

Impulsgröße abnehmen, auch wenn das differentielle Ionisierungsvermögen noch zunehmen kann. Die oben durchgeführten Überlegungen bezüglich der Übereinstimmung der Gesetzmäßigkeiten des Ener-

gieverlustes in gasförmigen und festen Körpern gelten sichtlich auch für den Sonderfall des CdS. Zusammen mit der Eigenschaft, daß die Gesamtzahl der Elektronen bei vollständiger Absorption der α -Teilchen ihrer Energie proportional ist, bedeutet die Zunahme der Impulshöhen gegen das Reichweitenende, daß offenbar auch die je Wegelement absorbierte Energie und die „ausgelöste“ Elektronenzahl einander proportional sind und zwar unabhängig von der Geschwindigkeit.

Die bisherigen Messungen machen es wahrscheinlich, daß der Energieaufwand zur „Befreiung“ eines Elektrons großenordnungsmäßig etwa der Arbeit entspricht, die zur Hebung eines Elektrons aus dem Valenzband in das Leitfähigkeitsband aufgewendet werden muß und die der optischen Absorptionskante des CdS entspricht. Dies sollte nicht so gedeutet werden, als ob alle Elektronen durch unmittelbare Einwirkung der α -Teilchen diesen Übergang vollziehen.

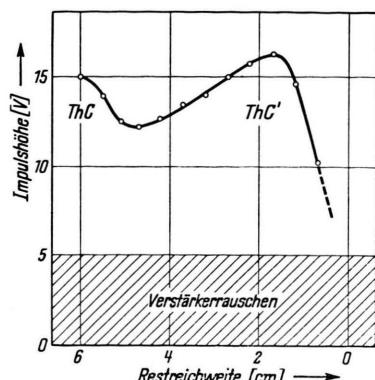


Abb. 3. Impulshöhe als Funktion der Restreichweite. Kristalldicke (Luftäquivalent) 1,3 cm, Elektroden- spannung 7,5 V.

Untersuchungen über die radioaktive Umgebungsstrahlung und ihre Wirkung

Von A. SITTKUS, D. GANZ und E. REMY

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Freiburg

(Z. Naturforschg. 8a, 317—322 [1953]; eingegangen am 19. März 1953)

Eine Abschätzung des Einflusses der radioaktiven Umgebungsstrahlung auf Messungen mit Ionisationskammern und Einzelzählrohren zeigt, daß die Schwankung der Boden- und Luftstrahlung in ungepanzerten Apparaturen Änderungen des Nullganges bis 100% und hinter 50 g/cm² Panzer Effekte bis 10% verursachen kann. Erst hinter Vollpanzern von 100 g/cm² ist der Einfluß im allgemeinen zu vernachlässigen. Die Abschätzung wird durch Messungen vornehmlich der Aktivität von frischem Schnee- und Regenwasser belegt. Die Meßergebnisse zeigen, daß eine Entscheidung, ob eine beobachtete Intensitäts schwankung dem gesuchten Effekt zuzuschreiben ist oder nicht, bei schlecht abgeschirmten Kammern oder Zählrohren nur möglich ist, wenn gleichzeitig eine genaue Diskussion des Bodenzustandes, des Em-Gehaltes der Luft und der Beimengung von radioaktiven Stoffen im frischen Niederschlag durchgeführt wird.

Bei Messungen ionisierender Strahlung, z. B. bei der Untersuchung von Ultrastrahlungsschwankungen im Hinblick auf Zusammenhänge mit der Sonnenaktivität^{1,2,3}, wurden z. Tl. schwach gepanzerte Ionisationskammern und Einzelzählrohre verwendet. Bei diesen Apparaturen ist der Einfluß der

Umgebungsstrahlung recht erheblich und die Schwankungen der natürlichen radioaktiven Strahlung des Bodens und der Luft begrenzen entscheidend die Möglichkeit, aus Änderungen der gemessenen Intensität Rückschlüsse auf den untersuchten Vorgang zu ziehen.

¹ J. Zirkler, Naturwiss. 25, 715 [1937]; Z. Physik 111, 183 [1938]; Z. Geophysik 18, 127 [1943]; Z. Naturforschg. 4a, 394 [1949].

² D. C. Rose, Physic. Rev. 78, 181 [1950].

