

14.852/
3a





THE HISTORY OF THE

REIGN OF
HAROLD GODWINSON
AND
WILLIAM THE FIRST
BY
JOHN G. RICHARDS
OF THE
UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

LONDON: PUBLISHED BY
JOHN BARNES & CO. LTD.

Mitteilungen aus dem botanischen Institut der k. ung. Universität
für technische und wirtschaftliche Wissenschaften Sopron (Ungarn)
Publications of the Botanical Institute of the Royal Hungarian Uni-
versity of Technical and Economic Sciences. Sopron (Hungary)

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE, DURCH DIE UNSICHTBAREN
BETA- UND GAMMA-STRAHLEN
DER RADIOAKTIVEN STOFFE
AUSGELÖSTEN, REIZBEWEGUNGEN
DER PFLANZEN.

VON

D. FEHÉR.

SOPRON (UNGARN) 1940

RÖTTIG-ROMWALTER DRUCKEREI AKTIENGESellschaft SOPRON



14.852/3a

ORSZ. SZÉCHENYI-KÖNYVTÁR
 Növédéknapló
 1941. év 3046 sz.



Untersuchungen über die, durch die unsichtbaren Beta- und Gamma-Strahlen der radioaktiven Stoffe ausgelösten Reizbewegungen der Pflanzen.

II. Quantitative Erfassung der Strahlenwirkung. Die biologische Wirkung der kurzwelligen Erdstrahlen.

Von: D. Fehér.

Aus dem Botanischen Institut der k. ung. Universität für technische und wirtschaftliche Wissenschaften Sopron (Ungarn).

Einleitung.

In dem ersten Teil dieser Arbeit habe ich über die wichtigsten, auf diesem Forschungsgebiete erzielten Ergebnisse berichtet, die die tropische Reizwirkung der Beta- und Gammastrahlen des Urans und des Radiums erwiesen haben. (1.) Ich betonte dort, daß nach der Aufdeckung der ersten grundlegenden Zusammenhänge das nächste Ziel der weiteren Untersuchungen, vor allen Dingen, die quantitative Erfassung der Strahlungswirkung sein sollte.

Um die technische Durchführung der Arbeiten zweckmäßig vereinfachen zu können, mußte ich mich dazu entschließen, möglichst eine physikalisch und chemisch genau bekannte radioaktive Verbindung und dazu eine Pflanze zu verwenden, deren Reizempfindlichkeit vorher in zahlreichen Vorversuchen ermittelt wurde. Auf Grund dieser Überlegung benützten wir dann in der weiteren Folge von den bekannten Salzen des Urans das Uranylнитrat $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2]$, dessen physiko-chemische Eigenschaften sehr gut bekannt sind. Der Urangehalt dieser Verbindung beträgt 47%. (2.)

Die Strahlungsaktivität des Urans wird auf Grund der Emanationsmenge berechnet (2.), die in einem alten Erzstücke mit

1 g Uran im Gleichgewichte steht. Sie beträgt 3.33×10^{-7} Curie, wobei 1 Curie = 2.75×10^{-6} elektrostatische Einheit. Die Aktivität von 1 gr Uranylнитrat wird also $0.47 \times 10^{-7} \times 3.33 = 1.56 \times 10^{-7}$ Curie betragen. Das Uranylнитrat ist in chemisch reinem Zustande fast völlig emanationsfrei. Die störende Emanation, die die quantitative Erfassung des vorliegenden Problems erschweren kann, konnte daher fast völlig ausgeschaltet werden.

Als Versuchsobjekt kam vorläufig die Erbse zur Verwendung, die recht große Reizempfindlichkeit zeigt und infolge seiner bedeutenden Wachstumsgeschwindigkeit die rasche Durchführung der Versuche ermöglichte.

Im Anschluß an diese Forschungen begannen wir auch die tropische Wirkung der Erdstrahlen zu untersuchen. Daß die Erde selbst, bzw. die Gesteine und die aus ihnen entstandenen verschiedenen Bodenarten verschiedene Strahlen aussenden, ist bekannt. Neben den sekundären, durch das Eindringen der Sonnenstrahlen ausgelösten langwelligen (4) Strahlen sendet die Erdrinde auch kurzwellige Strahlen aus, die ihre Entstehung ihren radioaktiven Grundelementen: dem Radium, dem Thorium und dem Uran verdanken. Aber auch das Kalium ist befähigt, vornehmlich biologisch recht wirksame Beta-Strahlen zu erzeugen, wie dies auch die Forschungen von *Stoklasa* zeigen. (2.)

Es sind daher auch im Bereiche der autochtonen, primären Erdstrahlung Alfa-, Beta- und Gamma-Strahlen tätig. Als unsere Forschungen über das autotrophe Wachstum der Algen und der Moose im Dunkeln (3.) allmählich zu positiven Ergebnissen führten, so mußten wir folgerichtig auch dem Problem der biologischen Wirkung der kurzwelligen Erdstrahlung nahe-treten, und dies umsomehr, da die letzten Untersuchungen, die in unserem Institute durchgeführt wurden, zeigten, daß die langwelligen ultraroten Strahlen hier beinahe völlig wirkungslos sind. (4.) Es gelang nun, nach vielen Voruntersuchungen, zu positiven Ergebnissen zu gelangen.

Untersuchungsmethodik.

Um eine möglichst gleichmäßige Flächenwirkung des Uranylнитrats herbeiführen zu können, wurde es zunächst im destillierten Wasser gelöst und sodann in Petrischalen, deren Durch-

messer 12 cm betrug, eingetrocknet. Wir schlossen dann den abgesetzten Trockenbelag mit einer passenden Glasscheibe ab, deren Rand gut mit Paraffin verschlossen wurde.

Da die eingeschlossene Materie ihre Strahlen nach allen Richtungen des Raumes versendet und bei der ganz geringen Dicke des Belages seine Dicke vernachlässigt werden konnte, so ergab die genaue Berechnung, die die beiden strahlenden Flächen der Schalen zusammenfaßte, 226'08 cm².

Da 1 gr Uranylнитrat insgesamt $1'56 \times 10^{-7}$ Curie entwickelt, so beträgt seine Strahlungsaktivität auf die Flächeneinheit berechnet,

$$A = \frac{1'56 \times 10^{-7}}{226'08} = 0'0069 \times 10^{-7} = \frac{6'9 \times 10^{-10} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$$

Da später auch die Aktivität der Böden untersucht wurde, so möchte ich hier, über die einschlägige Untersuchungsmethodik folgendes bemerken. Sie wurde mit dem Einfadenelektrometer von *Wulff* nach einer von *Przibram* (5.) beschriebenen Methode bestimmt. Dieses Verfahren ist ja im Wesen nichts anderes, als eine Modifikation der bekannten Methode von *Elster* und *Geitel*, die unter anderen auch im Institut für Radiumforschung in Wien verwendet wurde. (6.)

