

Physikalische und chemische Grundlagen der Radioaktivität im Hinblick auf die Gewässerüberwachung

Engelbert Broda

Es sei über einige physikalische und chemische Grundlagen der Radioaktivität berichtet, die vom Standpunkt des Abwasserfachmannes aus von Bedeutung sind.

Wir nehmen an, daß die Atome sozusagen kleine Planetensysteme darstellen. In der Mitte befindet sich der Atomkern, der ausschließlich aus Protonen und Neutronen zusammengesetzt ist. Um diesen Kern kreisen die Elektronen, die durch elektrische Kräfte festgehalten werden. Die Elektronen innerhalb der Atome sind immer negativ geladen, die Protonen immer positiv geladen; daher wirkt eine Coulombsche Anziehungskraft zwischen dem Atomkern und den Elektronen.

Während die Elektronen für die chemischen Kräfte zwischen den Atomen maßgeblich sind, erfolgen die radioaktiven Umwandlungen innerhalb der Atomkerne. Die Atomkerne können nämlich entweder stabil oder instabil sein. Solange ein Atomkern keiner Umwandlung unterliegt, verhält er sich allerdings genauso, wie sich ein stabiler Kern gleicher Zusammensetzung verhalten würde. Man kann also einem Atomkern, solange er nicht einem radioaktiven Zerfall unterliegt, nicht ansehen, ob er stabil oder instabil ist. Die spontanen Umwandlungen der instabilen Atomkerne werden als die radioaktiven Reaktionen bezeichnet.

Der einzelne radioaktive Kern muß also früher oder später einer solchen Umwandlung unterliegen. Man kann allerdings nicht vorhersehen, wann dies eintreten wird. Es sind hier die Gesetze der Wahrscheinlichkeit oder — wie man auch sagt — die Gesetze der Statistik maßgebend. Wir müssen also in dieser Hinsicht auf die radioaktiven Erscheinungen ähnliche Betrachtungen wie im praktischen Leben anwenden. Denken wir zum Beispiel an Probleme der Wettervorhersage. Die Meteorologen können uns auf Grund ihrer Aufzeichnungen mitteilen, daß in Wien eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß an einem beliebigen Augusttag ein Hagelschlag stattfinden wird. Diese Wahrscheinlichkeit ergibt sich auf Grund der Erfahrung. Wenn sich das Klima nicht ändert, kann man auch annehmen, daß eine ebensolche Wahrscheinlichkeit für einen Hagelschlag

auch in der Zukunft maßgeblich sein wird. Man kann aber auf Grund einer solchen Betrachtung nicht vorhersehen, ob es an einem bestimmten Augusttag, den wir willkürlich herausgreifen, tatsächlich hageln wird.

Genauso steht es mit dem Zerfall der Atomkerne. Wir wissen zwar, daß ein Atomkern des Urans mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit innerhalb der nächsten Minute oder Sekunde zerfallen wird; aber wir können nicht sagen, ob ein beliebig herausgegriffener Uranatomkern innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zerfallen wird. Aus dieser Wahrscheinlichkeitsbetrachtung ergibt sich auch, daß die Aktivitäten der radioaktiven Stoffe Schwankungen unterliegen müssen, weil sie eben bloß durch die Gesetze der Wahrscheinlichkeit bestimmt sind. Diese Schwankungen sind sehr merklich, wenn die durchschnittliche Aktivität gering ist. Übrigens ist vielleicht von Interesse, daß diese statistische Natur des radioaktiven Zerfalls zum ersten Mal in Wien festgestellt und analysiert wurde, und zwar von den jetzt schon längst verstorbenen Physikern Egon Schweidler und Stefan Meyer.

Nun kann man auf Grund der Wahrscheinlichkeit des radioaktiven Zerfalls einer jeden radioaktiven Spezies (Kernart) eine bestimmte Halbwertszeit zuordnen. Das ist also die Zeit, innerhalb deren wahrscheinlich die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Kerne zerfallen sein wird. Die Halbwertszeiten der radioaktiven Stoffe sind außerordentlich verschieden. Manche liegen in der Größenordnung einer Zehntel Mikrosekunde; andere können 10^{10} Jahre und mehr betragen. Zum Beispiel hat das gewöhnliche Thorium eine Halbwertszeit von 14 Milliarden Jahren, während andere Glieder der Zerfallsreihe des Thorium Halbwertszeiten von winzigen Bruchteilen einer Sekunde aufweisen.

