

Das Radium und die Pflanze.

Von

Prof. Dr. Hans Molisch.

Vortrag, gehalten den 11. Dezember 1912.

(Mit Experimenten und Lichtbildern.)

Mit 14 Abbildungen.



I. Einleitung.

Die Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar Curie bedeutet einen Markstein in der Entwicklung der Naturwissenschaft. Nicht bloß in der Geschichte der Chemie und Physik, sondern der Naturwissenschaften überhaupt. Die Eigenschaften dieses Elementes und seiner Verbindungen sind so auffallend, um nicht zu sagen wunderbar, daß sie das Staunen selbst des ruhigsten Naturforschers hervorrufen müssen. Das Radium sendet beständig unsichtbare Strahlen aus, die undurchsichtige Körper von erheblicher Dicke durchdringen, nach Art der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte wirken, einen Zinkblendeschirm und viele andere Körper im Finstern zum Leuchten bringen und die Luft so stark für Elektrizität leitfähig machen (ionisieren), daß man darauf eine der feinsten Messungsmethoden für Radiumstrahlen begründet hat. Körper, die solche Eigenschaften besitzen, heißen radioaktiv.¹⁾ Es sind deren schon mehrere bekannt: das Uran, Radium, Polonium, Aktinium und das Thor. Obwohl diese Körper bestän-

¹⁾ Gruner P., Kurzes Lehrbuch der Radioaktivität. 2. Aufl., Bern 1911.

dig Strahlen in Form materieller Teilchen aussenden, läßt sich kein Gewichtsverlust feststellen. Und was besonders bemerkenswert ist: das Radium entwickelt beständig Energie. Alle Radiumpräparate leuchten ununterbrochen, erzeugen Elektrizität und fortwährend so bedeutende Mengen Wärme, daß die Temperatur des Präparates die Umgebung um einige Grade über treffen kann. Ein Gramm Radium gibt pro Stunde 100 Grammkalorien Wärme ab, also eine Wärmemenge, die einen Deziliter Wasser um 1°C zu erwärmen vermag. Damit sind aber die merkwürdigen Eigenschaften des Radiums noch nicht erschöpft. Eine der auffallendsten ist wohl die, daß in der nächsten Umgebung des Radiums alle Gegenstände radioaktiv werden oder sogenannte induzierte Radioaktivität annehmen. Bringt man in ein geschlossenes Glasgefäß eine Radiumlösung und verschiedene Gegenstände, Papier, Holz, eine Pflanze oder ein Tier, so werden alle diese Objekte radioaktiv, aber nur vorübergehend, nicht dauernd. Wie ein Pendel, in Schwingung versetzt, nach und nach wieder zur Ruhe kommt, so verlieren auch die genannten Körper nach einiger Zeit ihre Radioaktivität. Die Ursache dieser induzierten Radioaktivität ist ein Gas — Emanation genannt — das sich in sehr geringen Mengen beständig entwickelt, sich langsam ausbreitet und dann wieder verschwindet.

Bis vor kurzem galt es als selbstverständlich, daß ein Element nicht in ein anderes überzugehen vermag. Aber Rutherford und Soddy wagten, um die Erschei-

nungen der Radioaktivität zu erklären, die kühne Hypothese, daß dies für die radioaktiven Elemente nicht gilt: Sie haben alle ein sehr hohes Atomgewicht, Uran 238·5, Radium 225·97 und Thor 232·4. Ein derartiges Atom kann aufgefaßt werden als eine Ansammlung einer Unzahl kleiner Korpuskeln (Teilchen), die zwar künstlich nicht voneinander getrennt werden können, die aber von selbst zerfallen. Bei diesem Zerfall, der mit Explosionskraft von statten geht, entsteht Licht, Wärme, Elektrizität, Elektronen werden ausgeschleudert, Emanation wird gebildet, kurz alle Erscheinungen der Radioaktivität treten zu Tage. So geht das Radiumatom unter Aussendung körperlicher Strahlungen und Erzeugung neuer Energien einer neuen Gleichgewichtslage entgegen und wandelt sich dabei in andere Elemente um: in Emanation, Helium, dann in einen festen Körper, in die sogenannte induzierte Aktivität, dann in andere Elemente, bis der Zerfallsprozeß mit einem stabilen Gleichgewichtszustand, d. h. mit einem beständigen Element, vielleicht mit Blei, abschließt.

Die vom Radium ausgehenden Strahlen sind von dreierlei Art: α -, β - und γ -Strahlen. Durch ein senkrecht zu einem Strahlenbündel wirkendes Magnetfeld werden die verschiedenen Strahlen in verschiedener Weise abgelenkt, die α -Strahlen relativ wenig, die β -Strahlen sehr stark und die γ -Strahlen gar nicht. Das Durchdringungsvermögen der α -, β - und γ -Strahlen z. B. durch Aluminium verhält sich ungefähr wie 1 : 100 : 10:000 und ihr Ionisierungsvermögen wie 10.000 : 100 : 1.

Die α -Strahlen machen etwa $\frac{9}{10}$ der gesamten Strahlung aus. Sie setzen sich aus elektrisch geladenen Teilchen zusammen, die mit ungeheurer Geschwindigkeit vom Radium fortgeschleudert werden und die, wenn sie ihre positive Ladung abgegeben haben, Atome des Heliums sind. Ihre Geschwindigkeit beträgt $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ der Lichtgeschwindigkeit. Sie werden sehr leicht absorbiert.

Die β -Strahlen bestehen aus negativ geladenen Teilchen, die eine dem Lichte etwa gleiche Geschwindigkeit besitzen. Sie haben ein großes Durchdringungsvermögen.

Die γ -Strahlen ähneln den Röntgenstrahlen und haben ein noch größeres Durchdringungsvermögen als die β -Strahlen.

Experimentiert man mit in Glasröhrchen eingeschlossenen Radiumpräparaten, so kommen fast nur β - und γ -Strahlen zur Wirkung, da die α -Strahlen das Glas fast nicht und die Emanation das Glas gar nicht zu durchdringen vermag.

Nach dieser orientierenden Einleitung wollen wir uns mit der Frage beschäftigen, ob denn das Radium, dieser in physikalischer und chemischer Beziehung so merkwürdige Körper, nicht auch auf die Pflanze eine besondere Einwirkung ausübt.

