

Über physikalische Methoden im chemischen Laboratorium. IX. Die Verwendung von Radioelementen als Indikatoren.

Von Prof. FRITZ PANETH, Berlin.

(Eingeg. 14. Januar 1929.)

1. Das Prinzip der Methode.

Die Verwendung der Radioelemente als Indikatoren ist ein spezielles Kapitel aus der Lehre von der Radioaktivität, welches sich von allen anderen dadurch unterscheidet, daß hier die Radioelemente nicht der Gegenstand der Untersuchung sind, sondern nur ein Hilfsmittel zur Lösung von Problemen, die im allgemeinen nichts mit Radioaktivität zu tun haben. Diese Probleme können der Chemie, der Physik, oder auch der Biologie angehören, und man darf erwarten, daß die Anwendung der Radioelemente als Indikatoren um so allgemeiner werden wird, je besser gerade die Nicht-radiologen mit den Vorteilen dieser Methodik vertraut werden. Da, wie aus den folgenden Beispielen hervorgehen wird, sehr verschiedene Zweige der Chemie von radioaktiven Indikatoren Nutzen ziehen können, dürfte ein kurzer Hinweis auf die Verwendbarkeit dieser „physikalischen Methode im chemischen Laboratorium“ im Rahmen der vorliegenden Aufsatzreihe am Platze sein.

Zum Verständnis und sogar zur praktischen Anwendung der Methode sind nur elementare Kenntnisse auf dem Gebiete der Radioaktivität notwendig. Sie beruht auf der außerordentlichen Empfindlichkeit der radioaktiven Messungen und auf den chemischen Beziehungen der Radioelemente zu den gewöhnlichen Elementen.

Was den ersten Punkt betrifft, so ist es allgemein bekannt, daß mit Hilfe eines Elektroskops unsichtbare und unwägbare Mengen radioaktiver Substanzen festgestellt und quantitativ bestimmt werden können. Von dem Radioelement Thorium C z. B., welches sehr häufig als Indikator Anwendung finden kann, sind bereits 10^{-17} g für eine genaue quantitative Untersuchung ausreichend. Nun ist Thorium C Isotop mit gewöhnlichem Wismut. Da Isotope identische chemische Eigenschaften besitzen, kann man stets das Radioelement an Stelle seines inaktiven Isotops benutzen, um über die Reaktionen des Elements Aufschlüsse zu bekommen. In dieser Weise kann also das chemische Verhalten von Wismut in extrem verdünnten Lösungen durch das Studium von Thorium C ergründet werden. In einzelnen Fällen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, eine bestimmte Menge des Radioelementes mit einer Probe des inaktiven Elementes zu vermischen, um dadurch minimale Bruchteile dieser Probe, die sich sonst jedem Nachweis entziehen würden, mit Hilfe des Elektroskops bestimmbar zu machen; Beispiele, in denen derartige unwägbare Bruchteile durch den Prozeß der Diffusion, Lösung oder Verdampfung abgetrennt worden sind, werden weiter unten besprochen werden. Durch geeignete Wahl des Mischungsverhältnisses zwischen dem inaktiven Element und dem Radioelement ist es möglich den ganzen Bereich zu überbrücken, von Mengen, die nur mit Hilfe eines Elektroskops entdeckt werden können, bis zu solchen, die bequem wägbare sind.

Bei der Auswahl des zum Indikator geeigneten Radioelementes ist es im allgemeinen wünschenswert eines zu finden, das in möglichst geringen Mengen nach-

gewiesen werden kann. Doch ist hierbei zu beachten, daß die Halbwertszeit (T) sich umgekehrt proportional mit der Stärke der Strahlung ändert, und daß ein Element, das in geringen Mengen meßbar ist, notwendigerweise eine kurze Halbwertszeit besitzt. Aus diesem Grunde wäre es niemals möglich, etwa Radium C' (T = 10^{-7} Sek.), oder das noch stärker aktive Thorium C' (T = 10^{-11} Sek.) als Indikatoren zu verwenden. Auch die drei einzigen Indikatoren, die für das Element Thallium zur Verfügung stehen, sind für eine Anzahl von Experimenten bereits zu kurzlebig.

