

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
= Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 157 (1977)

Vereinsnachrichten: Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung SAGUF
Autor: [s.n.]

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

C. Symposia

1. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung SAGUF
Association Suisse pour la Recherche sur l'Environnement
Associazione svizzera per la ricerca sull'ambiente

4. SAGUF-Symposium, 6. Oktober 1977 in Bern **Radioaktivität und Strahlenbelastung in der Schweiz**

H. Mislin (Carona/Lugano): Vorwort

Das 4. SAGUF-Symposium ist der Problematik der Radioaktivität und Strahlenbelastung in unserem Land gewidmet. Heute, da durch häufige Fehlinformation und falschverstandene Aussagen von Wissenschaftlern und Wissenschaftskontroversen eine grosse Unsicherheit in der Bevölkerung über die Gefährdung durch Radioaktivität und ionisierende Strahlen um sich greift, ist ein Symposium notwendig geworden, an dem Wissenschaftler ihre Ergebnisse und Erkenntnisse darlegen und offen diskutieren können, und wo zudem diese aktuellen Umweltprobleme in ihrer Verflechtung von Sachzwängen und gesellschaftlicher Problematik ohne Beschönigung oder Ideologie darzustellen sind. Es wird nicht überraschen, wenn der Biologe vorweg betont, dass die Problematik der Umwelt ein letztlich medizinisch-biologisches Anliegen ist, da es sich für die Menschen primär doch darum handeln muss, Gefahren, welche die Gesundheit im weitesten Sinn bedrohen, von sich abzuwenden, und die Grundlagen der eigenen Existenz und der noch Ungeborenen zu sichern.

Die Referenten beschränken sich in Kurzreferaten auf das Essentielle ihrer Messungen und Kontrollergebnisse: Es ist von allgemeinem Interesse zu erfahren, wie sorgfältig und verantwortlich die Überwachung der Radioaktivität im Lebensraum Schweiz ausgeführt wird, wie der Istzustand aussieht, und wie über die Zukunftsentwicklung gedacht wird. Die Diskussion befasst sich auch mit der Problematik der Kleinstdosen und mit kritischen Fragen im Bereich der Strahlengenetik.

1. O. Huber (Freiburg): Die Aufgaben der eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUeR)

Die Zunahme von Anzahl und Sprengkraft nuklearer Testexplosionen bewogen den Bundesrat, 1956 die KUeR zu ernennen. Die heutige Berichterstattung zuhanden interessierter Naturwissenschaftler fällt mit einer zwanzigjährigen Tätigkeit der KUeR im Dienste des Strahlenschutzes der Bevölkerung zusammen. Die Orientierung erstreckt sich über die Radioaktivität und Strahlenbelastung in der Schweiz, inklusive des Betriebes der Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg. Sie klammert aber viele Fragen "Für und wider die Kernenergie" aus. Auch so wird über eine Fülle von Messungen, Ergebnissen und Folgerungen berichtet und ich möchte den kompetenten Referenten danken, dass sie ermöglicht haben, dieses Symposium durchzuführen.

Der KUeR wurden vom Bundesrat im wesentlichen folgende Aufgaben übertragen:

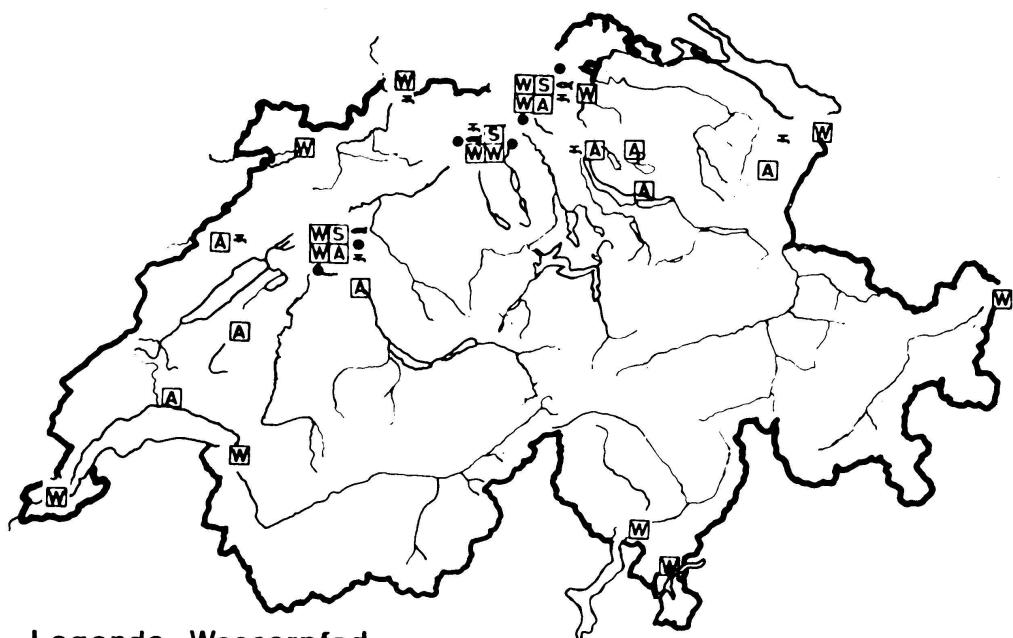
- a) Sie überwacht die Radioaktivität der Luft, der Niederschläge, der Gewässer und des Bodens durch fortlaufende Messungen.
- b) Sie unterrichtet den Bundesrat regelmässig über das Ergebnis der Überwachung.
- c) Sie bereitet die vom Bundesrat zu veranlassenden Orientierungen der Bevölkerung über das Ergebnis der Überwachung und über das Verhalten bei allfälliger Zunahme der Radioaktivität vor.
- d) Sie stellt dem Bundesrat Antrag über Massnahmen zum Schutze der Bevölkerung im Falle erhöhter Radioaktivität.

Die KUeR erkannte bald, dass die unter Punkt c) und d) aufgeführten Aufgaben ihre Mittel und Kräfte bei weitem übersteigen. Dies führte 1964 zur Schaffung einer "Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität" mit einem leitenden Organ, dem Alarmausschuss der KUeR. Darüber wird heute nicht berichtet.

Für die Aufgaben der KUeR, die nebst den Messungen der Umweltradioaktivität auch die Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden umfassen, stehen der Kommission eigene Laboratorien zur Verfügung. Wesentlich ist sie aber auf die Mitarbeit von Experten und deren spezialisierten Laboratorien angewiesen. Die Überwachung der Strahlenbelastung beruflich strahlenexponierter Personen ist drei Kontrollinstanzen, der Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, dem Eidgenössischen Gesundheitsamt und der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt übertragen. Im Bereich der Kontrolle der Radioaktivität der Lebensmittel arbeitet die KUeR eng mit der "Arbeitsgemeinschaft zur Überwachung der Lebensmittel" zusammen.

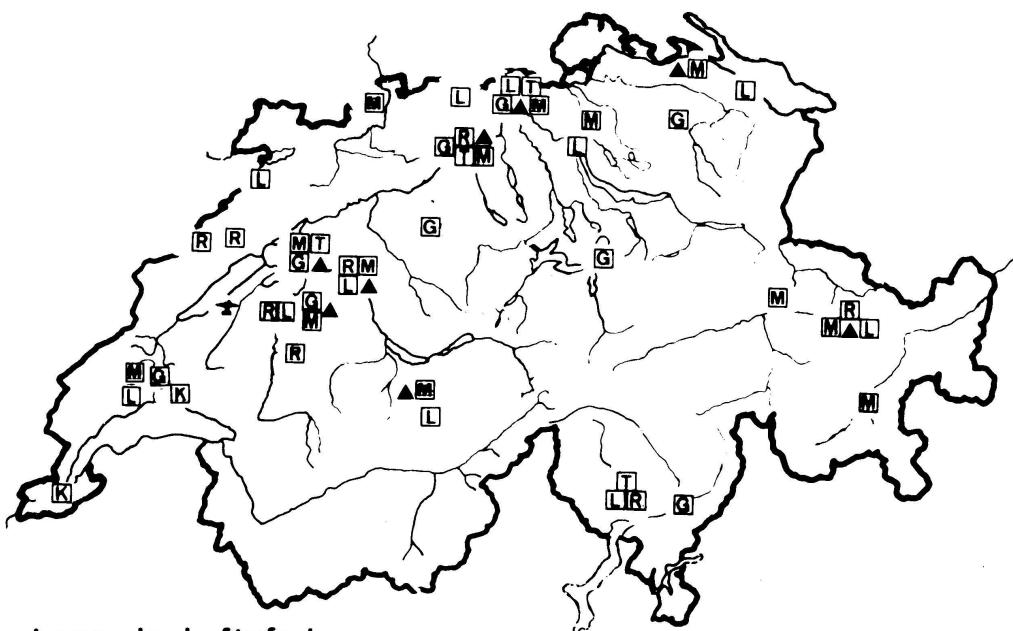
Das in Fig. 1 dargestellte Probenahmenetz der KUeR und ein entsprechender Messplan gestatten die Überwachung der gesamten Biosphäre. Dabei muss es Ziel unserer Bestrebungen sein, mit einer einfachen "Überwachungsphilosophie" ein möglichst lückenloses Bild der allgemeinen Verstrahlungslage in der Schweiz zu erhalten; dies in Zusammenarbeit mit allen Stellen, die in der Schweiz für den Strahlenschutz verantwortlich sind.

Gezielt werden die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Mühleberg, das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung, das ehemalige Versuchsat-



Legende: Wasserpfad

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| ■ Abwasser | ← Fischfleisch |
| □ Oberflächenwasser | ■ Sedimente |
| ✖ Trink- und Grundwasser | ● Wasserpflanzen, Schwebestoffe |



Legende: Luftpfad

- | | |
|------------------|--------------------------|
| □ Luft | ■ Getreide |
| □ Niederschlag | ■ Milch |
| □ Trockenstaub | ■ Knochen [Lausanne] |
| ▲ Erdboden, Gras | ■ menschl. Körper [Genf] |

Fig. 1 Probenahmenetz der KUeR, Stand 1977

kraftwerk Lucens und Industrien, die Radioisotope verarbeiten, überwacht. Auch entnehmen wir kontinuierlich Proben aus den Abwasserreinigungsanlagen Zürich-Werdhölzli und Lausanne.

Die Hauptflüsse werden vor dem Verlassen der Schweiz durch kontinuierliche Probenerhebung erfasst, ebenso werden Proben von Oberflächengewässern, Trink- und Grundwasser entnommen. Mit über die Schweiz verteilten Luft- und Regensammleraggregaten überwachen wir die Radioaktivität von Luft und Niederschlägen; in Locarno wird selbst die trockene Ablagerung von radioaktiven Aerosolen gemessen.

Schliesslich kontrollieren wir das Hauptnahrungsmittel Milch, dessen Vorläufer Erdboden und Gras, und als Endkontrolle wird durch Stichproben der menschliche Körper überwacht. Durch die Arbeitsgemeinschaft zur Überwachung der Lebensmittel werden weitere Nahrungsmittel kontrolliert.

Da der Zusammenhang zwischen der Radioaktivität in der Luft, im Niederschlag, im Boden und Gras, in der Milch, im Getreide, in den Lebensmitteln und im menschlichen Körper weitgehend bekannt ist, ergeben die diesbezüglichen Messungen eine gegenseitige Kontrollmöglichkeit. Deshalb glauben wir ein optimales Überwachungsnetz aufgebaut zu haben.

Bei der Beurteilung der Messresultate hat die KUeR in ihren Jahresberichten an den Bundesrat immer besonderes Gewicht auf die möglichen Auswirkungen auf den Menschen gelegt. Anfänglich bildete der radioaktive Ausfall von Kernwaffenexplosionen das wichtigste Untersuchungsobjekt. Heute stehen jedoch die Messungen radioaktiver Immissionen aus Radioisotope verarbeitenden Industrien und Spitätern und besonders auch aus Kernkraftwerken im Vordergrund.

In Fig. 2 ist als Beispiel der Probenahmeplan zur radiologischen Umgebungsüberwachung des Kernkraftwerkes Gösgen dargestellt. Es werden alle wesentlichen Elemente in der Umgebung, speziell auch die Ortsdosen mit Thermolumineszenz-Dosimetern und die Aerosol-Radioaktivität mit Vaselinplatten überwacht. Boden, Gras, Getreide und Milch akkumulieren gewisse radioaktive Isotope und sind deshalb besonders empfindliche Fühler.

Bis zur Inbetriebnahme der Anlage dienen die Messungen zur Beweissicherung des radioaktiven Untergrundes. Deshalb wurde die Umgebungsüberwachung anderthalb Jahre vor dem Betrieb des Kernkraftwerkes Gösgen aufgenommen.

Auch hier wird angestrebt, mit vernünftigem Aufwand lückenlos festzustellen, ob die von der Behörde den Kernkraftwerken auferlegten strengen Abgabelimiten eingehalten werden. Dies wurde möglich durch eine enge Zusammenarbeit der Kontrollinstanz und der KUeR.

In den folgenden Referaten werden Ihnen nun die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung im Hinblick auf die Strahlenbelastung in der Schweiz vorgetragen. Wir sind dankbar, dass wir die Tätigkeit der Arbeitsgemeinschaft zur Überwachung der Radioaktivität der Lebensmittel, der Kontrollinstanzen und der KUeR eingehend darlegen dürfen. Nur durch ein umfassendes Messprogramm kann die Einhaltung der in Gesetzen, Verordnungen und Reglementen festgelegten Emissions-, Immissions- und Dosisgrenzwerte überprüft werden.

Als Resultat dieser Radioaktivitäts- und Dosisüberwachung ergibt sich für die Schweizer Bevölkerung für das Jahr 1976 zusammengefasst folgendes Bild (siehe 20. Bericht der KUeR zuhanden des Bundesrates) der Strahlenbelastung:

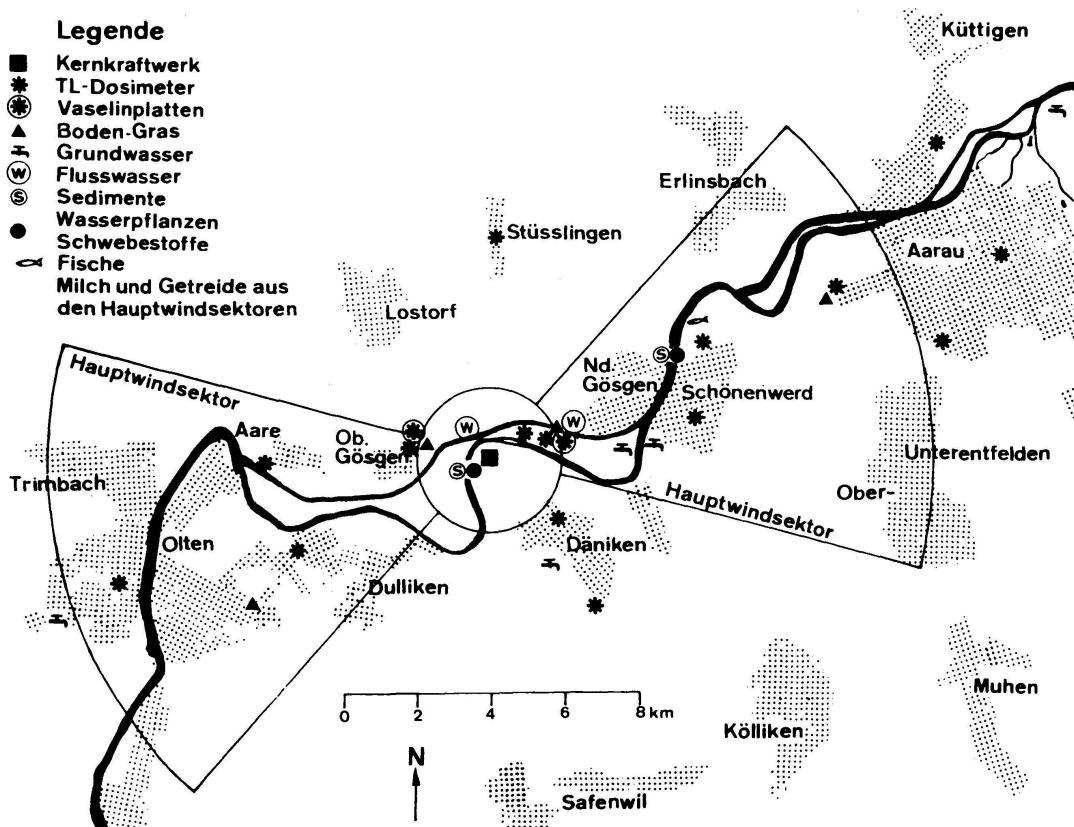


Fig. 2 Umgebungsüberwachung KKW Gösgen

Die durchschnittliche Ganzkörperdosis der Schweizer Bevölkerung durch die natürliche Radioaktivität und die kosmische Strahlung beträgt 120 mrem/Jahr, mit Minimalwerten von 70 mrem/Jahr im Jura und Maximalwerten von 320 mrem/Jahr in gewissen Alpenregionen.

Röntgendiagnostische Untersuchungen verursachten nach einer Erhebung von 1971 eine mittlere Knochenmarkdosis von 121 mrem/Jahr und eine genetisch signifikante Dosis von 43 mrem/Jahr.

