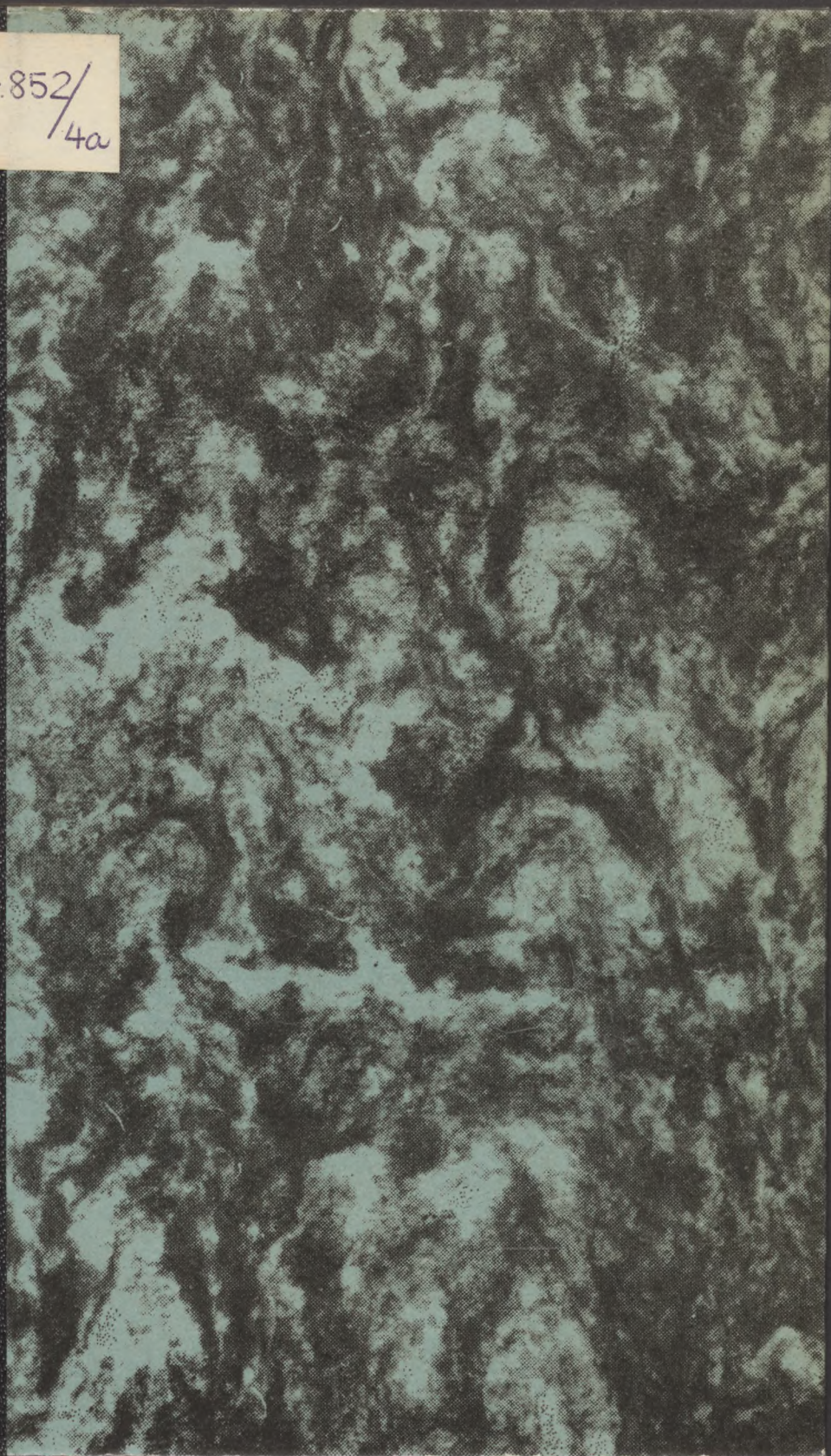
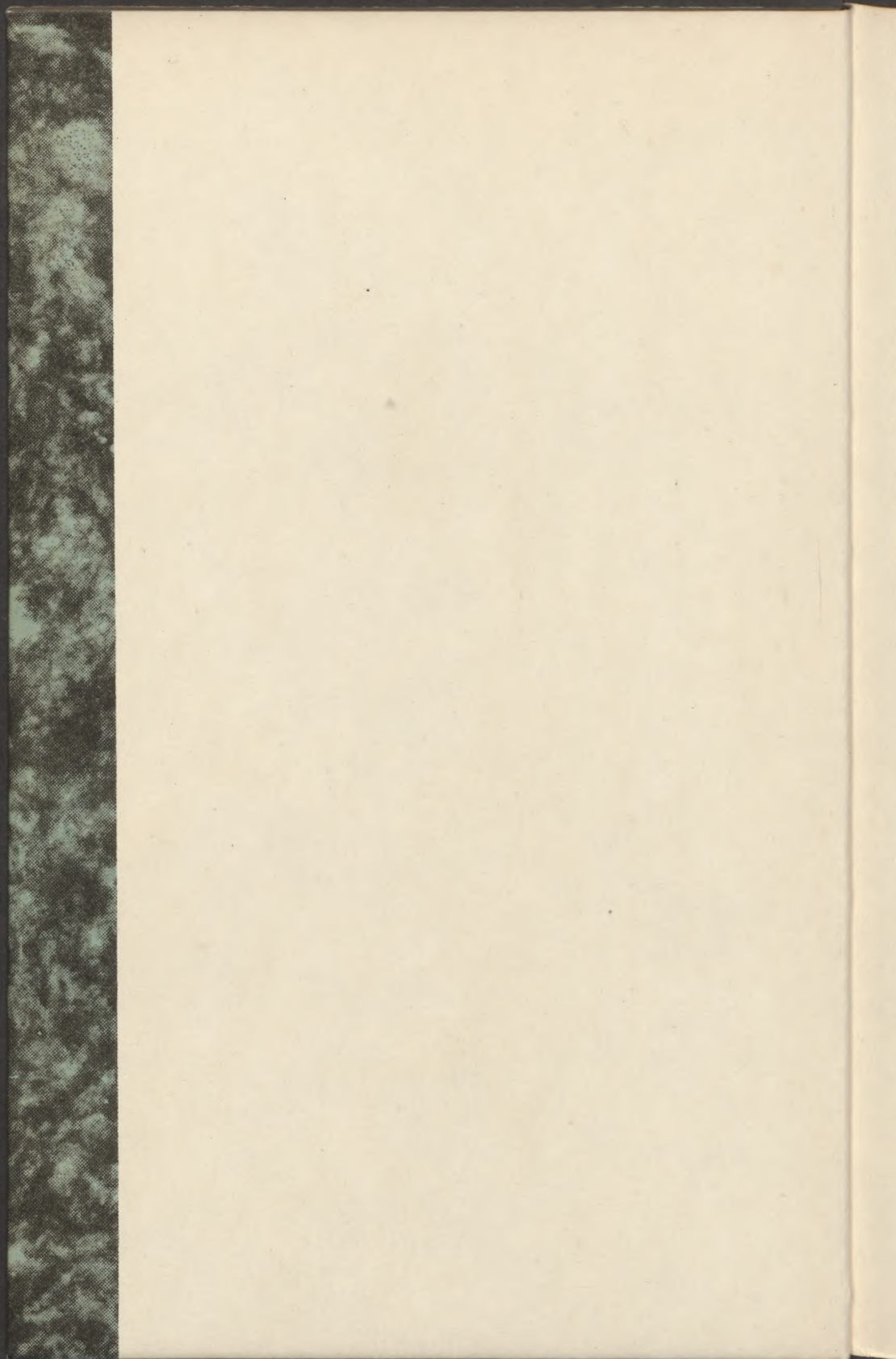
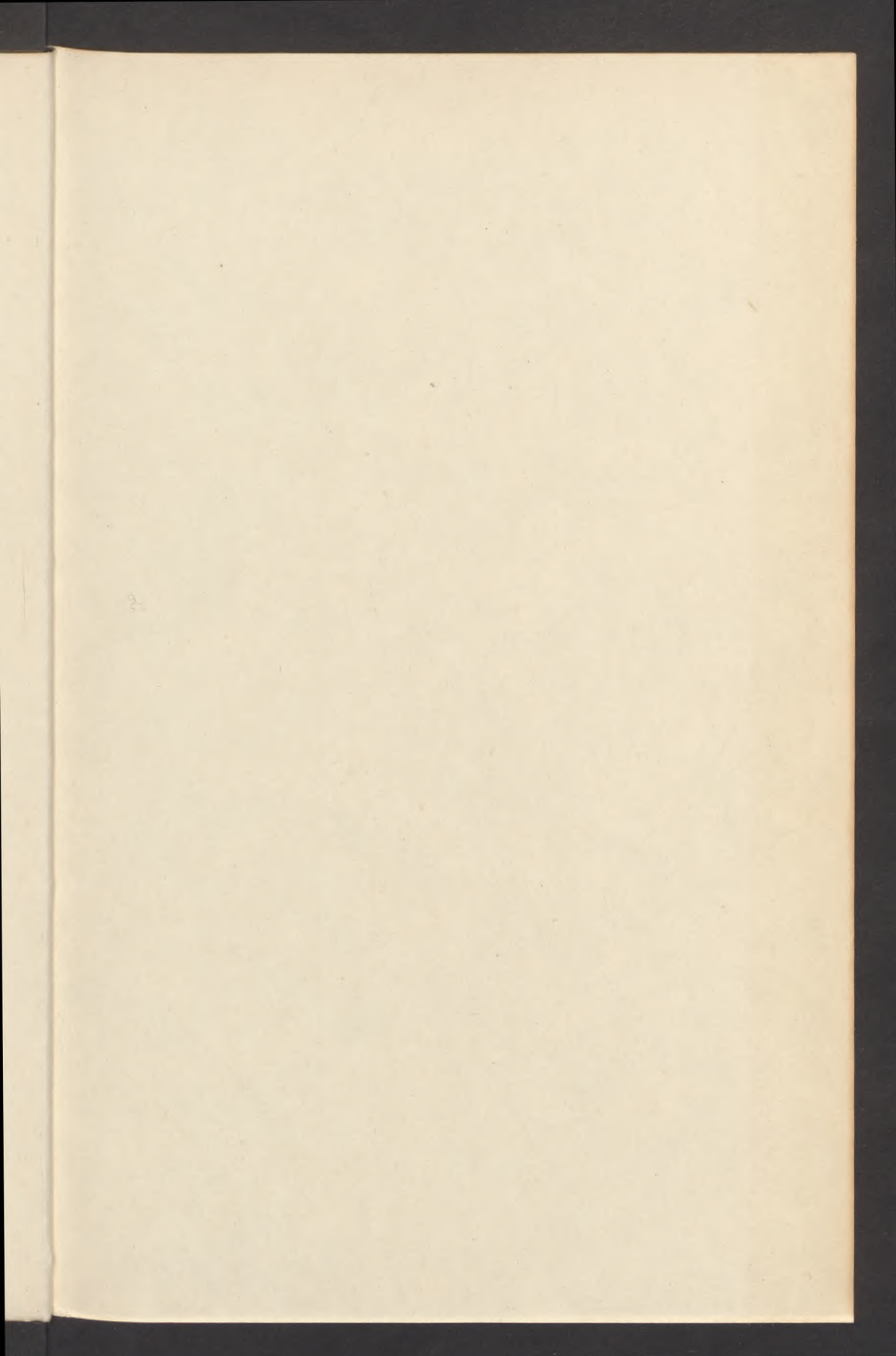