Daher kann man für die uns hier interessierenden Zwecke nicht alle jene Radioelemente heranziehen, die in den bekannten Listen radioaktiver Isotope aufgeführt sind. Nur jene, die in der folgenden Tabelle stehen, können praktische Anwendung finden; die am meisten zu empfehlenden sind kursiv gedruckt. Bei jedem Radioelement ist seine Halbwertszeit (T) angegeben.

Radioaktive Indikatoren.

Ordnungszahl	Element	Indikator
81	Thallium	Radium C' T=1,32 Min. Thorium C' 3,20 Min. Aktinium C' 4,76 Min.
82	Blei	Radium B 26,8 Min. Radium D 16,0 Jahre Thorium B 10,6 Std. Aktinium B 36,0 Min.
83	Wismut	Radium C 19,7 Min. Radium E 4,85 Tage Thorium C 60,8 Min. Aktinium C 2,16 Min.
84	Polonium T=137 Tage	Radium A 3,05 Min.
86	Radon 3,83 Tage	Thoron 54,5 Sek. Aktinon 3,92 Sek.
88	Radium 1580 Jahre	Thorium X 3,64 Tage Aktinium X 11,2 Tage
89	Aktinium 20 Jahre	Mesothorium 2 6,13 Std.
90	Thorium $1,65 \cdot 10^{10}$ Jahre	Ionium 7,6 $\cdot 10^4$ Jahre Radiothorium 1,90 Jahre Radioaktinium 18,9 Tage Uran X ₁ 23,8 Tage
91	Protaktinium $1,2 \cdot 10^4$ Jahre	Uran X ₂ 1,17 Min.

Auch Radioelemente wie Ionium, Uran X₁ und Uran X₂, die keine inaktiven Isotope besitzen, sind häufig von Nutzen, um die Stärke der Strahlung ihrer zwar schon selber radioaktiven, aber länger lebenden und darum weniger aktiven und schwieriger meßbaren Isotope zu erhöhen. So ist z. B. Uran X₁ in der Tabelle als ein brauchbarer Indikator für Thorium genannt. In derselben Weise kann Thorium X als Indikator für Radium und Radium A als Indikator für Polonium Anwendung finden. Aber auch Radium und Polonium selber können bei manchen Untersuchungen „als Indikatoren“ dienen, denn wenn im engeren Sinne auch die Verwendung der Radioelemente „als Indikatoren“ so verstanden wird, daß sie sich nur auf Experimente bezieht, in denen ein Radioelement die Stelle seines aktiven oder inaktiven Isotops vertritt, so kann im weiteren Sinne dieser Aus-

druck doch auch für alle jene Versuche verwendet werden, bei denen ein Radioelement als Hilfsmittel dient zur Untersuchung des Verhaltens von Materie in minimaler Menge.

2. Beispiele für die Anwendbarkeit der Methode.

Besser als eine allgemein gehaltene Diskussion der Anwendungsmöglichkeiten dürfte eine kurze Aufzählung von Fällen, in denen Radioelemente bereits erfolgreich als Indikatoren benutzt worden sind, zum Verständnis beitragen.

Aus der großen Zahl von Versuchen auf dem Gebiete der analytischen Chemie möge zunächst ein besonders einfaches Beispiel erwähnt werden. Die Löslichkeit von Bleichromat bei Zimmertemperatur ist zu gering, um mit gravimetrischen Methoden genau bestimmt zu werden. Wohl ist es möglich, Leitfähigkeitsversuche heranzuziehen oder das Löslichkeitsprodukt aus Gleichgewichtskonstanten zu berechnen; bei Konzentrationen, die so tief liegen, wie die der gesättigten Lösung von Bleichromat, sind aber beide genannten Verfahren umständlich und manchen Fehlerquellen ausgesetzt. Dagegen kann man mit Hilfe eines radioaktiven Indikators die Löslichkeit von Bleichromat ebenso glatt wie mit einer einfachen Wägung bestimmen.

Zu diesem Zweck gibt man zu einer bestimmten Menge eines löslichen Bleisalzes eine bestimmte Quantität von Thorium B. Die Radioaktivität dieser Substanz kann in jeder beliebigen Einheit gemessen werden, z. B. in Zahl der Skalenteile pro Minute an dem benutzten Elektroskop. Wurden z. B. 10 000 solcher Einheiten Thorium B gründlich gemischt mit 10 mg Blei, so ist klar, daß dann eine Einheit Thorium B notwendig immer die Gegenwart von 0,001 mg Blei anzeigt. Nun kann man nach den gewöhnlichen chemischen Methoden aus diesem künstlich aktivierten Blei das Chromat herstellen. Hat man dann die gesättigte Lösung dieser Verbindung genügend lang in einem Thermostaten bei der gewünschten Temperatur gehalten, so kann man ihre Konzentration dadurch bestimmen, daß man ein paar Kubikzentimeter der Lösung zur Trockne eindampft und im Elektroskop die Aktivität des beinahe unsichtbaren Rückstandes mißt.