³ A. Sittkus u. D. Ganz, Z. Naturforschg. 6a, 563 [1951].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Nach Heß⁴ beträgt die Ionisation durch die γ -Strahlung⁵ des Erdbodens bei normalem Feuchtigkeitsgehalt in Erdnähe 1 bis etwa 8 J je nach der Art des Untergrundes gegenüber 2 J durch Ultrastrahlung. Die γ -Strahlenwirkung der radioaktiven Stoffe der Luft macht etwa 0,1 J aus. Schwankungen des Wassergehaltes des Bodens z. B. bei Gewitterregen oder Bedeckung des Bodens mit Schnee und Eis können durch zusätzliche Absorption erhebliche Schwankungen der Bodenstrahlung und damit der gemessenen Ionisation bedingen. So bewirkt z. B. eine 50 cm hohe Altschneedecke (entspr. einer Wasserschicht von 10 cm) eine Abnahme der Umgebungsstrahlung um etwa 50%. Hinter einem allseitigen Filter von 50 g/cm² wirkt sich diese Abnahme bei 5% Anteil der Umgebungsstrahlung an der gemessenen Intensität noch mit annähernd 2% an der Ionisation aus und verfälscht damit z. B. vollkommen den Jahresgang der Ultrastrahlung, der von der gleichen Größe ist. Erst ein Panzer von 100 g/cm² setzt im allgemeinen den Einfluß der Bodenstrahlung so weit herab, daß die Schwankungen der Erdstrahlung die Messung der Ionisation nicht mehr nennenswert verändern. Der Gehalt der Luft an γ -strahlenden Produkten kann nach Heß⁴ je nach den meteorologischen Bedingungen am Meßort um den Faktor 5 schwanken, dadurch werden in einer Apparatur, die diese Luftstrahlung voll erfaßt, Schwankungen der Ionisation bis zu 25% hervorgerufen. Hinter einem 50 g/cm²-Filter beträgt die Wirkung noch etwa 1% und erst hinter 100 g/cm² wird auch der Einfluß dieser Luftstrahlungsschwankungen vernachlässigbar. Eine weitere Veränderung der Umgebungsstrahlung tritt bei Niederschlägen und kurz danach dadurch auf, daß γ -strahlende Folgeprodukte der in der Luft vorhandenen Emanation ausgewaschen werden und merkliche radioaktive Ablagerungen an der Erdoberfläche bilden (Heß⁴). Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß bei vollständigem Ausregnen der Em-Folgeprodukte aus einer Schicht von 2 km Mächtigkeit und einem Gehalt von $1,4 \cdot 10^{-16}$ curie/cm³ (mittlerer Em-Gehalt der Luft, etwa 2 Em-Atome/cm³) eine Zunahme der γ -Umgebungsstrahlung um 0,4 J auftritt. Wegen der starken Schwankungen des Em-Gehaltes ist damit zu rechnen, daß dieser Zusatzeffekt bis zu 2 J

betragen kann. Das bedeutet, daß in einer ungepanzerten Kammer bei 2 J Ultrastrahlung und 2 J Umgebungsstrahlung vorübergehende Erhöhung der Ionisation bis zu 50% auftreten können; noch hinter einem Panzer von 50 g/cm² macht die Erhöhung bis zu 5% aus und erst hinter Filtern von 100 g/cm² wird auch dieser Störeffekt im allgemeinen unwirksam sein.

Während sich die Änderungen der Boden- und der Luftstrahlung durch Berücksichtigung der Bodenverhältnisse und der meteorologischen Bedingungen einigermaßen befriedigend erfassen lassen,