Es kommen hier vor allem die Alfa-Strahlen zur Wirkung, die von dem Boden selbst und von seiner Emanation entwickelt werden. Die Beta- und Gamma-Strahlen, die dabei ebenfalls mitwirken, betragen 10^{-3} , bzw. 10^{-5} Teil der Ionisationswirkung der Alfa-Strahlen.

Dieses Verfahren, das die gesamte kurzwellige Strahlung des Bodens, die ja aus dem biologischen Standpunkte das wichtigste ist, erfaßt, läßt natürlich keine exakten Schlüsse bezüglich dem Gehalte an den einzelnen radioaktiven Elementen zu. Es wird neben der Radiumwirkung auch der Einfluß des Urans, des Thoriums, des Kaliums und der Emanationswirkung erfaßt. Es geben daher die so erhaltenen Werte die totale Wirkung der Strahlungsaktivität des Bodens an. Da in der Natur selbst natürlich alle diese Faktoren mitwirken, so kann man die durch dieses Verfahren erhaltenen Werte aus dem biologischen Standpunkte sehr gut benützen. Es gibt aber auch gute qualitative

Vergleichswerte. Bezüglich der Einzelheiten der Methode möchten wir auf die angegebene Fachliteratur verweisen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenproben bezogen wir auf die Aktivität des schwarzen Uranoxyds (U_3O_8), die auf 1 gr berechnet rund

$$2.8 \times 10^{-7} \text{ Curie entwickelt.}$$

Die mit dem Uranylнитrat beschickte Petrischalen kamen in vertikaler Lage zur Verwendung. Die Erbsen selbst wurden in langen Trögen aus Blech, die später aus Holz angefertigt waren, erzogen. Bei der Untersuchung der kurzwelligen Bodenstrahlung wurden lufttrockene Proben im Gewichte von 5—8 kg in Glasgefäßen verwendet. Diese wurden, um das Entweichen der Emanation zu verhindern, mit Glasplatten zugedeckt. Bei allen Versuchen wurden daher infolge des zweckmäßig angewandten Verfahrens die Alfa-Strahlen und die Emanationswirkung vollkommen ausgeschaltet. Es kamen hier nur die durch die Glaswand durchdringenden Beta- und Gamma-Strahlen zur Geltung.

Die Versuche wurden nach der Zudeckung nicht mehr geöffnet. Nur dadurch kann man einwandfreie Resultate erzielen. Jedes vorzeitige Öffnen beeinflusst merklich das physiologische Verhalten der Versuchspflanzen. Das Untersuchungsmaterial wurde nach der Öffnung auch analytisch bearbeitet, wobei die positiven, negativen und neutralen Pflanzen nach sorgfältiger Prüfung zahlenmäßig abgezählt wurden.

Die Besprechung der Versuchsergebnisse.

Wie ich schon angegeben habe, das Ziel unserer Versucharbeit bestand vornehmlich darin, den quantitativen Zusammenhang zwischen der erzielten biologischen Wirkung und der Intensität der Strahlung zu ermitteln. Es mußten dabei natürlich auch der wirksame biologische Bereich der Strahlung, sowie ihre oberen und unteren Schwellenwerte ermittelt werden. Da die früheren Versuche bereits darauf hindeuteten, daß die wirksamste Menge des Uranylнитrats ungefähr bei 5 gr liegen mußte, so wurde diese Menge als Ausgangsmaterial gewählt und die übrigen Mengen in proportionierten Verhältnissen verwendet.

Bei der Erfassung der obigen Fragen wurden die gefunde-

nen prozentuellen Verhältnisse der positiven, negativen und ungereizten Pflanzen als Grundlage verwendet. Ich mußte schon in dem ersten Teile dieser Arbeit darauf hinweisen, daß nicht *alle* Pflanzen einer und derselben Versuchsreihe die gleiche Disposition und die gleiche Empfindlichkeit für die Wirkung der Beta- und Gamma-Strahlen besitzen. Es werden somit nicht alle Pflanzen ausnahmslos und gleichsinnig erfaßt. Desto wirksamer ist aber die Strahlenwirkung, desto größer wird der prozentuelle Anteil der einwandfrei beeinflussten Pflanzen sein.

Ich nehme die untere Grenze der Strahlenwirkung dort an, wo dieser prozentuelle Anteil auf 50% herabsinkt, wo also die reagierenden und nicht reagierenden, bzw. sich entgegengesetzt verhaltenden Objekte sich zahlenmäßig, gleichmäßig verteilen und infolge der gleichen Streuung das Ende des biologischen Einflusses der Strahlen bedeuten. Es wurden bisher insgesamt mehr als 200 Versuchsreihen durchgeführt. Ich führe hier hievon nur das wesentliche an. (Siehe die Abb. 1—6 und Tab. 1.) Die nähere Erforschung der Einwirkung der höheren Dosen führte dann zu jenen Ergebnissen, die die zahlen- und mengenmäßige Erfassung des gesamten Fragenkomplexes ermöglichte.

Der Weg, der hiezu führte, war der folgende:

Ich begann nach dem Austasten der unteren Wirkungsgrenze den Einfluß der höheren Dosen zu untersuchen. Schon die Anwendung von 10 gr Uranyl nitrat ergab das völlig überraschende Resultat, daß diese Menge, die auf die Fläche berechnet, bei der angewandten Versuchsmethodik der Energieentfaltung $\frac{69 \times 10^{-10}}{\text{cm}^2}$ Curie, bzw. $\frac{6.9 \times 10^{-9}}{\text{cm}^2}$ Curie entsprach, bis zu einer gewissen Entfernung negative und dann bei einem ziemlich scharf begrenzten Umschlaggebiet deutlich positive Wirkung herbeiführte. Da die Wiederholung dieses wichtigen Versuches auch das gleiche Bild ergab, so stellte ich folgende einfache Berechnung an.