14.852/
4a







Mit
für
Pub

ÜB

ke

RÖTT

10886

14.852

48

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.

III. Mitteilung.

**Der biologische Nachweis der durchdringenden
kurzwelligen Strahlung einiger metallischen Elemente.**

VON

D. FEHÉR.

SÓPRON (UNGARN) 1941.

RÖTTIG-ROMWALTER DRUCKEREI AKTIENGESELLSCHAFT, SOPRON



14.852/4a

16.386

ORSZ. SZÉCHENYI-KÖNYVTÁR
Növedéknapló
1941. év 11621 sz.



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

III. Mitteilung.

Der biologische Nachweis der durchdringenden kurzwelligen Strahlung einiger metallischen Elemente.

Von: **D. Fehér.**

Aus dem Botanischen Institut der kgl. ung. Universität für Technische und Wirtschaftliche Wissenschaften, Sopron (Ungarn).

Einleitung.

In der vorangegangenen II. Mitteilung habe ich über unsere Untersuchungen berichtet, die die biologische Reizwirkung der kurzwelligen Gamma-Strahlen des Urans, bzw. seiner Salze und der ebenfalls kurzwelligen Gamma-Strahlen des Bodens nachgewiesen haben (1). Schon während dieser Arbeiten, die wir anfänglich mit, in metallischen Behältern untergebrachten Substanzen durchführten, fiel uns die, gelegentlich der Kontrollversuche ganz deutlich in Erscheinung tretende, Strahlenwirkung der verschiedenen Metalle auf.

Wir haben demzufolge in der späteren Folge nur Behälter verwendet, die aus möglichst dünnwandigen Gläsern hergestellt waren. Das Glas besitzt nämlich, wie unsere Beobachtungen zeigten, nur einen verhältnismässig niedrigen Grad von Strahlungsaktivität, die durch Verminderung der Wanddicke auf ein derart geringes Mass herabgesetzt werden konnte, dass sie im Verhältnis zu den bedeutend grösseren Strahlungsintensitäten der untersuchten Substanzen vernachlässigt werden konnte.

Dass ausser den Radium-, Uran-, Aktinium- und Thoriumreihen noch auch die beiden Elemente Kalium und Rubidium ebenfalls einen gewissen Grad von kurzwelliger Strahlungsintensität besitzen, ist seit

16.3.26

einiger Zeit bekannt (2, 3). Auch auf die Möglichkeit der strahlungsbiologischen Aktivität einiger anderen Metalle wurde bereits (4), ohne nähere physikalisch begründete Angabe der inneren Natur, und ohne den mengenmässigen Ausdruck der Strahlungsintensität, hingewiesen.

Unsere diesbezüglichen Forschungen haben den Zweck gehabt, die durch die metallischen Elemente emittierte Strahlung mit unserer biologischen Methode qualitativ und quantitativ nachzuweisen und ihre Eigenschaften und Intensität nach der Massgabe der Möglichkeiten, die diese Methode zu bieten vermag, zu bestimmen.

Versuchs- und Messmethodik.

Ich konnte schon früher (1) zeigen, dass wir mit der Zugrundelegung des reizphysiologischen Verhaltens der besonders empfindlichen Erbse, als Testobjekt, nicht nur die physiologische Reizwirkung, sondern auch die mengenmässige Energieeinfaltung der, durch die verschiedenen strahlungsaktiven Stoffe emittierten, harten Gammastrahlung erfassen und messen konnten.

Diese Strahlen vermögen nämlich einen besonders charakteristischen biologischen Effekt hervorzurufen, der darin besteht, dass die bestrahlten Pflanzen je nach der Stärke der Strahlung zunächst negative und sodann bei einer scharf in Erscheinung tretenden, sogenannten Umschlaggrenze, positive Krümmungen zeigen.

Die Entfernung dieses Umschlagbereiches oder besser gesagt der äussersten Grenze der negativen Wirkung ist veränderlich, und hängt mit der Intensität der Strahlungsquelle im Sinne des Entfernungsgesetzes, bzw. der allgemeinen Gleichungen:

$$t_1 = t \sqrt{\frac{I_1}{I}} \quad \text{oder} \quad I_1 = \left(\frac{t_1}{t} \right)^2 I \quad \text{zusammen.}$$

Jene, auf die Flächeneinheit des Strahlungskörpers bezogene Intensität der strahlenden Energie, die diesen Umschlagsbereich, bzw. die die äusserste Grenze der negativen Reizwirkung bei 1 m Entfernung hervorruft, bezeichne ich als Gamma-Effekt (GE) und benütze sie zur quantitativen Messung der Strahlung.

Der erste auf Grund der bisherigen Versuche und Erfahrungen berechnete Wert des Gamma-Effektes betrug

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

Auf Grund weiterer eingehenden Versuche, die ich in der späteren Folge mit je 5 gr Uranyl Nitrat (1), die ich ebenfalls in flachen, doppelwandigen Schalen, deren beide planparallele Flächen genau 226.08 cm² betragen und somit die Wirkung der in beiden Richtungen strahlenden Substanz auf diese Fläche bezogen wurde, durchführte, hat sich die Grenze der negativen Wirkung bei 40 cm eingestellt. Da

diese Intensität der Strahlung $I = \frac{3.45 \times 10^{-9} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$ entsprach, so musste $GE = I_1 = \left(\frac{100}{40}\right)^2 I = 6.25 \frac{0.345 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$ oder

$$GE = \frac{2.16 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2} \text{ sein.}$$

Es entsprach anderseits bei dem Werte von $t_1 = 40$ cm nach der gleichen Formel $I_1 = \left(\frac{40}{100}\right)^2 I = 0.16 \text{ GE}$.

Ich bringe jetzt in der Tabelle 1 eine orientierende Zusammenstellung über die Strahlungsintensität des Uranyl Nitrats. Ich stellte übrigens noch in dieser Richtung eine Reihe von Versuchen an, die obwohl sie noch nicht abgeschlossen sind, das überraschende Resultat zeigten, dass sich der Umschlagbereich bei allen bisher untersuchten Pflanzen annähernd zu den gleichen Entfernungen eingestellt hat. Sie scheinen also alle den harten Gamma-Strahlen gegenüber die gleiche zellphysiologische Reizempfindlichkeit zu besitzen. In der Abbildung 1 u. 4. bringe ich einige charakteristische Beispiele.

Um die Ergebnisse der mit planparallelen Metallplatten verschiedener Dicke durchgeführten Versuche auf eine brauchbare Vergleichsgrundlage zurückzuführen zu können, habe ich zunächst die auf die Flächeneinheit berechneten Werte auf die Gewichtseinheit von 1 gr bezogen. Die so erhaltenen Werte werden natürlich nicht die Energie der Gesamtstrahlung, sondern den Ausdruck jener Strahlungsintensitäten angeben, die an den beiden parallelen, an die Längsreihen der bestrahlten Pflanzen senkrechten Flächen, in entgegengesetzter Richtung ausgestrahlt werden.

Sollten die so erhaltenen Werte nur auf die eine Fläche bezogen werden, so müssen sie natürlich auf die Hälfte reduziert werden.

Tabelle 1.

Die Strahlungsaktivität des Uranylnitrats nach zwei planparallelen Flächen berechnet.