Der radioaktive Ausfall von Kernwaffen-Testexplosionen bewirkte 1976 noch 5 mrem Ganzkörperdosis. Diese Dosis verteilt sich etwa zu gleichen Teilen auf externe Bestrahlung durch auf dem Boden abgelagertes Caesium-137 und interne Bestrahlung durch in den Knochen eingelagertes Strontium-90.

Die durch radioaktive Abluft aus Kernanlagen hervorgerufenen maximalen Ortsdosen im Freien lagen beim Kernkraftwerk Beznau unter 1 mrem/Jahr, beim Kernkraftwerk Mühleberg bei 3 mrem/Jahr, wobei das Gebiet mit einer Ortsdosis über 1 mrem/Jahr rund 1 km² umfasste. Der Reaktor "Diorit" des Eidg. Institutes für Reaktorforschung Würenlingen, dessen Argon-41-Abgabe für wenige Bewohner der nahen Umgebung zu Personendosen von maximal 10 mrem/Jahr führte, wurde am 8. Juli 1977 stillgelegt.

Die mittlere Dosis der Schweizer Bevölkerung durch die radioaktiven Immissionen der Kernanlagen lag bei rund 0,1 mrem/Jahr, diejenige durch Immissionen radioaktiver Stoffe aus Industrien und Spitätern unter diesem Wert.

Der Beitrag der beruflich strahlenexponierten Personen zur durchschnittlichen Dosis der Schweizer Bevölkerung ergab rund 0,4 mrem im Jahr 1976.

Weitere zivilisatorische Strahlenquellen, wie Leuchtziffern von Uhren, Farbfernsehen, Rauchen und erhöhte kosmische Strahlung bei Flugreisen, führen zu einer nicht genau abschätzbaren Dosis zwischen 0,1 und 1 mrem/Jahr.

Die Tatsache, dass bis heute in der Schweiz der Betrieb von Kernanlagen und die Verwendung radioaktiver Stoffe in Technik und Medizin noch nie zu einer bedeutenden Erhöhung der Radioaktivität und damit zu einer Gefährdung der Bevölkerung geführt haben, ist neben strengen Abgabevorschriften und Kontrollen durch die Kontrollinstanzen nicht zuletzt auch auf eine möglichst lückenlose Überwachung der Immissionen in die Biosphäre zurückzuführen.

2. J. Halter (Freiburg): Die Radioaktivität des Erdbodens und der Atmosphäre

Einleitung

Die beim radioaktiven Zerfall ausgesandte Strahlung durchdringt die Materie und gibt dabei ihre Energie an diese ab. Zerfälle, die sich im Erdboden oder in der Umgebungsluft ereignen, wirken auf den Menschen hauptsächlich durch die durchdringende, aber schwach ionisierende Gammastrahlung (externe Bestrahlung). Bei solchen, welche im Körperinnern stattfinden, sind die stärker ionisierende Betastrahlung und noch mehr die Alphastrahlung von grösserer Bedeutung (interne Bestrahlung). Dem Thema der Strahlenbelastung sind mehrere Referate des Symposiums gewidmet. Deshalb werden nur am Schluss dieses Referats die gesamten Dosen durch natürliche Radioaktivität und durch Spaltprodukte von Kernwaffen miteinander verglichen.

Natürliche Radioaktivität in Luft und Erdboden

Die kosmische Strahlung erzeugt in der Lufthülle der Erde radioaktive Nuklide, hauptsächlich H-3 (Tritium), Be-7, C-14 und Ar-37. Die gesamte Konzentration an diesen Radionukliden in der bodennahen Luft liegt in unserer geographischen Breite in der Grössenordnung von 1 pCi/m³ Luft (1 pCi = 2,2 Kernzerfälle/Minute).

Andererseits sind in der Erdkruste natürlich radioaktive Stoffe vorhanden, wie Uran und Thorium, die über eine Reihe von Folgeprodukten,

darunter Radium, in stabiles Blei zerfallen, und ausserdem K-40, das im natürlichen Kalium enthalten ist. Ihre Konzentration ist je nach Gesteinsart verschieden, im Erdboden in der Schweiz 10000 – 20000 pCi K-40/kg und einige 1000 bis über 10000 pCi/kg Radionuklide der beiden Zerfallsreihen. Sowohl in der Uran- wie in der Thoriumreihe ist ein Zwischenprodukt ein Isotop des Radons (Rn-222 bzw. Rn-220), welches als Edelgas in die Luft gelangt. Der Radongehalt der Luft hängt von den mineralogischen und den meteorologischen Verhältnissen ab und ist demgemäß örtlich und zeitlich variabel. Als Richtwerte kann man in unserer Atemluft etwa 100 pCi Rn-222/m³ und 10 pCi Rn-220 (Thoron)/m³ annehmen. Die späteren Glieder der Zerfallsreihe können sich an Aerosole anlagern und nach Einatmen zu einer internen Bestrahlung führen.

Immissionen radioaktiver Stoffe in der Luft

Nach einer Kernwaffenexplosion steigt die radioaktive Wolke in grosse Höhen und wird mit dem Wind allmählich über die Hemisphäre verteilt. Die radioaktiven Spaltprodukte – abgesehen von den Edelgasen – lagern sich an Aerosole an, welche direkt oder mit dem Niederschlag auf den Erdboden abgesetzt werden. Dies geschieht für die Aktivität in der Troposphäre im Verlauf von einigen Wochen bis Monaten; aus der Stratosphäre gelangen noch nach Jahren langlebige Radionuklide in die erdnahen Luft. Emissionen aus Kernanlagen – vorwiegend Edelgase und Jod – und aus Tritium verarbeitenden Betrieben haben nur lokale Bedeutung.

Messmethoden und -ergebnisse

Gesamtbeta-Messung: Zur Ermittlung der gesamten an Aerosolen angelagerten Aktivität dient die Betamessung von Luftfiltern. Von den natürlichen Radionukliden bleiben in den Filtern nur Be-7, das keine Betastrahlen aussendet, und die Folgeprodukte des Radons zurück. Diese zerfallen mit kurzer Halbwertszeit, sodass ca. 2 Tage nach Ende der Sammelzeit nur die längerlebigen in der Luft immittierten Radionuklide übrigbleiben. Seit ihrem Bestehen 1956 hat die Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER) auf diese Weise die Aerosolaktivität von Luftfiltern automatisch gemessen und registriert. Nach den Bombentestserien der USA und der USSR in den Jahren 1956/58 und 61/62 erreichte die Luftaktivität an Spaltprodukten Monatsmittelwerte bis 6 pCi/m³ und Tagesmittelwerte bis 22 pCi/m³. In den letzten Jahren blieb sie mit Ausnahme von kurzzeitigen Spitzen beim ersten Durchgang der Spaltprodukte einzelner Atombomben immer unter 1 pCi/m³.

Gammaspektroskopie: Neben der Halbwertszeit sind Energie und Intensität der ausgesendeten Gammastrahlen für die einzelnen Radionuklide charakteristische Größen. Durch die Aufnahme eines Energiespektrums mit hoher Auflösung können daher die einzelnen Radionuklide in einem Gemisch festgestellt werden. Solche Analysen erlauben, Aktivitätskonzentrationen einzelner Nuklide bis zur Größenordnung 1 pCi/1000 m³ Luft quantitativ nachzuweisen. In den letzten Jahren war die “künstliche” Luftradioaktivität

schwach. Deshalb konnte anhand der Gammaspektren und der bekannten Zusammensetzung des Spaltproduktgemisches in Funktion seines Alters jede neue Nuklearexplosion festgestellt und teilweise auch datiert werden.

Weitere Methoden: Zur Bestimmung von Radionukliden, welche mit der gammaskopischen Messung von Luftfiltern nicht erfasst werden (reine Alpha- und Betastrahler, Gase), müssen spezielle Verfahren vornehmlich der chemischen Abtrennung und nachherigen Messung angewendet werden. In der Schweiz werden entsprechende Analysen an Luftproben ausgeführt an der Abt. für Low Level Counting der Universität Bern (Ar-37, C-14, H-3), der EAWAG (Sr-90), dem Inst. für anorg., anal. und phys. Chemie der Universität Bern (Pb-210) und dem Labor Fribourg der KUER (Alphastrahler).

Niederschlag und Erdboden

Die Radioaktivität des Niederschlags widerspiegelt im zeitlichen Verlauf diejenige der Luft, mit dem Unterschied, dass eine Fraktionierung der Radionuklide gemäss ihrer Löslichkeit stattfindet. Das einzige Radionuklid, für welches dem Niederschlag gegenüber der Luft erhöhte Bedeutung zukommt, ist das Tritium. Gegenwärtig beträgt seine Konzentration im Niederschlag in der Schweiz 200 – 800 pCi/1 Regenwasser, rund das Hundertfache des natürlichen Tritiumgehaltes. Diese Erhöhung ist fast ausschliesslich auf Kernwaffenexplosionen zurückzuführen. Lokal können sich Immissionen aus andern Quellen bemerkbar machen, wie Tritiummessungen von Niederschlag in der Gegend von La Chaux-de-Fonds zeigen. Durch die Verwendung von Tritium in Leuchtfarbensetzereien gelangt HTO-Dampf in die Atmosphäre, der kondensiert und im Niederschlag im Stadtinnern eine rund doppelt so hohe Tritiumkonzentration hervorruft als im Niederschlag wenige km südlich und westlich der Stadt.

Gammaspektren von Erdbodenproben der obersten Schicht zeigen neben den natürlichen Radionukliden das langlebige Spaltprodukt Cs-137 (30 Jahre Halbwertszeit) in Konzentrationen von einigen 100 bis einigen 1000 pCi/kg. Analysen auf Sr-90 (28 Jahre Halbwertszeit) ergeben ähnliche Konzentrationen. Nach der Explosion von Atombomben sind gelegentlich auch andere Spaltprodukte in geringer Konzentration nachweisbar.

Die Resultate der Radioaktivitätsmessungen von Luft, Niederschlag und Erdboden in der Schweiz werden in den Jahresberichten der KUER *) veröffentlicht.

Dosisvergleich

Die gesamte natürliche externe Bestrahlung, inklusive direkte Einwirkung der kosmischen Strahlung, ergibt im Mittel für die Schweizer Bevölkerung eine Dosis von rund 100 mrem/Jahr (Extremwerte 50 und 300 mrem/Jahr). Durch Inhalation rufen die Folgeprodukte des Radons in den Alveolen

*) Jahresberichte der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität zuhanden des Bundesrates in Beilage B zum Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes.

interne Dosen der Größenordnung 100 mrem/Jahr und in den Bronchien der Größenordnung 1000 mrem/Jahr hervor. Die zusätzliche externe Strahlenbelastung durch Bombenspaltprodukte, hauptsächlich durch Cs-137 im Erdboden, beträgt gegenwärtig für die Bevölkerung des Mittellandes rund 2 mrem/Jahr.

Die Dosen durch Ingestion und die Einwirkungen der Kernanlagen werden in anderen Referaten behandelt.

3. Maria Magdalena Bezzegh (Dübendorf): Die Radioaktivität der Gewässer

Zusammenfassung

Die Erfahrungen, welche wir während der vergangenen 20 Jahre bezüglich der Radioaktivität im Ökosystem Wasser gesammelt haben, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der allgemeine Radioaktivitätspegel der schweizerischen Flüsse und Seen war zwischen 1958 und 1977 neben der natürlichen Radioaktivität (2 – 3 pCi/l Wasser) fast ausschliesslich von den bei den nuklearen Testexplosionen erzeugten Fallout-Produkten bedingt. Starke Aktivitätserhöhungen traten in den Zeitperioden der grossen Serien von nuklearen Testversuchen auf. Sie rührten vorwiegend von kurzlebigen Radionukliden her, so dass die Aktivität in den Gewässern nach der Einstellung der Atombombenexplosionen bald wieder den natürlichen Strahlungspegel erreichte. Das Gleiche gilt auch für den Niederschlag, was im Zusammenhang mit der Verwendung des Zisternenwassers als Trinkwasser von Bedeutung ist (Fig. 1).
2. Der grösste Teil der künstlich erzeugten und in die Flüsse und Seen gelangten Radioisotope lag in ungelöster Form, d.h. an Algen, Schwebestoffen, Wasserpflanzen und Sedimenten gebunden vor (Fig. 2). Eine erwähnenswerte Anreicherung der Radioisotope in Fischen liess sich nicht feststellen.
3. Die Radioaktivität der Grundwässer blieb von Fallout-Produkten – mit Ausnahme von Tritium – völlig unbeeinflusst.
4. Das Abwasser aus den Kernanlagen bewirkte bis heute eine, im Verhältnis zum Fallout vernachlässigbare Erhöhung des Radioaktivitätspegels der schweizerischen Gewässer.
5. Abwässer aus Spitäler und Isotope verarbeitenden Betrieben führten zu starken – wenn auch räumlich begrenzten – Radioaktivitätserhöhungen in den Gewässern (zur Zeit vor allem J-131 resp. T). Beträchtliche lokale Tritium-Immissionen fanden sich ferner in den Niederschlägen in der Umgebung einer Leuchtfarbenfabrik (Fig. 3) und von Leuchtfarbensetzereien. Ausgegangen von unseren bisherigen Beobachtungen über die Radioaktivität der schweizerischen Gewässer dürfen wir annehmen, dass in Zukunft keine signifikante Erhöhung des aktuellen, tiefen Radioaktivitätspegels in den Flüssen, Seen und Grundwässern zu erwarten ist. Die Voraussetzungen dafür sind allerdings, dass 1. keine weiteren Atomtestexplosionen in der Atmo-

sphäre erfolgen und 2. die Emissionen radioaktiver Stoffe aus den bestehenden und noch zu erstellenden Kernanlagen, den Radioisotope verarbeitenden Betrieben und Spitätern in der Schweiz und auch jenseits der Landesgrenze unter strenger Kontrolle gehalten werden. Dabei sollte man nie vergessen, dass zwar die "globalen" Aktivitätserhöhungen zweifellos beachtet werden müssen, aber die lokal begrenzten, eventuell sehr hohen Emissionen für die ansässige Bevölkerung eine viel grössere Bedeutung besitzen.

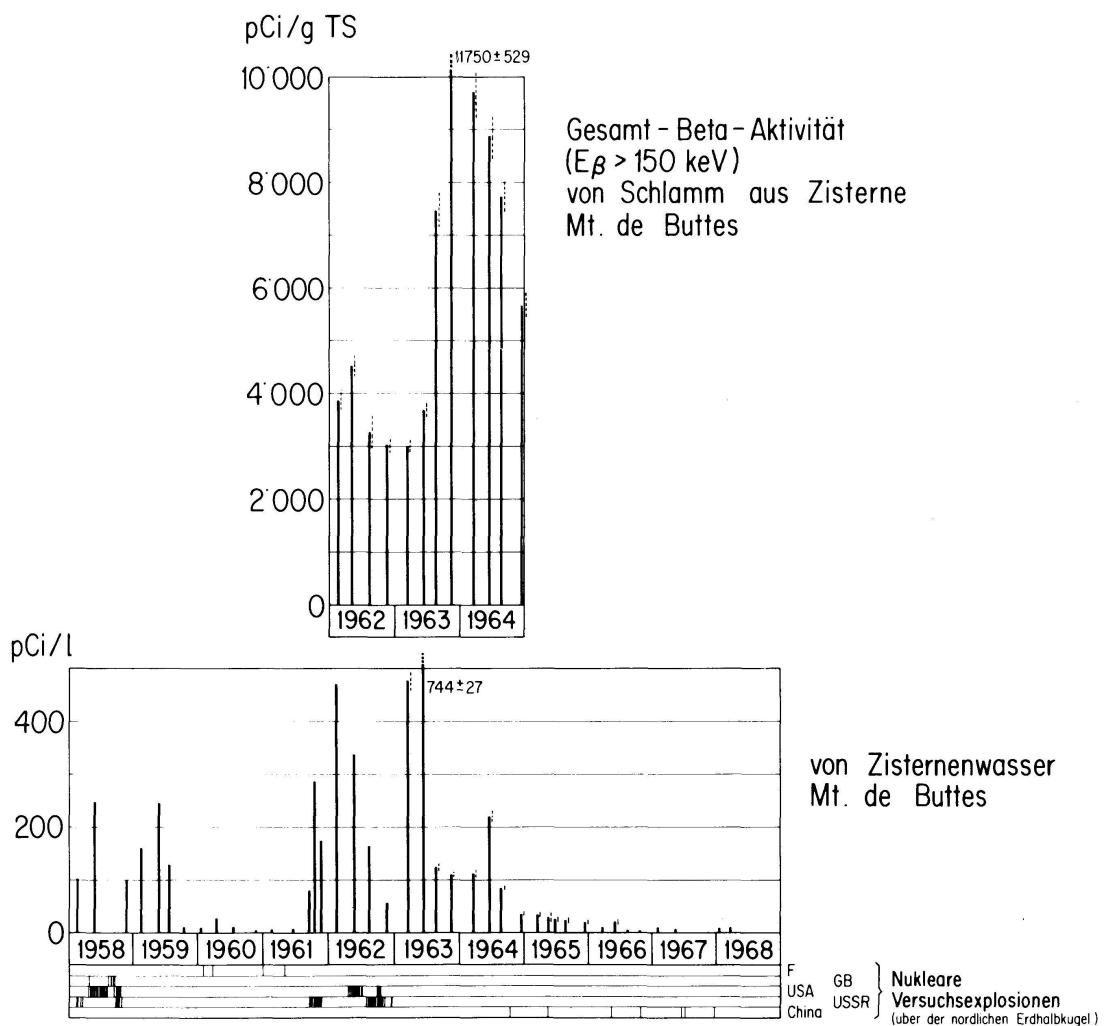


Fig. 1 Gesamt-Beta-Aktivität ($E_\beta > 150$ keV) von Schlamm aus der Zisterne Mt. de Buttes (oben), von Wasser (unten).