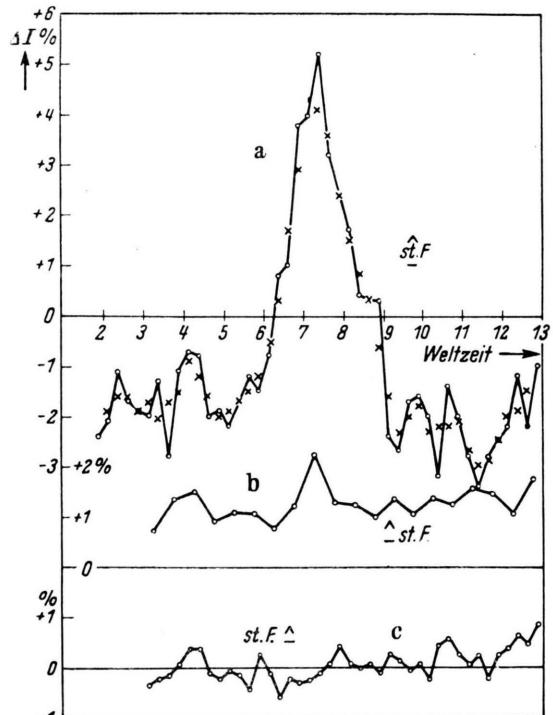


Abb. 1. Verlauf der Intensität bei einem Gewitter am 8. 9. 1951 06¹⁵—07¹⁵ WZ. (S. dazu auch Sittkus und Ganz³ mit einem ähnlichen Effekt am 8. 6. 1951, der sich ebenfalls durch Veränderung der Umgebungsstrahlung erklären läßt.)

- a) Ionisation hinter 55 g/cm² Bleipanzer (Sch 60, $\frac{1}{4}$ h-Werte —, lfd. $\frac{3}{4}$ h-Werte ×).
- b) Koinzidenzzahl eines ungepanzerten Zählrohrteleskopes mit 82° Öffnung (SchK 82, $\frac{1}{2}$ h-Werte).
- c) Ionisation hinter 100 g/cm² Eisenpanzer (Fr 500, $\frac{1}{4}$ h-Werte). Der radioaktive Niederschlag am Boden bewirkt in a einen Anstieg der Ionisation um 7%. Da die Bodenstrahlung nicht koinzidenzfähig ist, spricht das Teleskop b nicht darauf an. In c tritt wegen der starken Panzerung ebenfalls keine Wirkung auf. In a sind die Werte nach 9 hWZ wegen der absorbierenden Wirkung des gefallenen Niederschlages auf die Bodenstrahlung im Vergleich zu b und c unternormal.

⁴V. F. Heß, Die Ionisierungsbilanz der Atmosphäre aus Ergebnissen der kosmischen Physik Bd. 2. Akad. Verlagsges. Leipzig 1934, S. 95.

⁵Nur auf diese sollen sich die folgenden Betrachtungen beziehen.

liegen über den Einfluß der radioaktiven Ablagerungen von Niederschlägen nur sehr wenige Angaben vor^{2, 4, 6, 7}. Es war daher das Ziel der folgenden Untersuchung, besonders im Hinblick auf die in Freiburg laufenden Registrierungen der Ultrastrahlung, über diesen Einfluß einige orientierende Messungen durchzuführen. Hierzu wurden benutzt:

1. die Registrierungen einer 500-l-Hochdruckionisationskammer hinter 100 g/cm² Eisenpanzer in Freiburg i. Br., 240 m über N. N.,
2. die Registrierungen einer 60-l-Hochdruckionisationskammer hinter 55 g/cm² Bleipanzer in einer Meßhütte auf dem Schauinsland (1200 m), nahe bei Freiburg,

3. die Messungen eines 2-fach-Koinzidenzteleskopes vollständig ungepanzert mit den Öffnungswinkeln 82°, 45° und 22,5° unmittelbar neben der 60-l-Kammer,
4. die Messungen der Summe der Einzelimpulse der Zählrohrgruppen des Teleskopes,
5. die Ergebnisse von visuellen Ablesungen der Einzelimpulse einer Zählrohrgruppe und
6. Messungen der Aktivität von Regen- und Schneewasser in einem dünnwandigen Becherzähler von 10 cm³ Fassungsvermögen.