Die Aktivität von radioaktiven Stoffen wird in einem einheitlichen Maß gemessen. Die Einheit der Aktivität ist das Curie, das die Aktivität eines Gramm Radium angibt. Man hat empirisch gefunden, daß ein Gramm Radium pro Sekunde ungefähr $3,7 \cdot 10^{10}$ α -Strahlen aussendet. Man schreibt einem radioaktiven Präparat anderer Art ebenfalls eine Aktivität von einem Curie zu, wenn es diese Zahl von Strahlen in der Sekunde aussendet. Abgeleitete Einheiten sind das Millicurie und das Mikrocurie. In letzter Zeit, wo man auf Grund der Atomreaktoren über sehr starke Strahlenquellen verfügt, muß man auch schon von Kilocurie oder sogar von Megacurie sprechen. Eine Aussage über die Aktivität eines Präparates beinhaltet freilich keine Aussage über die Energie, die durch das betreffende Präparat in der Zeiteinheit freigesetzt wird. Die Natur oder die Energie der Strahlen wird nämlich durch die einfache Angabe der Aktivität nicht bestimmt. Beispielsweise ist die Energie eines einzelnen Betastrahles von Radiophosphor ungefähr hundertmal größer als die eines

Betastrahles von Radiowasserstoff. Daher wird von einer Radiophosphorquelle hundertmal mehr Energie pro Zeiteinheit freigesetzt als von einer Radiowasserstoffquelle, wenn beide eine Aktivität von 1 Curie haben.

Die Halbwertszeiten der radioaktiven Kernarten sind von den Versuchsbedingungen völlig unabhängig. Man hat schon vor einem halben Jahrhundert durch sorgfältige Messungen festgestellt, obwohl man sich in dieser Hinsicht zunächst oft getäuscht hatte, daß die Radioaktivität eines Präparates von Druck, Temperatur, Konzentration und chemischer Verbindungsform vollkommen unabhängig ist. Dies ist zuerst als sehr erstaunlich empfunden worden, denn die Geschwindigkeiten chemischer Reaktionen hängen natürlich in starkem Maße von derartigen Parametern ab. Aber die Unabhängigkeit der Radioaktivität von den äußeren Umständen ist heute gut verständlich. Denn die Energien der Atomkernreaktionen sind im Vergleich zu den Energien der Wechselwirkung zwischen den Atomen so groß, daß wir eine Beeinflussung durch irgendwelche äußeren Bedingungen — jedenfalls unter irdischen Umständen — nicht erwarten dürfen.

Zu den sozusagen klassischen Formen des radioaktiven Zerfalls gehören der α -Zerfall, der β -Zerfall und schließlich eine Erscheinung, die man auch zweckmäßig als den γ -Zerfall bezeichnen kann. Der α -Zerfall besteht in der Emission eines Helium-Atomkerns aus dem Atomkern des α -aktiven Elements. Ein Beispiel ist der radioaktive Zerfall des Radiums selbst. Das Radium hat die Formel ${}_{88}^{226}\text{Ra}$. Der obere Index bedeutet die Massenzahl des Radium-Atomkerns (Zahl der Nucleonen im Kern), der untere Index die Zahl der Protonen und damit auch die Zahl der elektrischen Ladungen im Atomkern (Ladungszahl). Hier sind also 88 Protonen vorhanden; die Neutronen machen die Differenz zwischen der Massenzahl und der Ladungszahl aus. In diesem Fall — wie übrigens in den meisten Fällen — ist die Zahl der Neutronen im Atomkern größer als die Zahl der Protonen. Bei der Emission eines Alphateilchens muß die Massenzahl um 4 Einheiten und die Ladungszahl um 2 Einheiten absinken, weil der Heliumkern 2 Protonen und 2 Neutronen enthält. So entsteht der Kern ${}_{86}^{222}\text{Em}$. Das ist ein Isotop des Elements Emanation, und zwar handelt es sich bei der Kernart ${}_{86}^{222}\text{Em}$ um die Radium-Emanation oder das Radon (Symbol Rn). Der Alpha-Zerfall ist durch die elektrostatische Abstoßung zwischen den auf engen Raum zusammengedrängten Protonen innerhalb des Atomkerns verursacht. Die Abstoßung bewirkt eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Teil dieser Ladungen in Form eines Helium-Atomkernes herausgeschleudert wird.

