

Medizinische Erwägungen bei der Beurteilung radioaktiv verunreinigter Gewässer

Koloman Megay

Direktor der Bakteriologisch-Serologischen Untersuchungsanstalt, Linz

Die Stoffe, die bisher als gesundheitsgefährdend, giftig oder zumindest materialschädigend oder lästig in nutzungsfähigen Wasservorkommen bekannt waren und für die sich Biologen, Techniker und Mediziner gleichermaßen interessieren mußten, ließen sich zwanglos in zwei große Gruppen einordnen:

1. Chemische Substanzen, die, im Wasser gelöst, eine bestimmte Konzentration aufweisen müssen, um überhaupt wirksam zu sein und deren Giftigkeit oder Schädlichkeit durch Verdünnung, Neutralisation, Fällung u. a. m. behoben werden kann.

2. Mikroorganismen und Viren, deren Anwesenheit und Vermehrungsfähigkeit in Wasser an ganz bestimmte Voraussetzungen gebunden sind und deren gesundheitsgefährdende oder sonst schädliche Wirkung eng mit ihrer Lebensfähigkeit zusammenhängt. Wird diese durch geeignete Maßnahmen aufgehoben oder werden die Mikroorganismen durch Rückhalteverfahren aus dem Wasser eliminiert, so ist die schädliche Noxe damit beseitigt.

Beiden Stoffgruppen gemeinsam ist es also, daß das Ausmaß der durch sie erfolgten Wasserverunreinigung durch einfache chemische und bakteriologische Analysen relativ rasch erfaßt werden kann und daß sie durch eine gezielte Aufbereitung des Wassers ebenso schnell wie sicher restlos aus diesem entfernt werden können. Zu ihnen kommt in jüngerer Zeit eine dritte Stoffgruppe von grundsätzlich anderem Verhalten, die radioaktiven (r. a.) Substanzen.

Mit den beiden erstgenannten Stoffgruppen haben sie lediglich gemeinsam, daß sie gesundheitsgefährdend und schädlich sein können, ansonsten verhalten sie sich grundlegend unterschiedlich:

a) R. a. Substanzen wirken nicht auf Grund ihrer chemischen oder sonstigen Eigenschaften, sondern durch die von ihnen ausgehende ionisierende Strahlung.

b) Die biologische und damit gesundheitsschädigende Wirkung einer a. Substanz ist weitgehend unabhängig von ihrer Löslichkeit oder Un-

löslichkeit im Wasser, sofern sie nur an den Körper von außen entsprechend angenähert oder von ihm aufgenommen (inkorporiert) wird.

c) R. a. Substanzen können aus dem Wasser selbst zwar durch chemische Eingriffe, durch Adsorption und Fällung, eliminiert werden, bleiben aber im Adsorbens oder Präzipitat weiter wirksam, eine echte Neutralisation findet demnach nicht statt.

d) R. a. Zerfallsprozesse sind von Natur aus dynamisch und streben — oft über aktive Zwischenprodukte, die miteinander im Gleichgewicht stehen — einem stabilen Endzustand zu, was praktisch ein Erlöschen der Aktivität bedeutet. Die Geschwindigkeit, mit der die Aktivitätsabnahme erfolgt, wird durch die Halbwertszeit des betreffenden Elementes charakterisiert, d. h. jener Zeit, in der die Radioaktivität einer bestimmten Menge einer r. a. Substanz durch natürlichen Zerfall auf die Hälfte ihres Ausgangswertes abnimmt. Diese physikalische Halbwertszeit kann bei dem einen r. a. Stoff Bruchteile von Sekunden, bei einem anderen aber Milliarden Jahre betragen. Die durch die Halbwertszeit charakterisierte spontane Zerfallsgeschwindigkeit, bzw. Abnahme der Radioaktivität, kann durch chemische oder physikalische Maßnahmen in keiner Weise abgeändert, beschleunigt oder verzögert werden. Darin liegt der wesentlichste Unterschied gegenüber den chemischen und mikrobiellen Verunreinigungen im Wasser.