In diesem einfachsten Beispiel dient das Radioelement (Thorium B) als Indikator direkt für das zu bestimmende Element (Blei). Wie in letzter Zeit R. Ehrenberg in einer Reihe von Arbeiten gezeigt hat, läßt sich der Anwendungsbereich der radioaktiven Methode in der analytischen Chemie noch beträchtlich erweitern, wenn das Element (Blei), welches durch das Radioelement (Thorium B) indiziert wird, seinerseits nur das Reagens auf den interessierenden Stoff (z. B. auf Ammoniak) ist. Diese „radiometrische Mikroanalyse“ hat es Ehrenberg z. B. ermöglicht, eine Bestimmung des Stickstoffgehalts organischer Substanzen in der Größenordnung von Zehntausendstel Milligrammen durchzuführen. Die Verbrennung der organischen Substanz mit Schwefelsäure und die Destillation des gebildeten Ammoniaks aus Natronlauge ist im wesentlichen dieselbe wie bei dem bekannten Mikrokjeldahl-Verfahren, nur daß entsprechend der angestrebten höheren Empfindlichkeit einige besondere Vorsichtsmaßregeln getroffen werden müssen. Das überdestillierende Ammoniak wird in einer definierten (aber nicht radioaktiv indizierten) Lösung von Bleinitrat aufgefangen; das ausfallende Bleihydroxyd wird abzentrifugiert, und nunmehr in aliquoten Teilen der Lösung das nicht ausgefällte Blei mit Hilfe einer radioaktiven Indikatormethode bestimmt. Dies geschieht in der Weise,

daß je 1 ccm der vom Niederschlag abzentrifugierten Lösung mit 0,5 ccm radioaktiv indizierter $n/1000$ -Bleinitratlösung beschickt und sodann mit 0,5 ccm $n/1000$ -Kaliumchromatlösung gefällt wird. Aus der Grundtatsache der Isotopie folgt, daß die Indikatorsubstanz Thorium B, welche mit den 0,5 ccm Bleinitratlösung zugesetzt worden ist, sich zwischen Niederschlag und Lösung nach Maßgabe der vorhandenen Menge des gesamten Bleis verteilen wird, daß also um so mehr Aktivität in der Lösung bleiben wird, je mehr Blei in der zu bestimmenden Bleilösung vorhanden, d. h. je weniger Ammoniak in sie eingeleitet worden ist. Durch Überdestillieren bekannter Ammoniakmengen kann bei Einhaltung stets gleicher Versuchsbedingungen das Elektroskop direkt auf Ammoniak geeicht werden. Die von Ehrenberg erhaltenen Resultate sind so genau, daß seine Hoffnung nicht unbegründet scheint, durch diese Verbindung eines Mikrokjeldahl mit der Methode der radioaktiven Indikatoren die Stickstoffbestimmung in kleinsten Untersuchungsobjekten, wie Einzellern, Keimen und Bakterien mit wesentlich erhöhter Genauigkeit durchführen zu können. — In ähnlicher Weise hat Ehrenberg u. a. ein Verfahren zur Bestimmung kleinster Mengen von Kohlensäure ausgearbeitet, das an die Elementaranalyse angeschlossen werden kann.