II. Bakterien und Schimmelpilze.

Über den Einfluß der Radiumstrahlen auf niedere Pilze liegen bereits von verschiedenen Forschern (Aschkinass, Caspari, Hoffmann, Pfeiffer, Friedberger, Goldberg, Dixon, Wigham, Danysz, Dorn,

Baumann, Valentiner, Bouchard, Balthazard, Omeliansky, Körnicke u. a.) Untersuchungen vor.¹⁾

Die Entwicklung der Bakterien wird im Allgemeinen durch die Radiumstrahlung gehemmt oder gar zum Stillstand gebracht. Je stärker das Präparat und je länger die Strahlungsdauer, desto stärker die Wirkung. Der schädigende Einfluß läßt sich besonders schön bei Farbstoff- und Leuchtbakterien demonstrieren. Körnicke²⁾ konnte zeigen, daß, wenn ein Radiumröhrchen aus Glas an seiner Oberfläche mit einer Gelatineschicht überzogen wurde, die mit Leuchtbakterien geimpft war, sich bei aufrechter Stellung im feuchten Raume die Leuchtbakterien zwar überall entwickelten, daß aber nach $2\frac{1}{2}$ Tagen das Leuchten unten an der Ansammlungsstelle des Radiums abnahm und am 3. Tage hier vollständig erlosch. Die erloschenen Bakterien blieben aber lebensfähig, denn als sie wieder unter normale Verhältnisse, auf frische Nährgelatine gebracht wurden, wuchsen und leuchteten sie weiter.

Ähnlich wie Bakterien verhalten sich auch Schimmelpilze. Man beachte folgendes Experiment Körnickes.

¹⁾ London E. S., Das Radium in der Biologie und Medizin. Leipzig 1911, Akad. Verlagsgesellschaft. Löwenthal S., Grundriß der Radiumtherapie und der biologischen Radiumforschung. Wiesbaden 1912.

²⁾ Körnicke M., Über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf den pflanzlichen Organismus. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1904. Fortsetzung davon ebenda 1905, p. 324 und 404.

In eine kleine Kristallisierschale, die 2 cm hoch mit einer guten Pilznährlösung beschickt ist, werden die Sporen des Schimmelpilzes *Aspergillus niger* möglichst gleichmäßig ausgesät und knapp über der Oberfläche wird ein Radiumröhrchen (5 mg RaBr_2) so befestigt, daß die darunter liegenden Sporen von der Strahlung getroffen werden. Nach 2-tägiger Kultur im Finstern hatte sich bei einer Temperatur von 28°C überall reichlich Myzel gebildet, nur unter dem Röhrchen unterblieb die Pilzentwicklung, weil die Strahlen die Keimung der Sporen verhinderten. Auch nach 33 Tagen hatte sich der Pilz hier nicht entwickelt.

Als Dauphin den Schimmelpilz *Mortierella*, *Mucor* u. a. Radiumstrahlen aussetzte, wurde das Wachstum unterbrochen und die Sporenbildung verhindert: Unter normalen Verhältnissen entwickelten sich die bestrahlten Pilze wieder weiter.

III. Keimung der Samen.

Läßt man Samen im gequollenen oder ungequollenen Zustande mit Radium bestrahlen, so tritt in der Regel eine Wachstumshemmung ein. Als Körnicke¹⁾ Samen von der Saubohne *Vicia faba* mit einem Röhrchen, das ein Radiumsalzgemisch von 0.75 g mit etwa 4% Radium-Baryum-Chlorid enthielt, bestrahlte, keimten die Samen, unter günstige Wachstumsbedingungen gebracht, bald. Aber schon nach 3 Tagen stellten die Wurzeln ihr Wachstum ein. Auch schon eine einstündige Bestrahlung

¹⁾ Körnicke M., a. a. O.

mit 5 mg eines in ein Glasröhrchen eingeschlossenen Radiumbromidpräparates reichte aus, um später Wachstumsstillstand bei den Keimlingen herbeizuführen. Die Hauptwurzeln solcher Pflanzen blieben im Wachstum entweder stecken oder sie nahmen später das Wachstum wieder auf und entwickelten Seitenwurzeln. Die Spitze der Sprosse, der Vegetationskegel wuchs nicht mehr weiter und an seiner Stelle entwickelten sich in den Achseln der Keimblätter kräftige Seitensprosse.

Während sich die Saubohne sehr empfindlich erwies, verhielten sich die Samen von *Brassica Napus* sowohl gegen Röntgen- wie gegen Radiumstrahlen sehr wenig beeinflussbar. Selbst eine 3-tägige Bestrahlung mit 10 mg Radiumbromid wirkte auf die Keimung und die Weiterentwicklung nicht störend ein. Doch ließen gequollene Samen, als sie mit derselben Radiummenge bestrahlt wurden, eine Beschleunigung bei der Keimung, verglichen mit den Kontrollsamens, erkennen. Man könnte daran denken, daß die große Widerstandskraft der *Brassica*-Samen vielleicht in der derben Samenschale ihren Grund hat, daß sie die Strahlen verschluckt und sie in die tieferen Teile des Samens gar nicht eindringen läßt. Das ist aber nicht der Fall, da auch teilweise geschälte Samen sich ebenso verhielten. Ganz gefeit gegen die Radiumstrahlen sind auch die *Brassica*-Samen nicht; denn wenn sie genügend lange, etwa 10 Tage im trockenen Zustande dem Radium (10 mg) ausgesetzt werden, tritt auch hier Keimungsverspätung und schlechte Entwicklung ein.

Sehr anschaulich gestalteten sich analoge Versuche des amerikanischen Botanikers Gager.¹⁾ Auch er erzielte bei Keimlingen der Lupine, des Hafers und des Thimothegrases eine Hemmung, unter gewissen Bedingungen aber eine Beschleunigung der Entwicklung. Das letztere traf ein, als in der Mitte eines mit Haferfrüchten besäten Blumentopfes ein Glasröhrchen mit Radium (1.500,000 Aktivität) 5 mm tief in den Boden eingesteckt wurde. Die Samen in diesem Topfe keimten viel früher und die Keimlinge wuchsen rascher. Sie standen in drei konzentrischen Reihen im Topfe. Die in dem äußersten Kreise waren nach einer bestimmten Zeit um 50 mm, die in dem mittleren um 46 mm und die dem Röhrchen zunächst stehenden Keimlinge um 42 mm größer als die entsprechenden des Kontrollversuchs.