Da die chemische und biologische Wirkung aller r. a. Substanzen auf der von ihnen abgegebenen ionisierenden Strahlung beruht, handelt es sich prinzipiell um eine Fernwirkung. Finden sich nun r. a. Stoffe in nennenswerter Konzentration in einem Gewässer, so wird vom medizinischen Standpunkt aus zu unterscheiden sein:

- a) die von außen auf den Körper wirkende Strahlung bei Annäherung an das Gewässer oder beim Eintauchen in dasselbe,
- b) die im Körperinneren ausgelösten Strahlenschäden durch Verschlucken von Wasser, wobei die r. a. Substanzen entweder in gelöster Form oder als ungelöste Partikel inkorporiert werden können, was jeweils unterschiedlich zu beurteilen ist.

Der Strahlenwirkung einer äußeren Strahlenquelle kann man sich durch Entfernung von dieser entziehen, da die Intensität der Strahlung und somit die empfangene Strahlendosis mit dem Ausdruck $1/d^2$ abnimmt, wenn „d“ die Distanz zwischen Körper und Strahlenquelle bedeutet. Die gesundheitlichen Gefahren einer inneren Strahlenquelle, also einer internen Kontamination mit r. a. Substanzen, die durch Verschlucken

zum Beispiel von r. a. verunreinigtem Wasser inkorporiert worden sind, müssen wesentlich schwerer beurteilt werden, weil:

1. die Aufnahme einer r. a. Substanz in den Körper mit keinerlei akuten, alarmierenden somatischen Erscheinungen verbunden ist, d. h. keine medizinischen Symptome sofort auslöst und somit unentdeckt bleiben kann,

2. weil durch die von der r. a. Substanz abgegebene ionisierende Strahlung Schäden gesetzt werden, deren somatische und genetische Auswirkungen erst mit Latenzzeiten von einigen Wochen bis Jahrzehnten aufscheinen,

3. weil die Strahlenschäden — wenn sie erst als solche erkannt wurden — meist irreparabel sind,

4. weil selbst bei frühzeitiger Entdeckung einer erfolgten internen r. a. Kontamination nur geringe Möglichkeiten bestehen, die r. a. Substanz chemisch abzufangen und rasch und unschädlich auszusecheiden,

5. weil eine Einflußnahme auf den Weg, die Resorption, den Transport, die Akkumulation und die Ausscheidung einer inkorporierten r. a. Substanz nur in sehr geringem Ausmaße möglich ist und wir daher gezwungen sind, dem dramatischen Ablauf der internen Strahlenschädigung fast untätig zuzusehen.

Sind in einem Trink- oder Brauchwasser r. a. Substanzen über die natürliche Radioaktivität des betreffenden Wassers hinaus angereichert, so sind für die strahlenmedizinische Beurteilung verschiedene Faktoren maßgebend. Außer der Löslichkeit oder Unlöslichkeit des Strahlers in Wasser vor allem:

- a) die spezifische Aktivität der r. a. Substanz, ausgedrückt in Curie (C), dessen Tausendstel bzw. Millionstel, dem Milli-Curie (mC) und Mikro-Curie (μ C) pro Volumseinheit Wasser. Man begegnet diesen Einheiten bei der Angabe der Toleranzgrenzen diverser r. a. Substanzen in Trinkwasser. Dabei bedeutet 1 C $3,7 \times 10^{10}$ Zerfallsakte pro Sekunde. Da mit jedem Zerfallsakt die Abgabe ionisierender Strahlung verbunden ist, dient deren Messung zur Aktivitätsbestimmung r. a. Substanzen. Eine gegebene Aktivität kann nun einmal in einem Gramm, ein andermal in 1 mg eines Stoffes vorhanden sein. Es wäre daher sinnlos, die Konzentration r. a. Stoffe in Gramm oder Mol pro Volumseinheit anzugeben, einzig maßgebend ist die Aktivität in den oben beschriebenen Einheiten.
- b) die Art der emittierten Strahlung und deren Relative Biologische Wirksamkeit. Hier kann nur daran erinnert werden, daß