Wenn die Methode der radioaktiven Indikatoren im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts bekannt gewesen wäre, hätte sie der damals neuen Theorie der elektrolitischen Dissoziation in ihrem Kampf um Anerkennung eine wichtige Waffe liefern können. Denn die Tatsache der Dissoziation und des gegenseitigen Austauschs der Ionen läßt sich mit Hilfe von Radioelementen, die in der eben beschriebenen Weise mit ihren inaktiven Isotopen vermischt worden sind, direkt beweisen, und man kann zeigen, daß gerade jene Atome oder Radikale, die die elektrolytische Dissoziationstheorie als frei beweglich annimmt, ihre Plätze nicht in bestimmten Atomen behalten, sondern sich zwischen verschiedenen Molekülen hin und her bewegen. Wenn man z. B. äquimolekulare Mengen von inaktivem Bleichlorid und von radiochemisch indiziertem Bleinitrat in wässriger Lösung miteinander vermischt, und das Bleichlorid dann wieder auskristallisieren läßt, findet man, daß die aktiven Bleiatome sich proportional zwischen Chlorid und Nitrat verteilt haben, also in der Lösung vom Bleinitrat zum Bleichlorid — und zurück — gewandert sind, bis sich ein kinetisches Gleichgewicht eingestellt hat.

Des weiteren haben Radioelemente sich bei der Messung der Oberfläche von gepulverten Adsorbentien als sehr nützlich erwiesen. Die Ausdehnung der Oberfläche muß immer dann bekannt sein, wenn man entscheiden will, ob die adsorbierte Schicht die Dicke von einem oder von mehreren Molekülen erreicht, eine Frage, die von den verschiedenen Adsorptionstheorien in verschiedener Weise beantwortet worden ist. Aber gerade in dem Fall von Pulvern, die wegen ihrer relativ sehr großen Oberfläche mit Vorliebe als Adsorbentien verwendet werden, waren die Versuche zur Festlegung der Größe ihrer Oberfläche gescheitert. Wenn man nun in der Lage ist, als Adsorptionsmaterial Verbindungen jener Elemente zu wählen, die ein radioaktives Isotop besitzen, wird sofort eine zweckmäßige und einfache Methode zur Oberflächenbestimmung anwendbar. Sie beruht auf der Tatsache, daß das Radioelement, wenn es zur gesättigten Lösung des Isotopen, pulverförmigen Adsorbens hinzugefügt wird, sich in sehr kurzer Zeit gleichmäßig verteilen muß zwischen den Molekülen des gelösten Teiles des Ad-

sorbenz und denen der obersten Schicht des ungelösten Anteils des Pulvers. Auf diesem Wege kann aus der Abnahme der Radioaktivität der Lösung die Ausdehnung der Oberfläche des Pulvers leicht berechnet werden. In solcher Weise wurde die Oberfläche von Bleisulfat und Bleisulfid, von Wismutphosphat und von anderen Verbindungen mehr gemessen, und mit Hilfe der erhaltenen Daten war es möglich die Tatsache zu beweisen, daß bei allen diesen Adsorbenzien die Grenze der Adsorption erreicht ist, sobald der adsorbierte Stoff darauf eine Schichte von der Dicke nur eines Moleküls gebildet hat.

Aus dem Gebiete der anorganisch-präparativen Chemie mag die Entdeckung des gasförmigen Wismutwasserstoffs mit Hilfe des isotopen Radioelements erwähnt werden. Aus vielen vergeblichen Arbeiten mußte man schließen, daß diese Verbindung, wenn sie überhaupt dargestellt werden kann, nur in verschwindend kleinen Bruchteilen des Ausgangsmaterials erhalten werden würde, und sich darum den üblichen chemischen Nachweismethoden leicht würde entziehen können. Die radioaktiven Meßvorrichtungen lassen sich aber so abstufen, daß noch der zehnmillionste Teil des Ausgangsmaterials qualitativ und quantitativ gefaßt werden kann. Diese gewaltige Ausdehnung des Meßbereiches ist notwendig, wenn die Kondensation und Wiederverflüchtigung des Wismutwasserstoffs studiert werden soll; die Tatsache seiner Existenz kann aber mit relativ einfachen Mitteln, ja sogar als Vorlesungsexperiment, gezeigt werden. Magnesiaspäne, die mit den Wismut-Isotopen Thorium C oder Radium C bedeckt sind, geben bei der Zersetzung mit verdünnter Salzsäure die flüchtigen Hydride dieser Radioelemente, die bei der Temperatur der flüssigen Luft kondensiert oder in einer heißen Glasröhre zersetzt und gemessen werden können. Nachdem mit der eben beschriebenen radioaktiven Methode Erfahrungen über die beste Darstellungsart und über die Beständigkeit des Wismutwasserstoffs gesammelt worden waren, hat sich das alte Ziel erreichen lassen, diese Verbindung auch aus inaktivem Wismut herzustellen, indem in ähnlicher Weise eine Magnesium-Wismut-Legierung durch Salzsäure zersetzt wurde. Es sei erwähnt, daß die Wismutmenge, an der zuerst die Existenz dieser flüchtigen Verbindung erkannt wurde, nur 10^{-15} g betrug, und daß es sich als möglich gezeigt hat, mit Hilfe radioaktiver Indikatoren auch die Existenz von gasförmigem Blei- wasserstoff nachzuweisen, der sich in noch geringerer Ausbeute bildet. Auch hier war der radioaktive Beweis ein Antrieb zu Versuchen mit gewöhnlichem Blei, die schließlich auch zur Darstellung der inaktiven Wasserstoffverbindung führten.