Uranyl- nitrat Gramm 226·08 cm ³	GE	-a ₂ cm		+a ₁ cm		A cm	
		t.	g.	t.	g.	t.	g.
40·—	1·28	113·07	115	791·49	805	904·56	—
30·—	1·00	100	—	700	—	800	—
20·—	0·64	79·97	80	559·79	560	639·76	—
10·—	0·32	56·56	57·5	395·92	402·5	452·48	460
5·—	0·16	40	40	280	280	320	320
2·50	0·080	28·2885	30	198·0195	210	226·308	240
1·250	0·040	20·0060	20	140·042	140	160·048	160
0·625	0·020	14·1485	15	99·0395	105	113·188	120
0·312	0·010	10·006	10	70·042	70	80·048	80
0·156	0·005	7·0763	7·5	49·5341	52·5	56·6104	60
0·078	0·0025	5·0044	—*	35·0308	50	40·0352	50
0·039	0·00125	3·5391	—*	24·7737	30	28·3128	30
0·0195	0·000625	2·5028	—*	17·5196	—	20·0224	20
0·00975	0·0003125	1·7700	—*	12·39	—	14·16	15·16
0·004675	0·00015625	1·2517	—*	8·7619	—	10·0136	—*

$GE = \frac{2 \cdot 16 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$ a₂ = negativer, a₁ = positiver, A = gesamter Bereich, t = berechnete, g = experimentell gefundene Werte, —* konnte verlässlich nicht festgestellt werden.

Da für die praktischen strahlungsbiologischen Versuche viel zweckmässiger ist, die Strahlungsstärke einer auf die Einheit der strahlenden Fläche bezogene Schichtdicke der strahlenden Materie, kennen zu lernen, so wurden die so erhaltenen und auf die Hälfte reduzierten Werte, zunächst auf 1 mm und auf 10 mm Schichtdicke, mit Berücksichtigung der durchschnittlichen spezifischen Gewichte (6) umgerechnet. Anschliessend daran haben wir auch die Gesamtstrahlung einer Kugel mit 1 cm Durchmesser auf Grund der Formel: $I = G \times I_1 \times F$, wo G das Gewicht der Kugel, I₁ = die einseitige Strahlung von 1 gr Materie auf cm² und F die Fläche der Kugel bedeutet, berechnet.

Ergänzend hierzu wurde noch mit der Formel $t_1 = t \sqrt{\frac{1}{1}}$ der auf eine strahlende Fläche eines Würfels von 1 cm Kantenlänge bezogene Bereich des negativen a_2 und dann nach der Gleichung

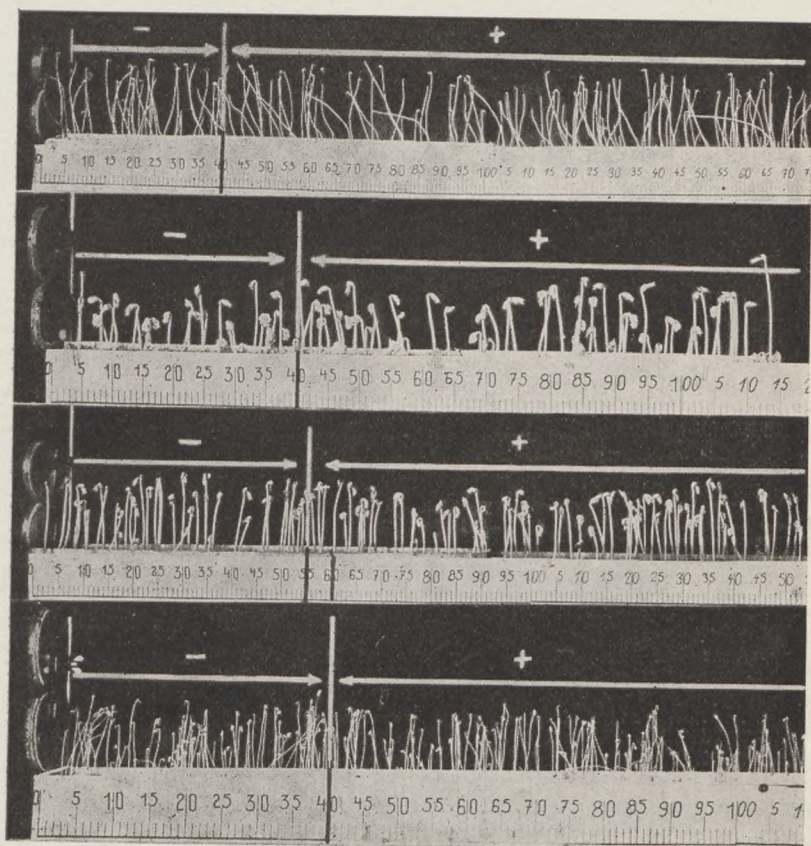


Abb. 1.

Die räumliche Lage des Umschlagbereiches. Uranylnitrat. Von oben nach unten: Erbse bei 0'16 GE, Bohne bei 0'16, bzw. 0'32 GE und Hanf bei 0'16 GE.

$A = 8 a_2$ die Länge des Gesamtbereiches (A) und daraus mit der Formel $a_1 = A - a_2$ auch die Ausdehnung der positiven reizphysiologischen Wirkung berechnet.

Das folgende Beispiel soll jetzt den Gang der Berechnung er-

läutern. Strahlungsquelle: Rotkupfer im Gewichte von 1530 gr. Gesamtfläche der beiden planparallelen Flächen 501 cm². Die Grenze der negativen Wirkung $a_2 = t_1 = 55$ cm. Spez. Gew. 8.93

$$I_1 = \left(\frac{55}{100}\right)^2 I = 0.3025 \text{ GE}, \quad \frac{1530}{501} = 3.0538 \text{ gr/cm}^2$$

$$0.3025 : 3.0538 = 0.09909 \text{ GE gr/cm}^2,$$

bzw. die einseitige Strahlung 0.0495 GE gr/cm²; daraus 0.1 cm³ \times 8.93 = 0.893 gr und 0.893 \times 0.0495 = 0.0442 GE auf 1 cm² Fläche mit 1 mm Schichtdicke, daraus 0.442 GE auf 1 cm² mit 1 cm Schichtdicke. Es wird daraus $t_1 = 100 \sqrt{\frac{0.442}{1}}$ rund 66.4 cm betragen.

Dieser Wert gibt daher die äusserste Grenze der negativen Strahlenwirkung des fraglichen Materials bei 1 cm auf 1 cm² bezogener Schichtdicke an. Die Gesamtstrahlung einer Kugel wird dann 0.52 cm³ \times 8.93 = 4.6436 gr., bzw. 4.6436 \times 0.0495 = 0.2298 GE und schliesslich 0.2298 GE \times 3.14 cm² = 0.7215 GE betragen. Die so erhaltenen Resultate habe ich dann in der Tabelle 2 zusammengefasst. Man kann natürlich die Werte von I_1 auch dann bestimmen, wenn die Ausdehnung des negativen Bereiches unter 3—5 cm sinkt und somit die Bestimmung der Umschlagsgrenze unsicher oder praktisch unmöglich wird. Man nimmt in diese Fällen die Werte vom A an und formt die Gleichung in $I_1 = \left(\frac{t_1}{800}\right) I$ um, wobei $I = \text{GE}$ und 800 cm den zu dem 1 GE gehörigen Gesamtbereich der Strahlung (A) bedeuten.

Da infolge des allmählichen Abklingens der Gesamtwirkung, die Grenze von A meistens nicht so deutlich in Erscheinung tritt, als die Länge des negativen Bereiches, so wird diese Art der Berechnung nicht so verlässliche Resultate, als die vorher geschilderte, liefern.

Zu den Berechnungen möge noch folgendes bemerkt werden:

In allen Fällen, die hier vorliegen, wurde die Strahlungsenergie der durchdringenden harten Gamma-Strahlen einiger wichtigen metallischen Elemente mittels einer reinen biologischen Methode gemessen. In der Natur der ganzen Erscheinung liegt es, dass jene Entfernungsmessungen, die zur Durchführung der Berechnungen notwendig waren, nicht mit der Exaktheit und Genauigkeit der physikalischen Messmethodik durchgeführt werden konnten. Infolge des

Um
em
de
kei
Gr
sch
bes

Be
nur
Ele

N
M
A
K
C
M
F
N
C
Z
A
S
B
H
P
U

1. U
7. Z
0.026

Schi
lc =
a₁ =
1 gr

Umstandes, dass nicht alle Versuchspflanzen die gleichsinnige Reizempfindlichkeit und Reaktionsvermögen zeigen, wird die Bestimmung der äussersten Grenzen der positiven und negativen Bereiche oft keine leichte Aufgabe sein. Man könnte in diesen Fällen eher von Grenzbereichen als von scharfen Grenzen sprechen. Das arithmetische Mittel der Länge des kritischen Bereiches ergibt daher nur die bestmögliche Annäherung.

Tabelle 2.