Das Gebiet, das zwischen den äußersten Grenzen des positiven und des negativen Wirkungsbereiches lag, wurde genau zwischen 50—60 cm, also im Mittel bei 55 cm, ermittelt. Um die Berechnung zu vereinfachen, nahm ich auf Grund der diesbezüglichen Versuche die äußerste Grenze der negativen Wirkung bei 60 cm an. Auf diesen Wert bezog ich die letzte noch

wahrnehmbare Wirkung des abstoßenden Einflusses der Strahlen. Dieses äußerste strahlungsbiologische Effekt bezeichnete ich sodann mit E. Auf Grund jener Versuche, die ich mit in Bleikammern von 3—4 mm Wanddicke eingeschlossenen Material durchführte, glaubte ich berechtigt zu sein, hier in der ersten Reihe die Wirkung der Gamma-Strahlen anzunehmen, deren Intensität nach dem allgemein bekannten Entfernungsgesetz mit den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional ist. Wenn die Menge der strahlungsaktiven Substanz z. B. auf das doppelte gehoben wird, so müßte um die gleiche strahlungsbiologische Leistung erzeugen zu können, die Entfernung geändert werden, oder mit anderen Worten, das gleiche Effekt mußte sich bei einer anderen Entfernung einstellen.

Wenn also $E = \frac{I}{t^2}$ und auch $\frac{2I}{t_1^2} = E$, so ist klar, daß

$$\frac{I}{t^2} = \frac{2I}{t_1^2} \text{ und sodann}$$

$$t_1 = t\sqrt{2}$$

oder im allgemeinen

$$t_1 = t\sqrt{\frac{I_1}{I}}$$

und falls $I_1 = nI$, so wird endlich

$$t_1 = t\sqrt{n}.$$

Wie die mitgeteilten Abbildungen und Analysenresultate zeigen, so konnte dann dieser quantitative Zusammenhang klar und einwandfrei experimentell bewiesen werden.

Es wurde somit der quantitative Zusammenhang zwischen dem erzielten strahlungsbiologischen Effekt und der Intensität der Strahlung gemäß der allgemeinen Gleichung: $t_1 = t\sqrt{\frac{I_1}{I}}$ ermittelt.

Es ergibt sich nun die Frage, bezüglich der näheren Natur, der hier zur Geltung kommenden Strahlen.

Da unsere Glasbehälter die Alfa-Strahlen praktisch, fast vollkommen abriegelten, so kamen natürlich nur die Beta- und Gamma-Strahlen zur Wirkung. Schon im Laufe meiner früheren

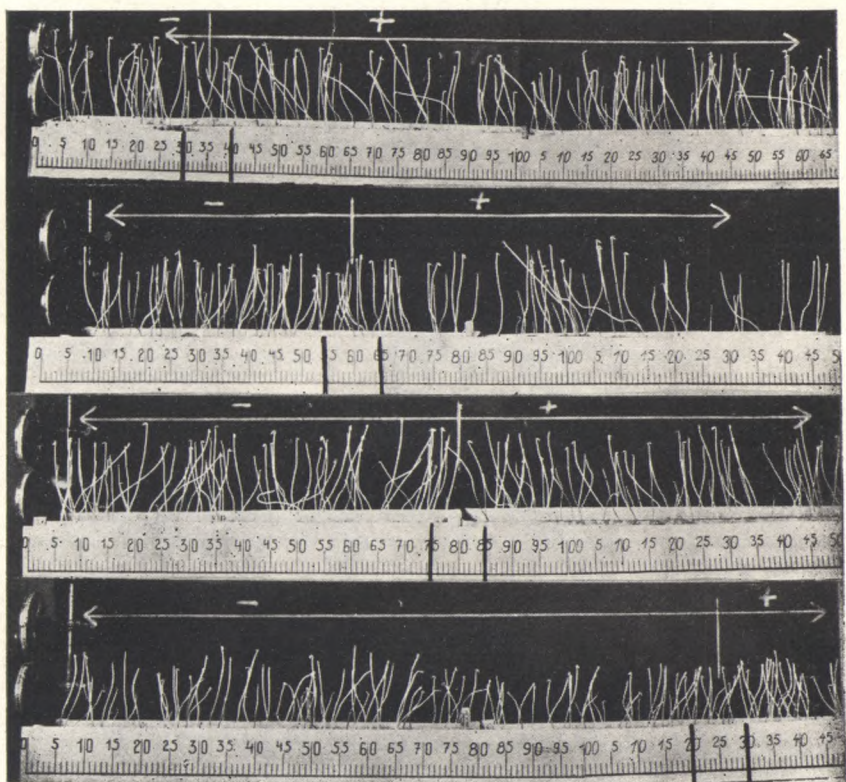


Abbildung 1.

Die Erfassung und Verschiebung des Umschlagbereiches mit der Zunahme der Strahlungsintensität. Von oben nach unten

Versuch 33. 0'19 G. E.

" 17. 0'38 "

" 22. 0'76 "

" 30. 1'52 "

$$1 \text{ G. E.} = \frac{1'80 \times 10^{-8} \text{ Curie.}}{\text{cm}^2}$$

Strahlungsaktiver Stoff: Uranylinitrat.

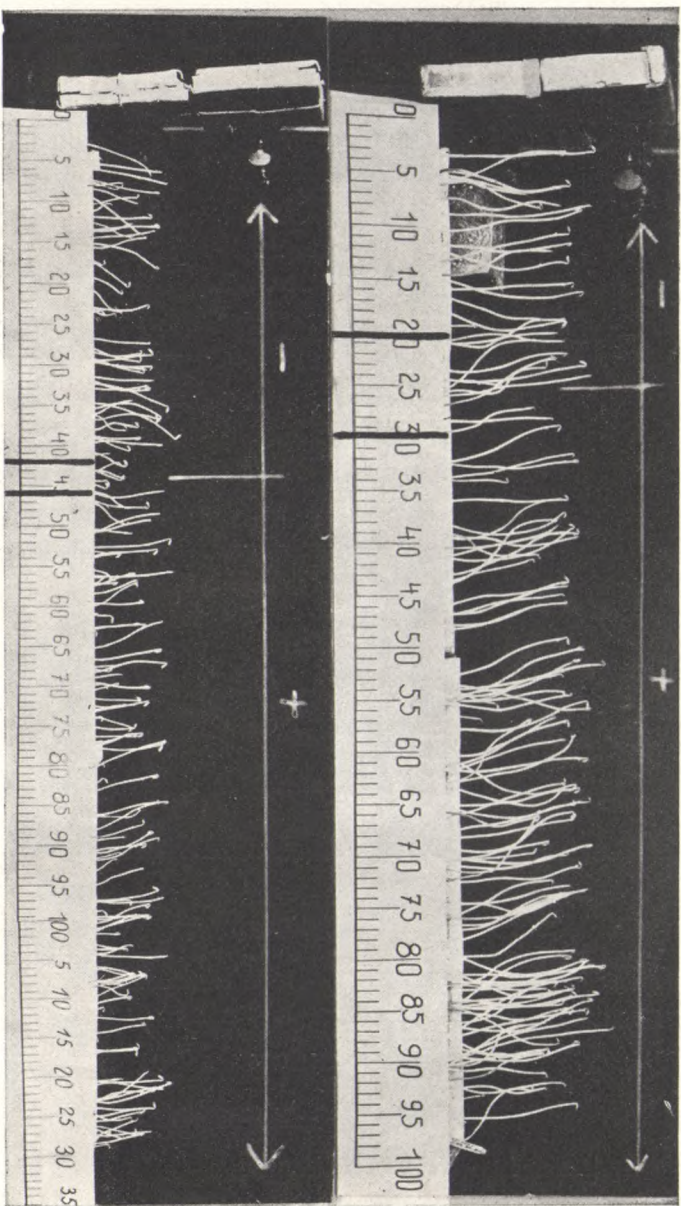


Abbildung 2.