Zunächst wurde in mehreren Meßserien der Verlauf der Intensität in den verschiedenen Meßapparaturen bei Regenfällen untersucht (2 Beispiele in Abb. 1 und 2). Es zeigt sich, daß jeder Regen mehr oder weniger ausgeprägt eine Erhöhung der gemessenen Intensität hervorruft und daß Effekte in der oben abgeschätzten Größe und von mehreren Stunden Dauer gar nicht selten auftreten. Als besonders ergiebig erweisen sich dabei die Niederschläge aus abbauenden kontinentalen Hochdruckgebieten, in denen bei geringer Luftbewegung die lange Zeit über dem Festland liegende Luft sich stark mit Emanation und deren Folgeprodukten sättigen konnte. Sehr unergiebig sind Niederschläge aus

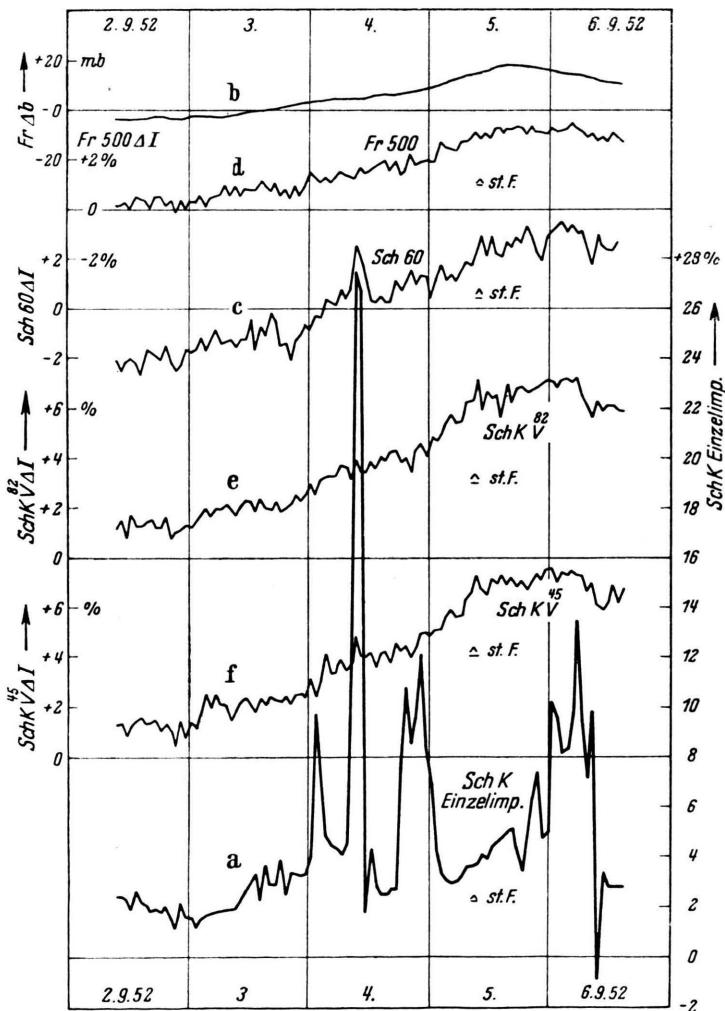


Abb. 2. Ausschnitt aus einer Registrierung von verschiedenen Apparaturen.

- a) Summe der Einzelimpulse der Zählrohrgruppen des Koinzidenzteleskopes
- b) Verlauf des Luftdruckes
- c) Ionisation hinter 55 g/cm² Bleipanzer
- d) Ionisation hinter 100 g/cm² Eisenpanzer
- e, f) Koinzidenzzahl eines ungepanzerten Zählrohrteleskops. In der Zeit vom 3. bis 6. 9. 1952 treten Schauerniederschläge auf. Die Veränderung der Umgebungsstrahlung wirkt sich in a voll aus und ist auch in c noch deutlich zu erkennen. Die stark gepanzerte Kammer d und die Koinzidenzanordnungen e und f zeigen keinen Effekt.

⁶ C. R. Wait u. A. G. McNish, Monthly Weather Review, 62, 1 [1943].

⁷ R. L. Doan, Physic. Rev. 49, 107 [1936].

frischer maritimer Luft, die von Westen einströmend bis zur Messung nur kurze Zeit über dem Festland verweilte. Der Verlauf der Zusatzstrahlung nach Aufhören des Niederschlages zeigt ein Abklingen der Effekte mit etwa 30' Halbwertszeit und deutet darauf hin, daß die Erhöhung der Intensität weitgehend bedingt ist durch die Folgeprodukte der Ra-Em, die aus der Luft ausgewaschen werden und deren Abnahme im wesentlichen durch den Abfall des RaB (Halbwertszeit 26,8') bestimmt wird. Eine genauere Festlegung der Anteile der Ra-Em- und der Th-Em-Reihe und eventueller anderer Beimengungen an den Zusatzeffekten ist aus diesen Messungen wegen der Veränderung der Bodenstrahlung durch Absorptionswirkung des gefallenen Niederschlages und möglicher Änderung des Anteils der Luftstrahlung während der Messung nicht möglich.