Fig. 2 Gesamt-Beta-Aktivität ($E_\beta > 150$ keV) von Plankton und Schwebestoffen aus dem Stausee Klingnau linkes Ufer (oben), rechtes Ufer (unten)

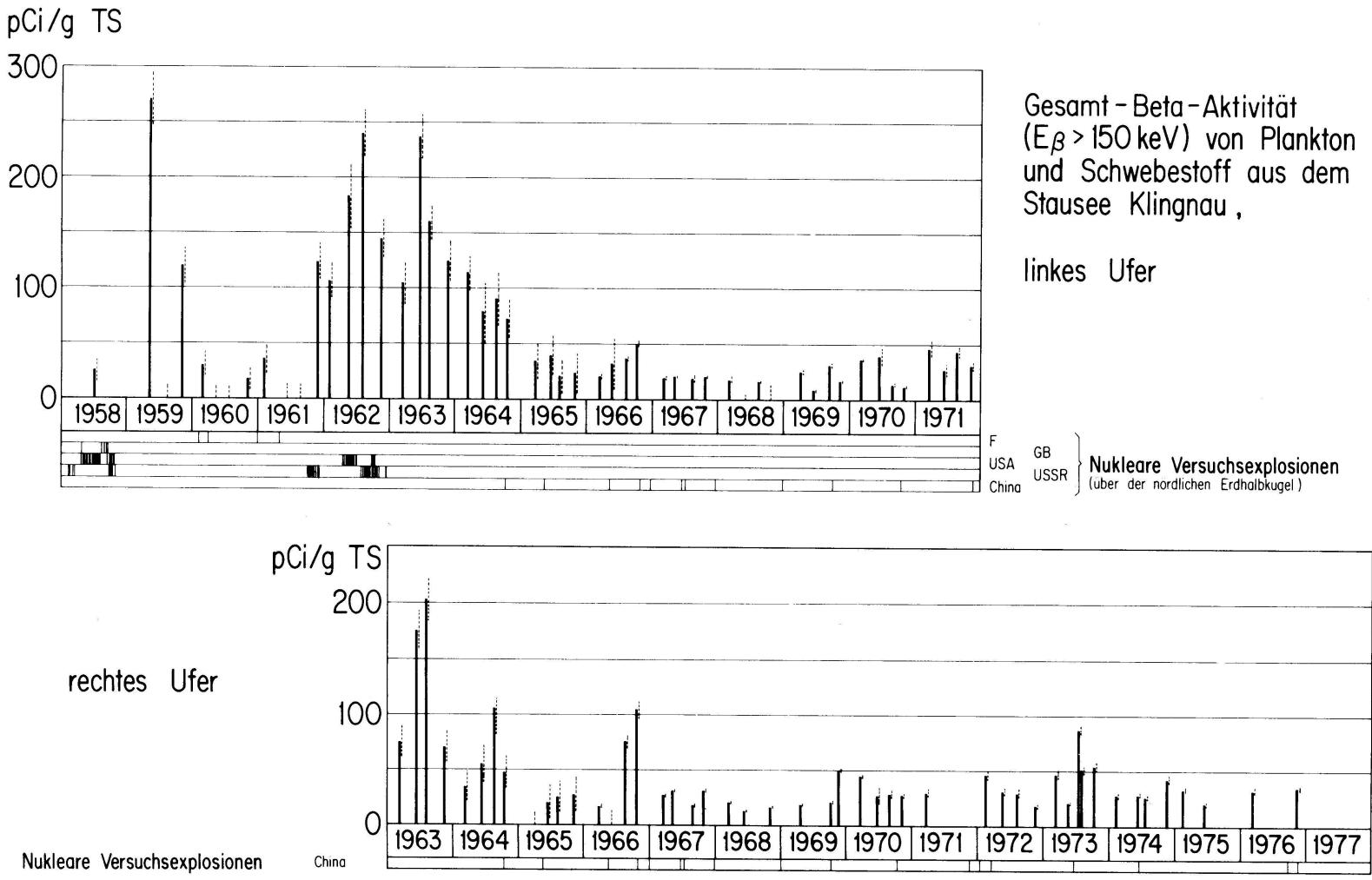
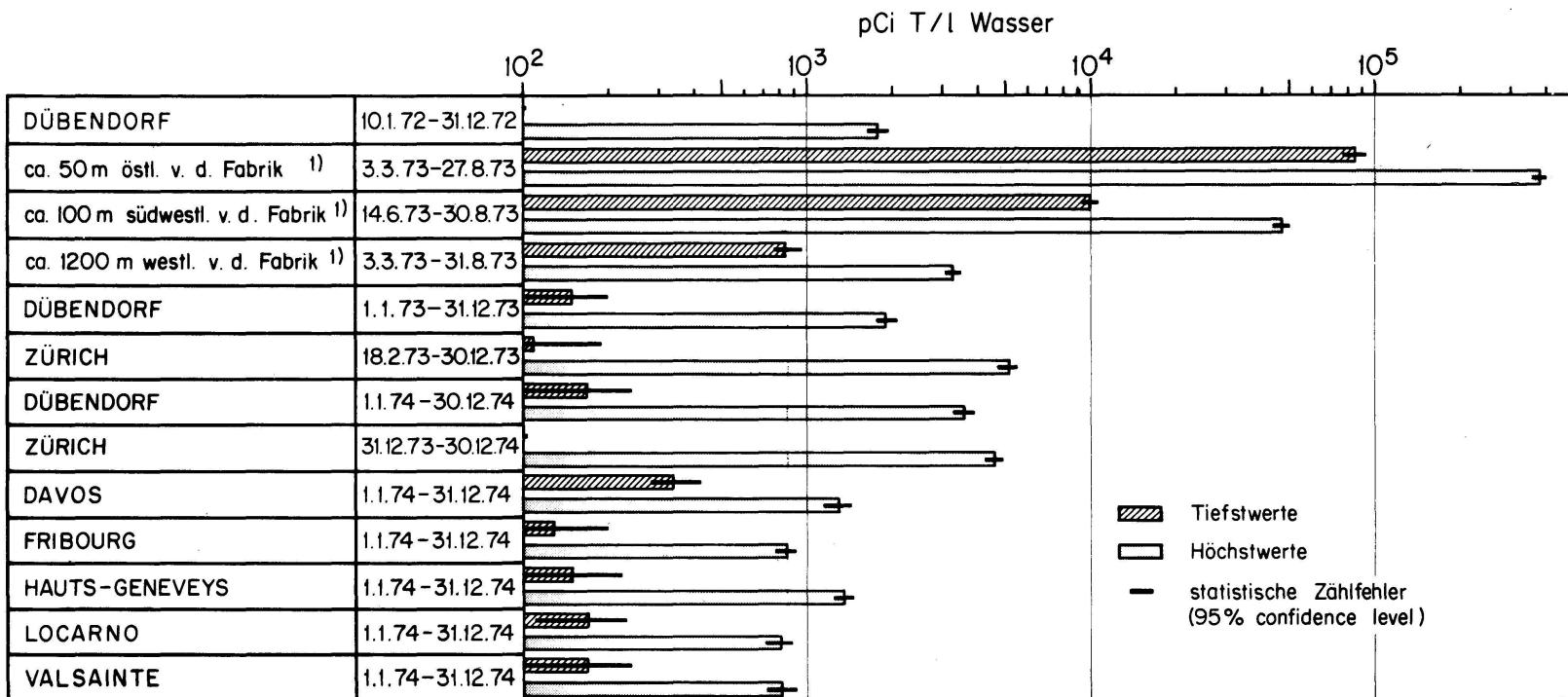


Fig. 3 Tiefst- und Höchstwerte der Tritium-Aktivitäts-Konzentration verschiedener Niederschlagsproben. 1) "Leuchtfarbenfabrik"



4. A. Miserez (Berne): La radioactivité des denrées alimentaires

Résumé¹

Les denrées alimentaires ont toujours apporté à l'organisme humain des éléments radioactifs naturels. Depuis la libération de l'énergie nucléaire par l'homme, les denrées alimentaires véhiculent en outre divers corps radioactifs d'origine artificielle. Les éléments radioactifs incorporés par voie de nutrition constituent une source d'irradiation interne non négligeable. Actuellement, en tant que source d'irradiation interne, les composés radioactifs d'origine naturelle prédominent, dans une très large mesure, les éléments radioactifs d'origine artificielle. Cela ressort très clairement de la comparaison des doses d'irradiation internes résultant de l'incorporation par voie de nutrition de ces deux catégories d'éléments radioactifs.

L'irradiation interne d'origine naturelle est due principalement à l'incorporation des radionucléides suivants:

potassium-40 (origine tellurique), radium-226 (origine tellurique), carbone-14 (origine cosmique), tritium (origine cosmique).

Le potassium naturel, présent dans la croûte terrestre et les êtres vivants, contient 0,012% de potassium-40 radioactif. Le potassium-40 constitue la principale source d'irradiation interne permanente de l'homme. L'organisme humain contient en effet 140 g de potassium naturel (100000 pCi ^{40}K), assez uniformément répartis dans les organes, notamment dans les muscles, et dont résulte un débit de dose moyen d'environ 20 mrem/an. La teneur en potassium des denrées alimentaires, par contre, diffère passablement de l'une à l'autre:

sucré et huile raffinés: 0 pCi, lait de vache: 1200 pCi/l, lait maternel: 400 pCi/l, café en grain: 16000 pCi/kg.

L'apport journalier en potassium-40 variera donc avec les habitudes alimentaires (2500 à 3500 pCi/jour); il se renouvelle constamment sans accumulation persistante nulle part.

Le radium-226 est proprement dit un contaminant d'origine naturelle; il n'a pas, contrairement au potassium, de signification biologique. Il se localise et s'accumule dans les tissus osseux (ostéocytes: 10 mrem/an). La concentration en radium des aliments est très faible (0,1–6 pCi/kg) et conduit à une ingestion moyenne de 1 à 3 pCi ^{226}Ra par jour. La teneur en radium 226 d'eaux minérales peut être très élevée (700000 pCi/l) et exceptionnellement celle de certains végétaux.

Le carbone-14 d'origine naturelle était présent dans la biosphère avant les explosions thermonucléaires à la concentration d'environ 7 pCi $^{14}\text{C}/\text{g}$ de carbone. Il en résultait pour l'homme une incorporation journalière par voie de nutrition d'environ 2300 pCi ^{14}C . L'homme standard (70 kg) constitué de 12,6 kg de carbone (90000 pCi ^{14}C) est soumis à une dose d'irradiation interne due au carbone-14 égale en moyenne à 1 mrem/an. Elle est un peu plus élevée dans les tissus adipeux. Un autre constituant des matières

1) Cette communication sera publiée sous une forme plus détaillée dans les "Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène", volume 70 (1979).

organiques, l'hydrogène, existe à l'état radioactif: c'est le tritium. Celui d'origine naturelle dispense à notre organisme une dose d'irradiation interne ne dépassant guère 2 μ rem/an (1/10000 ème de la dose interne due au ^{40}K).

L'irradiation interne d'origine artificielle résulte, aujourd'hui encore, presque uniquement des débris radioactifs répandus dans l'environnement par les essais massifs de bombes atomiques (1952 – 1962). Il s'agit des éléments les plus persistants suivants: strontium-90 (action assez semblable à celle du radium-226 = accumulation dans les os), césium-137 (action semblable à celle du potassium-40 = absence d'accumulation), carbone-14 (ne se différencie pas du carbone-14 d'origine cosmique = persistance très grande).

Un autre radionuclide artificiel, l'iode-131, passe très facilement dans le lait, notamment, et pose des problèmes d'irradiation interne malgré sa courte durée. Quant au tritium, il a vu sa production et son utilisation augmenter dans des proportions considérables.

Les quantités des éléments radioactifs artificiels persistants (^{90}Sr , ^{137}Cs) ingérés par voie de nutrition peuvent être évaluées pour l'ensemble de la population à partir de la teneur du lait en ces éléments. Il s'agit dans notre pays (1976) des valeurs suivantes: strontium-90/9 pCi/jour (1,1 mrem/an) lait 6 pCi/1, césium-137/16 pCi/jour (0,18 mrem/an) lait 8 pCi/1.

Des données sur l'augmentation du carbone-14 dans la biosphère résultant des essais nucléaires passés et du fonctionnement des centrales nucléaires existent. Il semblerait que l'augmentation est demeurée acceptable.

En conclusion, les denrées alimentaires jouent un rôle déterminant dans l'irradiation interne de l'organisme humain. Comme véhicule, elles introduisent dans notre organisme la presque totalité des éléments radioactifs naturels (^{40}K , ^{14}C , ^{226}Ra) et les éléments radioactifs artificiels les plus à craindre (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{14}C , ^{131}I). La dose d'irradiation interne résultant de cette incorporation représente dans nos régions le 20–30% de la dose d'irradiation totale (interne et externe). Seuls, 5–10% de la dose d'irradiation interne (1–3% de la dose d'irradiation totale) proviennent actuellement d'éléments radioactifs artificiels (^{90}Sr , ^{137}Cs), alors que les éléments radioactifs naturels incorporés par voie de nutrition (source naturelle) représentent le 90–95% de la dose d'irradiation interne.

Quinze ans après la convention sur l'interdiction des essais d'explosifs nucléaires dans l'atmosphère, la teneur en strontium-90 du lait de plaine s'est pratiquement stabilisée à un niveau proche de la limite de détection. Il importe malgré tout de pouvoir déceler à temps toute éventuelle modification future de la radioactivité des denrées alimentaires, dont la surveillance permanente demeure indispensable.

5. W. Jeschki (Würenlingen): Die Strahlenbelastung in der Umgebung von Kernkraftwerken

Einleitung

Die Zusammensetzung unserer Erde und unserer Atmosphäre ist von der Natur gegeben. Auf unserer Welt laufen zahlreiche Prozesse ab, deren reibungsloses Funktionieren auf der von der Natur gegebenen Zusammensetzung unserer Umwelt beruht. Eine Störung dieser Zusammensetzung kann, wenn sie ein gewisses Mass überschreitet, zur Störung der für unser Leben notwendigen Prozesse führen.

Ein in dieser Hinsicht oft erwähnter und diskutierter Stoff ist das Kohlendioxyd, welches u.a. für die Assimilation der Pflanzen notwendig ist. Die Konzentration des Kohlendioxyd in unserer Atmosphäre hat aber auch grossen Einfluss auf das Klima. Die Erhöhung dieser Konzentration durch Verbrennen von Kohle und Oel gibt immer wieder Anlass zu heftigen Diskussionen, in denen die Wissenschaftler jene Mengen an zusätzlich erzeugtem Kohlendioxyd zu bestimmen versuchen, welche zu einer unzumutbaren Beeinträchtigung unserer Lebensbedingungen führen könnten.

Radioaktive Stoffe – und damit eine gewisse Strahlenbelastung des Menschen – sind uns ebenfalls von der Natur gegeben. Als Beispiel seien die durch kosmische Strahlung erzeugten Radioisotope C-14 und H-3 erwähnt, ferner die im Erdboden vorkommenden Isotope K-40 und Rb-87, sowie alle Folgeprodukte der natürlichen Zerfallsreihen, die von Uran bzw. Thorium ausgehen.

Am Schluss des Artikels soll versucht werden, die durch die Kernkraftwerke verursachte Strahlenbelastung mit der naturgegebenen Strahlenbelastung zu vergleichen. Das ist ein Vergleich, der zulässig *und* notwendig ist. Hat man die Notwendigkeit der Erzeugung von Energie bejaht, so geht es ja dem Umweltschutz darum, welche Form der Energieerzeugung die Umwelt am wenigsten beeinträchtigt. Und absolute Zahlen sagen hier sehr wenig; die Zahlen bekommen erst Aussagekraft, wenn man sie mit etwas – z.B. mit etwas Naturgegebenem – vergleichen kann.

Kernkraftwerke in der Schweiz

Fig. 1 zeigt die Standorte der zur Zeit in Betrieb stehenden, sich in Bau befindlichen sowie der mit einer Standortbewilligung nach geltendem Recht versehenen geplanten Kernkraftwerke.

Bei den beiden Kernkraftwerkseinheiten in Beznau, KKB I und KKB II, handelt es sich um Druckwasserreaktoren mit einer elektrischen Leistung von je 350 MW. In Mühleberg (KKM) steht ein Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 306 MW in Betrieb. Das Kernkraftwerk KKB I wurde im Dezember 1969 in Betrieb genommen, KKB II im Januar 1971 und KKM im November 1972. Die Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) sind derzeit in Bau.