Die wachstumshemmende Einwirkung des Radiums auf Keimlinge der Saatwicke (*Vicia sativa*) veranschaulicht der folgende Versuch, den ich gelegentlich angestellt habe. In einer mit Erde gefüllten Glaswanne wurden ganz junge Wickenkeimlinge in einer geraden Linie gepflanzt und, nachdem sie eine Höhe von 1 — 2 cm erreicht hatten, wurde das Röhrchen (46·2 mg reines Radiumchlorid) in der Mitte der Reihe parallel zu ihr in einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ cm in etwa Knospenhöhe aufgestellt. Das Ganze wurde noch mit einem Zinksturz bedeckt. 4 Tage später waren die in nächster Nähe des

¹⁾ Gager C. S., Some physiological effects of radium rays. The American Naturalist 1908, vol. XLII, Nr. 504.

Röhrchens stehenden Keimlinge nur wenig gewachsen, die außer dem Bereiche des Röhrchens stehenden aber gut, und zwar um so besser, je weiter sie dem Röhrchen entrückt waren. (Fig. 1.)

IV. Die Emanation.

Wie bereits bemerkt wurde, entwickeln alle Radiumpräparate fort und fort ein farbloses, chemisch völlig indifferentes Gas, die Emanation, die schon in 3·86 Tagen auf die Hälfte ihres Anfangswertes zerfällt. Bei dem Zerfall sendet die Emanation nur α -Strahlen aus und verwandelt sich in verschiedene andere Elemente, genannt Radium A, Radium B und Radium C, die die sogenannte induzierte Radioaktivität oder den aktiven Niederschlag bilden. Die Emanation ist, wenn auch nur in Spuren, in der Natur allgemein, im Boden, in der Luft, in Thermalwässern und auch sonst verbreitet. Es erscheint daher von Interesse, zu prüfen, welchen Einfluß die Emanation auf die Pflanze ausübt. Es war, da es sich bei der Emanation um die sehr wirksamen α -Strahlen handelt, von vorneherein sehr wahrscheinlich, daß die Wirkung eine sehr bedeutende sein dürfte. In der Tat konnte Jansen¹⁾ zeigen, daß eine Oberflächenkultur von der roten Farbstoffbakterie *Bacillus prodigiosus* durch eine Emanation von etwa 400 Macheeinheiten pro 1 cm³ getötet wird. Auch wird die Ausbildung des Farbstoffes sehr gehemmt,

¹⁾ Jansen H., Untersuchungen über die bakterizide Wirkung der Radiumemanation etc. Ztschr. f. Hygiene etc., 1910, Bd. 67, p. 135.

oft in solchem Grade, daß man ganz farblose Kulturen erhält. Bringt man jedoch solche Bakterien wieder unter normale Verhältnisse, so kehrt die Farbstoffbildung wieder zurück. Über die Beeinflussung der höheren Pflanze durch die Emanation habe ich selbst¹⁾ eine Reihe von Versuchen durchgeführt, denen ich folgendes entnehme. Zunächst einige Worte über die Versuchsanstellung, die aus der Fig. 2 zu ersehen ist.

Das Gefäß links enthält die Radiumlösung, die die Emanation erzeugt. Durch den Druck auf eine Kautschukbirne wird die Emanation in das Gefäß rechts geblasen, das als Versuchsraum, als Emanatorium dient. Alle 24 oder 48 Stunden wurde das Emanatorium wieder mit Emanation versehen. Es enthielt etwa 1·84 oder 3·45 Millicurie Emanation. Sie wird im folgenden als starke Emanation bezeichnet werden. Ich arbeitete auch mit einer mittelstarken (0·0009 Millicurie) und einer schwachen (0·00012 Millicurie) Emanation. Für den Kontrollversuch diente ein vollkommen gleicher Apparat, der aber keine Emanation enthielt.

a) Keimlinge.

Die mit Keimlingen verschiedener Art durchgeführten Versuche lehrten zunächst, daß die Radiumemanation von einer gewissen Konzentration an auf wachsende

¹⁾ Molisch H., Über den Einfluß der Radiumemanation auf die höhere Pflanze. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, 1912, Bd. CXXI, Abt. I, p. 833.

Pflanzen einen schädigenden Einfluß ausübt. Die Keimlinge bleiben, gleichgültig ob ihre Samen oder sie selbst der Emanation ausgesetzt waren, im Wachstum auffallend zurück oder hören ganz zu wachsen auf oder gehen nach einiger Zeit zugrunde.

Die Schädigung ist meistens eine dauernde. Während Pflanzen, in anderer Weise geschädigt, z. B. durch längeren Aufenthalt in einer mit Tabakrauch oder Leuchtgas verunreinigten Luft, wieder normal werden, wenn sie in reine Luft gebracht werden, ist dies bei den Emanationspflanzen meist nicht der Fall. Es tritt hier eine physiologische Nachwirkung ein, der zugefügte Insult wirkt weiter. Besonders ist es der Vegetationspunkt, der in Mitleidenschaft gezogen wird. Dies läßt sich an verschiedenen Keimlingen beobachten. Bei denen von Zichorie (*Cichorium Intybus*), der Sonnenrose (*Helianthus annuus*), Kürbis (*Cucurbita Pepo*), der Rübe (*Beta vulgaris*) u. a. tritt nach der Einwirkung der Emanation oft noch gutes Wachstum der Keimblätter ein, allein die Endknospe bleibt sitzen und entwickelt sich nicht oder nur sehr langsam weiter. Ähnliches gilt von der Wurzel und ihrer Vegetationsspitze. Keimlinge, die unter dem Einfluß der Emanation stehen oder standen, zeigen noch andere Eigentümlichkeiten: sie strecken ihre Spitze früher gerade als normale, sie ergrünen langsamer und bilden weniger Anthokyan. Manche, wie Roggen (*Secale cereale*) und Hafer (*Avena sativa*), scheiden an ihrer Spitze eine weiße kristallinische Masse aus. Zur Erläuterung sollen einige Versuche mitgeteilt werden.