die aus positiv geladenen Heliumkernen bestehende Alpha-Teilchenstrahlung in Wasser und Gewebe bei einer Teilchenenergie bis etwa 5 MeV zwar nur eine sehr geringe Reichweite (Durchdringungskraft) hat, die in Wasser oder Gewebe nur Bruchteile eines Millimeters beträgt, dafür aber auf ihrer kurzen, geradlinigen Bahn zahlreiche Ionenpaare auslöst. Ihre Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) liegt daher etwa zehnmal höher als jene von β -Strahlen oder Gamma-Strahlen gleicher Energie. Da letztere beiden Strahlenarten sich hinsichtlich Reichweite in Wasser und Gewebe und hinsichtlich des Ionisationseffektes wiederum ganz verschieden verhalten, ist für die medizinische Beurteilung einer r. a. Verunreinigung im Wasser die genaue Kenntnis der betreffenden Substanzen unerlässlich.

- c) die Energie der einzelnen Strahlenanteile, ausgedrückt in MeV (Megaelektronenvolt), wobei 1 MeV annähernd gleich ist $1.6 \cdot 10^{-6}$ erg.
- d) die physikalische Halbwertszeit der betreffenden r. a. Substanz(en), die für jede rein vorliegende r. a. Substanz streng spezifisch und konstant ist.
- e) die biologische Halbwertszeit. Als solche wird jene Zeit bezeichnet, in der der Körper (Organismus) die Hälfte der inkorporierten Aktivität durch die natürlichen Ausscheidungsprozesse wieder abgibt. Sie hängt in erster Linie vom Chemismus beziehungsweise dem Stoffwechselverhalten des inkorporierten Isotopes ab und hat mit seinen Strahlungseigenschaften nichts zu tun. So wird zum Beispiel das stabile Kaliumisotop ^{39}K ebenso schnell ausgeschieden, wie das r. a. Kaliumisotop ^{40}K . Bei r. a. Isotopen mit langer physikalischer Halbwertszeit hängt die biologische Halbwertszeit demnach lediglich von der Ausscheidungsgeschwindigkeit ab. Ist aber die physikalische Halbwertszeit kürzer als die biologische, so nimmt die Aktivität der inkorporierten r. a. Substanz schon während ihres Aufenthaltes im Körper meßbar ab. In diesem Falle ist für das Ausmaß der möglichen Strahlenschädigung die effektive Halbwertszeit maßgebend (T_{eff}), die sich aus der physikalischen (T_p) und der biologischen (T_b) Halbwertszeit nach der Formel ergibt:

$$T_{\text{eff}} = \frac{T_p \cdot T_b}{T_p + T_b}$$

- f) Hier muß daran erinnert werden, daß es eine Reihe r. a. Substanzen gibt, für die im Organismus eine ausgesprochene Retentionstendenz

besteht, eine Neigung zur Speicherung in einem „kritischen Organ“, wie dies zum Beispiel gerade bei einigen Spaltprodukten aus Atombombenversuchen der Fall ist. So ist das bekannte Strontiumisotop ^{90}Sr ein „Knochensucher“ (bone-seeker), der infolge seiner chemischen Verwandtschaft zum Kalzium im Knochengewebe gespeichert wird. Durch die abgegebene β -Strahlung wird das Knochenmark (Blutbildungsstätte) mitbetroffen, d. h. allmählich aplastisch. Es ist klar, daß von r. a. Substanzen mit langen physikalischen Halbwertszeiten bei gleichzeitiger Speicherungstendenz schon wenige μC inkorporiert genügen, um zu chronischen Strahlenschädigungen zu führen.

Aus dem soeben Gesagten dürfte klar genug hervorgehen, daß die Festsetzung von Maximal Zulässigen Aktivitäten (MZA) in Trink- und Brauchwasser äußerst schwierig ist. Denn jedes r. a. Isotop verfügt über ein verschiedenes Strahlenspektrum mit ganz verschiedenen Energieanteilen, hat eine unterschiedliche physikalische und biologische Halbwertszeit und wird von verschiedenen „kritischen Organen“ in verschiedenem Ausmaße gespeichert. Aus der Aktivität einer Substanz allein (Anzahl der Zerfallsakte pro Sekunde) ist daher ein Rückschluß auf die biologisch-medizinisch allein interessierende Strahlendosis im Körpergewebe noch nicht möglich. Nur so ist es verständlich, daß die MZA für verschiedene Radioisotope nach den Normen der I. C. R. P. (International Commission on Radiological Protection) so weitgehend voneinander abweichen, wie dies die folgenden Beispiele zeigen:

Während für das Kohlenstoffisotop ^{14}C die Toleranzgrenze in Wasser bei $6 \cdot 10^{-2} \mu\text{C}/\text{ml}$ liegt, sind für $^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$ (Barium, Lanthan) nur $4 \cdot 10^{-4} \mu\text{C}/\text{ml}$, für das Jod-Isotop ^{131}I nur mehr $6 \cdot 10^{-5} \mu\text{C}/\text{ml}$ und für Radium ^{226}Ra $4 \cdot 10^{-8} \mu\text{C}/\text{ml}$ Wasser nach den Empfehlungen der genannten Kommission zulässig.

Nach einer Faustformel werden bei der Beurteilung r. a. verunreinigten Wassers unter Wahrung aller entsprechenden Sicherheitsfaktoren von der I. C. R. P. unbekannte (nicht definierte) β - und Gamma-Strahler in Wasser bis zu einer Konzentration von $1 \cdot 10^{-7} \mu\text{C}/\text{ml}$ toleriert. Der gleiche Wert gilt für unbekannte Alpha-Strahler außer Radium mit $0,4 \cdot 10^{-7}$ ($= 4 \cdot 10^{-8}$) $\mu\text{C}/\text{ml}$. Das Wesentliche an diesen maximalen Konzentrationen oder besser Aktivitäten ist dabei, daß bei ihrer Einhaltung die somatische bzw. genetische Strahlentoleranzdosis für den Menschen bei kurzfristiger Einwirkung nicht überschritten wird. Dabei wird von der I. C. R. P. als individuelle Höchstdosis 0,1 rem/Woche beziehungsweise 5 rem/Jahr, aber bis zum 30. Lebensjahr nicht mehr als

50 rem und darüber je Dekade ebenfalls 50 rem als zulässig betrachtet. Dagegen liegt die zulässige Populationsdosis rund um eine Zehnerpotenz niedriger. Sie beträgt für weniger als ein Zehntel der Gesamtbevölkerung 0,01 rem/Woche, für mehr als ein Zehntel der Gesamtbevölkerung 0,006 rem/Woche. Dabei ergibt sich die Dosis in rem aus der Dosis „rad“ \times RBW.

Nun erfordert noch die Herkunft r. a. Substanzen im Wasser eine kurze Betrachtung. Die hierfür bestehenden Möglichkeiten lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen: die natürliche Gewässer-Radioaktivität, künstlich in Gewässer eingebrachte r. a. Substanzen und die Anreicherung von Spaltprodukten aus Kernwaffenversuchen in den Gewässern.

A. Fast jedes Naturgewässer führt r. a. Substanzen in verschiedener Konzentration mit sich. Diese Aktivität stammt teilweise aus dem besonders im Urgestein vorkommenden Uran und seinen Zerfalls- beziehungsweise Tochterprodukten, teilweise auch vom ^{40}K (in einem Kubikkilometer Meereswasser sind 300 Curie ^{40}K) und vom ^{14}C in Form der im Wasser gelösten Kohlensäure und der Karbonate. Welch große Schwankungen der natürlichen Radioaktivität bei Gewässern auf Grund ihrer Provenienz bestehen, mögen die folgenden, auf ^{226}Ra bezogenen Ziffern verdeutlichen, die einer noch unveröffentlichten Mitteilung von H. J. Blythe (Harwell) entnommen sind. Danach hat:

die Themse	etwa $2 \cdot 10^{-11} \mu\text{C/ml}$
der Nil	etwa $4,2 \cdot 10^{-9} \mu\text{C/ml}$
Bäche in Schweden	etwa $7 \cdot 10^{-8} \mu\text{C/ml}$
Magnesium-Quelle USA	etwa $9 \cdot 10^{-6} \mu\text{C/ml}$