Radioaktive Abgaben: Woher? Wohin?

In einem Kernkraftwerk befinden sich grosse Mengen an radioaktiven Stoffen, und zwar Spaltprodukte, die in den Brennelementen eingeschlossen sind, und Aktivierungsprodukte, die durch Bestrahlung der Konstruktionsmaterialien mit Neutronen entstehen und in den Kreisläufen zirkuliert werden. Wieso kommt es nun zu geringen radioaktiven Abgaben nach aussen?

Abwässer fallen z.B. an bei Leckagen an Pumpenwellen oder bei gewissen Ventilen. Diese Abwässer werden kontrolliert erfasst und einem Sammelbecken zugeführt. Zur Reinigung kontaminierten Maschinenteile wird ebenfalls Wasser benötigt, sowie zur Regeneration von Ionenaustauschern. Alle diese Abwässer werden vor der Abgabe an den Fluss noch behandelt, damit nach aussen möglichst wenig radioaktive Stoffe gelangen.

Durch Neutronenbestrahlung entstehen im Wasser auch radioaktive Gase. Weiter treten durch Undichtheiten in den Brennelementhüllen gasförmige Spaltprodukte ins Wasser aus. Diese gasförmigen radioaktiven Stoffe werden durch Entgasung dem Wasser entzogen und über eine Rückhalte- und Filterstrecke der Abluft zugeführt. Eine weitere Quelle für gasförmige radioaktive Stoffe sind Systemleckagen. Diese Leckagen werden ebenfalls vom Abluftsystem kontrolliert erfasst.

- in Betrieb
- ✗ in Bau
- Standortbewilligung erteilt

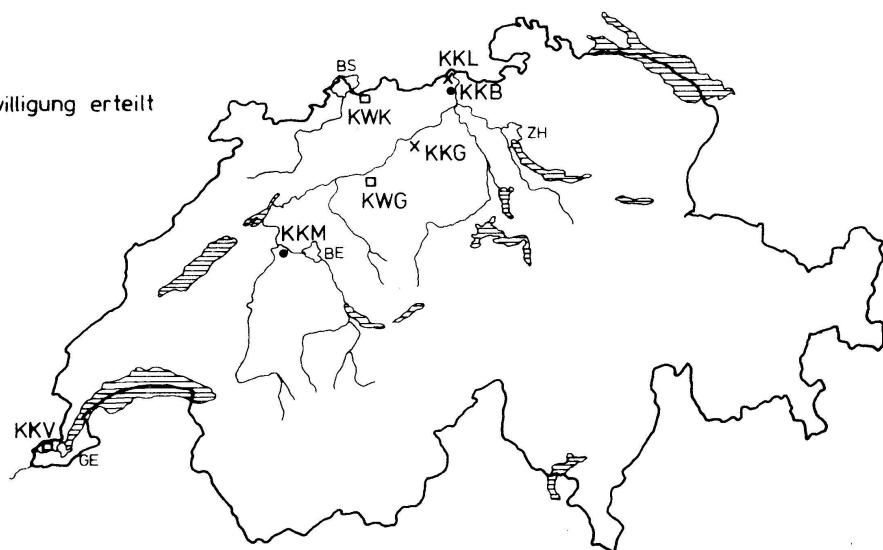


Fig. 1 Kernkraftwerke in der Schweiz

Fig. 2 zeigt, wohin in unserer Umwelt die über die Abluft bzw. das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe gelangen können. Die flüssigen Abgaben werden in einen Fluss eingeleitet, und können den Menschen direkt bestrahlen (Schwimmen im Fluss, Wandern am Ufer), oder durch diesen durch Fischverzehr aufgenommen werden. Bewässerung von Feldern mit Flusswasser und Verwendung von unaufbereitetem Flusswasser als Trinkwasser haben in der Schweiz kaum eine Bedeutung und führen daher zu keiner Strahlenbelastung.

Der Luftpfad kann eine externe Bestrahlung des Menschen bewirken. Weiter können radioaktive Stoffe durch die Atmung oder durch Verzehr von Gemüse, Milch etc. inkorporiert werden.

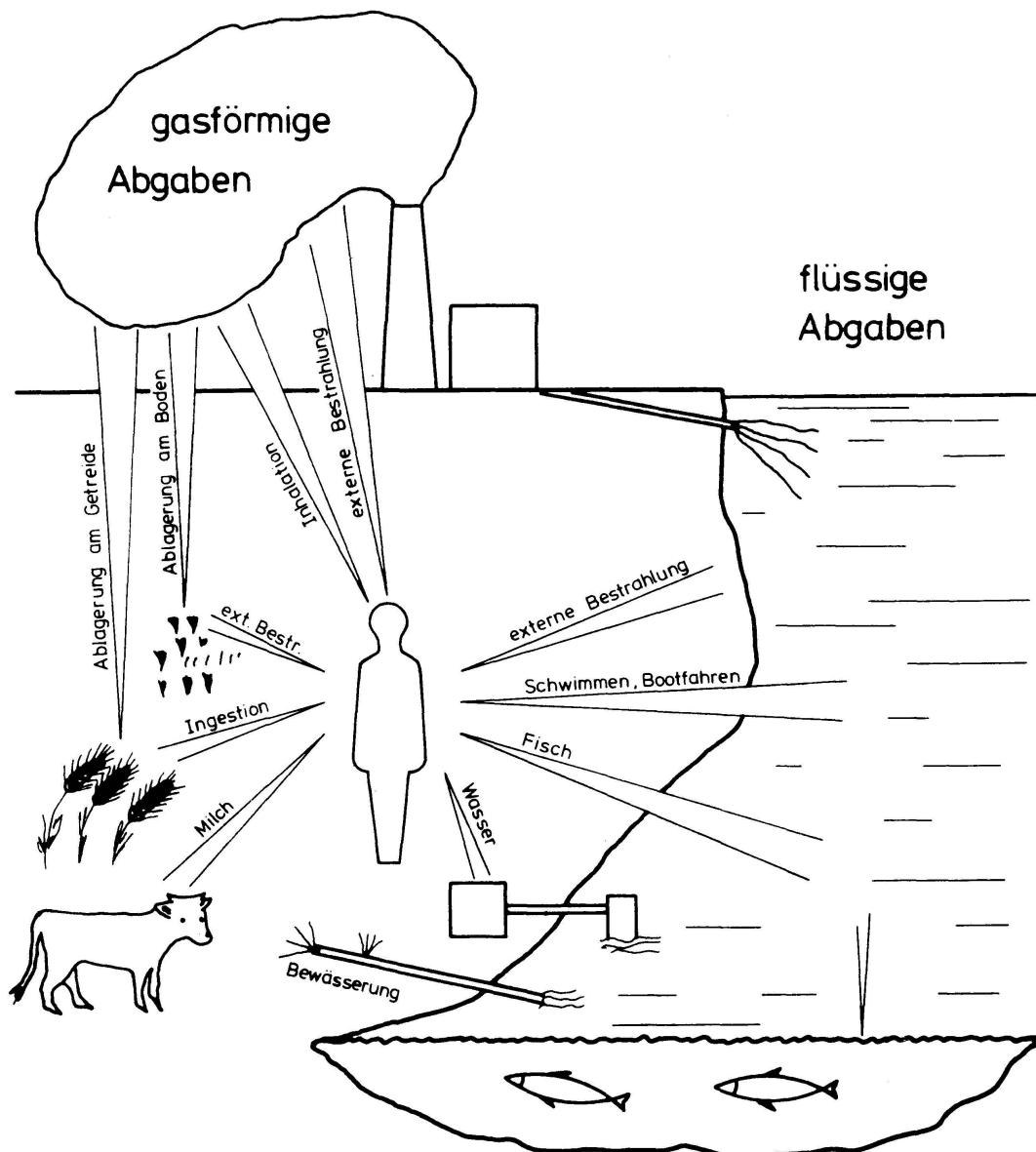


Fig. 2 Belastungspfade

Alle diese möglichen Bestrahlungspfade werden von der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUeR) in Zusammenarbeit mit der Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK) überwacht.

Gesetzliche Bestimmungen

Für die Schweiz gelten bezüglich Abgaben radioaktiver Stoffe von Kernkraftwerken an die Umgebung die Verordnung über den Strahlenschutz vom 30. Juni 1976 (SSVO) sowie Richtlinien der ASK, die in Zusammenarbeit mit der KUeR erarbeitet worden sind.

Artikel 107 der SSVO beschränkt die Abgaben an die Umwelt so, dass die Strahlenbelastung durch die Abluft an keinem allgemein zugänglichen Ort Jahresdosen von mehr als 50 mrem ergeben kann. Ebenso darf die Abgabe flüssiger radioaktiver Stoffe an Abwassersysteme höchstens eine Dosis von 50 mrem/Jahr bewirken.

Die ASK/KUeR begrenzt in ihrem Abgabekonzept die Dosis der am stärksten betroffenen Bevölkerungsgruppe (kritische Gruppe), und zwar darf die Dosis dieser Bevölkerungsgruppe über beide Abgabewege zusammen (also über den Luftpfad *und* den Wasserpfad) 20 mrem/Jahr nicht übersteigen. Dieser Wert wird in den meisten Fällen eine strengere Grenze als der in Artikel 107 der SSVO vorgegebene Wert sein. Mit dem Grenzwert der ASK für die Abgaben von Kernkraftwerken wird berücksichtigt, dass die Umgebung unter Umständen nicht nur durch Abgaben von Kernkraftwerken, sondern auch durch Abgaben aus Spitätern, isotopenverarbeitenden Industrien etc. belastet werden kann.

Im Bewilligungsverfahren muss für jeden Standort, unter Berücksichtigung standortspezifischer Gegebenheiten (Topographie, Meteorologie, Wasserführung des Flusses etc.), die Dosis von 20 mrem/Jahr in einen entsprechenden Abgabewert umgerechnet werden, der in Curie/Jahr angegeben wird.

Die nach dem jetzigen Stand der Technik verfügbaren Abgas- und Abwassersysteme erlauben eine weitere Begrenzung des so berechneten Abgabewertes. Diese weitere Begrenzung wird international empfohlen und soll so durchgeführt werden, dass unvermeidbare Bestrahlungen so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar zu halten sind, unter Beachtung ökonomischer und sozialer Gesichtspunkte.

Das bedeutet also, dass die für Kernkraftwerke zugelassenen Abgaben nur Dosen von weniger als 20 mrem/Jahr verursachen können. Wie tief die aufgrund der tatsächlichen Abgaben für die Umgebung der Kernkraftwerke berechneten Dosen sind, wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau

Die im Jahre 1976 abgegebenen Mengen an radioaktiven gasförmigen und flüssigen Stoffen sind im Bericht der KUeR nachzulesen. Hier werden nur die aufgrund der Abgaben verursachten Dosen behandelt. Fig. 3 gibt die für die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau berechneten Dosen, hervorgerufen durch radioaktive Abgaben über den Luftpfad und den Wasserpfad an.

Die durch externe Strahlung verursachten Ortsdosen – d.h. Dosen an ein und demselben Ort im Freien – betragen für KKM 3 mrem/Jahr, für KKB weniger als 0,3 mrem/Jahr. Da sich Personen kaum das ganze Jahr hindurch im Freien an diesen Orten aufhalten dürften, wird die von Personen akkumulierte Dosis – hier Personendosis genannt – sicher unter 1 mrem/Jahr liegen.

Es wird hier von berechneten Dosen gesprochen. Da die jährlichen Dosen verursacht durch die natürliche Radioaktivität etwa 100 mrem betragen, diese natürliche Dosis aber Schwankungen von bis zu 10 mrem/Jahr unterworfen sein kann, kann der durch die Kernkraftwerke verursachte kleine Dosisbeitrag kaum gemessen werden. Die mit hochempfindlichen Messinstrumenten durchgeführten Messkampagnen bestätigen aber, dass die tatsächlichen Dosen nicht höher liegen als die berechneten.

Unter der Annahme, dass Personen dem Fluss direkt unterhalb der Kernkraftwerke Wasser entnehmen und dieses unaufbereitet als Trinkwasser verwenden (eine Praxis, die wegen der starken Verschmutzung unserer Flüsse mit Detergentien, Fäkalien etc. kaum empfohlen werden sollte), kann für diese Personen eine theoretische Dosis errechnet werden. Diese theoretische Dosis beträgt für KKM 0,26 mrem/Jahr, für KKB I + II weniger als 0,1 mrem/Jahr.

Beurteilung der durch Kernkraftwerke verursachten Strahlenbelastung
In der Einleitung wurde schon erwähnt, dass zur Beurteilung der von den Kernkraftwerken in deren unmittelbaren Umgebung (1–10 km) verursach-

LUFTPFAD : MAXIMALE ORTSDOSIS IN DER UMGEBUNG

WASSERPFAD : THEORETISCHE DOSIS FÜR PERSONEN, DIE IHREN TRINKWASSERBEDARF
DURCH UNAÜFBEREITETES FLUSSWASSER DECKEN WÜRDEN

KERNKRAFTWERK	LUFTPFAD mrem/a	WASSERPFAD mrem/a
KKM	3	0,26
KKB I + II	< 0,3	< 0,1

Fig. 3 Jahresdosen in der Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau

ten Strahlenbelastung eine Vergleichsbasis herangezogen werden muss. Diese Vergleichsbasis liefert die Natur durch die natürliche Strahlenbelastung der Menschen.

Diese natürliche Strahlenbelastung beträgt in der Schweiz im Mittel 118 mrem/Jahr, wobei Tiefstwerte von 69 mrem/Jahr und Höchstwerte von 325 mrem/Jahr gemessen wurden.

Diesen Werten, denen die gesamte Schweizer Bevölkerung ausgesetzt ist, sind die maximalen Jahressoden von 3 mrem/Jahr beim Kernkraftwerk Mühleberg und 0,3 mrem/Jahr beim Kernkraftwerk Beznau gegenüberzustellen, wobei diese künstliche Strahlenbelastung nur wenige Leute betrifft.

Diese Zahlen zeigen, ohne viele zusätzliche Worte, dass dem Umweltschutz beim Betrieb der Kernkraftwerke höchste Aufmerksamkeit geschenkt wurde und geschenkt wird, und dass ein optimaler Umweltschutz erzielt werden konnte.

6. W. Hunzinger und W.S. Moos (Bern): Die Strahlenbelastung beruflich exponierter Personen in der Medizin und Forschung während des Jahres 1976

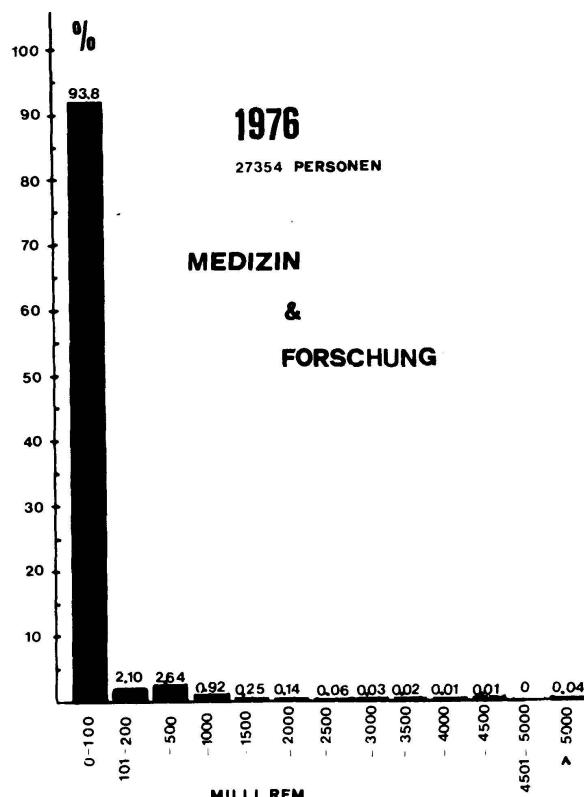


Fig. 1 Prozentuale Verteilung strahlenexponierter Personen in Medizin und Forschung nach bestimmten Dosisintervallen

Beruflich strahlenexponierte Personen haben laut Strahlenschutzverordnung ihre individuelle Strahlendosis fortlaufend zu messen. Das Eidgenössische Gesundheitsamt sowie mehrere andere Messstellen in der Schweiz bieten zu diesem Zweck einen Dosimetrieservice an, der jedem beruflich Strahlenexponierten ein Dosimeter zur Verfügung stellt, das während der Arbeit an der meist exponierten Stelle des Körperstamms zu tragen ist. Die vom Dosimeter akkumulierte Strahlendosis wird durch periodische Auswertung ermittelt und gilt als Ganzkörperdosis.