Feuerbohne (*Phaseolus multiflorus*).

Zwei Blumentöpfe wurden mit Samen beschickt und als die Keimlinge den Boden eben zu durchbrechen begannen, wurden sie der starken Emanation durch 4 Tage im Finstern bei einer Temperatur von 20 — 22° C unterworfen. Die Pflanzen in der Emanationsluft waren im Wachstum bedeutend gehemmt, ihre unter normalen Verhältnissen nach abwärts gekrümmte Knospenspitze war fast schon ganz gerade gestreckt, die Ausbildung des roten und gelben Farbstoffes war gehemmt. Die Stengellänge betrug bei den normalen Keimlingen nach 4-tägiger Versuchsdauer durchschnittlich 15 cm und bei den Emanationskeimlingen 7 cm (s. Fig. 3). Nach 24 Stunden ergrüntem im Warmhaus die Blätter der normalen Pflanzen, während die Emanationspflanzen selbst nach 48 Stunden noch wenig Blattgrün gebildet hatten und daher bleichgrün waren. Sie wuchsen fast gar nicht weiter.

Erbse (*Pisum sativum*).

Alles wie vorher. Beginn des Versuches am 20. November 1911. Einwirkung der starken Emanation durch 4 Tage.

Auch hier war der Längenunterschied der Stengel in den beiden Kulturen sehr groß. Er verhielt sich nach 4 Tagen wie 10:3. Die Emanation hemmt das Wachstum der Stengel und Wurzeln, die Bildung des gelben Farbstoffes und begünstigt die Geradstreckung der Endknospe. (Fig. 4.)

*

*

*

Die Emanation muß aber nicht immer hemmend oder gar tödend auf die Pflanze einwirken, sie kann auch, wenn sie in geringen Mengen geboten wird, eine Förderung der Entwicklung hervorrufen. Das war bei den Keimlingen von *Matthiola incana* (Sommerlevkoje), *Cucurbita Pepo* (Kürbis) und *Helianthus annuus* (Sonnenrose) der Fall, bei den beiden letzteren, wenn die Emanation auf den Samen und nicht erst auf den Keimling wirkte. Es stellt sich eine gewisse Analogie mit Giften heraus. So wie diese in Spuren fördernd auf gewisse Prozesse einwirken, in größerer Menge hemmend oder gar tödend, so auch die Emanation. Zur Veranschaulichung des Gesagten mögen folgende Versuche dienen.

Kürbis (*Cucurbita Pepo*).

Am 9. April 1912 wurden Kürbissamen in 3 Blumentöpfe (I, II, III) ausgesät und dann bei einer Temperatur von 17° im Finstern der Emanation ausgesetzt.

I: Kontrollpflanzen,

II: schwache Emanation durch 5 Tage,

III: starke Emanation durch 5 Tage.

Am 26. April kamen die Keimblätter bei I und II aus der Erde hervor. Die Hälfte der Keimlinge jeder Versuchsreihe blieb im Topfe und wurde an einem Südfenster aufgestellt. Die andere Hälfte wurde ins freie Land verpflanzt.

a. Die Pflanzen in den Blumentöpfen: am 15. Mai 1912 war

bei I	die durchschnittliche Länge des Stengels	5·1	cm,
" II	" " " " " "	6·5	"
" III	" " " " " "	2·5	"

Schon der bloße Anblick lehrte, daß die Keimlinge von II größer und üppiger waren als die Kontrollpflanzen, mit anderen Worten, daß die Keimlinge durch schwache Emanation in ihrer Entwicklung gefördert wurden. Hingegen wurde durch die starke Emanation das Wachstum des Stengels, der Wurzel und der Kotyledonen gehemmt. (Fig. 5.) Die Pflanzen III gingen nach etwa 3 Wochen ein, ohne sichtlich weiter gewachsen zu sein, die von II und I wuchsen gut weiter und gelangten zur Blüte. Die Pflanzen II waren immer etwas stärker als die normalen, unterschieden sich aber sonst nicht von I.

β. Die Pflanzen im freien Lande: III gingen zugrunde, II und I gediehen prächtig bis zur Frucht, ohne irgend merkliche Unterschiede aufzuweisen.

Bohne (*Phaseolus multiflorus*).

Ein ganz analoger Versuch wurde mit Bohnen gemacht und die Fig. 6 zeigt, daß die schwache Emanation auch hier eine Förderung und die starke Emanation fast eine Sistierung des Wachstums und schließlich ein Absterben der Pflanzen bewirkt hat.

Sommerlevkoje (*Matthiola incana*).

Wie die Fig. 7 zeigt, war das Ergebnis im wesentlichen so wie im vorigen Experimente.



Fig. 1. Wickenkeimlinge (*Vicia sativa*) unter dem Einfluß eines Glasröhrchens mit Radium.

Die dem Röhrchen zunächst stehenden Keimlinge erscheinen im Wachstum außerordentlich gehemmt.



Fig. 2. Versuchsanstellung mit Emanation.

Das Glasgefäß (links) enthält die Radiumlösung, die die Emanation erzeugt. Aus diesem wird die Emanation durch ein Gebläse in das Versuchsgefäß (rechts) geschafft.



Fig. 3. *Phaseolus multiflorus*, Feuerbohne.

Links Kontroll-exemplare, rechts nach Einwirkung starker Emanation. Diese hemmt die Entwicklung.