Der β -Zerfall hat physikalisch eine völlig andere Grundlage. Hier werden Neutronen in Protonen umgewandelt oder umgekehrt. Man findet nämlich, daß Kerne am stabilsten sind, wenn in ihnen ein bestimmtes zahlenmäßiges Verhältnis zwischen den Protonen und Neutronen besteht; dabei hängt allerdings der Zahlenwert dieses Verhältnisses von der Kernladungszahl ab. Wenn nun ein Kern von vornherein nicht dieses stabile Verhältnis von Neutronen und Protonen enthält, so besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit einer spontanen Umwandlung; dabei wird ein β -Teilchen (schnelles Elektron) ausgesendet. Zum Beispiel wandelt sich im Kern des radioaktiven Phosphorisotops ${}_{15}^{32}\text{P}$ mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Neutron in ein Proton um. Dabei verändert sich die Massenzahl (32) zwar nicht, doch steigt die Ladungszahl um eine Einheit. Man kommt zum Kern ${}_{16}^{32}\text{S}$, dem Kern eines der bekannten stabilen Isotope des Schwefels. Übrigens ist auch das freie Neutron selbst radioaktiv und wandelt sich spontan mit einer Halbwertszeit von ungefähr einer Viertelstunde in ein Proton um.

Schließlich besteht die Möglichkeit einer Aussendung von Gamma-Strahlen (Photonen oder Lichtquanten). Hier wird also elektromagnetische Strahlungsenergie abgegeben. Diese Gamma-Strahlen-Emission wird dadurch erklärt, daß bei einem Kernprozeß der Produkt-Kern zunächst in einem angeregten, energiereichen Zustand entsteht, und dieser Zustand nach einer gewissen Zeit spontan in den sogenannten Grundzustand, den energieärmsten Zustand, übergeht. Die Energiedifferenz, die beim Übergang vom angeregten Zustand in den Grundzustand frei wird, wird quantenhaft abgestrahlt. Zum Beispiel entsteht das Radon beim Alpha-Zerfall des Radiums in der Regel zunächst in angeregter Form; anschließend wird beim Übergang des Radonkernes in den Grundzustand Gamma-Strahlung emittiert.

Die Eigenschaften dieser drei Strahlenarten sind außerordentlich verschieden. Die Alpha-Strahlen haben nur eine geringe Reichweite von einigen Zentimetern Luft. Auch eine Aluminiumfolie von ungefähr 0,002 cm Dicke reicht bereits zur vollständigen Absorption der meisten Arten von Alpha-Strahlen aus. Dies kommt von der starken Wechselwirkung der Alpha-Strahlung mit der Umgebung. Die β -Strahlung hat eine viel größere Reichweite, und zwar nicht etwa deshalb, weil ihre Energie größer wäre, sondern weil ihre Wechselwirkung mit der umgebenden Materie viel geringer ist. Man braucht zum Beispiel ungefähr 0,3 cm Aluminiumfolie, um die β -Strahlung des Phosphors zu absorbieren. In der Luft ist die Reichweite der β -Strahlung häufig von der Größenordnung mehrerer Meter. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Energien und daher auch dem

Durchdringungsvermögen von β -Strahlen verschiedener Radioelemente ziemlich groß.