Die Absorptionswirkung des Bleies. Oben mit 0.38 G.E., unten 0.76 G.E.
Versuche 31. und 34. je 10 Tage mit Uranylinitrat.

Forschungen konnte ich aber zeigen, daß die jetzt dargestellte strahlungsbiologische Wirkung auch dann zustande kommt, wenn die Beta-Strahlen durch Anwendung von Bleikammern von 3—4 mm Wanddicke abgeriegelt werden. Es kann hier nur eine geringe sekundäre Beta-Strahlung zur Wirkung kommen, die in ihrer Wirkung von den Gamma-Strahlen, die die angewendete Wanddicke 3—4 mm durchsetzen können, sicherlich bei weitem übertroffen werden.

Die mitgeteilten systematischen Versuche bringen daher den Beweis dafür, daß die beschriebenen tropischen Krümmungen auch von den Gamma-Strahlen allein hervorgerufen werden können. Ein Befund, der durch den soeben dargestellten und besprochenen quantitativen Zusammenhang zwischen strahlungsbiologischem Effekt und Energieentfaltung ebenfalls betätigt wird.

Auf Grund der jetzt mitgeteilten Versuchsreihen begann ich dann die Untersuchungen über die Wirkung der Erdstrahlen.

Die Strahlungsaktivität der zu den Versuchen verwendeten Böden wurde nach der bereits angegebenen Methode ermittelt. Die Böden selbst wurden in zylinderischen dünnwandigen Glasgefäßen verwendet, deren einheitliche Ausmaße 25·5 cm Höhe und 15·5 cm Durchmesser betrugen. Sie faßten vom Boden Nr. 1. 5, von Nr. 2. 6·5, von Nr. 3. 5·4 und von Nr. 4. 7·3 kg. Ihre gesamte Strahlungsaktivität betrug auf die Flächeneinheit (cm²) berechnet

bei 1.	$0\cdot7 \times 10^{-10}$	Curie Lehm Boden (Sopron).
„ 2.	$0\cdot5 \times 10^{-10}$	„ Sandboden „
„ 3.	$1\cdot1 \times 10^{-10}$	„ Wiesenton (Varsányhely).
„ 4.	$0\cdot9 \times 10^{-10}$	„ Basaltboden.

Die Reichweite der biologischen Wirkung, die mit der Intensität der ausgesandten Strahlung mengenmäßig gut zusammenhängt, kann den beigezeichneten Tabellen entnommen werden. Diese Werte sollen jedoch nur als allgemeine Orientierung betrachtet werden. Um auch hier im exakten Sinne weiterkommen zu können, sind noch weitere umfangreiche Versuchsserien mit anschließenden physiko-chemischen Messungen notwendig. Wir sind bestrebt, auch in dieser Richtung nach unseren bescheidenen Kräften weiter zu arbeiten.

Ich möchte noch darauf hinweisen, daß die Versuche, die mit Böden in Bleikammern durchgeführt wurden, ebenfalls zu

der Feststellung führten, daß auch hier, die von dem Boden ausgesandten Gamma-Strahlen, beim Hervorrufen der tropischen Wirkung, den wesentlichen Anteil haben dürften.

Die bisher ermittelten klaren mengenmäßigen Zusammenhänge ermöglichen auch jetzt, für die biologische Wirkung der besprochenen kurzwelligen Strahlen, eine einheitliche Maßeinheit aufzustellen.

Die Energieentfaltung der Radioaktivität wird mittelbar oft durch die Curie-Einheiten charakterisiert. Durch diesen Ausdruck wird aber die Entfernung zwischen der Strahlungsquelle und dem bestrahlten Objekt nicht berücksichtigt. Für die Lichtmessung benützen wir als Einheit die Hefnerkerze H. K., deren Wert in absoluten Einheiten $940 \frac{\text{erg} \cdot \text{sec.}}{\text{cm}^2}$ beträgt.

Das Auffinden und die leichte Bestimmung des Umschlagbereiches zwischen der negativen und positiven Strahlenwirkung gibt uns jetzt das Mittel in die Hand, die Messung und Erfassung der Wirkung der unsichtbaren kurzwelligen Strahlen auch im Sinne des Entfernungsgesetzes durchzuführen.

Auf Grund der jetzt mitgeteilten Versuchsergebnisse wissen wir es, daß die Energie von $\frac{6.9 \times 10^{-9}}{\text{cm}^2}$ Curie bei der Erbse bei ungefähr 60 cm Entfernung den Umschlagpunkt hervorruft. Die graphische Berechnung zeigt diesen Befund besonders deutlich. (Abb. 6.) Da es auch erwiesen wurde, daß zwischen biologischem Effekt und Strahlungsintensität die Proportionalität sich zu den Quadraten der Entfernung umgekehrt verhält, bzw.

$$\frac{I}{t^2} = \frac{I_1}{t_1^2} \text{ so ist es klar, daß}$$

$$I_1 = \frac{t_1^2}{t^2} \times I = \left[\frac{t_1}{t} \right]^2 \times I.$$

Wenn wir jetzt als Einheit der biologischen Gesamtwirkung der unsichtbaren Beta- und Gamma-Strahlen, jene Energiequelle (I_1) wählen, die bei der Erbse als Testobjekt auf rund 1 m Entfernung den Umschlagpunkt erzeugt, so ist es klar, daß in diesem Falle

$$I_1 = \left[\frac{100}{60} \right]^2 \times I = 2.6 \frac{6.9 \times 10^{-9}}{\text{cm}^2} = \frac{1.80 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$$

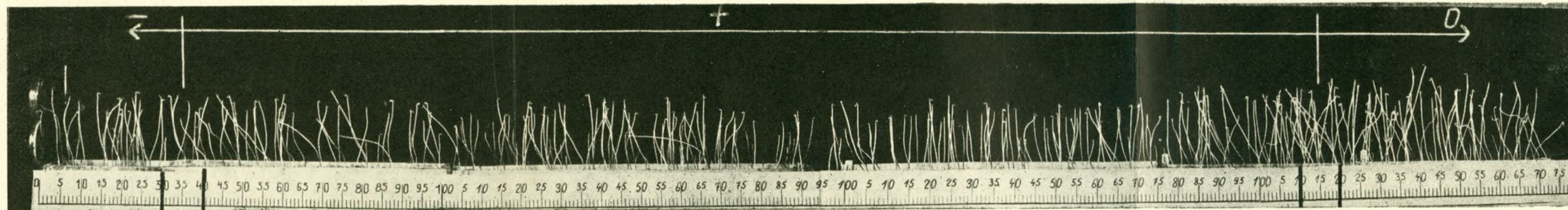


Abbildung 3.
Die Reichweite der Strahlenwirkung bei 0'19 G. E. Uranylnitrat, Versuch 33.