Es wurde deshalb in der Folgezeit dazu übergegangen, in einem dünnwandigen, gegen Umgebungsstrahlung gut abgeschirmten Becherzähler die Aktivität des Niederschlages unmittelbar zu untersuchen. Damit sollte auch eindeutig festgelegt wer-

den, daß bei den beobachteten Effekten die Ursache in einer Anreicherung des Niederschlages mit radioaktiven Stoffen zu suchen ist. Ein Beispiel einer solchen Messung ist in Abb. 3 gegeben. Es

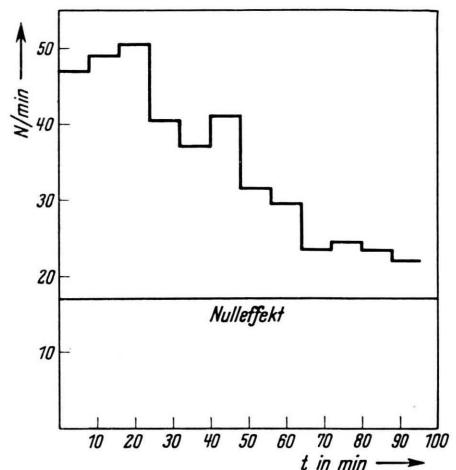


Abb. 3. Verlauf der Aktivität einer Regenprobe vom 30. 8. 1952 04⁵⁵ W.Z.



Abb. 4. Verlauf der Aktivität von Schneewasserproben am 20. 11. 1952 23^h W.Z.

⁸ E. Rutherford, J. Chadwick u. C. D. Ellis, Rad. from Radioactive Subst. Cambridge University Press 1930.

röhrt, von dem im Zähler praktisch nur das RaC wirkt⁹. Dagegen ist Ra-Em selbst im Niederschlag nicht nennenswert enthalten, d. h. also Ra-Em regnet, wie für dieses Gas zu erwarten, nicht bevorzugt aus, sondern es spielen nur die in der Luft schwebenden Folgeprodukte dabei eine Rolle.

Zur genaueren Festlegung der Zusammensetzung der radioaktiven Niederschlagsbeimengungen wurde eine Anreicherung durch Eindampfen von Regen- oder Schneewasser in salpetersaurer Lösung vorgenommen. Während eines Schneesturmes am 20. 11. 1952 23^h WZ wurde auf einer kleinen Auffangfläche eine Schneewasserprobe von 100 cm³ gewonnen, von einer größeren Fläche wurden in etwas längerer Zeit 1250 cm³ Wasser gewonnen. Beide Proben wurden mit 1 bzw. 10 cm³ Salpetersäure versetzt, zur mäßigen Trockene eingedampft, mit Säure zu 10 cm³ aufgenommen und im Becherzähler zur Messung gebracht. Das Ergebnis zeigt Abb. 4, wobei nach Abzug des Zählernulleffekts auf die Aktivität von 10 cm³ Schmelzwasser umgerechnet wurde. Der Abfall der Aktivität verläuft am Anfang so, wie es zu erwarten ist, wenn RaA, RaB und RaC in der Atmosphäre im Gleichgewicht mit Ra-Em stehen, dann durch Ausregnen abgetrennt und sich selbst überlassen werden, wobei im Zähler nur RaC zur Wirkung kommt. Die Radioaktivität klingt schließlich mit der längsten Halbwertszeit (RaB = 26,8') ab. Außer diesem, in der Wirkung überwiegenden Anteil der Ra-Em bleibt auch nach langer Zeit eine kleine Aktivität übrig, die bei nur geringer Meßgenauigkeit mit etwa 11^h abklingt. Diese Aktivität ist wohl einer schwachen Beimengung von Th-Em-Produkten zuzuschreiben. Beimengungen aus anderen Quellen radioaktiver Stoffe¹⁰ konnten bisher bei den etwa 40 Messungen im Zeitraum Juni 1952 bis Januar 1953 nicht festgestellt werden. Eine Festlegung, wieviel Ra-Em bzw. Th-Em-Atome für die beobachtete Intensität nötig sind, konnte noch nicht durchgeführt werden, da die Eichung des verwendeten Zählrohres noch aussteht.