Die Gamma-Strahlung wird überhaupt sehr schwer absorbiert, d. h. die Gamma-Strahlung hat großes Durchdringungsvermögen. Außerdem aber besteht insoferne ein wesentlicher Unterschied zwischen α - und β -Strahlung einerseits und γ -Strahlung andererseits, als man der Alpha-Strahlung und der Beta-Strahlung eine ganz bestimmte Reichweite zuschreiben kann; jenseits dieser Reichweite wird überhaupt keine Strahlenwirkung mehr festgestellt. Anders ist es bei der Gamma-Strahlung. Sie folgt einem exponentiellen Absorptionsgesetz. Durch sehr dicke Absorber wird die Gamma-Strahlung zwar stark absorbiert, aber sie wird theoretisch niemals auf Null reduziert. Ein bestimmter Bruchteil geht immer noch durch. Dieser Unterschied läßt sich theoretisch deuten.

Rutherford hat im Jahre 1919 gefunden, daß Atomkerne auch künstlich umgewandelt werden können. Eine typische künstliche Umwandlung ist die Reaktion von natürlichem Phosphor $^{31}_{15}\text{P}$ mit Neutronen, wobei das Phosphorisotop mit der Massenzahl 32 und der Ladungszahl 15 erhalten wird. In diesem Fall — aber nicht in jedem Fall — einer künstlichen Kernreaktion ist das Reaktionsprodukt radioaktiv. Diese künstliche Radioaktivität wurde bekanntlich im Jahre 1934 von Frederic Joliot und Irene Curie gefunden. Jetzt sind Tausende künstliche Kernreaktionen bekannt, wobei in vielen Fällen radioaktive Kernarten gebildet werden.

Die künstliche Kernreaktion, die uns hier besonders interessiert, ist die Kernspaltung des Urans, die im Jahre 1938 von Otto Hahn und Fritz Straßmann aufgefunden wurde. Sie besteht darin, daß ein Neutron durch einen Kern $^{235}_{92}\text{U}$ eingefangen wird und dieser Kern innerhalb sehr kurzer Zeit in zwei fast gleiche Stücke bricht, also gespalten wird. Kurze Zeit später haben Lise Meitner und Otto Robert Frisch nachgewiesen, daß bei der Kernspaltung des Urans eine ungeheure Menge Energie frei wird. Wieder wenige Wochen später hat Joliot in Paris gezeigt, daß bei der Kernspaltung außer den zwei großen Bruchstücken einige Neutronen freigesetzt werden, die dann die Spaltungsreaktion weitertragen und die Kettenreaktion vermitteln können.

In bezug auf ihre chemischen Eigenschaften sind die radioaktiven Atome mit den nicht radioaktiven Atomen des gleichen Elements, also ihren Isotopen, fast identisch. Zwar unterscheiden sich die Isotope durch ihre Massenzahlen. So hat der radioaktive Phosphor die Massenzahl 32, der nicht radioaktive Phosphor die Massenzahl 31. Daraus ergeben sich minimale quantitative Unterschiede im chemischen Verhalten, die nur mit

den feinsten Methoden nachgewiesen werden können. Nur im Falle des Wasserstoffs, wo das Massenverhältnis zwischen den Isotopen mit den Massenzahlen 1, 2 und 3 besonders groß ist, sind die Verschiedenheiten mit einfacheren Methoden nachzuweisen. Im folgenden soll von solchen „Isotopeneffekten“ vollkommen abgesehen und angenommen werden, daß sich die radioaktiven Isotope der Elemente ebenso verhalten wie ihre nicht radioaktiven Geschwister.

Demnach gelten für die Verteilung der radioaktiven Stoffe innerhalb der Biosphäre die gleichen Gesetze wie für die nicht radioaktiven Elemente. Zum Beispiel entstehen bei der Kernspaltung des Urans mehrere radioaktive Isotope der Edelgase Krypton und Xenon; diese verhalten sich chemisch genauso wie inaktives Krypton oder Xenon, d. h. sie vermischen sich einfach mit der Erdatmosphäre. Radionatrium wird in Forschung und Technik viel verwendet. Wenn man das Radionatrium in Freiheit setzt, so vermischt es sich schnell mit dem Natrium in unserer Umgebung und verhält sich dann in weiterer Zukunft genauso wie das inaktive Natrium, das schon vorher dagewesen ist. Radioaktives Barium wird alsbald mit Sulfationen, die sich in der Umgebung befinden, reagieren und unlösliche Niederschläge bilden. Man kann also die auch für die Geochemie nichtaktiver Stoffe geltenden Überlegungen anwenden.

Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die radioaktiven Stoffe oft gewichtsmäßig in sehr geringer Menge vorliegen. Man spricht davon, daß die radioaktiven Stoffe in „gewichtlosen“ Mengen vorkommen. Das ist eine Übertreibung, da natürlich jede chemische Substanz ein gewisses Gewicht hat, doch sind die vorliegenden Mengen an radioaktiven Stoffen in der Regel außerordentlich klein. Daraus ergeben sich dann bestimmte Unterschiede im Verhalten der radioaktiven Stoffe gegenüber den nicht radioaktiven Stoffen. Zum Beispiel ist ein Mikrocurie Radium in bezug auf seine Aktivität schon ziemlich viel und gibt mehr als 2 Millionen Zerfälle in der Minute. Aber gewichtsmäßig ist es nur ein Mikrogramm. Eine Lösung eines Mikrocuries Radium in einem Liter Wasser ist daher nur etwa 10^{-8} molar. Die Halbwertszeit des Strontium 90 ist 50mal kleiner als die Halbwertszeit des Radiums; ein Mikrocurie Strontium in 1 Liter Wasser ergibt nur eine etwa 10^{-10} molare Lösung.

Man muß daher damit rechnen, daß mit den Ionen dieser radioaktiven Stoffe Löslichkeitsprodukte oft nicht erreicht werden. Dann bleiben diese radioaktiven Stoffe dort in Lösung, wo wir von den nicht radioaktiven Isotopen der gleichen Elemente gewohnt sind, daß sie ausfallen, oder aber die radioaktiven Stoffe werden durch andere Prozesse als einfache Fällung abgeschieden. Zum Beispiel werden radioaktive Stoffe oft durch Mischkristallbildung von nicht radioaktiven Niederschlägen aufgenommen.

So kann das Radium selbst in Bariumsalzkristalle eingebaut werden; die klassische Methode der Anreicherung von Radium beruht darauf, daß man das Radium mit Bariumbromid mischkristallmäßig mitfällt. Außerdem sind auch Adsorptionerscheinungen sehr ausgeprägt, da die Oberflächen von Niederschlägen im Verhältnis zu den kleinen Mengen der gelösten radioaktiven Stoffe sehr groß sind.

So hat Dr. Schönfeld in unserem Institut die Adsorption von radioaktiven Kationen, zum Beispiel von Radioblei, an der Oberfläche von Silikaten quantitativ verfolgt, und auch die starke Adsorption von Kationen an Zellulose (Papier) eingehend untersucht. Da nun auch der atmosphärische Staub, soweit er silikatisch ist, Kationen leicht adsorbiert, so müssen Radioelemente, die geeignete chemische Eigenschaften haben und sich in der Atmosphäre befinden, von solchem Staub festgehalten werden.

Schließlich werden sich die chemischen Eigenschaften der Radioelemente auch bei ihrer sogenannten Organotropie auswirken, über die Herr Dr. Megay anschließend sprechen wird. Die Aufnahme durch die verschiedenen Strukturen des pflanzlichen oder tierischen Organismus wird also ebenfalls durch die chemischen Eigenschaften der betreffenden Radioelemente bestimmt sein. Beispielsweise wird das Strontium, das sich chemisch dem Kalzium ähnlich verhält, vorwiegend in den Knochen von Mensch und Tier abgelagert. Im Falle dieses Elements kann man von vorneherein annehmen, daß es sich immer in der gleichen chemischen Form vorfinden wird, denn Strontium ist nur als zweifach positiv geladenes Kation beständig. Jod hingegen kann als Jodid, Jodat oder Perjodat in der Natur vorkommen. Das Jod in diesen Formen wird sich chemisch verschieden verhalten und auch verschiedene Organotropie zeigen. Jod als Jodid wird in der Schilddrüse gespeichert.