Es dürfte kaum zweifelhaft sein, daß radioaktive Indikatoren gelegentlich auch bei technologischen Untersuchungen von Vorteil sein können, wenn sie auch bisher häufiger auf wissenschaftliche Probleme angewendet worden sind. Eine Frage technischer Art war die Prüfung gummierter Stoffe auf ihre Gasdurchlässigkeit. Als während des Krieges im Zusammenhang mit der Auswahl des zweckmäßigsten Materials für Gasmasken die Aufgabe gestellt wurde, die Durchlässigkeit der Stoffproben, die von verschiedenen Firmen angeboten waren, numerisch zu bestimmen, hat es sich als praktisch erwiesen, als Prüfungsgas Luft zu verwenden, die mit einer Spur von Radon (Radium-Emanation) versetzt war. Der Bruchteil des Gases, der durch die Stoffprobe hindurchging, konnte dann elektroskopisch festgestellt werden.

Eine beträchtliche Anzahl physikalischer Probleme kann mit Hilfe radioaktiver Indikatoren gelöst werden.

Unter diesen ist die experimentelle Untersuchung der „Selbst-Diffusion“ von besonderer Bedeutung. Man versteht darunter die von der kinetischen Theorie der Materie vorausgesagte Tatsache, daß die Atome eines homogenen Gases oder einer Flüssigkeit sich untereinander nach denselben Gesetzen bewegen, die für den Fall der Diffusion eines Elementes in ein anderes gelten. Da bei der Selbstdiffusion aber die äußeren Eigenschaften des untersuchten Elementes völlig unverändert bleiben, konnte dieser Prozeß früher nur als ein „Gedanken-Experiment“ ausgeführt werden. Erst v. Hevesy, von dem zahlreiche Versuche mit radioaktiven Indikatoren herrühren, ist es gelungen, den Vorgang der Selbstdiffusion der Beobachtung zugänglich zu machen. Er schmolz in eine Hartglasröhre einen Bleizylinder ein, von dem drei Viertel aus gewöhnlichem, und ein Viertel aus aktiviertem Blei bestanden; für kurz dauernde Experimente wurde als Indikator Thorium B verwendet, während für länger ausgedehnte Versuche das langlebige Radium D gewählt wurde. Wenn nun das Blei in der Röhre vorsichtig geschmolzen und mehrere Tage auf dieser Temperatur gehalten wurde, war es möglich, nach der Wiedererstarrung die Verteilung der Aktivität zu untersuchen, die sich während der Versuchsdauer in der Bleisäule hergestellt hatte. In diesem Falle sind gekennzeichnete Bleiatome zwischen andere Bleiatome hineindiffundiert, und die Konstante der Selbstdiffusion konnte nach den üblichen Methoden berechnet werden.

Unter anderen Anwendungen zu physikalischen Untersuchungen, die hier nur ganz kurz erwähnt werden können, befindet sich die Bildung von Legierungen bei tiefen Temperaturen, die Lösungsgeschwindigkeit außerordentlich dünner Schichten, die Verdampfungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Menge der flüssigen Phase, und die Diffusion in unendlich verdünnten Lösungen.