Bezeichnung des Elementes	Atomgewicht und Ordnungszahl	Spez. Gewicht	Intensität der Strahlung in GE			Wirkungsbereiche von Ib.			Anmerkung
			Ia.	Ib.	Ic.	— a_2 cm	+ a_1 cm	Gesamt 4. cm	
Na	23·011	0·97	0·0702	0·0681	0·1112	26·1	182·7	208·8	Die mitgeteilten Daten gelten als erste Annäherung mit einer durch die angewandte biologische Messmethode bedingten Schwankungsbreite von $\pm 5-10\%$.
Mg.	24·3212	1·40	2·358	3·3012	5·3901	182·0	1274·0	1456·0	
Al	26·9713	2·70	0·054	0·1380	0·2374	37·2	260·4	297·6	
K	39·1019	0·86	0·0787	0·0693	0·1130	26·3	183·1	210·4	
Ca	40·0720	1·55	0·1779	0·2757	0·4503	52·5	368·0	420·0	
Mn	54·9325	7·3	0·1170	0·9360	1·5226	96·8	677·6	774·4	
Fe	55·8426	7·86	0·0135	0·1057	0·1726	32·5	227·5	260·0	
Ni	58·6828	8·80	0·0987	0·8784	1·4341	93·8	656·6	750·4	
Cu	63·5729	8·93	0·0495	0·442	0·7216	66·4	464·8	531·2	
Zn	65·3730	7·10	0·0717	0·509	0·8312	71·4	499·8	571·2	
Ag.	107·8847	10·50	0·0293	0·307	0·5014	55·4	387·8	443·2	
Sn	118·750	7·28	0·0244	0·1776	0·2900	42·1	294·7	336·8	
Ba	137·456	3·60	0·0260	0·0936	0·1527	30·5	183·0	213·5	
Hg.	200·680	14·103	0·00055	0·0078	0·0127	8·8	61·6	70·4	
Pb	207·282	11·34	0·0025	0·0284	0·0463	16·8	117·6	134·4	
U	238·292	18·7	7·735	144·65	236·18	1200·0	8400·0	9600·0	

Die Reihenfolge der bisher untersuchten Elemente nach den Werten von Ia: 1. U 7·735, 2. Mg 2·358, 3. Ca 0·1779, 4. Mn 0·1170, 5. Ni 0·0987, 6. K 0·0787, 7. Zn 0·0717, 8. Na 0·0702, 9. Al 0·054, 10. Cu 0·0495, 11. Ag 0·0293, 12. Ba 0·0260, 13. Sn 0·0244, 14. Fe 0·0135, 15. Pb 0·0025, 16. Hg 0·00055. GE.

Ia: Die einseitige Strahlung von 1 gr/cm². Ib: Die einseitige Strahlung einer Schichtdicke von $\frac{1 \text{ cm}}{\text{cm}^2}$. Ic: Die Gesamtstrahlung einer Kugel von 1 cm Durchm.

$Ic = g \times Ia + F$. g = Gewicht. F = Fläche der Kugel. $a_2 = 100 \sqrt{\frac{Ib}{I}}$; $A = 8 \times a_2$; $a_1 = A - a_2$. 1. GE = $\frac{2'16 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2}$ 1 Curie: $2'75 \times 10^{-6}$ elektrostatische Einheit.

1 gr Uran entspricht $3'33 \times 10^{-7}$ Curie (siehe Stoklasa p. 262).

Die genaue Erfassung und Erforschung dieses Fragenkomplexes wird die Aufgabe der physikalischen Forschung sein, die hier auf diesem noch fast unbekannten Gebiete der biophysikalischen Forschungsrichtung viele dankbare Aufgaben zu erfüllen haben wird.

Die lebende Materie der pflanzlichen Zelle, scheint hier vorläufig viel empfindlicher und reaktionsfähiger zu sein, als die physikalischen Apparate, die diesen besonderem Zwecke noch eigens angepasst werden müssten.

Es liegen hier sehr kleine Energiemengen vor, die der reizphysiologische Apparat der pflanzlichen Zelle noch deutlich anzuzeigen und damit den Weg der reinen physikalischen Forschung zu ebnen vermag.

Die Aussaat und Aufzucht der Versuchspflanzen erfolgte in der Erkenntnis der Tatsache, dass fast alle Metalle einen gewissen Grad von Strahlungsaktivität besitzen, in langen hölzernen Trögen. Für die Zudeckung wurde schwarze Pappe verwendet. Auf der lichtdicken Verschluss musste äusserste Sorgfalt verwendet werden, da die bestrahlten Pflanzen keine, wenn auch noch so schwache oder kurze Belichtung ohne empfindliche Störung ihrer Reizbevegungen vertragen.

Da ich unter den jetzt obwaltenden Umständen nicht alle Metalle erhalten konnte, so wurden nur die unten aufgezählten Elemente alle in möglichst chemisch reinem, elementaren Zustande untersucht. Nur bei Kalium, Natrium, Barium Calcium und Mangan habe ich notgedrungen Ausnahmen gemacht. Sie wurden als Hydroxide, bzw. der Mangan als Karbonat in dünnwandigen Glasschalen teils in kristallinen Zustand, teils in Lösungen untersucht. Uran wurde schon früher als Uranylнитrat erfasst. Die Ergebnisse wurden dann auch auf das Element umgerechnet. Es wurden bisher folgende metallischen Elemente untersucht (5). (Siehe Abb. 2, 3, 4, 5.)

- I. Alkalimetalle: K, Na.
- II. Alkalische Erden: Ca, Ba.
- III. Magnesiumgruppe: Mg, Zn, Hg.
- IV. Kupfergruppe: Cu, Ag.
- V. Aluminiumgruppe: Al.
- VI. Zinngruppe: Sn, Pb.
- VII. Chromgruppe: U.
- VIII. Eisengruppe: Fe, Ni, Mn.

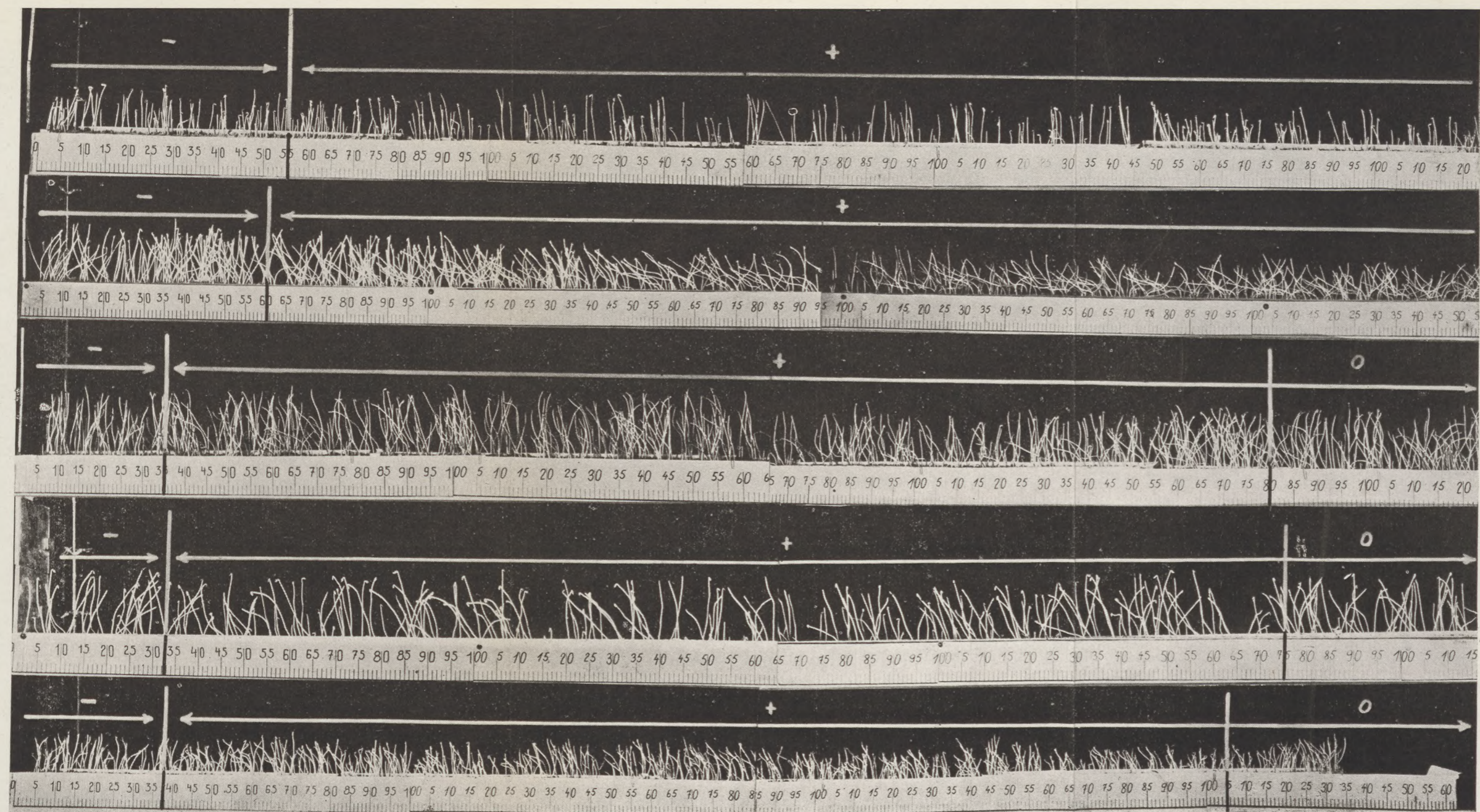
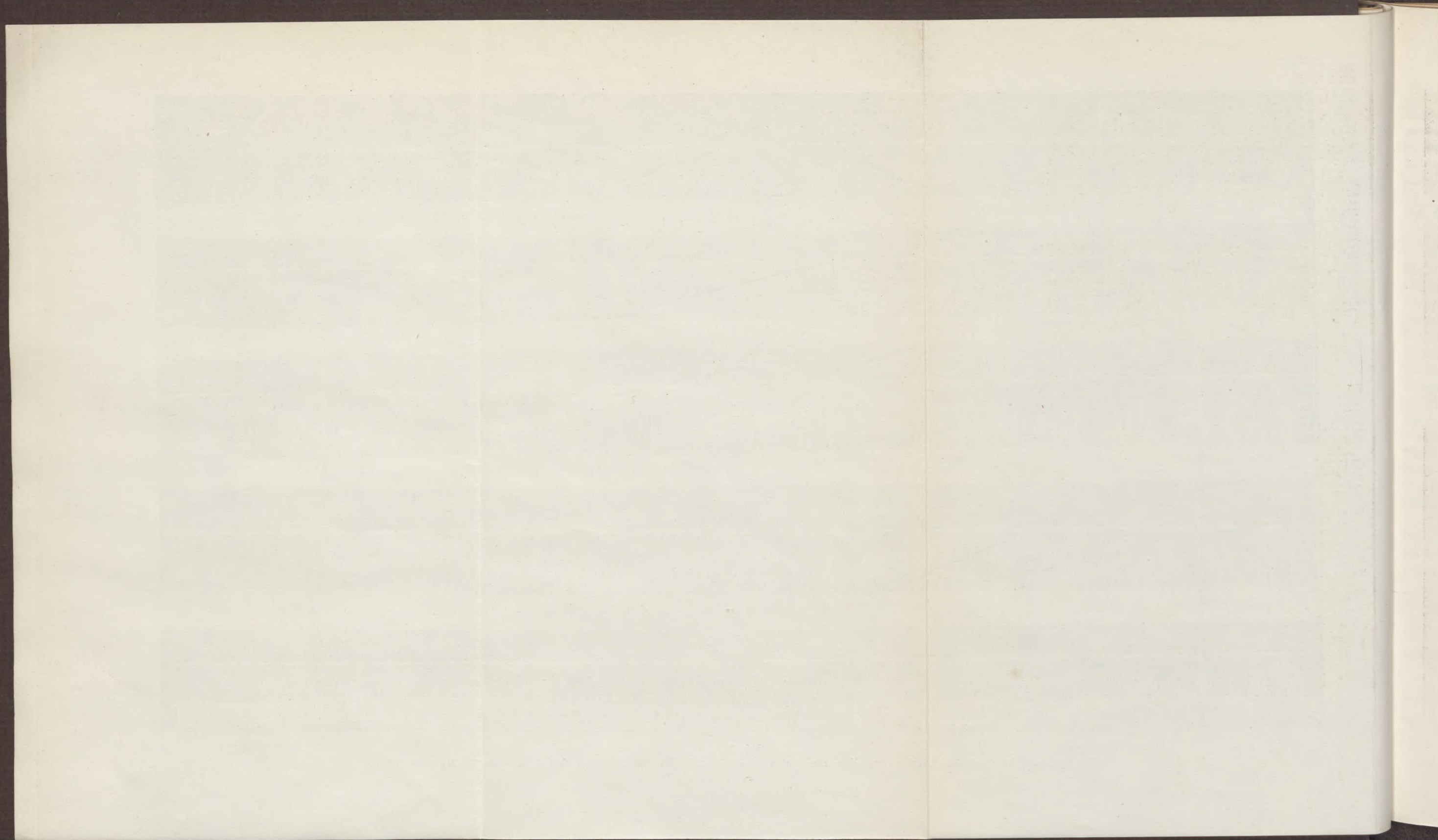