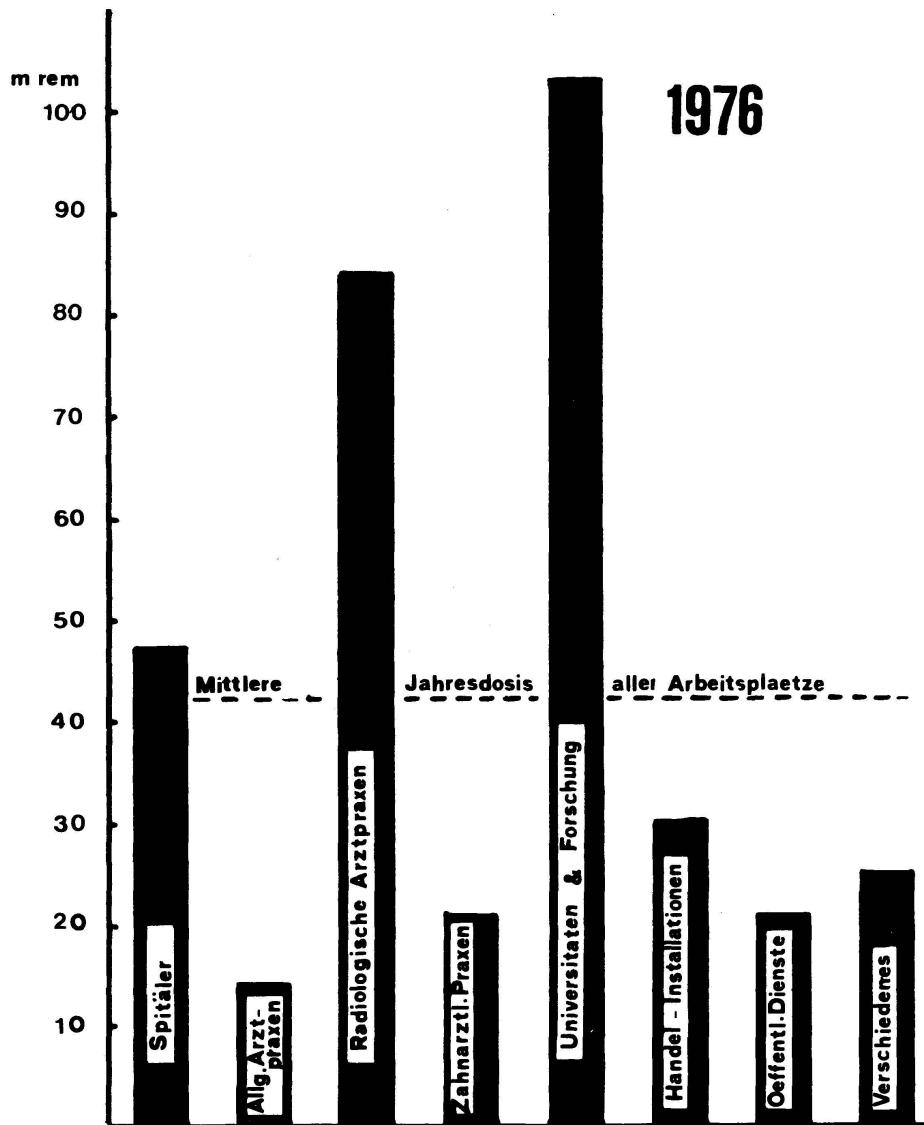


Fig. 2 Mittlere Jahresdosen nach Arbeitsplätzen für 1976

Die aus dem Gebiet Medizin und Forschung sowie der öffentlichen Dienste anfallenden Resultate umfassen 27354 Personen. Figur 1 zeigt die prozentuale Verteilung dieser Personen nach bestimmten Dosisintervallen. 94% aller Personen weisen Dosen von weniger als 100 mrem pro Jahr auf, ca. 2% zwischen 101 und 200 mrem und 2½% 201 bis 500 mrem.

In Figur 2 erscheinen die Dosen beruflich strahlenexponierter Personen nach Arbeitsplätzen aufgeschlüsselt. Die mittleren Jahresdosen überstreichen einen Bereich von 14 bis 103 mrem. Der Mittelwert aller Kategorien zusammen beträgt 42 mrem pro Jahr. An der Jahreskollektivdosis von total 1067 man rem haben Universitäten und Forschung mit 491 man rem den grössten Anteil, gefolgt von den Spitälern mit 295 man rem.

Figur 3 gibt die "mittleren Jahresdosen" bei verschiedenen Altersstufen für Frauen und Männer wieder. Vermutlich spiegelt sich hier die berufliche Entwicklung und Tätigkeit beim Vergleich der Dosen von Männern und Frauen in den verschiedenen Alterskategorien wieder.

Figur 4 vergleicht einige der Daten von 1976 mit denen des Vorjahres, nämlich die Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen, die Jahreskollektivdosen und die mittleren Jahresdosen.

Es kann gesagt werden, dass im allgemeinen die angeführten Dosen kleiner sind als die durch natürliche Strahlung verursachten. Nur 12 Jahresdosen oder 0,04% lagen über dem zulässigen Grenzwert von 5000 mrem. Die Ursachen wurden untersucht und es ergaben sich die folgenden Befunde:

Drei Überschreitungen sind auf nachgewiesene, willkürliche Expositionen der Dosimeter durch die Träger zurückzuführen und wurden nicht von deren Körper empfangen.

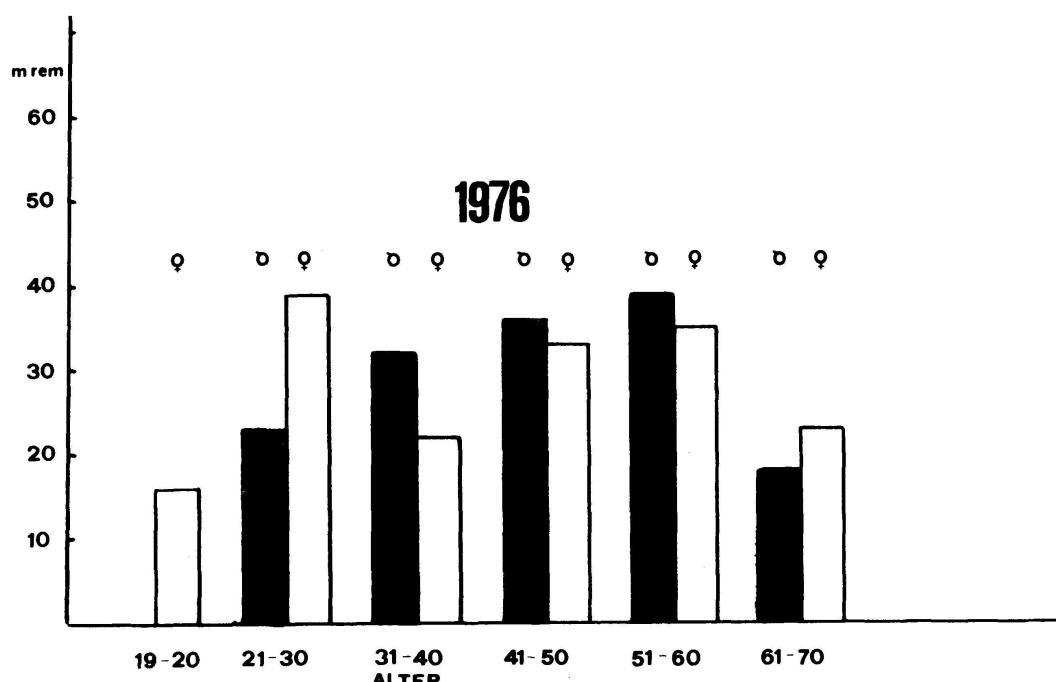


Fig. 3 Mittlere Jahresdosen nach Alter und Geschlecht für 1976

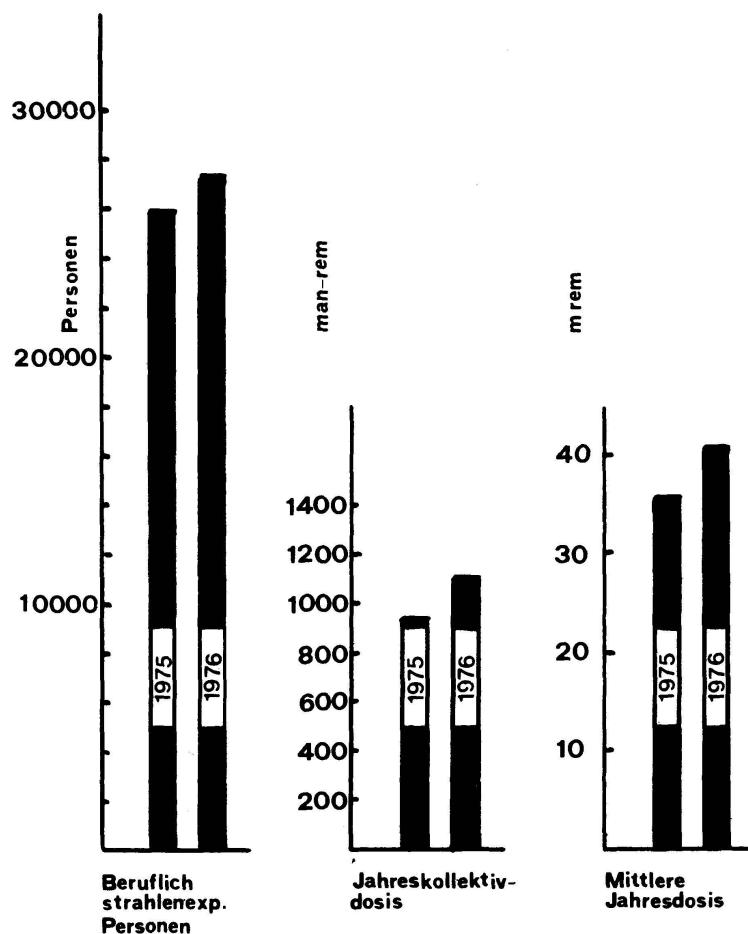


Fig. 4 Vergleich der Daten von 1976 und 1975

Sechs weitere Überschreitungen zeigen alle Anzeichen von ebenfalls vorsätzlich ausgeführten Dosimeterexpositionen, was aber nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte.

In zwei Fällen wurden Teilkörperbestrahlungen festgestellt, die jedoch nicht die in Art. 34 der SSVO angeführte Toleranz für Teilkörperbestrahlung von 15000 mrem überschritten. Es wurde herausgefunden, dass das Dosimeter am Handgelenk oder Arm statt am Körper getragen wurde.

Ein Fall konnte trotz aller Bemühungen nicht abgeklärt werden. Die Untersuchungsergebnisse deuten aber darauf hin, dass auch hier eine willkürliche Handlung nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Ärztliche Untersuchungen der exponierten Personen waren ohne Befund.

Zusammenfassend sei erwähnt, dass die totale Kollektivdosis aller in der Medizin und Forschung beruflich strahlenexponierter Personen als Folge ihrer Berufsausübung ca. 1100 man rem betrug. Die Kollektivdosis der gesamten Bevölkerung der Schweiz als Folge der natürlichen Umgebungsstrahlung ist für 1976 auf ca. 700000 man rem geschätzt. Daraus ersieht man, dass der Dosisbeitrag aus den oben genannten Berufsbereichen zur gesamten Bestrahlung der Schweizer Bevölkerung nicht ins Gewicht fällt.

7. E. Kaufmann (Luzern): Die Strahlenbelastung von beruflich mit ionisierenden Strahlen Beschäftigten in der Industrie

In der Schweiz waren im Kontrollbereich der SUVA mit Stand Ende 1976 722 Industriebetriebe im Besitze einer oder mehrerer Bewilligungen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Apparaten zur Erzeugung ionisierender Strahlen. In diesen Betrieben waren im Jahre 1976 2217 Beschäftigte im Sinne der Verordnung vom 30.6.1976 über den Strahlenschutz beruflich

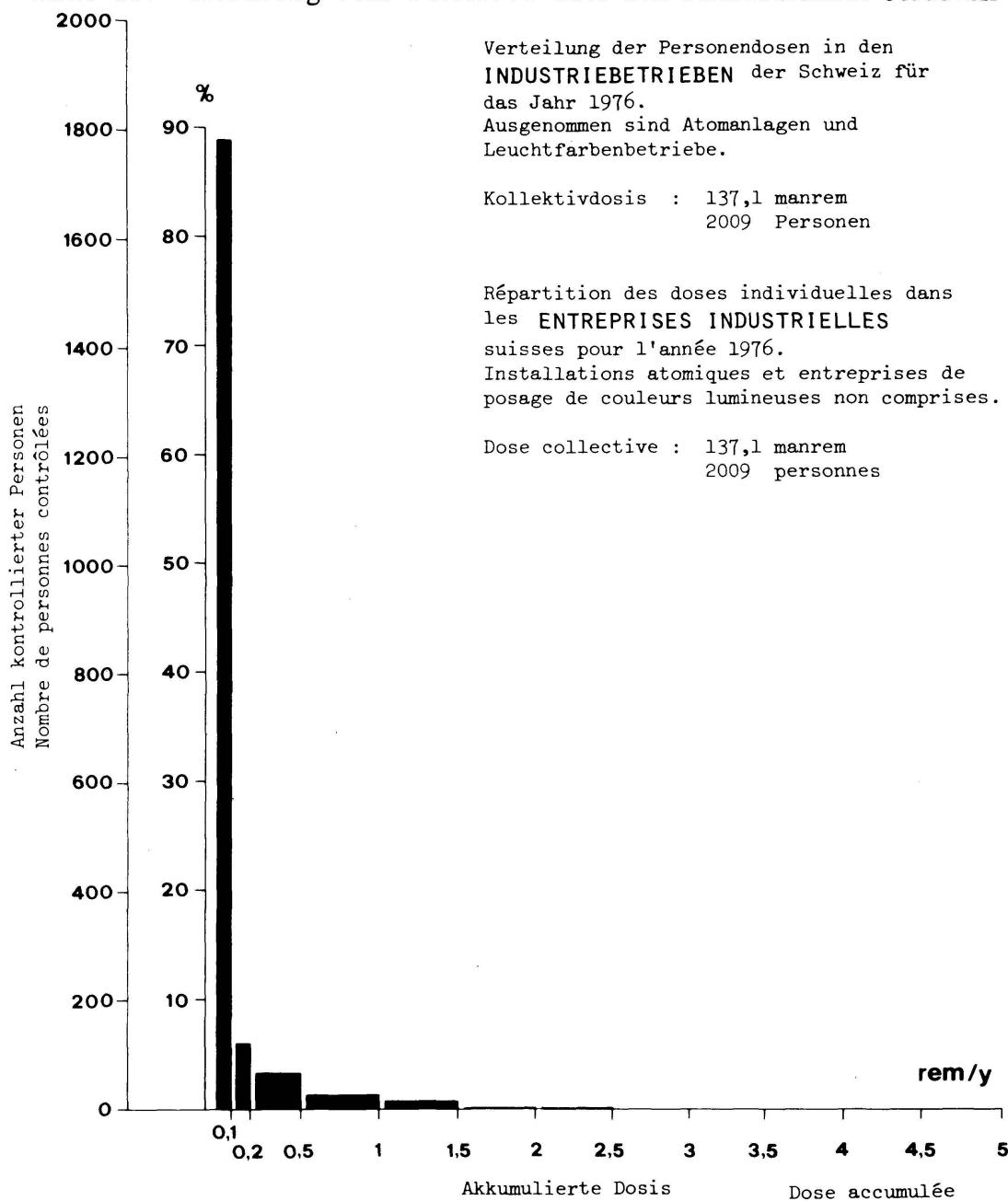


Fig. 1 Verteilung der Personendosen in den Industriebetrieben der Schweiz für das Jahr 1976

strahlenexponiert und wurden mittels persönlicher Dosismessverfahren kontrolliert. 1890 beruflich strahlenexponierte Personen trugen Thermolumineszenzdosimeter der SUVA, 208 Personen, vorwiegend Leuchtfarbensetzerinnen, wurden mit Urinkontrollen überwacht, während die restlichen 119 Personen durch andere Dosimetriestellen mittels Film- oder Thermolumineszenzdosimetern überwacht wurden.

Daneben wurden 570 Personen, die zu Unterhaltszwecken in den beiden Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg beschäftigt waren und nicht zum ständigen Personal des Kraftwerkes gehören, durch die werkeigene Dosimetriestelle kontrolliert. Es erscheint zweckmässig, das beruflich strahlenexponierte Personal im Kontrollbereich der SUVA in 3 Kategorien aufzuteilen.

1. Kategorie

Personal in Industriebetrieben mit Ausnahme der Leuchtfarbensetzerien und Kernkraftwerke. Die Verteilung der Personendosen der 2009 beruflich strahlenexponierten Personen ist in Fig. 1 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass 89% der akkumulierten Dosen im Bereich der Messgenauigkeit des Dosismessverfahrens liegt, da die Jahresdosis aus der Summe von 4 Quartalsdosen oder 12 Monatsdosen besteht. Es ist daher eine Ermessensfrage, ob der Dosisbereich 0–0,1 rem/y berücksichtigt und in die Kollektivdosis einzbezogen werden soll. Bei Nichtberücksichtigung dieses Dosisbereiches würde die Kollektivdosis von 137 manrem um mehr als die Hälfte verringert.

2. Kategorie

Personal in Leuchtfarbensetzerien. Die Verteilung der Personendosen der 208 in Leuchtfarbenbetrieben beschäftigten Personen ist in Fig. 2 dargestellt. Die Jahresdosen sind durch Messung des Tritiumgehaltes im Urin der Strahlenexponierten bestimmt worden.