Einige orientierende Messungen wurden weiterhin noch durchgeführt über die Abhängigkeit der Aktivität des Niederschlages von der Regen- bzw. Schneefall-dauer- und Stärke und von der Art der Luftmasse in

der der Niederschlag fällt. Hierfür bringt Tab. 1 ein Beispiel. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurde dabei folgendermaßen vorgegangen: Ein Auffanggefäß von etwa 1000 cm² Fläche wurde über grasbewachsenem Boden bzw. einer Schneedecke, so weit von der Meßhütte entfernt und so hoch aufgestellt,

Probennahme	Menge in 0,5 h	Aktivität pro 10 cm ³
1. 18 ¹⁵ —18 ⁴⁵ WZ	310 cm ³	13,0 ± 10%
2. 18 ⁴⁵ —19 ¹⁵	105	14,1
3. 19 ¹⁵ —19 ⁴⁵	90	15,4
Front- durchgang		
4. 19 ⁴⁵ —20 ¹⁵	100	23,5
5. 20 ¹⁵ —20 ⁴⁵	43	24,1
6. 20 ⁴⁵ —21 ¹⁵	42	20,1
7. 21 ¹⁵ —21 ⁴⁵	22	24,2
8. 21 ⁴⁵ —22 ¹⁵	15	24,5

Tab. 1. Aktivität von Niederschlag am 18. 12. 1952
(Art des Niederschlags: Schnee und Graupeln).

daß nur direkter Niederschlag aufgefangen wurde. Die Fangpfanne wurde halbstündlich entleert, der Niederschlag wenn nötig getaut, und das Wasservolumen bestimmt. Danach wurden 100 cm³, wenn die aufgefangene Menge größer war, sonst die gesamte Menge auf 10 cm³ eingeengt und im Becherzähler beginnend genau ½ Stde. nach dem Ende der Probeentnahme 25' lang gemessen. Die aus diesem Zeitraum erhaltene mittlere Impulszahl pro Min., bezogen auf 10 cm³ gefallenen Niederschlag, wurde als Aktivitätsmaß für den Niederschlag genommen. Am 18. 12. 52 lag folgende Wetterlage vor¹¹: Im Laufe des späten 17. 12. und frühen 18. 12. war „Grönländische Polarluft“ über dem Meßort eingeflossen, sie wurde am 18. 12. etwa 21^h WZ durch „Atlantische Tropikluft“ verdrängt. Es zeigt sich, daß der Niederschlag aus der Grönländischen Luft eine während der ganzen Zeit, in der sie zur Messung kam, bemerkenswert konstante, von der Regenmenge unabhängige Aktivität hatte; dasselbe gilt nach dem Frontdurchgang von der Atlantischen Tropikluft. Der Unterschied der Aktivität vor und nach dem Frontdurchgang erklärt sich dadurch, daß die Tropikluft auf ihrem Wege zum Meßort länger als die Polarluft über Festland geströmt ist und deshalb mehr Em aufgenommen hat. Das Meßergebnis zeigt, daß durch das Auswaschen der Radioaktivität das radioaktive Gleichgewicht zwischen Em und Folgeprodukten nur wenig gestört wird, sonst wären bei so großen Unterschieden in der Niederschlagsmenge

⁹ Ein überschlägiger Vergleich der Wirkung von RaB und RaC im Zähler berechtigt zu der Annahme, daß der Zähler im wesentlichen auf die Strahlung von RaC ansprechen wird. Ein genauer Vergleich soll später noch durchgeführt werden.

¹⁰ W. Herbst u. K. Philipp, Naturwiss. 40, 54 [1953].

¹¹ Täglicher Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes, Bad Kissingen.

größere Schwankungen der Aktivität zu erwarten gewesen. Das bedeutet, daß sicher nur ein kleiner Teil der vorhandenen Aktivität mit dem Niederschlag ausfällt. Weiter zeigt die Messung, daß es möglich ist, zwei verschiedene Luftmassen durch ihren verschiedenen Gehalt an natürlichen radioaktiven Beimengungen zu unterscheiden.