So wichtig die Kenntnis der natürlichen Radioaktivität unserer europäischen Gewässer sozusagen als Null-Pegel für die Beurteilung künstlich induzierter Aktivitätssteigerungen wäre, so spärlich sind bedauerlicherweise unsere diesbezüglichen Kenntnisse. Systematische Messungen der Gewässer-Radioaktivität werden erst seit kaum 10 Jahren vorgenommen und veröffentlicht, geben aber insofern kein vollgültiges Bild, als langlebige Spaltprodukte aus dem Fall-Out von Kernwaffenversuchen schon vor oder zu Beginn dieser Zeit in die Gewässer gelangt sind.

B. Als Quellen künstlicher Radioaktivität der Gewässer aus Technik und Medizin kommen vorwiegend in Betracht:

1. Technische Betriebe der Kernenergieverwertung und Isotopenproduktion;

2. Technische Betriebe, die r. a. Substanzen als Indikatoren verwenden;
3. Medizinische Einrichtungen, die lösliche r. a. Isotope (zum Beispiel Tracer) verwenden;
4. Allgemein wissenschaftliche Verwendung r. a. Substanzen in biologischen, botanischen, agrikulturtechnischen und anderen Laboratorien.

Bei all diesen Betrieben wird der Überwachung der Abwässer besonderes Gewicht zukommen, weil r. a. Substanzen, die einmal aus dem Abwasser in den Vorfluter gelangt sind, sich jeder weiteren Kontrolle entziehen. Die großen Schwierigkeiten bei der strahlenhygienischen, aber auch biologischen und technischen Beurteilung dieser neuen Komponente der „Abwasserlast“, ebenso wie die noch sehr geringe Erfahrung auf diesem Gebiete, läßt es sehr begreiflich erscheinen, daß sich die Oberste Wasserrechtsbehörde in der neuen Wasserrechtsnovelle die wasserrechtliche Genehmigungserteilung für solche Betriebe in erster Instanz gesichert hat. Nicht ein einzelner Sachverständiger, sondern eine Expertengruppe aus radiologisch geschulten Technikern, Radiobiologen und Strahlenmedizinern ist in vielen Fällen notwendig, wenn es gilt, die Abwasserprobleme eines Strahlenbetriebes verantwortungsbewußt zu beurteilen. Eine Schematisierung ist gerade auf diesem Gebiet ganz ausgeschlossen. Die noch zu erwartende Zunahme von Strahlenbetrieben mit radiochemischer Abwasserlast läßt es vor allem dringend geboten erscheinen, die Basis-Radioaktivität unserer wichtigsten Oberflächengewässer, die als Vorfluter in Frage kommen, chestmöglich messend zu verfolgen.

C. Künstliche Radioaktivität der Gewässer durch Anreicherung von Spaltprodukten aus dem sogenannten Fall-Out von Kernwaffen-(Atombomben-)versuchen:

Radioaktive Spaltprodukte aus dem Fall-Out gelangen teilweise als Staub unmittelbar in die Gewässer, größtenteils aber werden sie durch die Meteorwässer (Regen, Schnee) aus der Atmosphäre ausgewaschen, so daß die Aktivitätsspitzen in den Oberflächengewässern nach nuklearen Testexplosionen vor allem nach Niederschlägen deutlich meßbar werden. Faßt man die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiete kurz zusammen, so ergibt sich etwa Folgendes:

- a) das Maximum der Fall-Out-Aktivität liegt auf der nördlichen Halbkugel und dort wieder entlang dem 40. Breitengrad, gegen Pol und Äquator etwa gleichmäßig abfallend.

- b) die bisherigen Messungen der Radioaktivitätsschwankungen der Oberflächengewässer zeigen deutliche Zusammenhänge mit den Aktivitätswerten vorangegangener Niederschläge.
- c) die künstliche Radioaktivität der Niederschläge im Zeitraum 1954 bis 1957 lag bei etwa Größenordnung $10^{-7} \mu\text{C/ml}$ mit Spitzen bis $10^{-5} \mu\text{C/ml}$, letztere zeitlich in signifikanter Abhängigkeit von nuklearen Testexplosionen.
- d) an dieser Gesamtaktivität war ^{90}Sr mit nur 0,05 — 2,5 Promille beteiligt, wogegen die für Trinkwasser (Dauerzufuhr) als höchstzulässig erklärten Werte für Strontium ^{90}Sr und Yttrium 5 Prozent und für ^{89}Sr 1 Prozent betragen.