Beim Arbeiten mit tritiummarkierten Leuchtstoffen lässt sich das Einatmen von tritiertem Wasserdampf, der aus den Leuchtstoffen zufolge Radiolyse austritt, nicht restlos vermeiden, weil die sehr feine Arbeit des Leuchtfarbensetzens nicht in Unterdruckzellen durchgeführt werden kann. Der eingeatmete und durch die Haut aufgenommene tritierte Wasserdampf führt zu der im Urin gemessenen Ganzkörperdosis.

Im Gegensatz zur Verteilung der Personendosen in Industriebetrieben liegt die mittlere akkumulierte Dosis in Leuchtfarbenbetrieben beträchtlich höher.

3. Kategorie

Fremdpersonal wird in Kernkraftwerken zu Unterhalts- und Reparaturarbeiten eingesetzt. Diese Personen stammen zum grösseren Teil aus Betrieben, die dem Versicherungsobligatorium unterstellt sind und werden daher von der SUVA kontrolliert. Die Verteilung der Personendosen des Fremdpersonals in

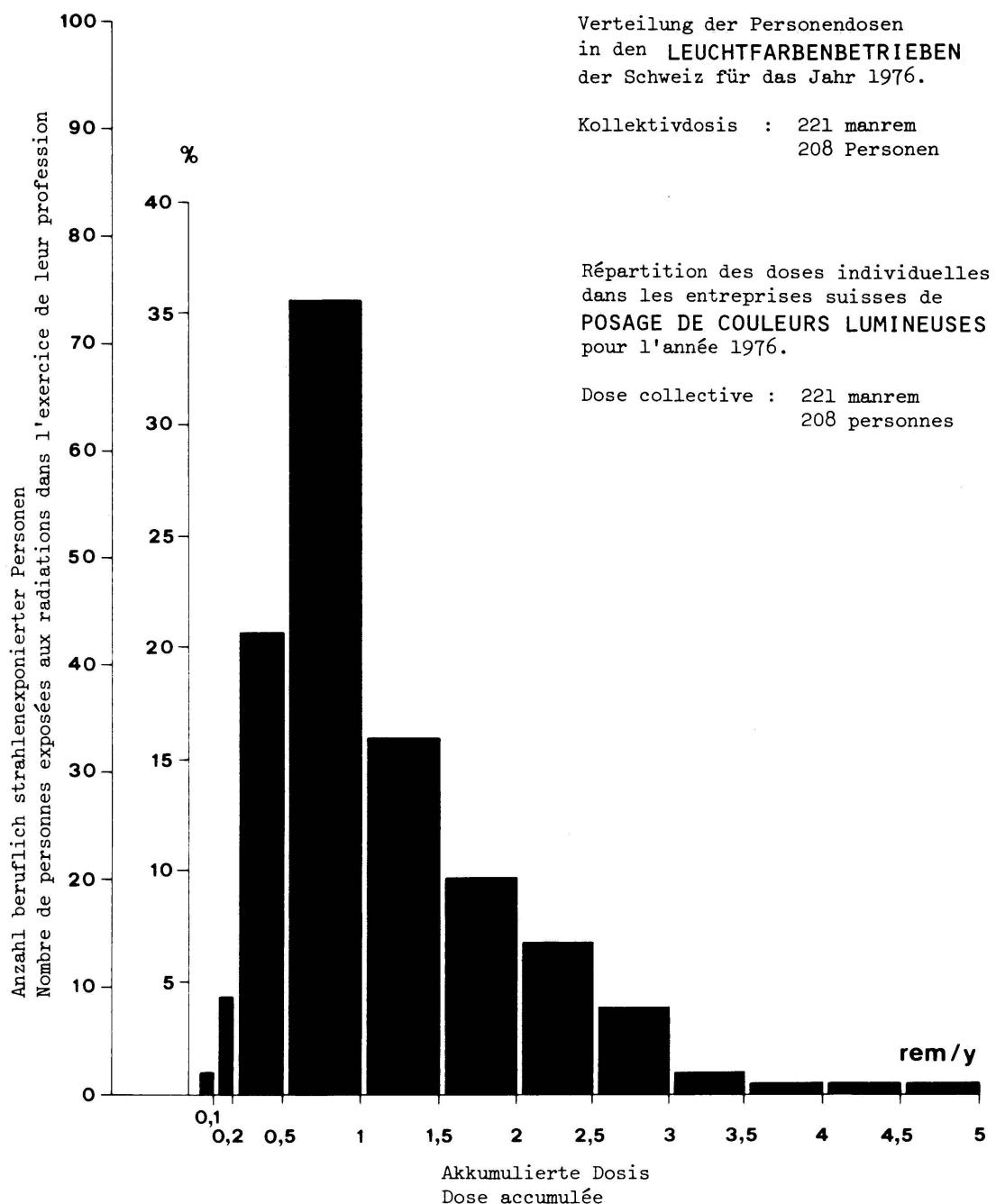


Fig. 2 Verteilung der Personendosen in den Leuchtfarbenbetrieben der Schweiz für das Jahr 1976

den beiden zurzeit in Betrieb stehenden Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg ist aus Fig. 3 zu ersehen. Auch hier liegt die mittlere akkumulierte Dosis höher als bei der Kategorie Industriebetriebe. Im Jahre 1976 ist eine Dosis von mehr als 5000 mrem (10949 mrem) bei einem Monatsdosimeter registriert worden.

Es handelt sich nach Auskünften des Arbeitgebers mit grösster Wahrscheinlichkeit um eine irrtümliche Bestrahlung des deponierten Arbeitskittels, so dass kein aussergewöhnlicher Bestrahlungsfall vorliegt. Der Benutzer des Dosimeters ist ins Ausland zurückgekehrt und der SUVA den verlangten ausführlichen Bericht schuldig geblieben.

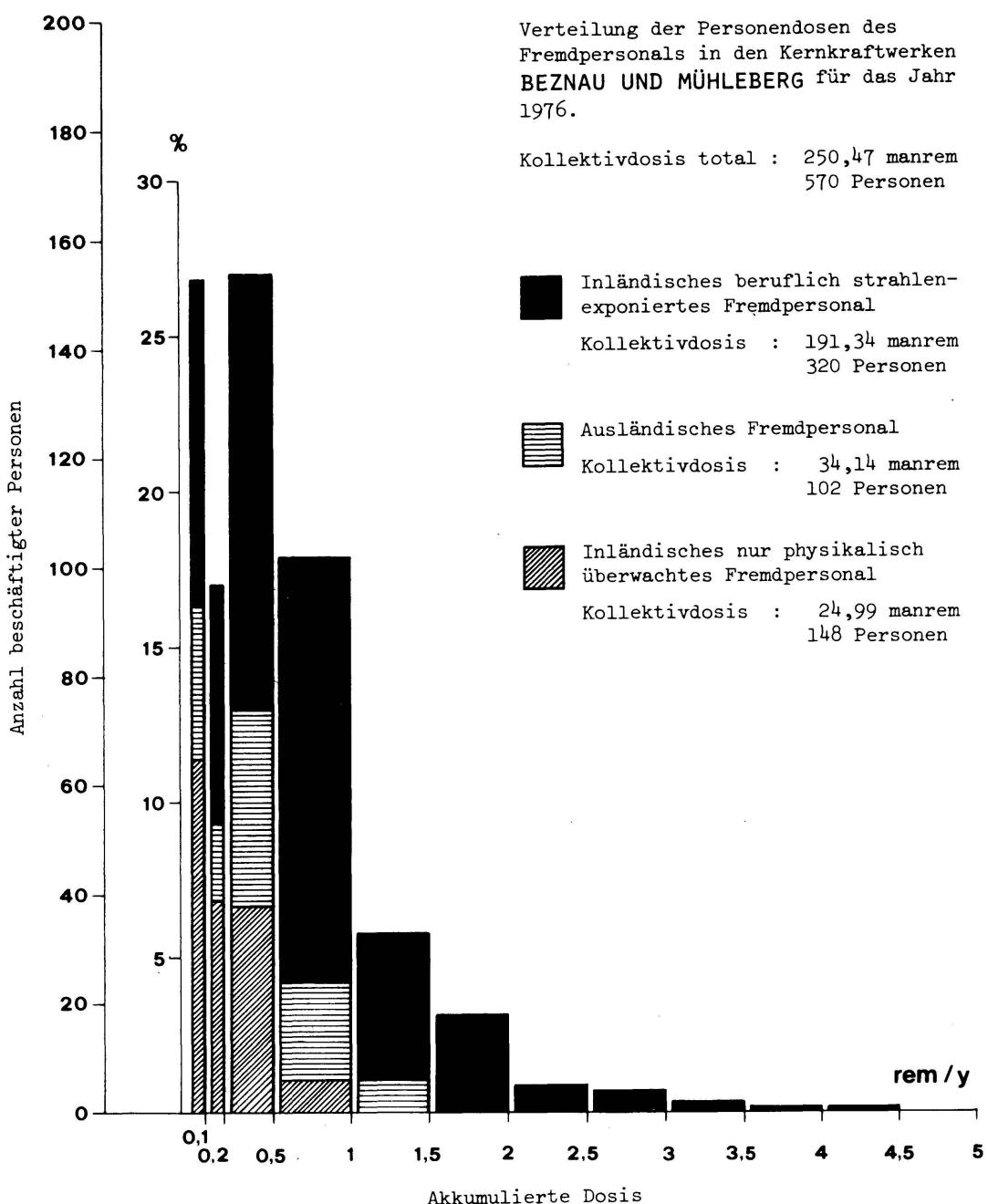


Fig. 3 Verteilung der Personendosen des Fremdpersonals in den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg für das Jahr 1976

Zusammenfassung:

Aus den Verteilungen der Personendosen der im Kontrollbereich der SUVA beschäftigten beruflich strahlenexponierten Personen kann entnommen werden, dass 1. die höchstzulässige Jahresdosis von 5 rem von niemandem überschritten wurde; dass 2. die mittlere akkumulierte Jahresdosis aller 3 Kategorien zusammen kleiner als 0,5 rem ist; und dass 3. die Verteilungen und die mittleren akkumulierten Jahresdosen mit jenen anderer Länder weitgehend übereinstimmen.

8. W. Jeschki (Würenlingen): Die Strahlenbelastung von beruflich mit ionisierenden Strahlen Beschäftigten in Kernanlagen

Einleitung

Für das in Kernanlagen beschäftigte beruflich strahlenexponierte Personal amtet die Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, ASK, als Kontrollinstanz. Bevor die im Jahre 1976 durch das Personal an den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg sowie am Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung akkumulierten Strahlendosen besprochen werden, soll kurz beschrieben werden, wodurch eine Bestrahlung der in Kernanlagen arbeitenden Personen zustande kommt.

Die Ursache der Strahlenbelastung des Kernkraftwerkpersonals lässt sich auf fünf grössere Gruppen verteilen: Normaler Reaktorbetrieb, ohne Stillstandphase; Brennelementwechsel-Arbeiten; Wiederholungsprüfungen und Inspektionen; Reparaturen; Änderungs- und Umbauarbeiten, um die Kernanlage periodisch dem Stand der Technik anzupassen.

Unter der Vielzahl der Arbeiten, die beim Normalbetrieb durchgeführt werden müssen und jeweils zu kleinen Dosen führen, seien zur Illustration einige aufgeführt: Kontrollgänge des Schichtpersonals und Strahlenschutzpersonals; Wäschereiarbeiten (Overalls, Überschuhe); Behandlung radioaktiver Abfälle; Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten; Wartungsarbeiten und kleine Reparaturen.

Einmal jährlich wird etwa ein Drittel der sich im Reaktorkern befindenden Brennelemente entladen und durch neue ersetzt. Da die dazu nötigen Manipulationen mit stark abgeschirmten Werkzeugen durchgeführt werden, ist die Strahlenbelastung durch den Brennelementwechsel relativ niedrig.

Wiederholungsprüfungen und Inspektionen sind erforderlich um sicherzustellen, dass sich alle Anlagenteile wie geplant verhalten. Der Beitrag dieser beiden Tätigkeiten zur Personaldosis kann verhältnismässig hohe Werte einnehmen.

Die durch die beiden letzten Gruppen – Reparaturen und Änderungen – verursachten Dosen sind Schwankungen unterworfen. Durch raffi-

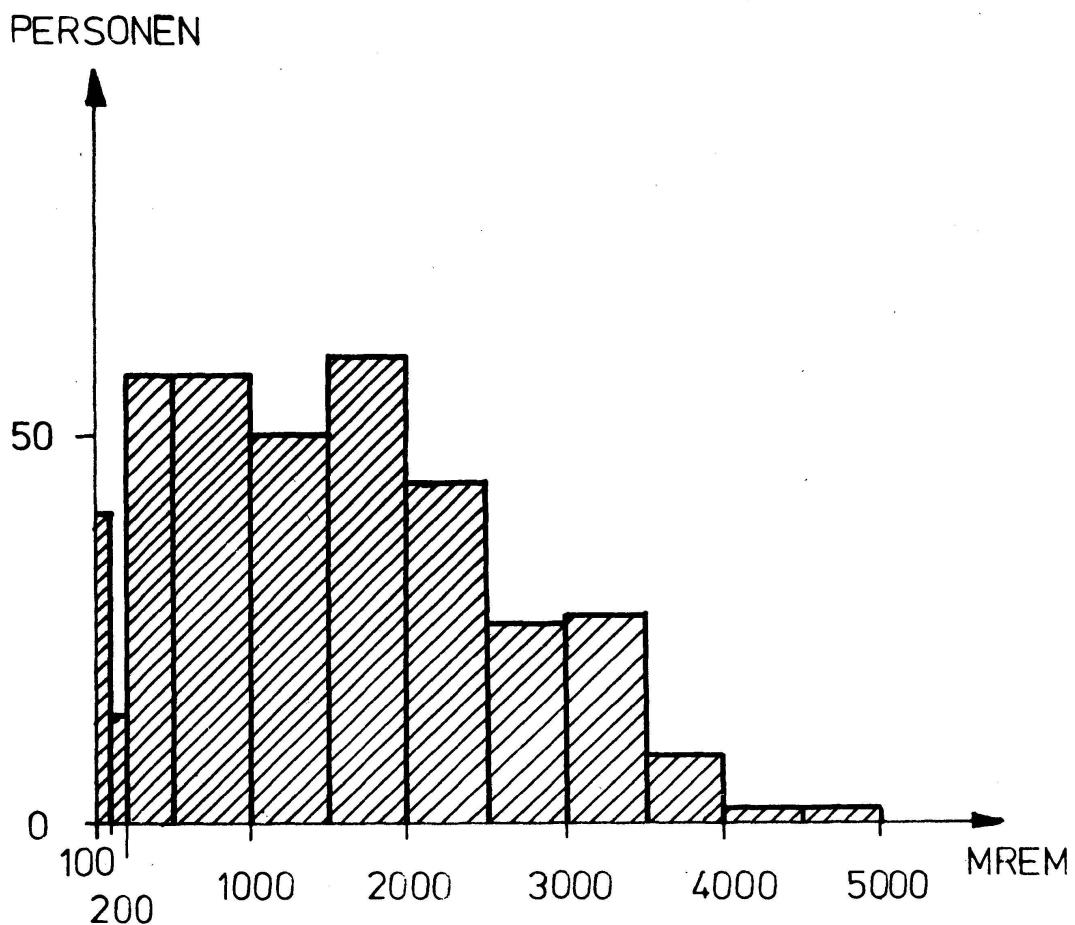


Fig. 1 Dosisverteilung für das Kernkraftwerkspersonal (1976)

nierte und oft fernbediente Techniken können aber auch hier die Dosen meist niedrig gehalten werden.

Dosen an Schweizer Kernanlagen im Jahre 1976

Von den in der Schweiz insgesamt 30826 überwachten Personen fallen 1705 in den Kontrollbereich der ASK. Diese Personen verteilen sich auf die beiden in Betrieb stehenden Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg, sowie auf das Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR). Alle 745 am EIR tätig gewesenen Personen wurden überwacht, obwohl 451 von ihnen praktisch nie mit Strahlung in Berührung kamen. Die Zahl der im engeren Sinne beruflich strahlenexponierten Personen im Kontrollbereich der ASK belief sich daher auf 1254 Personen.