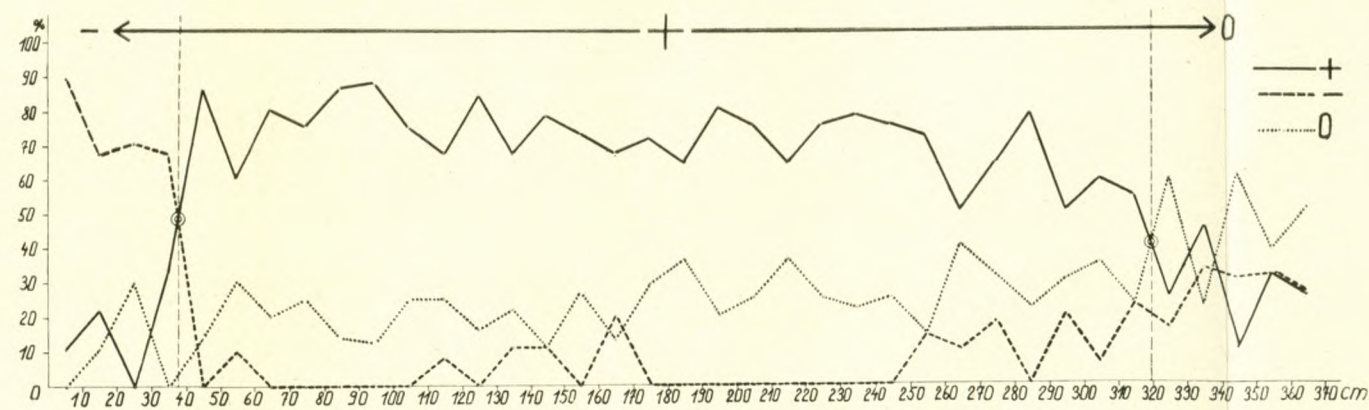


Abbildung 6.
Beispiel für die graphische Darstellung der verschiedenen Wirkungsbereiche Versuch 33. 0'19 G. E.

annähernd betragen wird. Ich bezeichne diesen vorläufigen Wert, auf die Erbse als Testobjekt bezogen, als Gamma-Effekt.

Wir können jetzt unsere Werte ausnahmslos durch eine einfache Überlegung umrechnen. Ich gebe in den Folgenden als Orientierung die Strahlungsintensität unserer Versuchsböden in dieser Einheit an.

Boden 1.

$$\frac{0.7 \times 10^{-10}}{\text{cm}^2} \text{ Curie} = 0.007 \times 10^{-8} \text{ Curie} = \frac{0.007}{1.8} \times 10^{-8} =$$

$$\frac{0.0039 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2} = 0.0039 \text{ G. E.}$$

Boden 2. 0.0028 G. E.

„ 3. 0.00610 G. E.

„ 4. 0.00500 G. E.

Die gleiche Berechnung ergibt für:

0.039 gr	Uranyl nitrat	0.0015 G. E.
0.078	„	0.003 „
0.156	„	0.006 „
0.312	„	0.012 „
0.625	„	0.024 „
1.250	„	0.048 „
2.50	„	0.095 „
5—	„	0.190 „
10—	„	0.38
		$\frac{0.69 \times 10^{-8}}{1.8} \text{ cm}^2 \text{ Curie}$
20—	„	0.76
40—	„	1.52

Um die gesamte Reichweite der Strahlung feststellen zu können, führte ich eine Reihe von Versuchen durch, die im wesentlichen zu dem Ergebnis führten, daß bei 0.19 G. E. die Grenze der negativen Wirkung bei rund 40 cm und die Grenze des positiven Einflusses bei rund 320—340 cm liegt. Die folgenden Versuche mit kleineren Gaben bestätigen dann, daß — wie es auch zu erwarten war — diese Entfernungen im Zusammenhange mit der Intensität der Energiequelle, sich nach den bereits dargelegten Grundsätzen ändern.

Bezeichnen wir jetzt die Gesamtlänge der Strahlenwirkung mit A , die Entfernung des positiven Einflusses mit a_1 und des negativen mit a_2 , so daß $A = a_1 + a_2$ sein wird, so ist es klar, daß

$$a_1 : a_2 = K,$$

wobei K einen konstanten Wert geben wird, da die Änderungen von a_1 und a_2 immer proportionell vor sich gehen werden. Unter Anwendung der jetzt festgestellten runden Zahlen wird der Wert von K ungefähr bei $K = \frac{320-40}{40} = 7$ liegen.

Es ergibt sich daher, daß im allgemeinen annähernd

$$K = \frac{a_1}{a_2} = 7 \text{ betragen wird.}$$

Mit dieser Konstante können wir dann für die verschiedenen G. E.-Bereiche die zugehörigen Entfernungen auch dann annähernd berechnen, wenn nur a_2 oder a_1 allein bestimmt werden.

Zur Orientierung teile ich hier folgende Daten mit:

		A		$a_1 (+)$		$a_2 (-)$	
1.52	G. E.	897	—	784'9	—	112	(110)*
1.—	"	800	—	700	—	100	
0'76	"	636'2	—	556'7	—	79'5	(80)*
0'38	"	451'2	—	394'8	—	56'4	(60)*
0.19	"	320	(320)*	280	(280)*	40	(40)*
0'095	"	227	(230)*	198'6	(200)*	28'4	(30)*
0'048	"	161	(180)*	140'8	(160)*	20'1	(20)*
0'024	"	114'1	(110)*	99'8	(95)*	14'3	(15)*
0'012	"	81'—	(90)*	70'7	(80)*	10'1	(10)*
0'006	"	57'4	(60)*	50'2	(55)*	7'2	(5)*
0'003	"	40'7	(50)*	35'6	(50)*	5'1	0
0.0015	"	28'9	(30)*	25'2	(30)*	3'6	0
0'00075	"	20'2	—	17'9	—	2'6	0
0'000375	"	10'3	—	9'0	—	1'3	—
0'000187	"	14'5	—	12'7	—	1'8	—

* experimentell gefundene runde Werte.