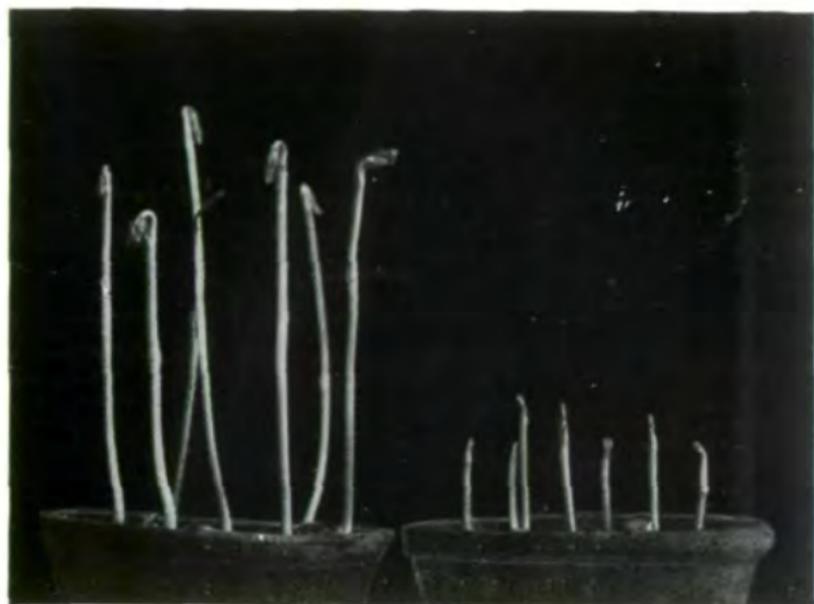


Fig. 4. *Pisum sativum*, Erbsenkeimlinge.

Links Kontroll-exemplare, rechts nach Einwirkung der Emanation. Diese hemmt die Entwicklung.



Fig. 5. *Cucurbita Pepo*, Kürbiskeimlinge.

Links nach Einwirkung starker, in der Mitte nach Einwirkung schwacher Emanation, rechts Kontroll-exemplare. Die starke Emanation schädigt hochgradig, die schwache fördert etwas die Entwicklung.

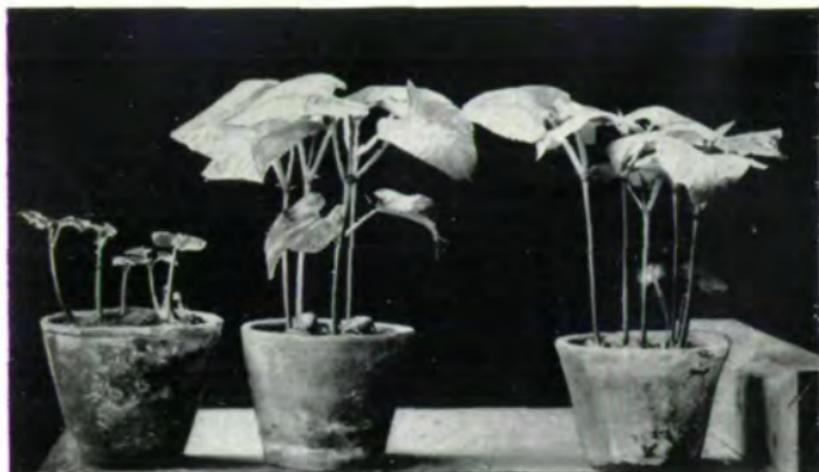


Fig. 6. *Phaseolus multiflorus*.

Keimlinge links nach Einwirkung starker, Keimlinge in der Mitte nach Einwirkung schwacher Emanation, rechts Kontroll-exemplare. Die starke Emanation schädigt stark, die schwache fördert etwas.



Fig. 7. *Matthiola incana* (Sommerlevkoje).

Keimlinge rechts nach Einwirkung starker, Keimlinge in der Mitte nach Einwirkung schwacher Emanation, links Kontroll-exemplare. Die starke Emanation schädigt, die schwache fördert.



Fig. 8. *Caragana arborescens*-Zweige.

Links normal, rechts entlaubt nach 3-tägiger Einwirkung der Emanation.



Fig. 9. *Sedum Sieboldii*.

Links Kontrollpflanze mit normalen dreiblättrigen Blattquirle, rechts Pflanze 4 Monate nach der Einwirkung der Emanation. Sie bildet in der Regel keine Dreiblattquirle, sondern fast nur dekussiert stehende Blattpaare.



Fig. 10. *Syringa vulgaris*.

Endknospen des Bündels 1 (links) durch 48 Stunden, des Bündels 2 durch 24 Stunden, des Bündels 3 durch 1 Stunde, die des Bündels 4 (rechts) gar nicht mit Radium bestrahlt. Die beiden Bündel 1 und 2 (links) haben getrieben. Die beiden anderen (rechts) nicht.



Fig. 11. Einwirkung der Radiumemanation auf Zweige von Flieder (*Syringa vulgaris*).

Bündel 1 (links) ist in reiner Luft, Bündel 2 durch 20, Bündel 3 durch 48, Bündel 4 (rechts) durch 72 Stunden in Emanation gewesen. Die Kontrollexemplare (links) treiben nicht, die anderen um so besser, je länger sie der Emanation ausgesetzt waren.



Fig. 12. Einwirkung der Radiumemanation auf Sprosse der Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*).

Sprosse links in reiner Luft, Sprosse rechts 24 Stunden der Emanation unterworfen. Die Emanationsknospen treiben, die Kontrollknospen aber fast gar nicht.



Fig. 13. Haferkeimlinge (*Avena sativa*), 48 Stunden einem leuchtenden Radiumröhrchen ausgesetzt.

Alle Keimlinge wachsen auf das Licht des Röhrchens zu, sie sind positiv heliotropisch.

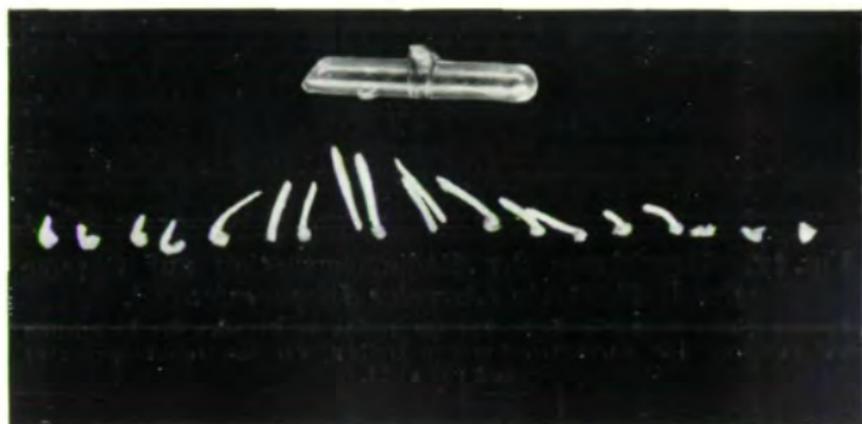


Fig. 14. Haferkeimlinge (*Avena sativa*).