Ganz besonders ausgeprägt sind die chemischen Verschiedenheiten bei Wasserstoff und Kohlenstoff. So ist der Weg des Radiowasserstoffs in Form von radioaktivem Wasser innerhalb des tierischen Organismus von seinem Weg in Form bestimmter organischer Verbindungen vollkommen verschieden. Radiowasserstoff als Wasser wird vom Organismus zusammen mit dem gewöhnlichen, nicht aktiven Wasserstoff schnell wieder ausgeschieden. Wenn man aber den Wasserstoff in solche organische Verbindungen einbaut, die leicht selektiv von bestimmten Strukturen des Körpers aufgenommen werden, so kann dieser Radiowasserstoff über lange Zeit hindurch gespeichert werden und durch seine Strahlung schädlich wirken. Eine solche Verbindung ist das Thymidin, das ein Bestandteil der sogenannten Desoxyribonukleinsäure (DNS) ist. Die DNS ist die Hauptkomponente der Zellkerne eines jeden Lebewesens. Thymidin wird also in den Zellkernen abgelagert, unterliegt dort nur geringem Stoffwechsel und

kann lange Zeit hindurch seine Strahlenwirkung entfalten. Daher wäre Radiowasserstoff in Form von Thymidin ungleich bedenklicher als in Form von elementarem Wasserstoff oder von Wasser.

Das Studium des chemischen Verhaltens der radioaktiven Stoffe unter den verschiedenen Bedingungen ist die Aufgabe eines relativ jungen Zweiges der Wissenschaft, der Radiochemie. Die Radiochemie wurde von Soddy, einem Mitarbeiter Rutherfords, begründet. Andere Pioniere der Radiochemie waren Otto Hahn, Georg Hevesy und der vor kurzem verstorbene Österreicher Fritz Paneth. Die Erkenntnisse der Radiochemie müssen bei der Behandlung der Probleme der Fernhaltung gefährlicher Mengen von radioaktiven Stoffen aus den Gewässern sorgfältig berücksichtigt werden.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. Engelbert Broda, I. Chemisches Institut der Universität Wien, Wien IX, Währinger Straße 42.

DISKUSSION

Liepolt

Es ist bekannt, daß mit der Messung der Bruttoaktivität allein nicht das Auslangen gefunden werden kann, wenn die Toleranzdosis überschritten wird. Man muß dann die Aktivitäten einzelner Elemente getrennt feststellen. Welche dieser aktiven Isotope müßten in erster Linie wegen ihrer verhältnismäßig langen Halbwertszeit oder weil sie somatische Schädigungen hervorrufen geprüft werden?

Broda:

Ich freue mich, daß ich die Gelegenheit dieser Frage wahrnehmen und eine kleine Ergänzung vornehmen kann. Ich wollte noch hinzufügen, daß bei der Messung der Radioaktivität die Absorption der Strahlung innerhalb der Probe zu berücksichtigen ist. Ein extremer Fall ist zum Beispiel der des Radiowasserstoffs, weil dieser sich durch die besonders geringe Energie und Reichweite der β -Strahlung auszeichnet. Es wäre nun ganz verfehlt, eine dicke, massive Probe unter ein Meßgerät zu schieben und dann die Strahlung zu messen. Der allergrößte Teil der emittierten Strahlung würde innerhalb der Probe selbst absorbiert werden. Man muß also bei allen Messungen diese Selbstabsorption sorgfältig berücksichtigen und allgemein die Selbstabsorption durch geeignete Maßnahmen auf ein Mindestmaß herabsetzen. Es empfiehlt sich also, für die Zwecke der Messungen die radioaktiven Stoffe in möglichst reiner Form aus der Probe herauszupräparieren und dem Meßgerät nahezubringen. Es sind schon bei manchen Untersuchungen, bei denen dieser Einfluß der Selbstabsorption nicht genügend berücksichtigt wurde, ernste Fehler gemacht worden.

Was nun die Auswahl der wichtigsten Radioelemente betrifft, so würde ich meinen Kollegen, Herrn Dr. Schönfeld, bitten, dazu einige Worte zu sagen, weil er selbst gerade mit Untersuchungen dieser Art befaßt gewesen ist.