Die mitgeteilten theoretisch berechneten Daten wurden auf Grund der Annahme des Wertes von A bei 0'19 G. E. mit 320 cm angegeben, bzw. mit dem Faktor $\sqrt{2} = 1'41$ berechnet. Da

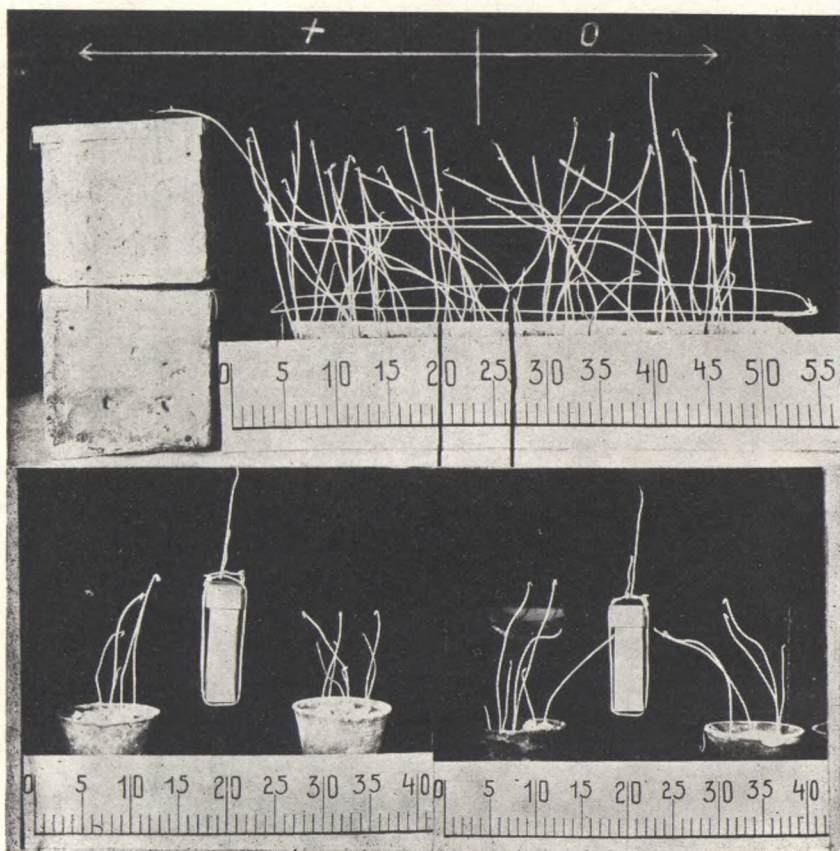


Abbildung 4.

Die Wirkung der reinen Gamma-Strahlen. Bleikammern mit 3—4 mm Wanddicke.

Oben, Versuch 20. mit Boden Nr. 1. 0'0033 G. E.
Unten, Links 0'012 G. E. Rechts 0'006 G. E. mit UranylNitrat.

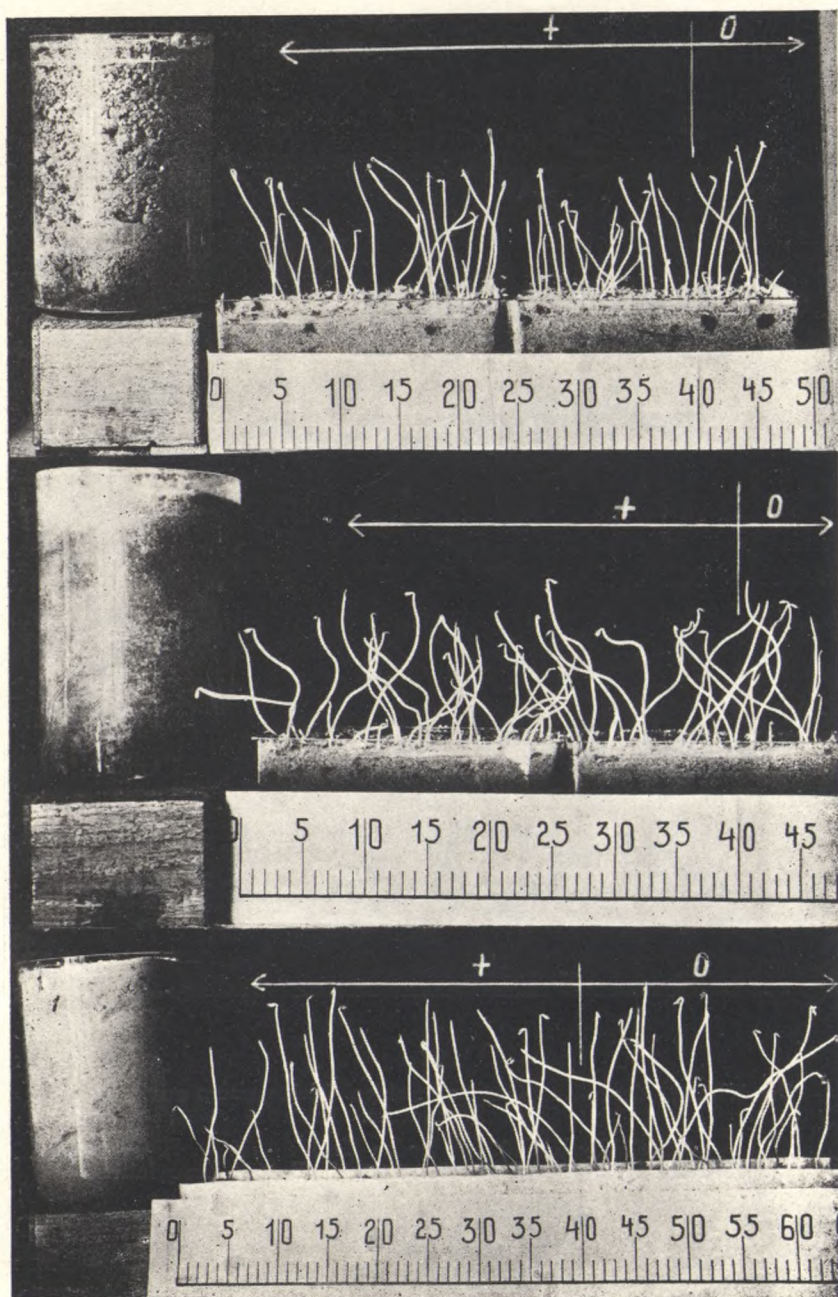


Abbildung 5.