Diese 1254 Personen akkumulierten im Jahre 1976 eine Kollektivdosis von ca. 870 manrem.

man-rem

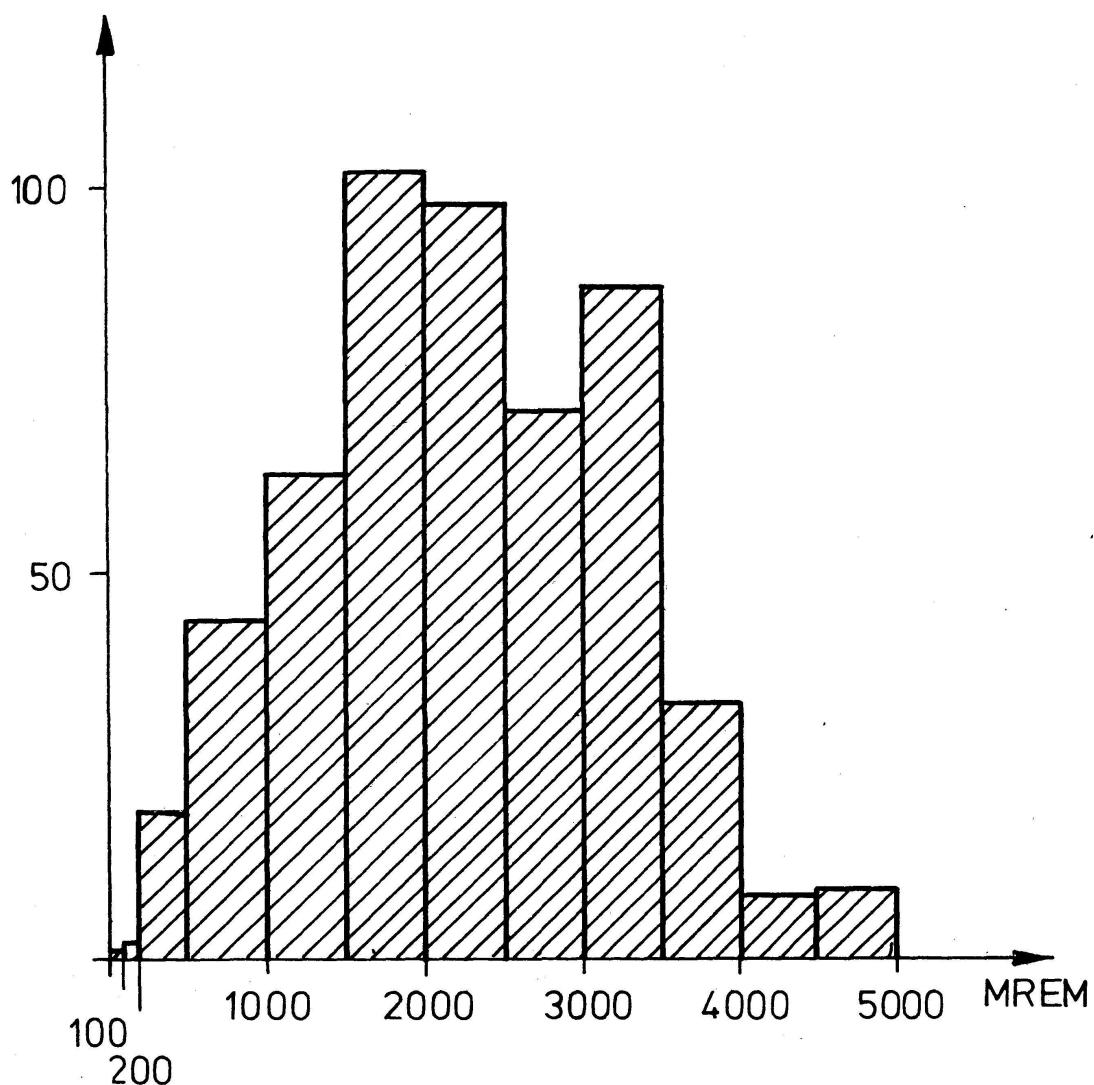


Fig. 2 Kollektivdosisverteilung für das Kernkraftwerkspersonal (1976)

Fig. 1 zeigt als Beispiel die Dosisverteilung für das in beiden Schweizer Kernkraftwerken beschäftigte, beruflich strahlenexponierte Eigenpersonal. Bemerkenswert ist, dass keine Dosisüberschreitung gemäss der Strahlenschutzverordnung (Jahreshöchstdosis 5 rem) zu verzeichnen war. Die meisten Personendosen fallen in die Dosisbereiche von 500 mrem/a bis 2500 mrem/a.

Fig. 2 gibt die Verteilung der Kollektivdosis, also der manrem-Werte, in Abhängigkeit des Dosisbereiches an. Die höchsten Kollektivdosen werden in den Dosisbereichen von 1500 bis 3500 mrem/a akkumuliert.

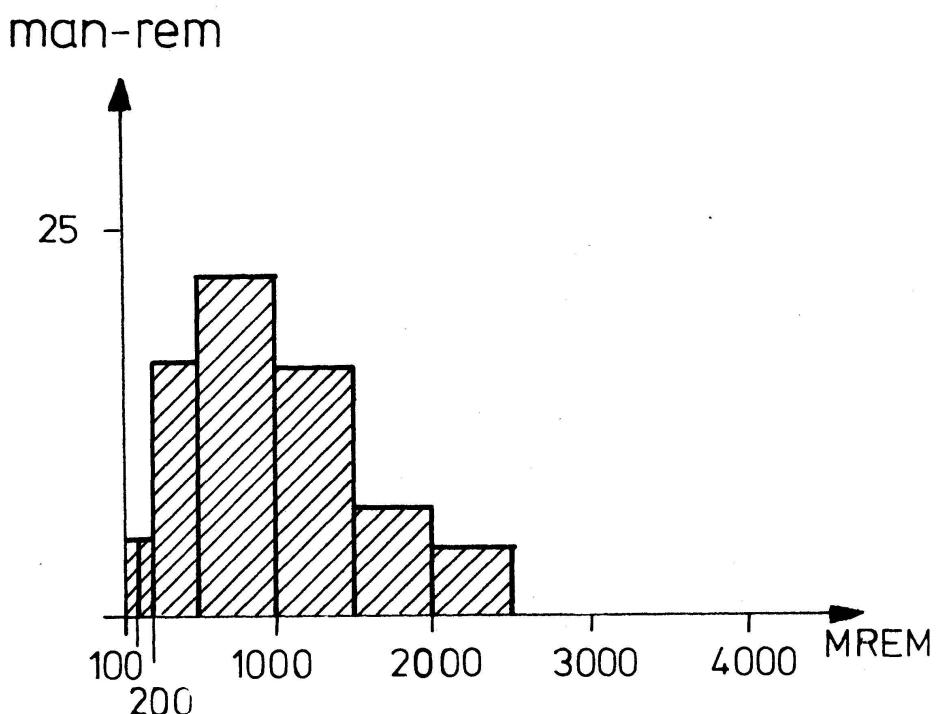


Fig. 3 Kollektivdosisverteilung für das EIR-Personal (1976)

Fig. 3 zeigt eine entsprechende Darstellung für das EIR. Im EIR traten kleinere Dosen auf, die höchsten Kollektivdosen werden im Dosisbereich von 500 – 1500 mrem/a akkumuliert.

Die Zahlenwerte der Kollektivdosen betragen im Jahr 1976 für die Kernkraftwerke Beznau 442 manrem, für das Kernkraftwerk Mühleberg 347 manrem und für das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung 80 manrem.

9. A. Donath (Genève), P. Lerch (Lausanne), J.F. Valley (Genève), J.J. Geering (Lausanne): La radioactivité du corps humain

L'exposition au rayonnement ionisant de loin la plus importante à laquelle est soumise la population du globe est celle provenant du milieu ambiant naturel et du corps humain lui-même. Il s'agit du rayonnement d'origine cosmique, des éléments radioactifs naturels de la croûte terrestre, de ceux contenus dans notre corps, enfin des radioéléments provenant des retombées des explosions atomiques. A ces données s'ajoute l'irradiation d'origine médicale provenant des examens radiologiques, mais également de ceux de la médecine nucléaire (1).

Irradiation naturelle

En Suisse, l'irradiation naturelle est estimée à 130 – 200 mrad/an. Ces variations sont dues à la nature minéralogique du sol d'une part, et d'autre part à l'intensité du rayonnement cosmique qui varie avec l'altitude. Au bord de la mer, où l'irradiation annuelle s'élève à une centaine de mrad, le rayonnement cosmique est responsable de 30 mrad/an (tableau 1). Une règle grossière montre que cette irradiation augmente de 100 mrad/an par mille mètres d'altitude. Enfin, il est important de se rappeler que plus de 1% de cette irradiation cosmique est provoquée par des neutrons dont l'effet biologique est dix fois plus important que celui du rayonnement bêta ou gamma (2).

L'irradiation interne est avant tout due à la présence dans notre corps de radioéléments naturels dont les plus importants sont: ^{40}K , ^{14}C , ^3H , ^{87}Rb , ^{210}Po , les éléments de la famille du radium et du radon et, en particulier, $^{1,238}\text{U}$.

A lui seul, le ^{40}K est responsable d'une irradiation annuelle d'une vingtaine de mrad. Ce radioisotope du potassium non radioactif ^{39}K a une période de $1,3 \cdot 10^{10}$ années, c'est-à-dire 1300 millions d'années. Actuellement, sa proportion est de 118 mg de ^{40}K par kg de potassium non radioactif. Comme le corps humain contient environ 2 g de potassium par kg de poids corporel, cela représente une vingtaine de mg de ^{40}K radioactif. Le

Sources	Gonades	Squelette	Moelle osseuse
1. Rayonnement cosmique ionisant	28	28	28
Rayonnement cosmique par neutrons	0.35	0.35	0.35
2. Rayonnement terrestre ambiant (y compris l'air)	44	44	44
3. Rayonnement dû à des sources incorporées			
^3H	0.001	0.001	0.001
^{14}C	0.7	0.8	0.7
^{40}K	19	15	15
^{87}Rb	0.3	0.6	0.6
^{210}Po	0.6	1.6	0.3
^{220}Rn	0.003	0.05	0.05
^{222}Rn	0.07	0.08	0.08
^{226}Ra	0.02	0.6	0.1
^{228}Ra	0.03	0.8	0.1
^{238}U	0.03	0.3	0.06
Total	93	92	89
Proportion due aux particules α et neutrons	1.2%	4.1%	1.2%

Tableau 1 Dose d'irradiation d'origine naturelle (mrad/an)

potassium est un cation qui se concentre essentiellement dans les cellules et comme la plus grande partie des cellules de notre corps sont des cellules musculaires, plus un individu est musclé, plus son organisme contiendra de potassium. Plus musclés que les femmes, les hommes ont environ un tiers de potassium de plus qu'elles. D'autre part, le tissu adipeux est pauvre en cellules et cette constatation est à la base d'une méthode permettant de calculer la masse maigre et la masse adipeuse d'un individu à partir de la mesure de son potassium radioactif.

Il est possible de mesurer l'irradiation gamma provenant du corps humain, mais pour cela il est nécessaire d'utiliser un gros cristal à scintillation et de disposer d'un gamma-anthropomètre (en anglais: whole body counter). Celui de Genève se compose d'une enceinte d'acier de 20 cm d'épaisseur. Les dimensions intérieures de la chambre de comptage sont de 1,9 x 2,7 m, la hauteur de 2,34 m. Son poids est supérieur à 50 tonnes. La porte, qui à elle seule pèse 2,5 tonnes, peut être ouverte aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur. Une caméra de télévision permet de surveiller constamment la personne qui se trouve à l'intérieur de la chambre et un système de haut-parleurs de communiquer avec elle. Les mesures s'effectuent à l'aide d'un cristal de NaI (Tl) d'un diamètre de 203 mm et d'une hauteur de 102 mm. La personne dont on veut mesurer la radioactivité est assise sur un fauteuil spécial, penché en arrière, de manière que le dossier du fauteuil forme un angle de 35° avec le sol de la chambre. Ainsi toutes les parties du corps, à part les jambes en dessous des genoux, sont approximativement à la même distance du cristal, éloigné d'environ 40 à 45 cm. Un analyseur d'impulsions à 256 canaux, doté d'une mémoire magnétique et relié à un ordinateur, permet de sélectionner l'énergie désirée. La durée d'une mesure de la radioactivité naturelle interne est de 20 minutes, ce qui assure une précision de 1%.

Métabolisme des atomes radioactifs

Lorsque l'on construit une maison, les pierres, les briques et le ciment que l'on emploie dureront aussi longtemps que la maison elle-même, du moins c'est ce qu'espère le propriétaire et ce que promet l'architecte. Chez l'être vivant, au contraire, rien n'est définitif: aucun atome entrant dans la composition du corps n'y demeurera éternellement, la plupart même n'y séjournant qu'un temps très limité, très souvent quelques heures seulement. Ainsi, par exemple, les molécules d'eau, qui représentent les deux tiers du poids de notre corps, soit entre 40 et 50 kg en général, ont une demi-vie biologique dans notre corps d'une dizaine de jours: cela signifie que la moitié des molécules d'eau qui se trouvent aujourd'hui dans notre corps auront quitté notre organisme d'ici 10 jours et auront été remplacées par d'autres molécules d'eau que nous aurons absorbées entre-temps.

Il n'y a d'autre part pas de différence dans le métabolisme des molécules de notre corps, qu'il s'agisse d'atomes radioactifs ou non. A l'intérieur de notre organisme, on observe une identité de comportement absolument rigoureuse entre les atomes radioactifs d'une certaine espèce et les atomes non radioactifs de la même espèce. C'est d'ailleurs ce qui permet d'étudier le métabolisme de toutes ces différentes substances en injectant à un indi-

vidu quelconque un certain nombre d'atomes radioactifs, dont on peut alors étudier le comportement.

Prenons comme exemple le métabolisme de l'iode. Chez une personne en bonne santé, la concentration plasmatique des iodures et de l'iode sous forme hormonale sera constante. De même, la quantité d'iode qui se trouve dans la glande thyroïde sera toujours la même. Et pourtant, même si le bilan de ce qui entre dans le corps et de ce qui en ressort est nul, les atomes sont en constant mouvement. Sur la figure 1, l'un des carrés représente l'ensemble des atomes d'iode se trouvant dans le plasma sous forme d'iodures. A chaque instant, un certain nombre d'entre eux quittent le plasma soit pour être fixés par la thyroïde, soit pour être excrétés dans l'urine et dans les selles, soit enfin pour diffuser vers le liquide interstitiel. Dans chacun de ces cas, c'est un changement spatial qui a lieu (3).

Dans la thyroïde, les atomes d'iode sont tout d'abord oxydés, puis incorporés dans les acides aminés pour former la mono-iodothyrosine (MIT) et la di-iodo-tyrosine (DIT). Ces molécules s'accouplent ensuite pour créer la tri-iodo-thyronine (T_3) et la tétra-iodo-thyronine ou thyroxine (T_4). Dans la thyroïde, c'est donc à une transformation chimique que l'on assiste. Sous sa forme hormonale, l'iode est ensuite sécrété dans le plasma (changement spatial), puis est métabolisé à la périphérie et les atomes d'iode libérés réintègrent à nouveau le plasma. Une flèche supplémentaire indique le retour dans le plasma des iodures revenant du liquide extracellulaire, une autre représente la désiodination des MIT et DIT à l'intérieur de la thyroïde, une troisième les atomes d'iode introduits dans le plasma par l'alimentation et enfin une dernière correspond à l'iode thyroïdien qui retourne dans le plasma sous forme inorganique. Un tel métabolisme a pu

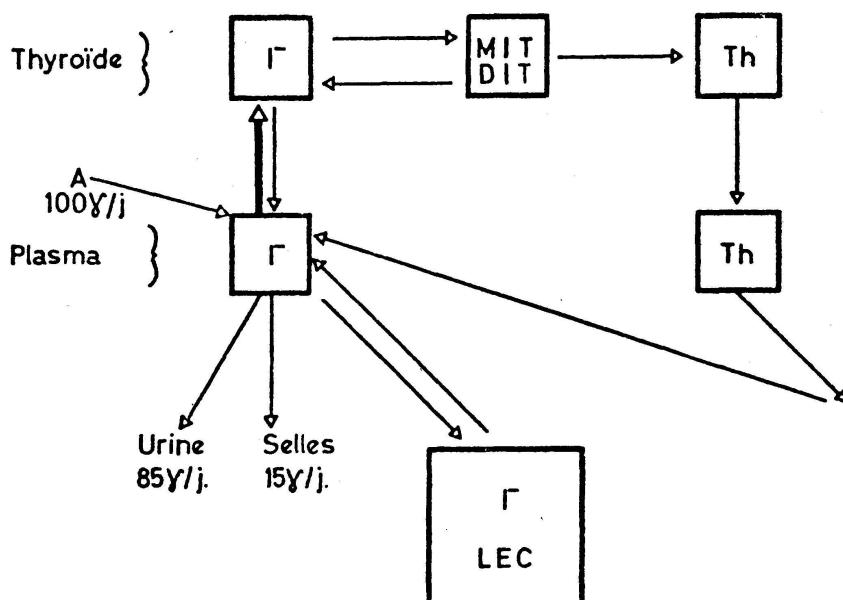


Fig. 1 Représentation compartimentale du métabolisme de l'iode.

être étudié par l'administration d'atomes d'iode radioactifs justement parce que le métabolisme des atomes d'iode est absolument identique, qu'il s'agisse d'atomes radioactifs ou d'atomes non radioactifs.

Effets biologiques du rayonnement

Ce sujet est traité abondamment par d'autres auteurs, qu'il s'agisse de l'effet génétique ou de l'effet somatique des irradiations. A ce propos, il est un seul point que nous aimerions mettre en évidence: on parle toujours de destruction cellulaire par le rayonnement, mais il ne faut pas perdre de vue qu'à chaque seconde ce sont des dizaines de millions de cellules de notre corps qui meurent pour des causes multiples, tout à fait indépendantes d'une quelconque irradiation. Ainsi, par exemple, à chaque seconde ce sont quelques millions de globules rouges de notre organisme qui sont détruits et dans le cas des cellules de la muqueuse du tube digestif ou des cellules de la peau, ce nombre est encore infiniment plus important.