Abb. 2.

Die Strahlenwirkung einiger Metalle. Von oben nach unten: Cu 0'302 GE, Zn 0'360 GE, Sn 0'122 GE, Al 0'105 GE, Mg 0'140 GE.



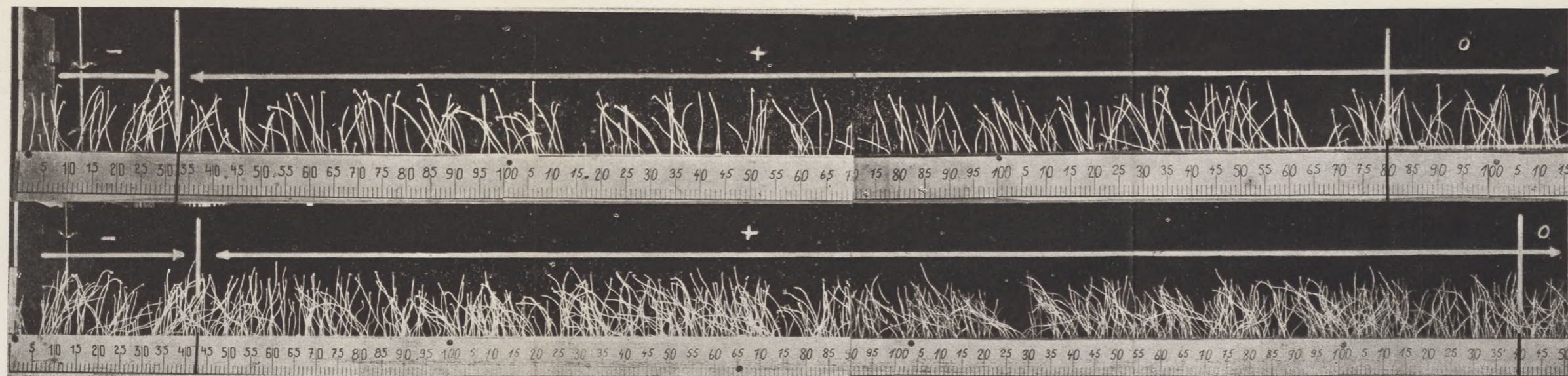


Abb. 3.

Die eigene Absorption des Aluminiums. Oben eine Platte mit 0'105 GE, unten zwei Platten mit zusammen 0'210 GE.

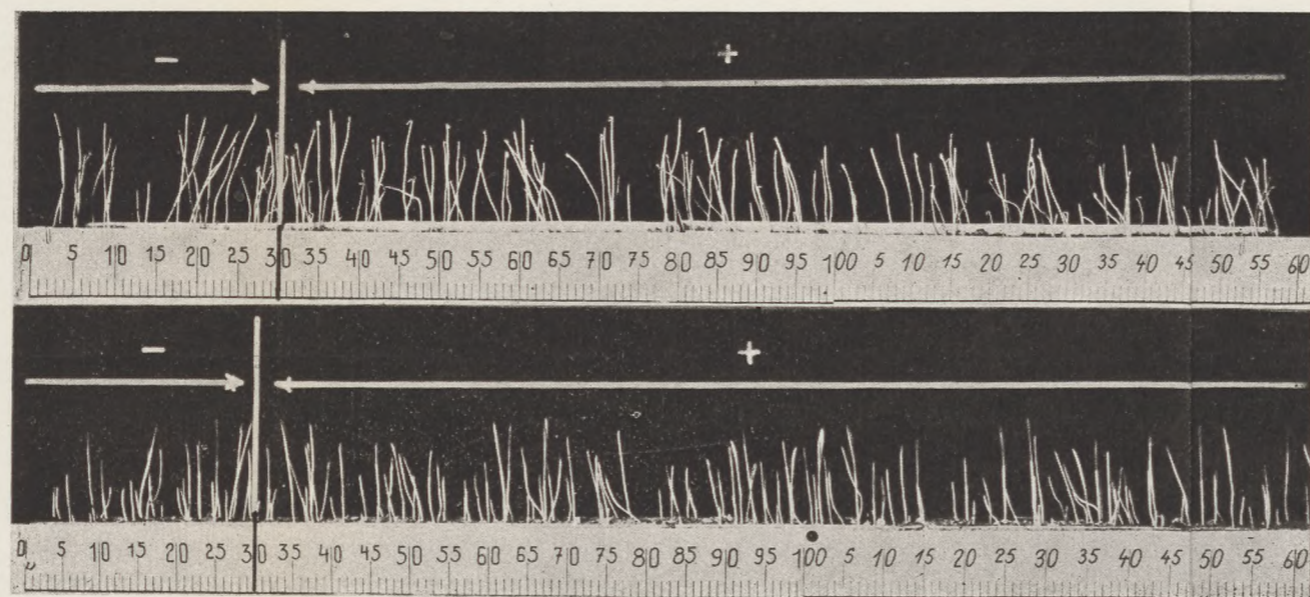


Abb. 4.

Die Wirkung von *KOH* mit je 0'090 GE. Oben Erbse, unten. Mais.

bestin
biolo
K, Na
heit
ausge

Die B

Metall
die v
vorge
es sich
länge
zu b
nismä
setzen

der E
sorbie
bereit
reine

U
Geda

F
des z
sie no
sität

die A
nung

sorpti

$I_y =$
sich

Da die Strahlungsaktivität der Elemente O, H und C noch nicht bestimmt wurde, so wird vorläufig an den Ergebnissen der strahlungsbiologischen Analysen die mit den Hydroxiden und Karbonaten des K, Na, Ca, Ba, bzw. Mn durchgeführt wurden, eine gewisse Unsicherheit haften. Die jetzt erhaltenen Resultate können daher nur bedingt ausgewertet werden.

Die Bestimmung der Absorption und der physikalischen Natur der Strahlung auf biologischem Wege.

Da die biologische Wirkung der durchdringenden Strahlen der Metalle im allgemeinen jener reizphysiologischen Reaktion gleicht, die von den kurzwelligen, durchdringenden Strahlen des Urans hervorgerufen wurde, so konnte ich mit gutem Recht voraussetzen, dass es sich auch hier um äusserst harte Gamma-Strahlen in dem Wellenlängenbereiche von $< 5 \times 10^{-8}$ mm handelt. Um diese Annahme zu beweisen, mussten die Strahlen auf ihre Fähigkeit, verhältnismässig dicke Metallplatten, darunter vornehmlich Bleiplatten durchsetzen zu können, untersucht werden.

Das hierbei einzuschlagende Verfahren, bzw. die Auswertung der Ergebnisse der Messungen wird insoweit verwickelt, dass das absorbierende Material, wie gerade auch diese Untersuchungen zeigen, bereits selbst einen gewissen Grad von Strahlungsaktivität, die die reine Absorptionswirkung verdecken oder verändern kann, besitzt.