Schönfeld (Wien):

Verschiedene Radioelemente werden derzeit im Wasser oder in anderen Proben aus der Biosphäre gesondert bestimmt. Für derartige Bestimmungen einzelner Radioelemente stehen im wesentlichen zwei Methoden zur Verfügung.

der Radioaktivität im Hinblick auf die Gewässerüberwachung 123

Die eine Methode wurde eben von Prof. Broda genannt: Man trennt das interessierende Radioelement chemisch ab und mißt dann seine Aktivität. Die Abtrennungsvorfahren sind mitunter sehr langwierig, zum Beispiel ist die Abtrennung des Strontium 90, das als gefährlichstes Spaltprodukt gilt, sehr schwierig. Liegen die Dinge auch bei anderen Radioelementen günstiger, so sind radiochemische Trennungen doch im allgemeinen zeitraubend. Das zweite Verfahren ist die Gamma-Spektroskopie. Sie ermöglicht es, ohne chemische Trennung die einzelnen Aktivitäten jener Elemente, die Gammastrahlen ausstrahlend, verhältnismäßig einfach und schnell zu bestimmen. Über eine Anwendung dieses Verfahrens soll in unserem Vortrag heute nachmittag berichtet werden. Caesium 137, das so wie Strontium 90 sehr oft in Proben aus der Biosphäre bestimmt wird, wird gewöhnlich durch Gamma-Spektrometrie nachgewiesen.

Unter den anderen Radioelementen, die des öfteren gesondert bestimmt werden, seien noch genannt: Jod, Ruthenium, Barium, Lanthan. Welche Radioelemente im Rahmen der Sicherheits- und Kontrollmaßnahmen bei einer Atomenergieanlage, einem Reaktor oder einer chemischen Aufarbeitungsanlage für Brennstoffelemente bestimmt werden, hängt von den besonderen Verhältnissen ab. Unter Umständen sind auch besondere Untersuchungen notwendig, um festzustellen, welche Radioelemente im Routinebetrieb zu bestimmen sind.

Liepolt:

Also dürften vor allem das Strontium und das Caesium die Elemente sein, die am wirksamsten sind und uns die größte Sorge machen. Alle anderen Isotope natürlich nur dann, wenn wir wissen, daß sie abgeleitet werden, also zum Beispiel mit dem Abwasser eines Atommeilers, oder von Isotopenlabors. Es kann sich daher im städtischen Abwasser ein ganzes Konglomerat von Radioelementen vorfinden. Nun geht meine Frage dahin, auf welche aktiven Isotope soll ein solches Abwasser untersucht werden?

Broda:

Wenn es sich um die Erfassung von Radioelementen handelt, die aus Versuchslaboratorien stammen, so müßte man sich zuerst mit der Isotopenstelle des Radiuminstituts in Verbindung setzen, bei der die Beschaffung von Radioelementen aus dem Auslande, insbesondere aus England, zentralisiert ist. Dort könnte man anfragen, welche Radioelemente in der letzten Zeit bezogen worden sind und dann auf diese Radioelemente prüfen. Vermutlich gehören zu den häufigst verwendeten Radioelementen der Phosphor und das Jod. Nun sind beide Radioelemente ziemlich kurzlebig (Halbwertszeit 14 bzw. 8 Tage), d. h. man würde nur jenen Anteil erfassen können, der ziemlich bald verarbeitet und dann abgeleitet worden ist. Bei Phosphor sind methodische Schwierigkeiten vorherzusehen, weil die Menge an anorganischem Phosphor in den Abwässern enorm ist und deshalb die spezifische Aktivität (Aktivität pro Gewichtseinheit des Phosphors) jedenfalls bescheiden sein wird. Dies ist natürlich vom hygienischen Standpunkt aus ein großer Vorteil. Beim Jod ist die Abtrennung einfacher, weil da nicht mit so viel nicht radioaktivem Jod zu rechnen wäre.