Die tropische Wirkung der Erdstrahlen von oben nach unten:

Versuch 14.	0'0039	G. E.	Lehmboden.
" 24.	0'0050	"	Basaltboden.
" 25.	0'0028	"	Sandboden.

von einer scharfen Grenze nicht gesprochen werden kann, sondern vielmehr Grenzbereiche, wo die Strahlenwirkung allmählich abklingt, vorliegen, so sind diese Werte nur als eine vorläufige Annäherung zu betrachten. Ihre endgültige Festlegung ist Aufgabe der weiteren Forschungsarbeit.

Bezüglich der obersten Grenzen stärkerer Gaben ist es wahrscheinlich, daß bei der Anwendung größerer Mengen, wo auch die Absorption durch die Materie selbst berücksichtigt werden muß, gewisse Korrekturen notwendig sein werden. Diese Zusammenstellung zeigt nun, daß jene Resultate, die durch die Untersuchung der biologischen Wirkung der kurzwelligen Erdstrahlen ermittelt wurden, mit diesen Berechnungen schön übereinstimmen.

Bezüglich der unteren Grenze der Reizempfindlichkeit möge noch folgendes bemerkt werden.

Die bisherigen Feststellungen zeigen, daß die kurzwelligen Gamma- und Beta-Strahlen immer eine positive und eine negative Reizwirkung erzielen. Mit der Erhöhung der Intensität der jeweiligen Energiequelle nimmt die letztere allmählich zu, um bei dem umgekehrten Vorgange eine Verminderung zu erfahren. Bei ganz kleinen Intensitäten wird ihr Wirkungsbereich schließlich derart verkleinert, daß es praktisch überhaupt nicht zur Geltung kommen kann. Das gleiche Schicksal erfährt dann auch die positive Wirkung.

Dieser Fall tritt ungefähr bei 0'00038—0'00019 G. E. ein.

Besonders lehrreich sind die Versuche, die wir mit in Bleikammern eingeschlossenen Materialien durchführten. Sie zeigen, daß die Wanddicke von 3—4 mm bereits eine ungefähr 50%ige Abschwächung der biologischen Wirkung erwirkte. Da die Absorption sich nach dem Gesetze von *Beer—Lambert* vollzieht, so kann auf diesem Wege nach der allgemeinen Formel von

$$k = \frac{\log I - \log I_d}{d}$$

wo k die Absorptionskonstante, d die Schichtdicke und I_d die durchgelassene Strahlung bedeuten, die Abschwächung der biologischen Wirkung berechnen. (Siehe Abb. 2.)

Die Untersuchung von Böden, die ebenfalls in Bleikammern

eingeschlossen waren, führten zu den gleichen Ergebnissen. (Siehe Abb. 4.)

Das Blei ruft übrigens dadurch, daß infolge seines Einflusses die Strahlung filtrierte und wahrscheinlich die störende Wirkung der korpuskulären Beta-Strahlen ausgeschaltet wird, eine viel einheitlichere und ausgeglichene Wirkung hervor. Die Abbildungen geben dafür schöne Beispiele. Auch dieser Umstand spricht deutlich dafür, daß bei den jetzt besprochenen biologischen Reizerscheinungen die Gamma-Strahlen allein zur Geltung kommen dürften.

Die nähere Betrachtung des Untersuchungsmaterials läßt auch darauf schließen, daß der gesamte Wirkungsmechanismus eine wellenartige Fortpflanzung zeigt, deren nähere Natur erst im Laufe der jetzt folgenden Untersuchungen geklärt werden kann.

Bezüglich der physiologischen Erklärung des aufgedeckten Erscheinungskomplexes lassen die bisherigen Befunde keine endgültigen Schlüsse zu.

Bei der Deutung der phototropischen Krümmungsbewegungen der Pflanzen werden die verschiedenen Aktivierungszustände des Auxins als Erklärung herangezogen. Es wird im allgemeinen angenommen, daß bei der Lichtreizung das Auxin an der dem Lichte zugekehrten Seite inaktiviert wird, wodurch an der dem Lichte abgekehrten Seite, wo das Auxin in voller Wirkung bleibt, exzentrisches Dickenwachstum entsteht, das schließlich die positive Krümmungsbewegung auslöst.

Daß auch hier sich ähnliche Vorgänge abspielen dürften, kann mit gutem Recht gefolgert werden. Allein die Wirkung der Gamma- und Beta-Strahlen dürfte im physiologischen Sinne gewisse Eigentümlichkeiten haben, deren Wesen und Natur noch näher erforscht werden müßte. Auch jene Erklärungsversuche, die die kurzweilige Strahlungswirkung *allein* durch die bekannten Ionisationserscheinungen erklären möchten, müßten nach meiner Ansicht einer wesentlichen Revision unterzogen werden. (8., 9.) Die bisherigen Ergebnisse beweisen einwandfrei, daß die Gamma- und Beta-Strahlen in dem Pflanzenkörper zunächst absorbiert werden, und erst dann jene zellphysiologische Vorgänge hervorrufen, die schließlich die Wachstumsrichtung positiv oder negativ beeinflussen. Daß sie auch ernährungsphysiolo-

gisch gewisse Wirkungen ausüben können, kann ebenfalls logisch gefolgert werden.

Die Annahme jedoch, daß die Gammastrahlen die Gewebe der Pflanzen, ohne hier physiologische Wirkungen jeglicher Art hervorzurufen, durchsetzen, dürfte im Lichte dieser Ergebnisse kaum mehr aufrechterhalten zu sein.

Der Umstand schließlich, daß die physiologische Reizwirkung der kurzwelligen Erdstrahlen nachgewiesen wurde, läßt darauf schließen, daß wir hier mit einem Naturvorgang zu tun haben, dessen biologische Bedeutung allgemeiner und bedeutender sein dürfte, als bisher angenommen wurde.

Alle diese Fragen können jedoch erst auf Grund der Ergebnisse der jetzt folgenden Forschungsarbeit beantwortet werden. Bis sie nicht vorliegen, sehe ich es nicht als begründet an, den bisherigen geraden und klaren Weg der reinen Tatsachenforschung zu verlassen und mich in Überlegungen spekulativer Natur, deren exakte Begründung vorderhand noch nicht möglich ist, einzulassen.

Zusammenfassung.

Die vorliegenden Untersuchungen bilden die Fortsetzung jener Forschungen, die wir bezüglich der biologischen Reizwirkung der Beta- und Gammastrahlen der radioaktiven Stoffe schon früher begannen und deren ersten Ergebnisse bereits in dieser Zeitschrift mitgeteilt worden sind.