Um diese Erscheinung klar erfassen zu können, wurde folgender Gedankengang eingeschlagen:

Falls die Stärke der gegebenen Strahlung mit I_1 GE, die Grenze des zugehörigen negativen Bereiches t_1 bezeichnet werden, so würde sie nach dem Vorsetzen des absorbierenden Materials nur die Intensität $I_2 < I_1$ mit $t_2 < t_1$ besitzen.

Da jedoch die absorbierende Substanz (Absorptionsmittel) selbst die Aktivität von I_3 mit t_3 besitzt, so würde die resultierende Entfernung des Umschlagsbereiches $t_x = t_1 \sqrt{\frac{I_1 + I_3}{I_1}}$ betragen, falls eine Absorption nicht stattfinden würde.

Da jedoch infolge der Absorption nur t_y erreicht wird, so muss $I_y = \left(\frac{t_y}{t}\right) I$ sein, wo $t = 100$ cm und $I = 1$ GE bedeuten. So ergibt sich schliesslich für die tatsächlich wahrnehmbare Absorption der

Wert von $\Delta I_1 = (I_1 + I_3) - I_y$. Daraus wird mit dem Ausdruck $I_1 - \Delta I_1 = I_d$ die Intensität der durchgelassenen, harten durchdringenden Strahlung berechnet.

Dieser Ausdruck gibt also jene Absorptionswirkung wieder, die

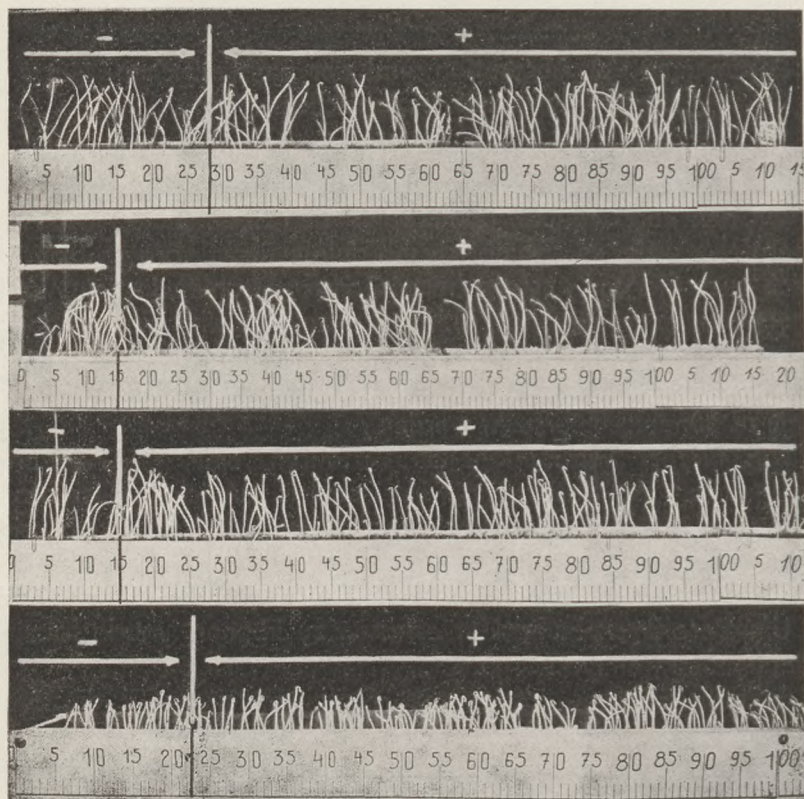


Abb. 5.

Die Strahlenwirkung einiger Elemente. Von oben nach unten: Fe 0'0784 GE, Hg 0'0225 GE, Ag 0'0225 GE, Ni 0'0756 GE.

infolge der Eigenstrahlung des Absorptionsmittel durch unsere Methode wahrgenommen werden kann. Ich bringe hierzu einige Beispiele. Siehe auch Abbildung 3. und 6.

1. Aluminiumplatte mit 8'5 mm Dicke mit einer 3'3 mm dicken Bleiplatte als Vorlage. $I_1 = 0'105$ GE, $I_3 = 0'01$ GE, $ty = 20$ cm,

$I_y = \left(\frac{20}{100}\right)^2 \text{ GE} = 0.0400 \text{ GE}$, $(I_1 + I_2) - I_y = 0.115 - 0.0400 = 0.075 \text{ GE} = \Delta I_1$. Es werden also 72% von I_1 absorbiert und 28% durchgelassen.

2. Zwei Bleiplatten mit je 3.3 mm Dicke mit je $I_1 = 0.010 \text{ GE}$, $t_y = 11.5 \text{ cm}$, $I_y = 0.0132 \text{ GE}$, $\Delta I_1 = 0.0200 - 0.0132 = 0.0068 \text{ GE}$. Es werden also 68% von I_1 absorbiert und 32% durchgelassen.

3. 2 Aluminiumplatten mit je 8.15 mm Dicke $I_1 = 0.105 \text{ GE}$, $t_y = 42.5 \text{ cm}$, $I_y = 0.1806 \text{ GE}$, $(I_1 + I_2) - I_y = 0.210 - 0.1806 = 0.0294 \text{ GE} = \Delta I_1$. Es werden also 28% von I_1 absorbiert und 72% durchgelassen. Obwohl diesen und den übrigen, bisher durchgeführten Versuchen, nur ein orientierender Charakter zukommen kann, so beweisen sie doch einwandfrei, dass ein verhältnismässig grosser Anteil, der durch die untersuchten Metallen emittierten Strahlen, Metallplatten verschiedener Dicke durchsetzen kann. Da diese Eigenschaft vornehmlich nur die harten Gamma-Strahlen besitzen, so kann mit gutem Rechte gefolgert werden, dass die jetzt dargestellten reizphysiologischen Wirkungen vorwiegend durch die kurzwelligen Gamma-Strahlen der Metalle hervorgerufen werden.

Die Alfa-Strahlen können ja infolge ihrer kurzen Reichweite bei derartigen Fernwirkungen nicht in Frage kommen. Für die geringe Wirkung der Beta-Strahlen spricht hauptsächlich der Umstand, dass sie einerseits auf derart grosse Entfernungen nicht mehr auswirken und andererseits die Tatsache, dass die reizphysiologische Wirkung in quantitativen Sinne des Entfernungsgesetzes, auch dann zustande kommen kann, wenn sie durch Metallplatten, die sie nicht restlos durchsetzen können, abgeriegelt werden. Dass hier letzten Endes noch auch die Wirkung der sekundären Strahlung der absorbierenden Metallplatten in einem verhältnismässig geringen Grade in Betracht kommt, dürfte keinem Zweifel unterliegen.

Ihre Absonderung und Erfassung ist aber ein derart kompliziertes Problem, das unsere Mittel und Verfahren nicht lösen können. Die Erfassung der Absorption dieser Strahlen ist eine Fragestellung, die erst mit den exakten Messmethoden der Physik der restlosen Lösung zugeführt werden könnte.

Bezüglich der genauen Abgrenzungen der Wellenbereiche und der sonstigen physikalischen Eigenschaften dieser Strahlen, werden unsere Ergebnisse nur eine allgemeine orientierende Rolle spielen

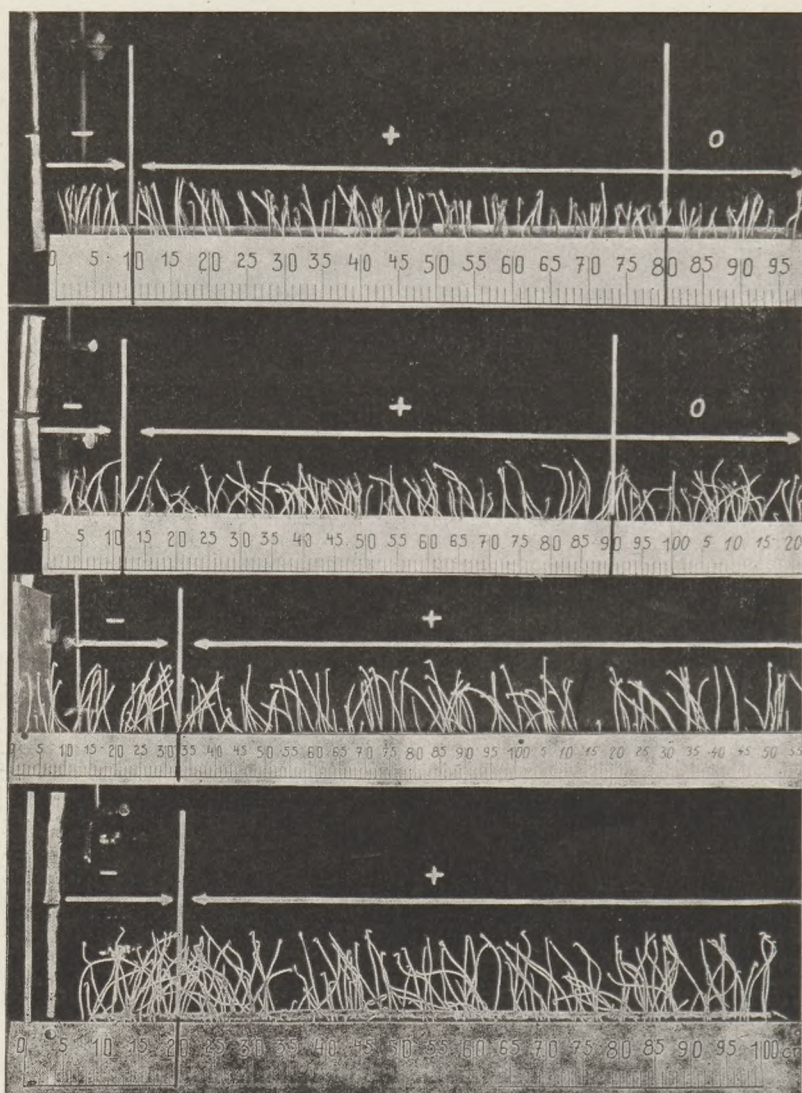


Abb. 6.