Positiv heliotropisch zum Radiumröhrchen gekrümmt. Von oben gesehen.
Versuchsdauer 48 Stunden.

Auch Winkler¹⁾ und Stoklasa²⁾ konnten in ihren Versuchen eine Förderung des Wachstums durch Radium dartun: Winkler, als er in Wasser mit Emanation *Elodea*, *Ceratophyllum* und die Winterknospen von *Myriophyllum* und *Hydrocharis morsus ranae* zog, und Stoklasa, als er Uranpecherz von verschiedenem Gewichte (0·5—4 g), in Gläschen eingeschlossen, in die Knop'sche Nährlösung brachte, wo die Pflanzen kultiviert wurden.

Nach 52-tägiger Versuchszeit betrug nach Stoklasa das Gewicht von 9 Maispflanzen:

Pflanzen normal	20·16 g
„ mit 0·5 g Uranpecherz	36·24 „
„ „ 1·0 „ „	3·88 „
„ „ 2·0 „ „	3·26 „
„ „ 4·0 „ „	2·62 „

Kleine Mengen bedingen also Förderung, größere Hemmung.

Stoklasa prüfte auch den Einfluß der frischen, radioaktiven Wasser (300—2000 Macheeinheiten) von Joachims-
thal und fand, daß die Samen verschiedener Gewächse, die er in radioaktiven Wässern mazerieren (?) ließ, schon nach 24—36 Stunden keimten, während sie im gewöhnlichen Wasser erst nach 56—120 Stunden zu keimen begannen.

¹⁾ Winkler F., Über die Wirkung der Radiumemana-
tion. Wiener mediz. Wochschr., Nr. 41, 1912.

²⁾ Stoklasa J., Über den Einfluß der Radioaktivität
auf die Entwicklung des Pflanzenorganismus. Österr. Che-
miker-Ztg. 1912, p. 301.

b) Erwachsene Pflanzen.

Die Emanation schädigt nicht bloß die Keimlinge, sondern auch die bereits entwickelten Organe der Pflanzen. So werden Blätter nach ein- bis dreitägigem Einfluß mißfarbig (*Aucuba japonica*, *Fuchsia globosa*) oder glasig durchscheinend (*Impatiens Sultani*). Die Schädigung kann schon im Emanationsraum oder erst später auftreten.

c) Laubfall.

Überraschend erscheint der Einfluß der Emanation auf den Laubfall. Gewisse Hülsenfrüchtler (Leguminosen) wie *Caragana arborescens*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia Pseudacacia* und andere werfen in der Emanationsluft die Blätter viel früher ab als in reiner Luft, und zwar auch schon im Frühjahr, also zu einer Zeit, wenn unter normalen Verhältnissen noch gar nicht die Tendenz zum Laubfall vorhanden ist. Als ich je zwei 10—20 cm lange Zweige von *Caragana* am 22. April im Finstern der starken Emanation aussetzte, waren nach 3 Tagen bei diesen Sprossen 245 Fiederblättchen abgefallen, während die Kontrollzweige noch ganz intakt waren (Fig. 8).

* * *

Wie bereits vorhin bemerkt wurde, beeinflusst die Emanation den Sproßscheitel (Vegetationspunkt) in besonders hohem Grade. Der Vegetationspunkt gerät in eine gewisse Starre, entwickelt sich nicht weiter oder wird sonst in irgendeiner andern Weise alteriert. Dies trat besonders bei Versuchen mit *Sedum Sieboldii* auffallend hervor. Die Sprosse dieser Pflanze bilden normal

dreigliedrige Blattquirle. Sprosse, die in ganz jungen Entwicklungsstadien 3 Tage starker Emanation ausgesetzt wurden, entwickelten von da an nicht dreiblättrige Wirtel, sondern nur zweiblättrige (Fig. 9). Dieser Fall könnte, wenn sich herausstellen sollte, daß diese Eigentümlichkeit sich vererbt, von Bedeutung werden. Man stünde hier vor einer willkürlich ausgelösten, sprungweisen Variation (Mutation).

Wenn man die angeführten Versuche überschaut, so wird es nicht unwahrscheinlich, daß die Emanation chemisch auf die Zelle einwirkt, ähnlich wie ein Gift. Stark von der Emanation beeinflusste Keimlinge können, obwohl ihre Reservestoffbehälter von Baumaterial strotzen, nicht oder nur wenig weiter wachsen, weil durch den chemischen Eingriff die Reservestoffe nicht mobilisiert werden, wahrscheinlich durch Lahmlegung der Fermente. Mit der Behauptung, die Emanation wirke chemisch, soll nicht gesagt sein, daß die Moleküle nicht auch mechanisch durch das Bombardement der α -Strahlung und durch die Strahlung der Zerfallsprodukte geschädigt und ihr Atomverband gelockert werden könnten.

Die Emanationsmenge, die sich bei Anwendung der starken Radiumlösung im Versuchsraume befand und die auf Pflanzen hochgradig schädigend oder tötend wirkt, war zwar relativ sehr groß, aber dem Gewichte nach eine erstaunlich geringe. Sie betrug 0·0000063 mg. Es dürfte wenige Gifte geben, die schon in so kleinen Dosen so tiefgreifende Schädigungen hervorzurufen vermögen wie die Radiumemanation.