Der weitaus größere Anteil der von den Niederschlägen aus der Atmosphäre herausgewaschenen Fall-Out-Aktivität erscheint — sofern er nicht am Boden haften bleibt oder von der Vegetation aufgenommen wird — in den Oberflächengewässern, während das Grundwasser davon praktisch unberührt bleibt. Dies ist verständlich, wenn die experimentell nachgeprüfte starke Sorptionswirkung des Bodens auf die meisten r. a. Spaltprodukte in Betracht gezogen wird.

Betrachtet man die aus dem Fall-Out den Gewässern zugeführte Radioaktivität vom medizinischen Standpunkte aus, so hat sie derzeit noch kaum signifikante Bedeutung. Allerdings darf dabei — ebenso wie bei Behandlung der MZA-Werte im Wasser — nicht vergessen werden, daß für die menschliche Gesundheit beziehungsweise für deren Gefährdung die Gesamtsstrahlenbelastung allein maßgeblich ist, innerhalb derer das Wasser nur eine untergeordnete Rolle spielt. Da die bis jetzt vorliegenden strahlenbiologischen Kenntnisse und Erfahrungen — besonders was die Auswirkung von Strahlenbelastungen auf die Gesamtbevölkerung betrifft — noch sehr dürftig und lückenhaft sind, die Entwicklung bei der Verwendung von Atomkernenergie aber stürmisch vorangeht, wird man dem „Sonderausschuß Radioaktivität der Bundesrepublik Deutschland“ nur vollinhaltlich beipflichten können, wenn er am Schlusse seines ersten Berichtes (Jänner 1958) zur Feststellung kommt: „Zur Zeit können die Möglichkeiten einer Schädigung nur so beurteilt werden, daß empfohlen werden muß, jede weitere zusätzliche Strahlenbelastung zu vermeiden.“

(Literatur beim Verfasser.)

Anschrift des Verfassers: Dr. Koloman Megay, Leiter der Bundesstaatlichen bakteriologisch-serologischen Untersuchungsanstalt, Linz a. d. Donau, Weißwolffstraße 28.

DISKUSSION

Sackel (Lenzing)

Herr Dir. Dr. Megay hat uns in seinen Bildern die Zunahme von Strontium 89 und 90 gezeigt. Der Anstieg ist relativ hoch. Nachdem Strontium 89 und 90 in den Knochen der Menschen und Tiere gespeichert wird, so wäre es von Interesse zu wissen, wie sich dort die Zunahme dieser Stoffe entwickelt.

Nachdem Strontium 89 und 90 in den Pflanzen akkumuliert wird, diese als Futter für die Tiere dienen und die Tiere wieder Nahrung für den Menschen darstellen, so ist zu erwarten, daß ein ständiger Anstieg der beiden Formen Strontium im menschlichen Knochengüst eintritt.

Megay

Zur Anfrage möchte ich sagen, daß diesbezüglich eingehende, sündteure Untersuchungen, vor allem in den westlichen Ländern, seit Jahren laufen. Wenn Sie bedenken, daß die ganz gewöhnliche Bestimmung von ^{90}Sr im Wasser einer einzigen Regenprobe mit allen Vorarbeiten (Eindampfen usw.) rund 700.— Schilling kostet, so können Sie sich vorstellen, was es heißt, wenn zum Beispiel im britischen Atomforschungszentrum Harwell laufend Regenproben von 3 oder 40 Meßstellen auf der ganzen Welt ausgewertet werden. Schon dabei erstrecken sich die erforderlichen Untersuchungen über mehrere Wochen.