Die Untersuchung wurde mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen von Dauerregistrierungen der Ultrastrahlung durchgeführt, wofür wir auch an dieser Stelle danken möchten. Weiter sind wir dem Institutedirektor, Herrn Prof. Dr. Gentner, für seine andauernde Förderung der Arbeit zu Dank verpflichtet.

Die innere Dämpfung vorgespannter Medien

Von EDUARD SCHREUER

Aus dem Physikalischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe

(Z. Naturforschg. 8a, 322—328 [1953]; eingegangen am 31. Januar 1953)

Durch die formale Einführung einer Materialvorspannung in die Arbeitsbilanz periodischer Deformationen gelingt es, Frequenz- und Amplitudenabhängigkeit der inneren Dämpfung in guter Übereinstimmung mit der Erfahrung elementar zu berechnen. Dabei wird nur eine einzige diskrete Relaxationszeit angenommen. Die Vorspannung läßt sich als Oberflächenspannung physikalisch deuten.

Die Zahl der experimentellen Untersuchungen über das Verhalten der inneren Dämpfung von periodisch beanspruchten Werkstoffen aller Art, insbesondere auch der Kunststoffe, bei denen eine offensichtliche Zeitabhängigkeit der elastischen Grundkonstanten vorliegt, ist in den letzten Jahren sehr gewachsen. Sie haben eine verwirrende Fülle von Beobachtungsmaterial geliefert, für das eine einheitliche theoretische Deutung noch nicht gefunden werden konnte. Die gewohnte theoretische Behandlung der Relaxationserscheinungen ergibt für lineare Systeme — sofern ein „Zusammenhaltsmechanismus“ mit einer einzigen diskreten Relaxationszeit zugrunde gelegt ist — über einer logarithmisch geteilten Frequenzachse immer einen S-förmigen Verlauf der Elastizitäts-, „Konstanten“ und einen ihm streng zugehörigen glockenförmigen Verlauf der Dämpfung, unabhängig von der Amplitude der Beanspruchung. Die zahlreich zu beobachtenden Abweichungen von diesem als ideal vorgestellten Dämpfungsverhalten werden gewöhnlich auf eine Nichtlinearität der Kraft-Formbeziehung zurückgeführt bzw. der Existenz eines mehr oder weniger verschmierten Spektrums von Relaxationszeiten zugeschrieben.

Die Schwierigkeiten der Deutung experimentell gefundenen Dämpfungsverhaltens haben andererseits Veranlassung gegeben, zu seinem Verständnis mechanische Beispiele heranzuziehen und die

Schwingungseigenschaften von allerlei Modellen und ihren möglichen Kombinationen zu untersuchen¹.

Dennoch konnte es geschehen, daß ein zweifellos einheitlicher physikalischer Vorgang — das Auftreten eines Dämpfungsmaximums über der Temperaturachse — theoretisch nur dadurch befriedigend rekonstruiert werden konnte, daß für die beiden Flanken dieses Maximums zwei grundsätzlich verschiedene Modellvorstellungen zugrunde gelegt wurden².

Im folgenden soll nun versucht werden zu zeigen, daß unter Annahme der einfachen Maxwell-Kuhnschen Vorstellung von der zeitlichen Veränderlichkeit elastischer Grundkonstanten nicht nur die Frequenz- bzw. Temperaturabhängigkeit der inneren Dämpfung befriedigend gedeutet wird, sondern daß auch die Abhängigkeit des Dämpfungsverlaufes von der Amplitude der Beanspruchung in deutlicher Übereinstimmung mit der Erfahrung abgeleitet werden kann.

Dies gelingt nun freilich nur unter einer besonderen Voraussetzung, die in den gebräuchlichen Modellen *nicht* zum Ausdruck kommt: Es müssen in der Arbeitsbilanz des Vorganges neben den zur Deformation benötigten Wechselspannungen auch konstante innere oder äußere Materialspannungen, hier Vorspannungen genannt, berücksichtigt werden. Tatsächlich wird es unter dieser Voraussetzung mög-

¹ K. Wolf, Kunststoffe 41, 89 [1951]; E. Klein und E. Jenckel, Z. Naturforschg. 7a, 305 [1952] u. a.

² E. Jenckel u. E. Klein, Z. Naturforschg. 7a, 619 [1952].