V. Das Radium, ein Mittel zum Treiben der Pflanzen.¹⁾

Die Gärtner haben sich schon lange Zeit hindurch bemüht, die Ruheperiode der Pflanzen zu verschieben, abzukürzen oder ganz aufzuheben, und ihre Bemühungen waren nicht ohne Erfolg. In neuerer Zeit haben sich dieser Sache auch Männer der Wissenschaft angenommen und eine Reihe von ausgezeichneten Methoden ausfindig gemacht, um die Pflanze aus ihrer Ruhe zu erwecken. Ich erinnere nur an das Äther-, Warmbad-, Verletzungsverfahren u. a. Im Laufe der zwei letzten Jahre habe ich gefunden, daß auch das Radium diesem Zwecke dienstbar gemacht werden kann. Wenn man in der zweiten Hälfte November Zweige vom Flieder (*Syringa vulgaris*) abschneidet, auf die Endknospen Glasröhrchen, in denen Radiumpräparate von bestimmter Stärke eingeschlossen sind, bis zur Berührung auflegt, hier 1—2 Tage beläßt und dann die Zweige im Warmhause im Lichte weiter kultiviert, so treiben die bestrahlten aus, die unbestrahlten Kontrollknospen aber viel später oder gar nicht.

Zum Versuche diente unter anderem ein Röhrchen, das 46·2 mg reines Radiumbromid enthielt. Als am 25. November 1910 Syringaknospen durch 24 Stunden mit diesem Röhrchen bestrahlt wurden, trieben sie nach einem Monat aus, während an den unbestrahlten Kontrollknospen zu dieser Zeit und auch später kein Treiben zu

¹⁾ Molisch H., Über das Treiben von Pflanzen mittels Radium. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, 1912, Bd. CXXI, p. 121.

bemerken war. Den Erfolg eines ähnlichen Versuches zeigt Fig. 10.

Die Bestrahlung von Knospen mit Radiumröhrchen hat aber insofern einen großen Nachteil, als die Knospen von der Strahlung höchst ungleichmäßig getroffen werden. Die einzelnen Teile der Knospe liegen von der strahlenden Fläche verschieden entfernt, müssen also schon aus diesem Grunde von ungleich intensiver Strahlung getroffen werden, der ungleichen Absorption der Strahlen durch die Knospenschuppen, jungen Blättchen und Blütenanlagen nicht zu gedenken.

Es schien mir daher wünschenswert, auch die Wirkung der Radiumemanation auf die Ruheperiode zu untersuchen. Von dieser war von vornherein ein viel gleichmäßigerer Angriff auf die Knospe zu erwarten, da sie die Knospen von allen Seiten beeinflusst und in ihr Inneres, zwischen den Knospenblättern hindurch, einzudringen vermag. Dieser Gedanke hat sich denn auch als richtig erwiesen und dementsprechend war auch die Einwirkung der Emanation auf ruhende Knospen eine viel auffälligere als die der Röhrchen. Als Emanationsraum diente wieder das in Fig. 2 abgebildete Gefäß. Zur Veranschaulichung mögen die beiden folgenden Versuche angeführt sein:

Flieder (*Syringa vulgaris*).

Versuch am 27. November 1911.

- | | | |
|----|--|------|
| 1. | Zweigbündel in Emanation durch 20 Stunden, | |
| 2. | " " " " " | 48 " |
| 3. | " " " " " | 72 " |
| 4. | " stets in reiner Luft (Kontrollversuch). | |

Am 10. Dezember treibt Bündel 3, die anderen nicht.
" 23. " " " 4 nicht, 1 mäßig, 2 sehr
gut und 3 ausgezeichnet.

Am 30. Dezember treibt 4 immer noch nicht, hingegen
haben alle, die der Emanation ausgesetzt waren, sehr gut
getrieben. Die Bündel 2 und 3 am besten. Von dem
Aussehen der Zweige am 23. Dezember gibt eine gute
Vorstellung die Fig. 11.

Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*).

Versuch am 14. Dezember 1911.

1. Zweigbündel in Emanation durch 1 Tag,
2. " " " " 4 Tage,
3. " stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

In jedem Bündel waren 4 etwa 15 cm lange Zweige. Am
4. Jänner 1912 begannen die Knospen bei 1 und 2 sich
zu strecken, bei 2 stärker als bei 1. Die Kontrollknospen
waren unverändert. Am 15. Jänner waren alle Ema-
nationsknospen den Kontrollknospen, die sich eben erst
zu strecken begannen, weit vor, besonders die Knospen,
die nur 24 Stunden der Emanation ausgesetzt waren.
Ihre Länge betrug durchschnittlich 6·5 cm, bei Bündel 2
etwa 4 cm und bei den Kontrollknospen 3 cm. Über die
außerordentliche Wirkung der Emanation vgl. die Fig. 12.

Sowohl die Versuche mit festen Radiumpräparaten
als auch die mit Emanation gelingen nur in einer gewissen
Phase der Ruheperiode, d. h. etwa in der zweiten Hälfte
November und im Dezember. Wird die Bestrahlung schon
im September oder Oktober, also zu einer Zeit, da die

Ruheperiode noch sehr fest ist, vorgenommen, so hat sie keinen Erfolg. Macht man die Versuche im Jänner oder noch später, wenn die Ruhezeit schon ausgeklungen ist, so zeigt sich entweder kein Unterschied zwischen bestrahlten und unbestrahlten Knospen oder es erscheinen die bestrahlten im Wachstum mehr oder minder gehemmt. Sie verhalten sich demnach in dieser Beziehung wie ätherisierte oder in lauem Wasser gebadete Zweige.

Die Bestrahlung muß eine gewisse Zeit währen, sie darf nicht zu kurz und nicht zu lang dauern; im ersteren Falle zeigt sich kein Effekt, im letzteren wirkt die Bestrahlung hemmend, schädigend oder sogar tötend. Abgesehen vom Flieder und der Roßkastanie, gelangen die Versuche auch mit den Winterknospen des Tulpenbaumes (*Liriodendron*), der Pimpernuß (*Staphylea*) und einigermaßen auch mit denen vom Ahorn (*Acer platanoides*). Dagegen erhielt ich negative Resultate mit den Knospen von Ginkgo, der Platane, der Rotbuche und der Linde, von denen die beiden letzten bekanntlich auch auf Äther und Warmbad nicht oder nur im geringen Grade reagieren.