Wenn nun bei der Untersuchung von Pflanzenproben, Milch, Boden sowie menschlichen und tierischen Knochen noch viel kompliziertere Vorarbeiten, chemische Aufschließungen, Trennungen, Veraschungen usw., notwendig sind, so werden Sie begreifen, daß diese Untersuchungen noch lange nicht abgeschlossen sein können. Es liegen aber immerhin schon umfangreiche und brauchbare Ergebnisse vor, speziell über die Zunahme des Strontium in den Knochen von Kindern und von Erwachsenen. Denn man darf nicht vergessen, daß die Akkumulierung von Strontium in den Knochen wachsender Individuen natürlich viel schneller vor sich geht, als nach Abschluß des Knochenwachstums, wenn also eine Apposition von Knochengewebe, beziehungsweise eine Assimilation von Calcium und Strontium für die Ossifikation aufgehört hat. Die Kürze des bisherigen Beobachtungszeitraumes erschwert aber auch hier eine gültige Aussage.

Schönfeld (Wien)

Nach den zuletzt veröffentlichten Ergebnissen über Strontium 90 im Menschen — die entsprechenden Messungen wurden hauptsächlich 1957 und Anfang 1958 durchgeführt — findet man in den Knochen im Durchschnitt folgende Gehalte: bei Kindern von 0—3 Jahren 1—2 Mikromikrocurie Strontium 90 pro Gramm Kalzium, bei Erwachsenen 0,2 Mikromikrocurie Strontium 90 pro Gramm Kalzium. Für die Gesamtbevölkerung wird ein Durchschnitt von 0,5 Mikromikrocurie Strontium 90 pro Gramm Kalzium angegeben. Es sind allerdings einzelne Werte beobachtet worden, die bedeutend höher als die Durchschnittswerte liegen. Die radioaktive Verseuchung der Erdoberfläche hat inzwischen wiederum beträchtlich zugenommen. Kürzlich angestellte Schätzungen über das Maximum im Durchschnittswert, das auf Grund der stratosphärischen Speicherung von Spaltprodukten in einigen Jahren zu erwarten ist, haben Knochengehalte von etwa 8 Mikromikrocurie Strontium 90 pro Gramm Kalzium für jüngere Menschen ergeben.

Um die biologische Bedeutung dieser Spaltproduktmengen zu diskutieren, werden die von der Internationalen Strahlenschutzkommission angegebenen „maximal zulässigen Mengen“ herangezogen. Bei Betrachtung großer Bevölkerungsgruppen gilt ein Strontium-90-Gehalt von 100 Mikromikrocurie pro Gramm Kalzium als „maximal zulässige Menge“. Die bis jetzt in den Knochen gefundenen Mengen an Strontium 90 liegen also bei einigen Prozent der maximal zulässigen Werte. Wenn die Verseuchung nicht durch weitere Kernwaffenversuche vergrößert wird, so ist nicht mit einem Überschreiten der maximal zulässigen Werte zu rechnen — auch nicht für einzelne Individuen. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß die Verwendung der maximal zulässigen Radioelementmengen nur zulässig ist, wenn man annimmt, daß es einen Schwellenwert der Strahlenwirkung gibt, d. h. daß die Wahrscheinlichkeit einer Strahlenschädigung bei kleinen Dosen null ist und eine Schädigung erst von einer bestimmten Dosis an auftritt. Von verschiedenen Forschern wird die Meinung vertreten, daß Knochen auch durch sehr kleine Strahlungsdosen geschädigt werden können, daß also kein Schwellenwert der Strahlungswirkung besteht. Diese Frage ist noch nicht entschieden, sie wird jetzt sehr lebhaft diskutiert. Sollte tatsächlich kein Schwellenwert existieren, so würde dies bedeuten, daß schon die jetzt vorhandenen Strontium-90-Mengen eine Anzahl tödlicher Krankheitsfälle hervorrufen.

