird, in Hinblick hierauf durch die Strahlen Teilungen in unbefruchteten pflanzlichen Eizellen anzuregen, müssten weitere Untersuchungen zeigen. Aussichtslos erscheint ein derartiger Versuch nicht; berichtet doch G. BOHN über die durch den Einfluss von Radiumstrahlen veranlasste Parthenogenese bei den Eiern einer Seeigelart²⁾.

Weitere Mitteilungen von physikalischer Seite über den Charakter und die Stärke der Radioaktivität von Erde, Wasser und Luft müssen abgewartet werden, um sich darüber ein Urteil bilden zu können, ob ihre ständige Wirkung von merklichem Einfluss auf die Entwicklung der Organismen ist.

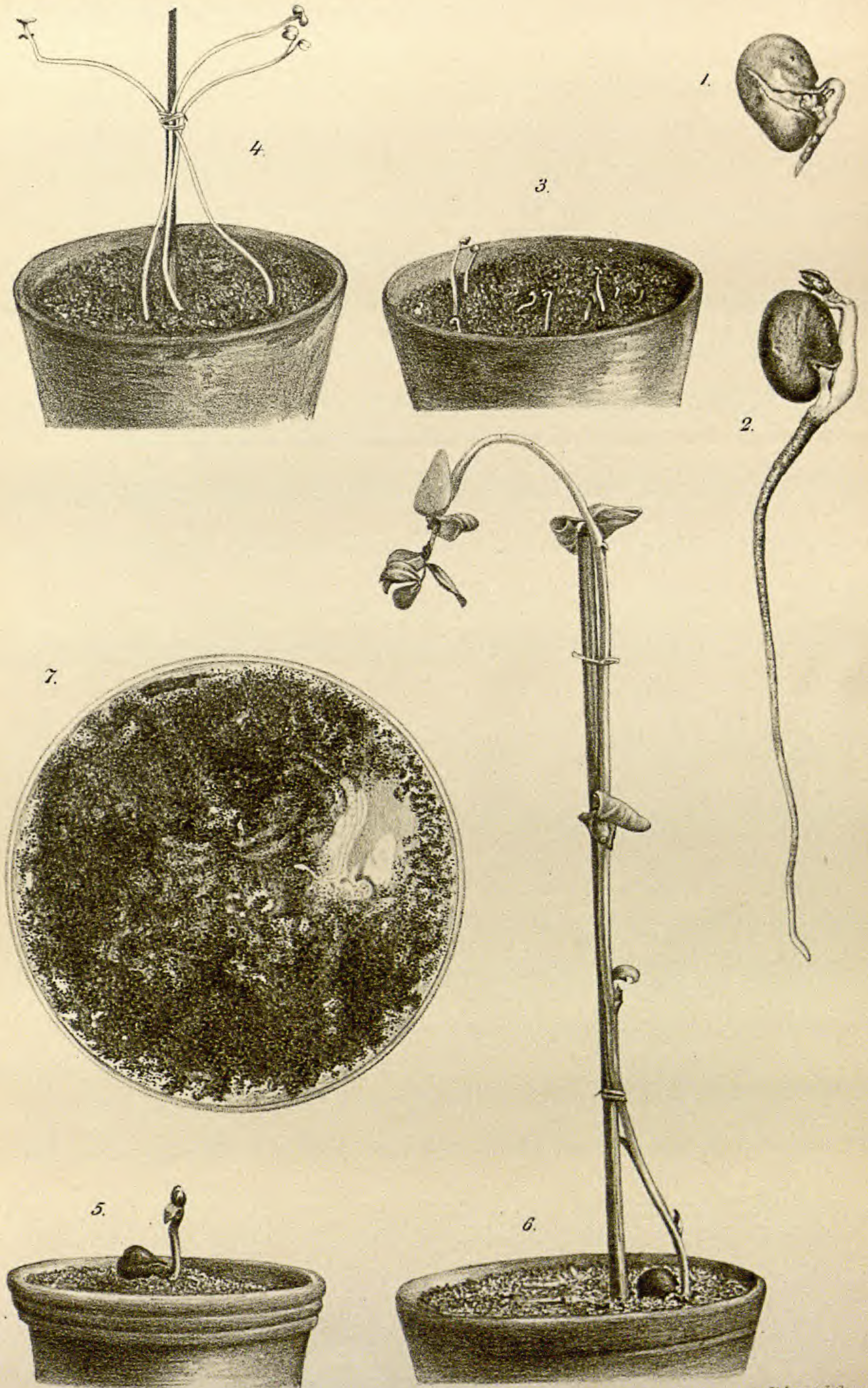
Erklärung der Abbildungen.

Photographien nach der Natur.

Fig. 1, 2, 3, 4 ca. $\frac{1}{2}$ nat. Gr. Fig. 5, 6 ca. $\frac{1}{4}$ nat. Gr. Fig. 7 ca. $\frac{3}{4}$ nat. Gr.
Die Figurenerklärung ist im Text gegeben. Hier sei nur bemerkt, dass Fig. 1, 3, 5 und 7 mit Radium bestrahlte Objekte darstellen, während in Fig. 2, 4 und 6 die jedesmaligen Kontroll-exemplare wiedergegeben sind.

1) G. BOHN, Comptes rendus, Vol. 136, 1903, p. 1012, 1013.

2) G. BOHN, Comptes rendus, Vol. 136, 1903, p. 1085, 1086.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [22](#)

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

Artikel/Article: [Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. 155-166](#)