Da in letzter Zeit aus therapeutischem Interesse die Möglichkeit eines Ersatzes von Arsen durch Wismut in einer großen Anzahl von Verbindungen untersucht worden ist, war es für die Physiologen von Wichtigkeit, zu erfahren, in welchem Verhältnis das eingeführte Wismut in den verschiedenen Organen des Körpers sich ansammelt, oder durch Urin oder Fäces ausgeschieden wird. Da es sich immer um sehr geringe Mengen handelt, kann die Bestimmung am besten mittels radioaktiver Methoden erfolgen. Als Indikator für Wismut wurde an Stelle des gewöhnlich verwendeten Thorium C Radium E gewählt, weil sich die Versuche über mehrere Tage erstreckten. Das Radium E wurde mit den Wismutverbindungen vermischt und den zu den Experimenten benutzten Meerschweinchen intramuskulär injiziert. Die Ausscheidungsprodukte wurden verascht und die Asche elektroskopisch gemessen, und nach Abschluß der Versuchsreihe die Organe des Tieres in derselben Weise behandelt. Aus der erhaltenen Tabelle, die die genaue Verteilung des Wismuts darstellt, kann man den Schluß ziehen, daß die Ansammlung dieses Elementes mit Vorliebe in den Nieren erfolgt. Analoge Experimente mit Bleiverbindungen zeigten eine bevorzugte Absorption in der Leber. In ähnlicher Weise wurde die Absorption und Verteilung von Blei in Wurzeln, Blättern und Früchten von Pflanzen untersucht.

Endlich sei noch eine Verwendung radioaktiver Indikatoren zur Bestimmung der Blutmenge lebender Tiere erwähnt, die von Ehrenberg an Kaninchen ausprobiert worden ist.

Etwas defibriniertes Blut des Tieres wurde mit einer schwach alkalischen Lösung von Thorium B versetzt und ein genau bekanntes Volumen davon dem Tier in eine Vene eingespritzt. Dieses aktive Blut vermischt sich sehr rasch so gleichmäßig mit dem Blut des gesamten Kreislaufs, daß man schon nach wenigen Minuten aus der Aktivität, die das aus einer Arterie entnommene Blut zeigt, berechnen kann, auf eine wie große Flüssigkeitsmenge sich das eingeführte mit Thorium B versetzte Blut verteilt hat, also wie groß die am Kreislauf beteiligte Gesamtmenge Blutes in dem Tier ist.

Diese ausgewählten Beispiele dürften genügen, um zu zeigen, daß die Methode der radioaktiven Indikatoren vielseitiger Anwendung fähig ist. Es ist zu hoffen, daß in Zukunft eine immer steigende Zahl von Forschern sich ihrer bedienen und sich dadurch die Lösung vieler Probleme erleichtern wird.

3. Präparate und Instrumente.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, eigens zu betonen, daß die apparativen Erfordernisse für die Durchführung solcher Experimente durchaus nicht besonders hohe Kosten verursachen. Wie aus den obigen Beispielen ersichtlich, ist die Mehrzahl aller Untersuchungen mit Thorium B oder Thorium C als Indikatoren ausgeführt worden. Diese beiden Substanzen sind selber recht kurzlebig ($T_{\text{ThB}} = 10,6$ Std.; $T_{\text{ThC}} = 60,5$ Min.), und die in den einzelnen Versuchen verbrauchten radioaktiven Substanzmengen repräsentieren daher praktisch keinen Geldeswert; denn diese Mengen werden vor jedem Experiment frisch gewonnen aus der Muttersubstanz Radiothor, die selber vollständig unverändert bleibt und nur entsprechend ihrer Halbwertszeit ($T = 1,90$ Jahre) zerfällt. Da eine Quantität Radiothor, deren γ -Strahlung der von 1 mg Radium äquivalent ist, eine zu fast allen Indikatorversuchen reichlich genügende Menge von Thorium B und Thorium C liefert, und diese Menge immer 24 Stunden nach der Entnahme wieder

zum größten Teil nachgebildet ist, kann man mit 1 mg Radiothor mehrere Jahre hindurch täglich einen Indikatorversuch sowohl mit Thorium B wie mit Thorium C machen. 1 mg Radiothor kostet gegenwärtig ungefähr 100 Mark. Bei sehr vielen Versuchen wird man auch mit wesentlich geringeren Radiothormengen das Auslangen finden; andererseits gibt es natürlich auch Experimente, bei denen größere Aktivitäten erwünscht sind, ebenso wie sich auch gelegentlich die Heranziehung anderer und schwerer zugänglicher Indikatoren, wie etwa Radium D oder Radium E, nicht vermeiden läßt.