Dies gibt übrigens eine Gelegenheit zu einer Ergänzung. Herr Dr. Megay hat in seinem Vortrag in so klarer Weise fünf Faktoren aufgezählt, durch die die Gefährlichkeit der verschiedenen Radioelemente bestimmt ist. Vielleicht kann man die „isotope Verdünnung“ des Radioelements als weiteren Faktor hinzu-

fügen. Dies ist die Verdünnung des Radioelements durch inaktive Isotope des gleichen Elements, also die Herabsetzung der spezifischen Aktivität. Dieser Einfluß der isotonen Verdünnung wird im Falle des Jods besonders schlagend. Das Jod ist ein Element, das durch die tierische und menschliche Schilddrüse mit sehr großer Affinität gespeichert wird, d. h. sehr kleine Mengen Jod — und daher auch von radioaktivem Jod — werden durch die Schilddrüse mit großer „Gier“ aufgenommen. Wenn man also praktisch gewichtslose Mengen radioaktiven Jods einem Organismus zuführt, so wird die überwältigende Mehrheit dieses Jods sich nach kürzester Zeit in der Schilddrüse befinden. Aber während die Affinität der Schilddrüse für Jod sehr groß ist, ist ihre Kapazität für Jod bescheiden. Im ganzen haben in einer menschlichen Schilddrüse 6 oder 8 mg Jod Platz. Wenn man also das radioaktive Jod mit einer nennenswerten Menge von nichtaktivem Jodisotop verdünnt, so ist die Schilddrüse nicht mehr imstande, einen wesentlichen Teil des Jods aufzunehmen. Dann geht auch nur ein kleiner Teil des radioaktiven Jods in die Schilddrüse. Das Jod ist ein extremer Fall. Aber mehr oder weniger hängt auch bei anderen Radioelementen die Gefährlichkeit neben den anderen Faktoren, die schon erwähnt worden sind, noch davon ab, in welchem Maß das betreffende Radioelement durch die nicht radioaktiven Isotope des gleichen Elements verdünnt wird.

Übrigens trägt die natürliche Radioaktivität zur Bruttoaktivität des städtischen Abwassers stark bei. Auf diesen Faktor wurde schon von Herrn Dr. Megay hingewiesen. Doch unterscheiden sich die natürlichen radioaktiven Stoffe — soweit sie den Weg aus der Luft in die Gewässer finden — von den künstlichen radioaktiven Stoffen durch ihre Kurzlebigkeit. Zufällig haben nämlich die von der Radium- oder Thorium-Emanation abgeleiteten Stoffe höchstens Halbwertszeiten von einem Tag. Will man also deren Anteil ausscheiden, muß man die Pöbe nur eine Zeitlang liegen lassen. Das gilt allerdings nicht für das Kalium, das langlebig und in großer Menge vorhanden ist, und auch nicht für Uran, oder Thorium.

Jilg (Klagenfurt)

Uns Abwassertechniker interessiert natürlich, wie wir mit diesen Isotopen fertig werden, beziehungsweise wie wir sie unschädlich machen können. In Österreich werden zur Zeit eine Reihe neuer chirurgischer Abteilungen, zum Beispiel auch in Klagenfurt, gebaut, die mit Isotopenstationen ausgerüstet werden. Die Klagenfurter Station wird zum Beispiel mit ^{198}Au , das eine Halbwertszeit von 2 Tagen, mit ^{131}I , das eine Halbwertszeit von 8 Tagen und mit ^{32}P , das eine Halbwertszeit von 14 Tagen besitzt, arbeiten. Das zur Beurteilung der Frage einer unschädlichen Beseitigung dieser Stoffe eingesetzte Expertenkomitee hat sich für eine Aufspeicherung, die der Halbwertszeit der Isotopen entspricht und für eine hinlänglich große Verdünnung der Abwässer aus der Isotopenstation ausgesprochen, bevor diese der Stadtkanalisation übergeben werden.

B r o d a :

Das ist sicher richtig. Es müßte rechnerisch oder vielleicht sogar experimentell festgestellt werden, ob die getroffenen Maßregeln dabei genügen. Im Prinzip müßte das natürlich in Ordnung sein.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1959

Band/Volume: [1959](#)

Autor(en)/Author(s): Broda Engelbert

Artikel/Article: [Physikalische und chemische Grundlagen der Radioaktivität im Hinblick auf die Gewässerüberwachung 115-124](#)