Die Absorptionswirkung des Bleies. Von oben nach unten: Eine Bleiplatte mit 0'01 GE, zwei Bleiplatten mit 0'010 GE, eine Aluminiumplatte mit 0'105 GE und dieselbe mit einer Bleiplatte von 0'010 GE.

Die
Zn
sam

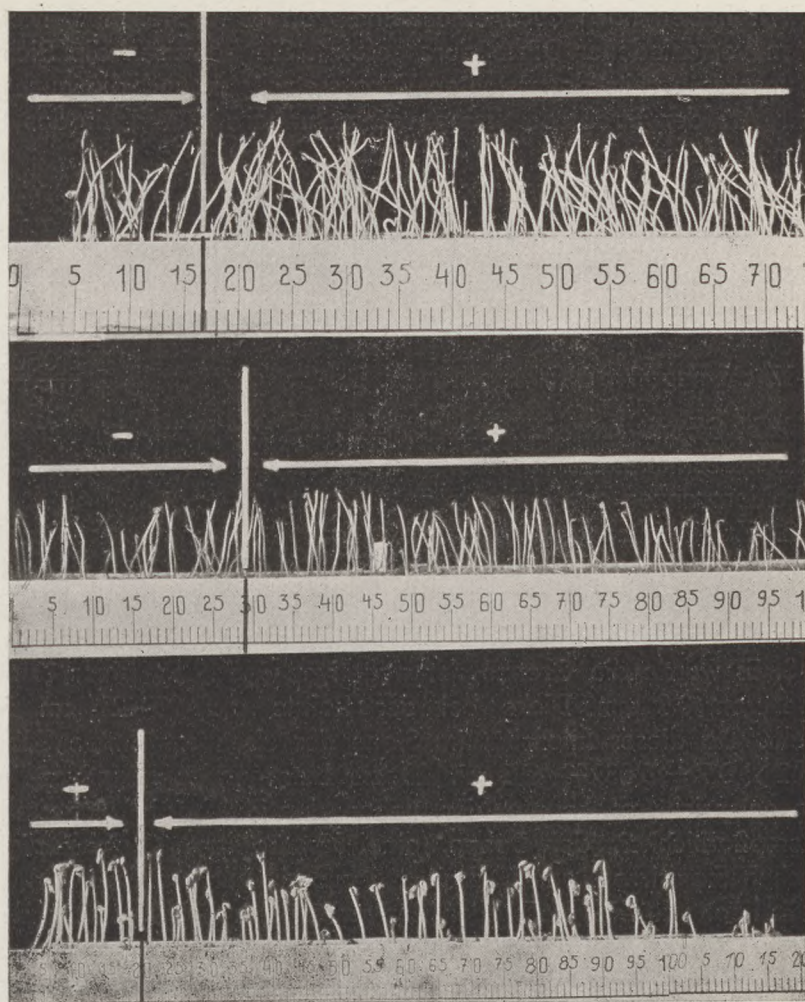


Abb. 7.

Die Wirkung von Metallplatten von verschiedener Dicke. Von oben nach unten: Zn mit 0.5 mm Dicke, 0.0254 GE, zwei Cu-Platten von je 0.9 mm Dicke, mit zusammen 0.0795 GE mit Erbse, 1 Cu-Platte mit 0.9 mm Dicke 0.03978 GE mit Bohne.

können. Auch hier wird erst die exakte physikalische Forschungsarbeit die nötige Klarheit herbeischaffen können.

Wir haben noch auch eine Reihe von Versuchen mit Metallplatten verschiedener Dicke durchgeführt. Sie beweisen die Richtigkeit unserer bereits dargestellten Voraussetzungen und die auch bei dieser Art der Strahlenemission wahrnehmbare Gültigkeit des Entfernungsgesetzes.

Sie zeigen ausserdem, dass auch die anderen Pflanzen, wie es übrigens nach den bisherigen Ergebnissen zu erwarten war, auf der gleichen Art und Weise reagieren.

Ich bringe hier einige Beispiele. Siehe hierzu Abbildung 7.

1. Eine Zinkplatte von cca 0.5 mm Dicke, rief bei der Erbse bis 16—17 cm negative Wirkung hervor. Da ihr laut Tabelle $2 \frac{0.0509}{2} = 0.0254$ GE mit rund 15.9 cm entsprechen, so stimmt hier der theoretisch berechnete Wert mit dem experimentell gefundenen innerhalb der Fehlergrenzen der Methode gut überein.

2. Zwei hintereinander stehende cca je 0.9 mm dicke Kupferplatten wirkten bei der Erbse bis rund 29 cm negativ. Da ihnen laut Tabelle $0.0442 \times 1.8 = 0.0795$ GE mit 28.2 cm entspricht, so lässt sich auch hier eine befriedigende Übereinstimmung feststellen.

3. Es wurde die Grenze der negativen Wirkung einer Kupferplatte von 0.9 mm Dicke bei der Bohne cca 20—21 cm festgestellt. Da dieser Intensität im Sinne der oben erwähnten Tabelle $0.0442 \times 0.9 = 0.03978$ GE mit 20 cm betragender negativen Wirkung entspricht, so konnte hier, neben der gleichartig eingestellten Reizempfindlichkeit der Bohne, eine fast restlose Gleichsinnigkeit zwischen Experiment und Theorie wahrgenommen werden.

Es liegt natürlich im Wesen der ganzen Erscheinung, dass durch die allmähliche Steigerung der Dicke der emittierenden Substanzen die Gestaltung, bzw. die Fernwirkung der Strahlen sich nicht streng im Sinne des Entfernungsgesetzes vollziehen wird, sondern auch durch die Zunahme der eigenen Absorption der Materie im Sinne des Beer—Lambert'schen Gesetzes sukzessive beschränkt wird.

Die in den vorstehenden aufgeführten und besprochenen Versuche mit verdoppelten Blei- und Aluminiumplatten geben gute Beispiele dafür.

Durch die Bestimmung der Halbwertschichten der absorbieren-

den Substanzen wird man mit der Hilfe der einschlägigen Gesetzmässigkeiten auch auf diesem Gebiete die nötige Klarheit herbeiführen können.

Da unsere Methode, bzw. seine Leistungsfähigkeit durch verschiedene Umstände, die in der biologischen Natur des Verfahrens begründet sind, qualitativ und quantitativ begrenzt ist und ihre Anwendung dort, wo die Ausdehnung des Gesamtbereiches unter 4—5 cm sinkt, bereits kaum zu möglich sein wird, so wird man mit ihrer Hilfe nur dort gute Resultate erreichen können, wo verhältnismässig stärkere Strahlungsquellen und als Absorptionsmittel stärkere Zunahme ihrer Dicke angewendet werden können.

Bei kleineren Querschnitten, deren relatives Ausmass auch von dem Strahlungsemissionsvermögen des betreffenden Materials abhängt, wird die Absorption kaum wahrzunehmen sein.

Ich möchte noch auch darauf hinweisen, dass, wie jene unsere Versuche zeigen, deren gesamte Wirkungsbereich mehrere Meter betrug, die wellenartige biologische Wirkung der Strahlen ganz deutlich beobachtet werden konnte.

Es wird nicht nur das Höhenwachstum, sondern auch der räumliche Ablauf des reizphysiologischen Reaktionsvorganges wellenartig beeinflusst.

Die Ergebnisse der bisherigen Versuche geben vorläufig noch keine hinreichende Erklärung dafür.

Man wird wahrscheinlich erst dann darüber im klaren sein, wenn die physikalische Forschung die nötigen Grundlagen dazu erforschen wird.

Auf Grund unserer Versuche lässt sich auch vorläufig noch nicht feststellen, ob neben den einwandfrei erwiesenen harten Gamma-Strahlen auch andere Strahlen korpuskularer Natur an der Strahlenemission beteiligt sind. Wenn man den Umstand in Erwägung zieht, dass falls hier eine primäre Energieentfaltung und nicht eine durch andere, z. B. durch die kurzwellige Erdstrahlen induzierte sekundäre Strahlung der Elemente vorliegen sollte, wahrscheinlich die primäre Emission von Elektronen, d. h. die Entstehung einer Beta-Strahlung, die mutmassliche Energiequelle der Gamma-Strahlung, die nach unseren heutigen Ansichten durch die bei der Loslösung der Elektronen der Atomkerne freiwerdende Energie entstehen sollte, darstellen dürfte. Inwieweit diese Annahme zutreffen wird und

inwieweit später auch vielleicht gelingen wird, die Existenz einer Alfa- oder Beta-Strahlung nachzuweisen, kann auf Grund der bisher vorliegenden Forschungsergebnisse mit Sicherheit nicht vorausgesagt werden.

Dass in diesem Falle der Kreis der veränderlichen Elemente sich, ausser den Elementen der Radiumgruppe, wesentlich erweitern und eine weitere Änderung unserer Auffassung über die Unveränderlichkeit der übrigen Elemente folgerichtig notwendig sein müsste, lässt sich kaum von der Hand weisen.

Für die exakte Lösung dieser theoretischen Probleme muss aber erst die noch notwendige biophysikalische und physikalische Tatsachenforschung die nötige gesunde Grundlage schaffen, um die wahre Energiequelle der jetzt dargestellten Strahlungen aufzufinden.