Auch die Kosten für das zu den Messungen notwendige Instrument können in der Regel sehr gering gehalten werden. Ein einfaches Elektroskop, das für fast alle Zwecke völlig ausreichend ist, kann von jedem Institutsmechaniker aus billigem Material (Messingblech, Schwefel, Ebonit usw.) hergestellt werden. Eine Anleitung dazu findet sich z. B. im „Handbuch der Arbeitsmethoden in der anorganischen Chemie“ (2. Band, 2. Hälfte, de Gruyter 1925, S. 1041) in einem Artikel von Paneth und Bothe, der auch über die Gewinnung aller als Indikatoren verwendeten Radioelemente sowie über das — sehr rasch erlernbare — Meßverfahren nähere Angaben bringt. Etwas ausführlicher werden die Meßmethoden behandelt und Bezugsquellen für die käuflichen Elektrometer-Typen angeführt im Beitrag derselben Autoren im „Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physikochemischer Messungen“ von Ostwald-Luther-Drucker (Akademische Verlagsgesellschaft [1925], S. 643).

Die Literaturnachweise für die meisten der oben erwähnten Experimente sind zu finden in dem eben genannten Artikel im „Handbuch der Arbeitsmethoden“. Die neuen Arbeiten von Ehrenberg sind erschienen in der Biochem. Ztschr. 164, 183 [1925], 172, 10 [1926], 183, 63 u. 68 [1927], 197, 467 [1928], in der Ztschr. ges. exp. Medizin 56, 466 [1927], und in der Klin. Wchschr. 7, 847 [1928]. [A. 7.]

Zur Kenntnis des Jodes in Boden und Pflanze.

Von Dr. R. KÖHLER, Berlin.

Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin.

(Eingeg. 15. November 1928.)

Von den verschiedensten Seiten sind im letzten Jahrzehnt Veröffentlichungen über das Jod, und zwar vor allem über seine biogenen Eigenschaften, herausgegeben worden. Alle diese Arbeiten haben letzten Endes ihren Ursprung in dem Bestreben, Wege zu finden, um den besonders der Bevölkerung der Schweiz und Österreichs drohenden Gefahren vorzubeugen, zumal auf Grund mannigfacher Versuche sich die Möglichkeit nicht von der Hand weisen ließ, daß das in der gesamten Natur seltenere Element Jod mit der Erscheinung des Kropfes in irgendeiner Beziehung steht. In Deutschland¹⁾ selbst nahmen die Kropferkrankungen hauptsächlich seit dem Weltkrieg mehr und mehr überhand, wobei besonders die Bewohner der höhergelegenen Landschaften, namentlich Süddeutschlands, davon befallen sind.

Die bisherigen Arbeiten beschäftigten sich teils mehr rein chemisch mit dem qualitativen und quantitativen Nachweis des zumeist in äußerst geringen Mengen vorhandenen Jods unter Zuhilfenahme verschie-

dener Arbeitsmethoden, teils behandelten sie die wichtige Frage der Jodaufnahme seitens der Pflanzen.

Weiter lassen die vor allem auch von medizinischer Seite angestellten Untersuchungen heute wohl mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß die pathologische Erscheinung der Schilddrüsenvergrößerung, der endemische Kropf und weiterhin der Kretinismus mit einer mangelnden Jodaufnahme des Körpers in Verbindung zu bringen sind, daß aber auch noch andere Faktoren, zum Teil individueller Natur, wenn auch erst in zweiter Linie, eine Rolle spielen. Dabei ist der Kropf aufzufassen als eine Reaktion der Schilddrüse auf eine zu geringe Jodaufnahme durch die Nahrung. Die Schilddrüse kann nur normal arbeiten bei einer täglichen Jodzufuhr von 0,04–0,08 mg; sinkt das Jodniveau längere Zeit unter 0,04 mg Jod täglich, so ist hierdurch ein Anlaß zu Kropfendemien gegeben.

Fast gleichzeitig mit der Erkenntnis dieser Tatsachen trat eine weitere wichtige Frage an die Wissenschaft heran. Es handelte sich nunmehr darum, zu untersuchen, in welcher Form und in welcher Menge dem Körper das prophylaktisch wichtige Jod zuzuführen ist. Die beteiligten Länder haben auf verschiedenem Wege diese Frage zu lösen versucht. So stellt man in der

¹⁾ Veröffentlichungen aus dem Gebiete der Medizinalverwaltung Bd. 23, 1927 Heft 6 (Sitzungsbericht des Landesgesundheitsrates am 19. Juni 1926).