Die jetzt erzielten wichtigsten Forschungsergebnisse sind die folgenden:

1. Die durch die radioaktiven Stoffe entwickelten Beta- und Gamma-Strahlen rufen positive und negative tropische Krümmungen der höheren Pflanzen hervor. Jeder strahlungsaktive Stoff wirkt gleichzeitig anziehend und abstoßend. Die Bereiche der entgegengesetzten Wirkungen, bzw. ihre gegenseitige räumliche Ausdehnung, werden durch die jeweilige Intensität der Energiequelle, bzw. durch die Entfernung der bestrahlten Objekte im Sinne des Entfernungsgesetzes, also den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportionell beeinflußt.

2. Das gegenseitige Verhältnis der Ausdehnung des posi-

tiven (a_1)- und des negativen (a_2)-Bereiches ist in allen Fällen konstant und beträgt im allgemeinen:

$$a_1 : a_2 = 7 : 1.$$

3. Die äußerste Reichweite der Gesamtwirkung beträgt bei

$$\frac{0.345 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$$

rund 320 cm, wobei 40 cm auf den negativen und 280 cm auf den positiven Anteil entfallen.

4. Um die Messung und den Ausdruck der reizphysiologischen Wirkung der Beta- und Gamma-Strahlen nach gleichmäßigen Grundsätzen durchführen zu können, wird auf die Erbse, als Testobjekt bezogen, jene Intensitätseinheit auf die Flächeneinheit berechnet eingeführt, die den Umschlagbereich zwischen den positiven und negativen Wirkungsbereichen bei der Entfernung von 1 m hervorruft. Wir bezeichnen diese Einheit als Gamma-Effekt. (G. E.) Ihr vorläufiger Wert beträgt annähernd:

$$\text{G. E.} = \frac{1.80 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$$

5. Versuche, die mit strahlungsaktiven, in Bleikammern von 3—4 cm Wanddicke eingeschlossenen, Stoffen durchgeführt wurden, deuten darauf hin, daß die jetzt besprochene biologische Wirkung auch die Gamma-Strahlen allein hervorrufen können. Durch diese Wanddicke der Kammern wird übrigens die Stärke der reizphysiologisch wirksamen Strahlungsenergie mit ungefähr 50% vermindert.

6. Die mit physikalischen Messungen verbundene Untersuchung der biologischen Wirkung der kurzwelligen Erdstrahlen bewies einwandfrei, daß der Boden, je nach seinem physikochemischen Aufbau biologisch wirksame Beta- und Gamma-Strahlen ausstrahlt, die die gleiche reizphysiologische Wirkung, wie die übrigen strahlungsaktiven Stoffe, hervorrufen können.

7. Es läßt sich somit vermuten, daß hier ein weitverbreiteter Naturvorgang vorliegt, dessen nähere physikochemische und physiologische Erforschung ein bisher unbekanntes Gebiet der Biologie zu erschließen verspricht.

Bezüglich der näheren Details wird auf die Ausführungen der Arbeit mit der Bemerkung verwiesen, daß die weitere Untersuchungsarbeit bereits im Gange ist. Über die Resultate derselben werden wir im gegebenen Zeitpunkt weitere Mitteilungen machen.

Schrifttum.

1. *D. Fehér*: Untersuchungen über die durch die unsichtbaren Beta- und Gamma-Strahlen der radioaktiven Stoffe ausgelösten Reizbewegungen der Pflanzen. Mitteilungen aus dem botanischen Institut der k. ung. Universität für technische und wirtschaftliche Wissenschaften, Sopron (Ungarn). 1940.
 2. *Stoklasa und Penkava*: Biologie des Radiums und der radioaktiven Elemente. P. Parey, Berlin, 1932.
 3. *D. Fehér*: Untersuchungen über das autotrophe Wachstum der Pflanzen im Dunkeln. Wie 1., 1939.
 4. *D. Fehér* und *M. Frank*: Untersuchungen über die Lichtökologie der Bodenalgae. I. und II. (Archiv für Mikrobiologie 7., 1—31, 1936 und 10., 247—265, 1939.) — *Fehér D.* und *M. Frank*: Ergänzende Bemerkungen zu unseren Arbeiten über die Lichtökologie der Bodenalgae. (Archiv f. Mikrobiologie, 11., 80—84, 1940.) Siehe noch *F. Frischmann*: Experimentelle Untersuchungen über das Eindringen der strahlenden Energie in den Boden. Bdkde und Pflzernährung, 14, H. 5/6, 1939.
 5. *K. Przibram*: Radioaktivität. W. Gruyter, Berlin, 1932.
 6. *V. F. Hess*: Handbuch der Bodenlehre. J. Springer, Berlin, 1930, Bd. VI., S. 375. I. Ergänzungsband S. 272. 1939.
- Vergleiche noch:
7. *Pohl*: Elektrizitätslehre. J. Springer, Berlin, 1940.
 8. *Bünning E.*: Die Physiologie des Wachstums und der Bewegungen. J. Springer, Berlin, 1939.
 9. *I. Overbeck*: Phototropismus. Bot. Review, 5, 1939.
 10. *Pringsheim E.*: Die Reizbewegungen der Pflanzen. J. Springer, Berlin, 1912.
 11. *Kostytschew S.* und *F. Went*: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. J. Springer, Berlin, 1931.
 12. *Wettstein, F.*: Fortschritte der Botanik, Bd. I—VIII. J. Springer, Berlin, 1932—1939.
 13. *W. Hanle*: Künstliche Radioaktivität. G. Fischer, Jena, 1939.

Anhang.*Beispiel einer Berechnung der Intensität der Erdstrahlen bei Boden [(2.) Lehm Boden].*

Durchschnittlicher Ladungsverlust vom Elektrometer pro Minute und gr

0'0038 Teilstrich,

1 gr schwarzes Uranoxyd per gr und Minute 5 Teilstriche. Die Aktivität von 1 gr Uran beträgt $3'33 \times 10^{-7}$ Curie und von 1 gr $U_3O_8 = 2'8 \times 10^{-7}$ Curie.

Der Unterschied des Ladungsverlustes ergibt für 1 gr Boden

$$7'6 \times 10^{-5} \times 2'8 \times 10^{-7} = 21'3 \times 10^{-12} \text{ Curie.}$$

Die Gesamtfläche des zylinderischen Glasgefäßes von 25'5 cm Höhe und 15'5 cm Durchmesser betrug rund 1617 cm².

Zur Anwendung gelangten rund 5000 gr Boden mit einer Gesamtaktivität von: $10'7 \times 10^{-8}$ Curie; auf die Fläche umgerechnet:

$$\frac{10'7 \times 10^{-8}}{1617} = \frac{0'0066 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$$

oder aufgerundet

$$\frac{0'7 \times 10^{-10} \text{ Curie}}{\text{cm}^2} .$$

TABELLE.