Über die innere biologische Struktur des jetzt dargestellten Erscheinungskomplexes können wir, falls wir nicht allzu stark in das problematische Gebiet übergehen wollten, noch weniger sagen.

Dass es sich hier um eine einseitige Beeinflussung der Auxinwirkung handelt, ist, wie ich es schon in der II. Mitteilung betont habe, recht wahrscheinlich. Da sich aber die Reaktion und ihr ganzer Wirkungsmechanismus bei einer scharfen Umschlaggrenze nach der Ab-, bzw. Zunahme der Strahlung bei fast allen bisher untersuchten Pflanzen plötzlich und gleichsinnig ändert, so kann man daraus mit vollem Recht auf eine zweckmässige und physiologisch bedingte Strahlenauslese der Pflanzen, bzw. ihrer Zellen im Sinne der Zweckmässigkeit ihrer Lebensvorgänge schliessen. Ich bin der Ansicht, dass wir dabei ein bisher noch wenig erforschtes Gebiet der Zellphysiologie erreichten, dessen Aufschliessung der weiteren Forschung bisher kaum geahnte Möglichkeiten öffnen könnte.

Auch über den inneren physiologischen Wirkungsmechanismus dieser Strahlen, kann auf Grund der bisherigen Ergebnisse kaum etwas endgültiges gesagt werden.

Dass die äusserst energiereichen Quanten dieser harten Gamma-Strahlen wenigstens zu einem gewissen Teile von den Molekulan, bzw. Atomen der bestrahlten Pflanzen absorbiert werden, kann, da sie einen bestimmten und immer gleichsinnig verlaufenden reizphysiologischen Vorgang hervorrufen, mit grosser Sicherheit angenommen werden. Dass es sich dabei infolge der Härte der Strahlung, vorwiegend um den Compton'schen Streuprozess handelt, und bei

dem ganzen Reizvorgang vorwiegend die energieärmeren Compton Elektronen und nur in einem beschränkten Masse die energiereichen Photoelektronen die entscheidende Rolle führen, dürfte ebenfalls recht wahrscheinlich sein.

Wie aber der ganze Vorgang weiter im engeren physiologischen oder besser gesagt, zellphysiologischen Sinne zu erklären wäre und welche ernährungsphysiologische Rolle ihm zukommen könnte, kann noch nicht einmal annähernd angegeben werden.

Auch auf diesem Gebiete wird erst die Fortsetzung und Erweiterung der experimentellen Forschungen die erwünschte Klarheit schaffen. Wir sind bestrebt an allem diesen Gebieten durch die Fortführung unserer Arbeiten nach unseren bescheidenen Kräften und Möglichkeiten mitzuarbeiten.

In der II. Mitteilung habe ich einige orientierende Daten über das strahlungsbiologische Verhalten einzelner Bodentypen mitgeteilt und dort ihre kurzwelligen Gamma-Strahlen nachgewiesen. Die Möglichkeit, dass eine Anzahl von Elementen, die in dem Boden in der Form ihrer verschiedenen Verbindungen vertreten sind, die Strahlungsaktivität derselben merklich beeinflussen wird, kann mit grosser Sicherheit angenommen werden.

Die näheren diesbezüglichen Zusammenhänge können erst die Ergebnisse der weiteren Versuchsarbeit, die auch bei uns im Gange ist, erbringen.

Zusammenfassung.

Anschliessend an unsere früheren, in dieser Zeitschrift veröffentlichten Untersuchungen, wurden die in den vorstehenden besprochenen Forschungen mit der Zielsetzung eingesetzt, die physiologische Reizwirkung der durchdringenden harten Gamma-Strahlen, einer Reihe von metallischen Elementen, mit Hilfe unserer biologischen Methode zu untersuchen, und möglichst auch quantitativ zu erfassen. Die bisher erzielten wichtigsten Ergebnisse lassen sich, wie folgt, kurz zusammenfassen.

1. Es wurden nach der Reihenfolge des periodischen Systems folgende Elemente untersucht: Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Sn, Ba, Hg, Pb, U.

2. Es gelang zunächst festzustellen, dass diese Elemente, ähnlich

wie die bereits untersuchten Uransalze, eine harte, durchdringende Gamma-Strahlung emittieren, die bei den verschiedenen bisher untersuchten Pflanzen (Pisum, Phaseolus, Cannabis, Zea, Helianthus usw.) einen gleichsinnig verlaufenden und deutlich nachweisbaren reizphysiologischen Vorgang auszulösen vermag.

3. Ein Teil der Pflanzen, von der Strahlungsquelle gerechnet, zeigt, der Stärke der Strahlung entsprechend, bis zu einer deutlichen Umschlaggrenze, negative, der andere positive reizphysiologisch bedingte Krümmungen.

4. Die Intensität der Strahlung konnte mit der von uns bereits früher eingeführten Intensitätseinheit, dem Gamma-Effekt, auch quantitativ mit vorläufiger Annäherung erfasst werden.

5. Der energetische Wert des Gamma-Effektes, der die Umschlaggrenze zwischen dem positiven und negativen Bereich bei einer von der Strahlungsquelle gerechneten Entfernung von 100 cm hervorruft, wurde auf Grund neuer Messungen bei dem Energiegehalt:

$$GE = \frac{216 \times 10^{-8} \text{ Curie}}{\text{cm}^2} \text{ ermittelt.}$$

6. Es konnte auch, wie übrigens zu erwarten war, festgestellt werden, dass die Fernwirkung dieser, als harte Gamma-Strahlung identifizierte Energieemission, sich genau im Sinne des bekannten Entfernungsgesetzes vollzieht.

7. Auch für die Ermittlung der Absorptionswirkung der untersuchten Elemente wurden einige orientierende Versuche durchgeführt.

Bezüglich der weiteren Einzelheiten wird auf die ausführlichen Angaben der vorliegenden Arbeit verwiesen.

*

Ich möchte noch bei dieser Gelegenheit dem langjährigen, treuen Laboranten des Institutes, Herrn K. D ö m e, für seine hingebungs- und verständnisvolle Mitarbeit auch hier meinen besten Dank aussprechen.



Nachtrag.

Während der Drucklegung wurde die Untersuchung der beiden nicht metallischen Elemente: Schwefel- und Kohlenstoff beendet. Ich teile zur Orientierung auch ihre vorläufigen Daten, die die Strahlungsaktivität auch dieser Nichtmetalle beweisen, mit:

C. Ia: 0'0510 GE, Ib: 0'0117 GE.

S. Ia: 0'160 GE, Ib: 0'332 GE.

Die Untersuchung der weiteren Nichtmetalle ist im Gange.

Schrifttum.

1. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die durch die unsichtbaren Beta- und Gamma-Strahlen ausgelösten Reizbewegungen der Pflanzen. (Mitteilungen aus dem Bot. Institut der kgl. ung. Universität für technische und wirtschaftliche Wissenschaften, Sopron, Ungarn. I. Mitteilung 1939, II. Mitt. 1940.)
2. *Kohlhörster*: Gammastrahlen der Kaliumsalze. (Die Naturwissenschaften, 16, 2, 1928.)
3. *Petrova, J.*: A contribution to the study of radioactivity of potassium and rubidium. (Bull. Int. de l' Acad. des Sciences de Boheme, 1926.)
4. *Vincenzo, R.*: Conferme recenti sopra l'azione biologica della radiazione penetrante etc. (Atti. Soc. Ital. Progr. Sci., 6, 1939.)
5. *Matula—Oppenheimer*: Allgemeine und anorganische Chemie. (G. Thieme, Leipzig, 1928, p. 424.)
6. Chemie-Hütte, 1927, p. 88.
7. *Luigi Piazza*: Sulla influenza biologica della radiazione penetrante. (Scr. Ital. Radiobiol., 6, 1939.)
8. *Stoklasa und Penkara*: Biologie des Radiums und der radioaktiven Elemente. (P. Parey, Berlin, 1932.)
9. *Przibram, K.*: Radioaktivität. (W. Gruyter, Berlin, 1932.)
10. *Hess, V. F. und Blanck*: Handbuch der Bodenlehre. J. Springer, Berlin, 1930, Bd. 6, p. 375. I. Ergb. 1939, p. 272.
11. *Pohl*: Elektrizitätslehre. (J. Springer, Berlin, 1940.)
12. *Bünning*: Die Physiologie des Wachstums und Bewegungen. (J. Springer, 1939.)
13. *Overbeck*: Phototropismus. (Bot. Review, 5, 1939.)
14. *Pringsheim*: Die Reizbewegungen der Pflanzen. (Springer, Berlin, 1912.)
15. *Wettstein*: Fortschritte der Botanik. Bd. I—IX. (J. Springer, Berlin, 1932—1939.)
16. *Zimmer, K.*: Strahlungen. (G. Thime, Berlin, 1937.)
17. *Hanle, W.*: Künstliche Radioaktivität. (G. Fischer, Jena, 1939.)
18. *Dobler*: Physikalischer und photographischer Nachweis der Erdstrahlen. (Franckenverlag, Feuchtwangen, 1934.)
19. *Fehér, D. und Frank, M.*: Untersuchungen über die Lichtökologie der Boden-algen. (Archiv für Mikrobiologie, 7, 1936 und 10, 1939. Ergänzende Bemerkungen ebenda, 11, 1940.)
20. *Frischmann, F.*: Experimentelle Untersuchungen über das Eindringen der strahlenden Energie in den Boden. (Bodenkunde und Pflanzenernährung, 14, 1939.)



ma-
aus
aft-
(40.)
16,
and
pe-
eme,
Ital.
ente.
930,
nger.
939.)
ran-
den-
Be-
trah-
, 14,