M e g a y :

Darf ich zu dem, was Herr Dr. Schönfeld soeben sehr schön erläutert hat, noch etwas bemerken: Für medizinische Belange müssen wir unterscheiden zwischen der somatischen und der genetischen Strahlenwirkung. Das heißt, zwischen der Wirkung der Strahlung auf den Körper selbst und jener auf die Keimzellen, Geschlechtszellen, in denen die Erbstruktur der Nachkommenschaft verankert ist. Und da ergibt sich folgender Unterschied:

Während bei der somatischen Strahlenwirkung ein Schwellenwert vorhanden zu sein scheint, so daß unterhalb einer bestimmten Strahlendosis somatisch für das einzelne Individuum keine Gefahr bestehen dürfte, gilt das nicht für die genetische Strahlenwirkung. Beim genetischen Strahleneffekt gibt es keinen Schwellenwert, denn hier summieren sich selbst winzige Strahlendosen so lange, bis nach der mathematisch-statistischen Wahrscheinlichkeit ein „Treffer“ auf ein Gen (Träger der Erbanlagen) erfolgt. Vielleicht darf ich Ihnen diesen als Strahlensummation bekannten Vorgang durch einen plumpen, aber anschaulichen Vergleich erläutern.

Stellen wir uns die Keimzelle als ein sehr lockeres, flockiges Gebilde, etwa eine Flaumkugel von der Größe eines dreistöckigen Hauses vor. In der Mitte der Kugel seien im Abstand von jeweils einigen Zentimetern ganz unregelmäßig Gebilde von Erbsengröße verteilt, die den Genen entsprechen. Man beginnt nun aus einiger Entfernung mit einer Schrotflinte in die Flaumkugel zu schießen. Dabei muß an einigen, ganz bestimmten Erbsen ein Treffer erzielt werden, um eine erbliche, negative Mutation auszulösen. Es ist klar, daß dies eine Frage des Zufalles ist und daß die Wahrscheinlichkeit eines solchen Treffers immer größer wird, je länger man die Beschießung fortsetzt. Es ist zur Erreichung der notwendigen Trefferwahrscheinlichkeit dabei ganz gleichgültig, ob man die erforderlichen — sagen wir — 10 000 Schuß (entsprechend: Strahlenquanten!) auf einmal in die Flaumkugel feuert oder tausendmal je 10 Schuß in zeitlich ganz beliebigen Abständen abgibt. Die

Summation der Schüsse führt endlich zum Erfolg, daher gilt auch für die genetische Zellschädigung das Gesetz der Strahlensummation. Mit anderen Worten: zum Unterschied von allen anderen Körperzellen, bei denen einmalig eine gewisse Schwelle Dosis mal Zeit überschritten werden muß, um sie zu schädigen, summieren sich gegenüber den Keimzellen alle jemals stattgehabten, auch noch so geringfügigen Strahlenbelastungen bis zu dem Moment, in dem auf Grund der erfüllten Wahrscheinlichkeit nun ein Gentreffer sitzt und eine erbliche Schädigung eintritt.

Nun ist gerade das Strontium als Knochensucher genetisch nicht von so großer Bedeutung wie das zweite Spaltprodukt, das jetzt immer mehr an Interesse gewinnt: das Caesium (^{137}Cs). Während Strontium 90 nur ein β -Strahler mit daher limitierter Reichweite ist und bald nach der Resorption fixiert wird, verhält sich Caesium 137 anders: es ist kein bone-seeker, wird also im Organismus transportiert und gibt neben einer β -Emission auch noch Gamma-Strahlung ab, deren Energie immerhin 0,66 MeV beträgt. Grob bildlich gesprochen wird also jedesmal, wenn ein Caesiumteilchen an den Gonaden vorbeitransportiert wird, eine bestimmte Strahlendosis auf die Keimzellen abgegeben. Wie sich die dadurch bedingte genetische Strahlenbelastung in Zukunft auswirken wird, ist derzeit noch unbekannt. Dagegen hat die — über verschiedene Biozyklen erfolgte — Anreicherung von radioaktivem Strontium in menschlichen Knochen als Folge von Atombomben-Versuchsexplosionen über das Knochenmark als Blutbildungsorgan zu einer, wenn auch sehr geringen, so doch statistisch gesicherten Zunahme der Leukämiefälle in den letzten Jahren geführt, wovon besonders Kinder betroffen sein sollen.

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): Megay Koloman

Artikel/Article: [Medizinische Erwägungen bei der Beurteilung radioaktiv verunreinigter Gewässer 131-141](#)