Der Gärtner wird zunächst fragen, ob die von mir gemachten Beobachtungen für die Praxis der Pflanzentreiberei von Bedeutung sind. Darauf antworte ich: derzeit nicht. Bei der außerordentlichen Kostspieligkeit des Radiums — 1 mg Radiumelement kostet gegenwärtig etwa 590 Kronen — ist nicht daran zu denken, meine Befunde auch für die Praxis zu verwerten, zumal wir ja jetzt in dem Warmbad ein so gefahrloses, billiges und

leicht zu handhabendes Mittel für die Treiberei der Pflanzen besitzen.¹⁾ Pflanzenphysiologie und Gärtnerei sind vielfach aufeinander angewiesen und ich meine, der moderne Gärtner soll nicht immer ausschließlich nach dem Nutzen einer Erscheinung fragen, sondern sich auch ein Interesse bewahren für die Erscheinungen des Pflanzenlebens an und für sich.

VI. Über Heliotropismus im Radiumlichte.²⁾

Die Empfindlichkeit der Pflanze für außerordentlich geringe Lichtintensitäten ist bekanntlich eine überraschend große. In jüngster Zeit wurde sogar der Nachweis gebracht (Fröschel), daß für einen Haferkeimling ein Lichtblitz der Sonne oder einer starken Lampe von nur $\frac{1}{2000}$ Sekunde schon genügt, um eine heliotropische Krümmung nach der Lichtquelle zu veranlassen. Mit Rücksicht auf diese überaus große Empfindlichkeit für Licht war es von vornherein wahrscheinlich, daß auch das schwache Licht, welches von festen Radiumpräparaten beständig ausstrahlt, für das Zustandekommen des Heliotropismus schon ausreichen würde.

Hafer (*Avena sativa*).

Die zum Versuche verwendeten Keimlinge wurden in tiefster Finsternis auf Keimschalen zur Keimung ge-

¹⁾ Molisch H., Das Warmbad als Mittel zum Treiben der Pflanzen. Jena 1909, bei G. Fischer.

²⁾ Molisch H., Über Heliotropismus im Radiumlichte. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, 1911, Bd. CXX, p. 312.

bracht, dann in eckigen Glaswannen in eine gerade Reihe gepflanzt und, sobald sie eine Länge von etwa $1-1\frac{1}{2}$ cm erreicht hatten, in der Dunkelkammer vor dem Radiumröhrchen aufgestellt. Das Licht des von mir verwendeten Röhrchens reichte für ein an die Dunkelheit gewöhntes Auge nicht aus, um die Taschenuhr abzulesen, und war viel schwächer als das einer Strichkultur von der Leuchtbakterie *Pseudomonas lucifera* Molisch. Das an einem Holzstäbchen in horizontaler Lage befestigte Radiumröhrchen wurde parallel zu den in einer geraden Reihe gepflanzten Keimlingen in einer Entfernung von etwa 1 bis 3 cm so aufgestellt, daß es die Spitzen der Keimlinge etwas überragte. Über das Ganze stülpte ich noch, obwohl der Versuch in einer lichtdichten Dunkelkammer ablief, zur Sicherheit, um ja alles Licht abzuhalten, einen Dunkelsturz. Bei einer Temperatur von $17-18^{\circ}$ C boten die Keimlinge 48 Stunden nach Einleitung des Versuches, das in der Fig. 13 festgehaltene Bild. Sie waren sämtlich deutlich positiv heliotropisch, d. h. zum Röhrchen hingekrümmt.

Die Fig. 14 zeigt einen ähnlichen Versuch mit demselben Röhrchen, aber von oben gesehen.

Aus diesen und anderen Experimenten, die ich mit verschiedenen Keimpflanzen angestellt habe, ergab sich:

Die von stark leuchtenden Radiumpräparaten ausgehenden Lichtstrahlen können positiven Heliotropismus hervorrufen. Hafer und Wickenkeimlinge krümmen sich auf leuchtende Radiumpräparate in auffallender Weise zu. Da die Lichtintensität der Radiumpräparate im allgemeinen eine sehr schwache ist, so gelingen die Versuche nur mit

heliotropisch empfindlichen Pflanzen. Keimlinge der Gerste und der Sonnenblume, die eine weit geringere heliotropische Empfindlichkeit besitzen als Wicke und Hafer, wurden durch die mir zur Verfügung stehenden Radiumpräparate niemals zu heliotropischen Krümmungen veranlaßt. — Daß der Heliotropismus nur von den leuchtenden Strahlen des Radiums hervorgerufen wird, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man das Röhrchen mit einem schwarzen Papier umhüllt. Es unterbleibt dann jede heliotropische Krümmung; die Keimlinge wachsen dann gerade aufrecht weiter, da die das Papier durchdringenden β - und γ -Strahlen nicht richtend auf die Keimpflanzen einwirken und die α -Strahlen in diesen Versuchen nicht in Betracht kommen, weil sie durch die Glaswand des Röhrchens absorbiert werden.

Damit sind aber die Einwirkungen des Radiums auf die Pflanze nicht erschöpft. Es liegen bereits Versuche von Gager vor, die den Beweis liefern, daß durch das Radium die Stärkebildung im Licht und die Atmung der Pflanze gehemmt und die Gärung der Hefe gefördert wird, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß die Zukunft uns noch mit einer Reihe anderer Beziehungen zwischen der Pflanze und dem Radium bekannt machen wird.

Hand in Hand mit den dem unbewaffneten Auge sichtbaren Veränderungen, die die Pflanze durch das Radium erleidet, gehen auch mikroskopische und es scheint, daß hierbei auch der Zellkern Veränderungen erleidet. Es wäre nicht unmöglich, daß vielleicht hiedurch der Anstoß

zu neuen morphologischen und physiologischen Eigenschaften gegeben wird, doch haben wir vorläufig noch kein Recht, hiezu eine bestimmte Meinung zu äußern, da es an einschlägigen sicheren Tatsachen derzeit fehlt. Der Gegenstand bedarf spezieller Untersuchungen.

Immerhin läßt sich jetzt schon sagen, daß das Radium, dieses wunderbare Element, das auf dem Gebiete der Physik und Chemie so revolutionär gewirkt hat und gewisse fundamentale Anschauungen wie die von der Unwandelbarkeit des Elements und der Unteilbarkeit des Atoms umgestoßen hat, auch auf die Lebewesen ganz überraschende und eigenartige Wirkungen mit seiner unsichtbaren Strahlung ausübt.