Dosimétrie

La répartition spatiale et temporelle de la substance radioactive dans l'organisme, donnée par la physiopathologie, est la base nécessaire au calcul de l'irradiation de l'individu; elle n'est cependant pas suffisante et doit être complétée en fonction du pouvoir de pénétration des radiations émises par le radionucléide considéré; en effet, la répartition de la dose ne coïncide généralement pas avec celle de la radioactivité.

En d'autres termes, l'irradiation consécutive à l'incorporation d'un radionucléide est caractérisée à la fois par le métabolisme de la molécule

tissu	facteur
Gonades	0.25
Poitrine	0.15
Moelle osseuse rouge	0.12
Poumons	0.12
Thyroïde	0.03
Surfaces des os	0.03
Reste	0.30
	1.00

Tableau 2 Facteurs de risque recommandés par l'ICRP

marquée par ce radionucléide qui définit sa répartition spatiale et temporelle, et par les lois physiques qui régissent le transfert à la matière traversée de l'énergie des radiations émises.

Une répartition très hétérogène suppose la mise au point d'une méthode de combinaison des doses. Les cas de répartition hétérogène sont nombreux; reprenons l'exemple du métabolisme de l'iode avec fixation élective dans la thyroïde: cette spécificité de la répartition d'une part, et l'emploi de ^{131}I dont le rayonnement est pour la plus grande part peu pénétrant d'autre part, sont particulièrement illustratifs: 20% au moins de l'activité se fixe dans un organe de quelque 20 g représentant environ 0,03% du poids total de l'individu, et près de 90% de l'énergie des radiations émises dans l'organe lui sont communiqués. Il en résulte que la dose à la thyroïde est déjà exceptionnellement élevée pour l'incorporation de faibles activités.

Un problème assez analogue est celui de la fixation du radium dans l'os, ou l'irradiation du poumon par le dépôt de plutonium. Dans tous ces cas, une pondération des doses aux divers organes est nécessaire, telle que celle proposée par l'ICRP (4): elle est basée sur les risques stochastiques liés à l'irradiation des divers organes ou tissus, et introduit des facteurs pour chaque organe (tableau 2).

Du point de vue de la répartition temporelle, la combinaison de la période physique de décroissance de la radioactivité, avec celle, biologique, liée à l'élimination de la molécule marquée, permet de rendre compte — de manière simplifiée, mais néanmoins réaliste — de l'évolution de l'activité dans le temps.

Le retard entre l'entrée de la substance radioactive dans l'organisme et l'irradiation spécifique de l'organe qui en résulte est typique de la situation d'incorporation; l'exemple des radioéléments alcalino-terreux, comme le ^{90}Sr et le ^{226}Ra qui se fixent quasi définitivement dans le squelette, est bien connu.

$$D = \int_0^{\infty} \dot{D}(t) dt$$

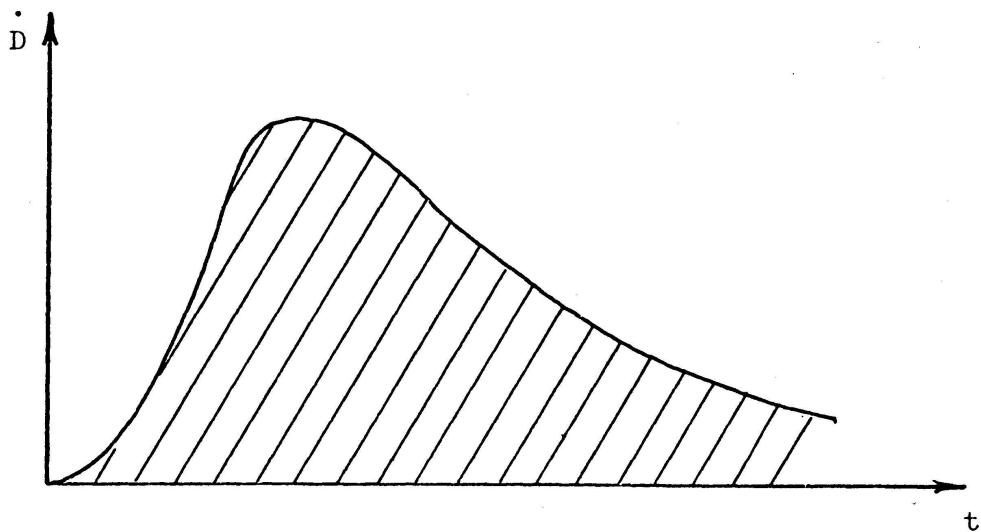


Fig. 2 Dose engagée

C'est de cette situation qu'est née la notion de dose engagée (dose commitment) définie comme la dose totale — intégrée le long du temps — produite par un événement radiologique sur un individu, ou une population (figure 2). Ainsi, pour caractériser l'irradiation subie par un individu, ce n'est pas l'activité momentanée qui doit être prise en considération, mais bien l'incorporation annuelle totale qui doit être limitée: l'ICRP (5) recommande de telles valeurs limites (A.L.I., annual limit of intake) (tableau 3).

Elements	ALI (μ Ci)
³ H	13 000
¹⁴ C	10 000
³² P	180
⁶⁰ Co	780
^{99m} Tc	100 000
¹²⁵ I	50
¹³¹ I	23

Tableau 3 Valeurs des limites d'incorporation (ALI)

Doses dues aux examens radiologiques

Ce point est traité dans un autre article de cette série.

Doses dues aux examens de médecine nucléaire

La découverte de la radioactivité artificielle a permis un développement important de la médecine et en particulier l'apparition d'une nouvelle branche, appelée médecine nucléaire. Il s'agit de toute une série de tests diagnostiques importants, reposant sur l'administration aux patients d'une substance radioactive, afin de déterminer soit la morphologie d'un organe, soit son fonctionnement. C'est ainsi qu'aujourd'hui des diagnostics aussi importants et aussi fréquents que celui d'une embolie pulmonaire reposent entièrement sur ce type d'examen. Il est clair qu'avant un examen de ce genre, le médecin responsable doit se demander ce qu'il va en retirer, si les renseignements qu'il va obtenir sont suffisamment importants pour justifier l'administration d'une substance radioactive à ce patient, et s'il n'est pas possible d'obtenir les mêmes renseignements par une méthode non irradiante. Bien qu'avant chaque examen pratiqué en médecine nucléaire les médecins responsables se posent toutes ces questions, ce sont aujourd'hui par exemple plus de 60 examens de ce genre qui sont pratiqués chaque jour à l'Hôpital Cantonal de Genève. Il est aussi impensable de s'en passer que de renoncer à une formule sanguine ou un examen d'urine. Les doses d'irradiation que délivrent ces types d'exams sont en général de l'ordre de grandeur de celles d'une radiographie. Elles sont si petites avant tout parce que l'on emploie de plus en plus de substances radioactives à période physique

courte, tout particulièrement le ^{99m}Tc ($T \sqrt{= 6 \text{ h.}}$). La médecine nucléaire est responsable pour environ 1 mrem par an de l'irradiation de la population, c'est-à-dire environ 30 fois moins que les examens radiologiques, différence provenant de la moins grande fréquence des examens de médecine nucléaire (6).

Irradiation due aux explosions nucléaires

La contamination à long terme de l'environnement par les retombées radioactives dues aux explosions nucléaires militaires comprend un mélange de produits de fission, de fusion, d'activation et de leurs produits de filiation, ainsi que de radionucléides constituants de l'engin qui n'ont pas réagi (transuraniens). Les valeurs des doses engagées, pour les nucléides radioactifs de longue ou moyenne vie susceptibles d'être incorporés, ont été calculées.

Strontium dans l'os

L'incorporation du ^{90}Sr présente une importance première à cause de sa longue période physique (28,5 ans) et de l'énergie β élevée de son produit de filiation, ^{90}Y (2,26 MeV). Ces nucléides se fixent sélectivement dans le squelette avec un métabolisme analogue à celui du calcium.

L'évolution de l'activité en ^{90}Sr de vertèbres et de côtes d'adultes de la région lausannoise est donnée en fonction de l'année de décès (figure 3). Les activités sont exprimées en pCi $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$. La courbe montre un net maximum pour l'année 1967 puis diminue graduellement pendant les 10 années qui suivent. Des courbes analogues ont été obtenues pour d'autres régions (Bâle, Tessin); leur maximum concorde entre elles et avec des déterminations similaires effectuées dans des pays voisins.

Les conférenciers qui nous ont précédés ont montré que l'activité maximum du ^{90}Sr dans les denrées alimentaires fut atteinte en 1963/65. Pour les raisons évoquées plus haut, il n'est pas étonnant d'observer un retard de 3–4 ans pour le maximum de l'incorporation.

Remarquons enfin que chez l'enfant, le ^{90}Sr est réparti à peu près uniformément dans tout le squelette; chez l'adulte par contre, l'activité est significative plus élevée dans les vertèbres, constituées surtout de tissu spongieux, que dans les côtes et les os longs, constitués à la fois de tissu compact et de tissu spongieux.

Strontium dans les dents

L'évolution de l'activité en ^{90}Sr dans les dents de lait est donnée en fonction de l'année de naissance des enfants (figure 4); les activités sont exprimées en pCi $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$. La collection du matériel a été faite en collaboration avec les services dentaires scolaires, à Lausanne, à Zurich et au Tessin.

L'activité atteint son maximum pour les enfants nés en 1963 et en 1964, époque qui correspond avec celle du maximum d'activité dans les denrées alimentaires et plus particulièrement du lait. En effet, les couronnes des dents de lait se forment dans les 6 mois qui précèdent et les 6 mois qui suivent la naissance de l'enfant.

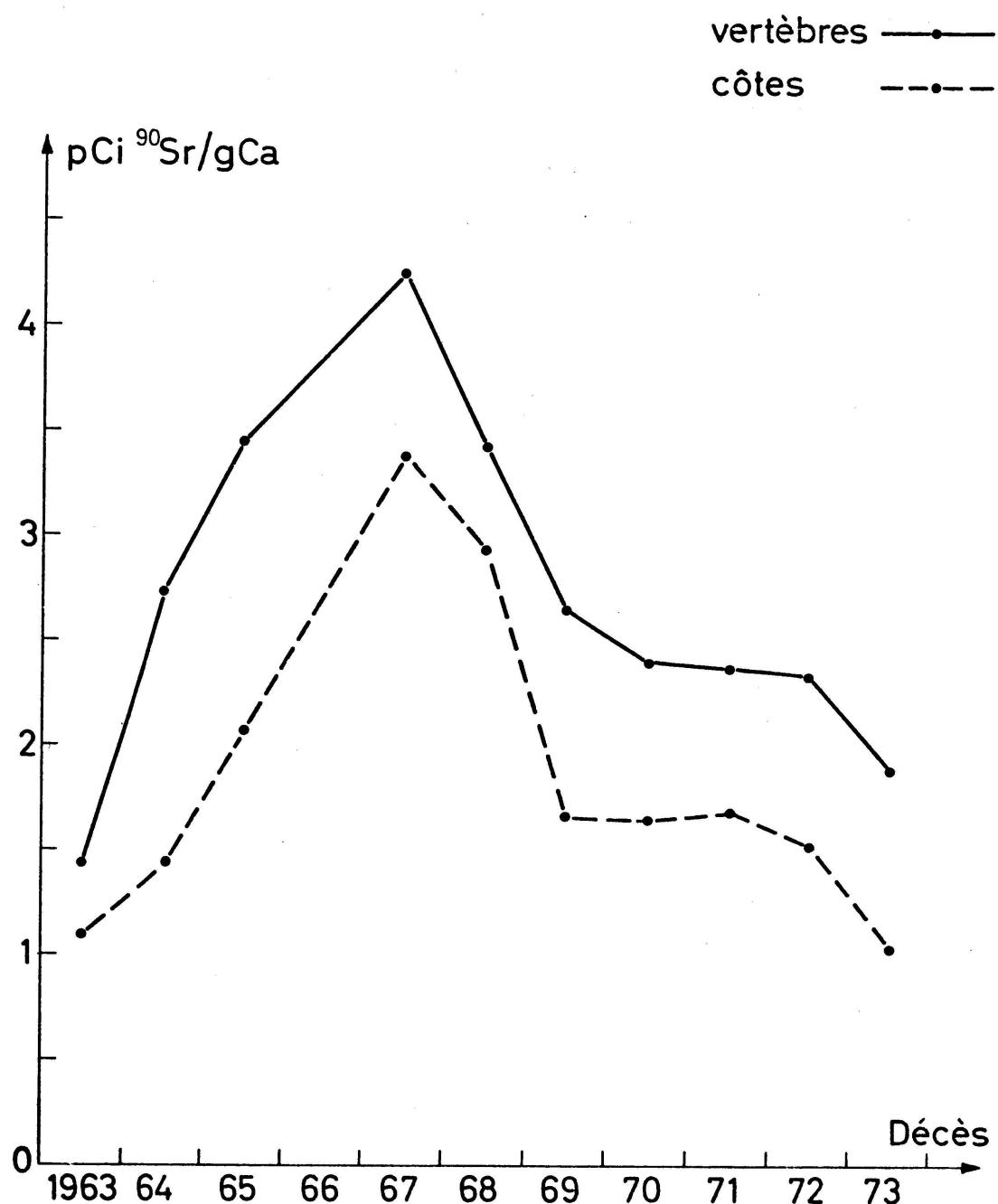


Fig. 3 ^{90}Sr dans le squelette humain

Des différences significatives du taux d'incorporation s'observent entre les régions de collection, parallèles à celles observées pour le squelette, mettant ainsi en évidence l'effet d'une alimentation différente.

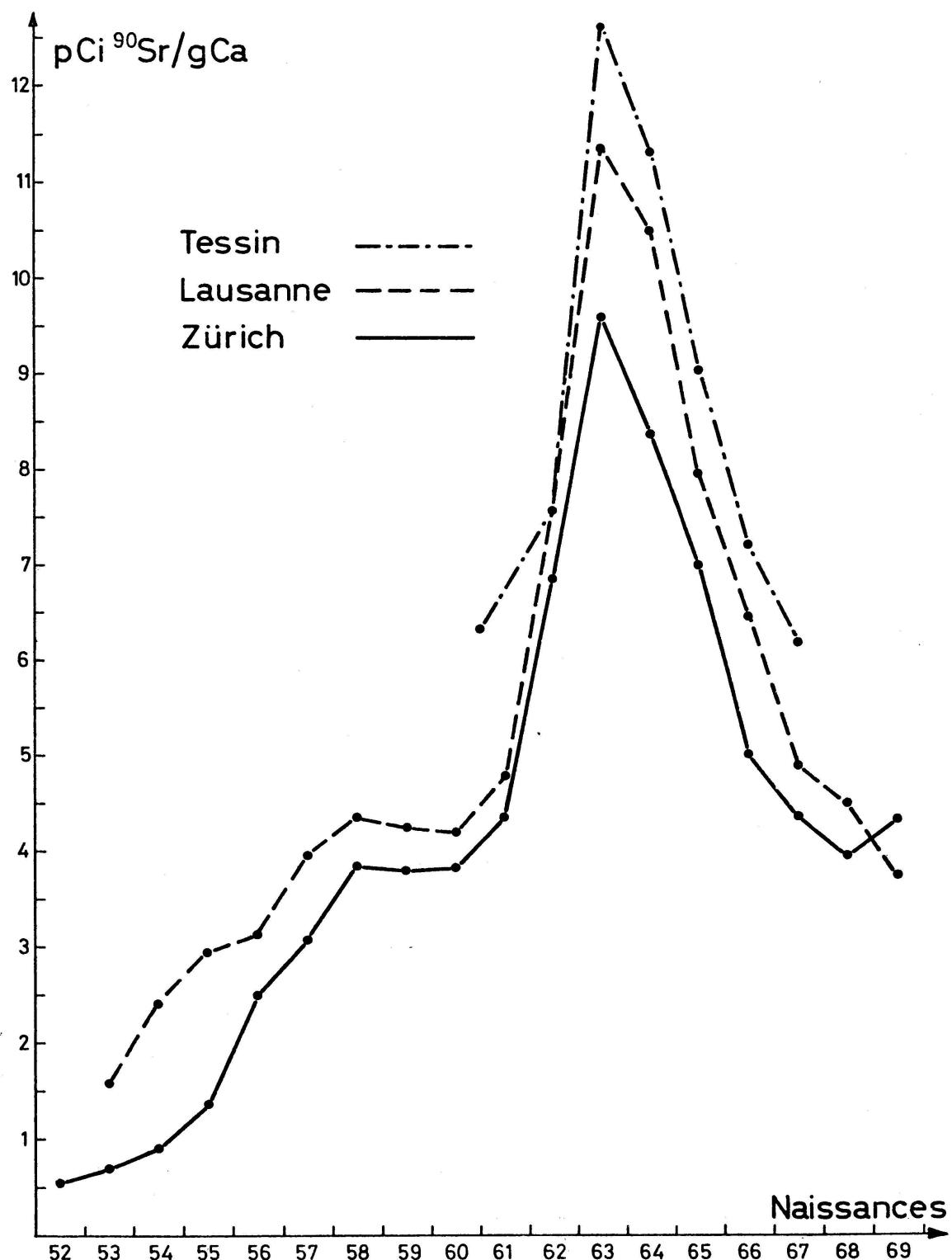


Fig. 4 ^{90}Sr dans les dents de lait

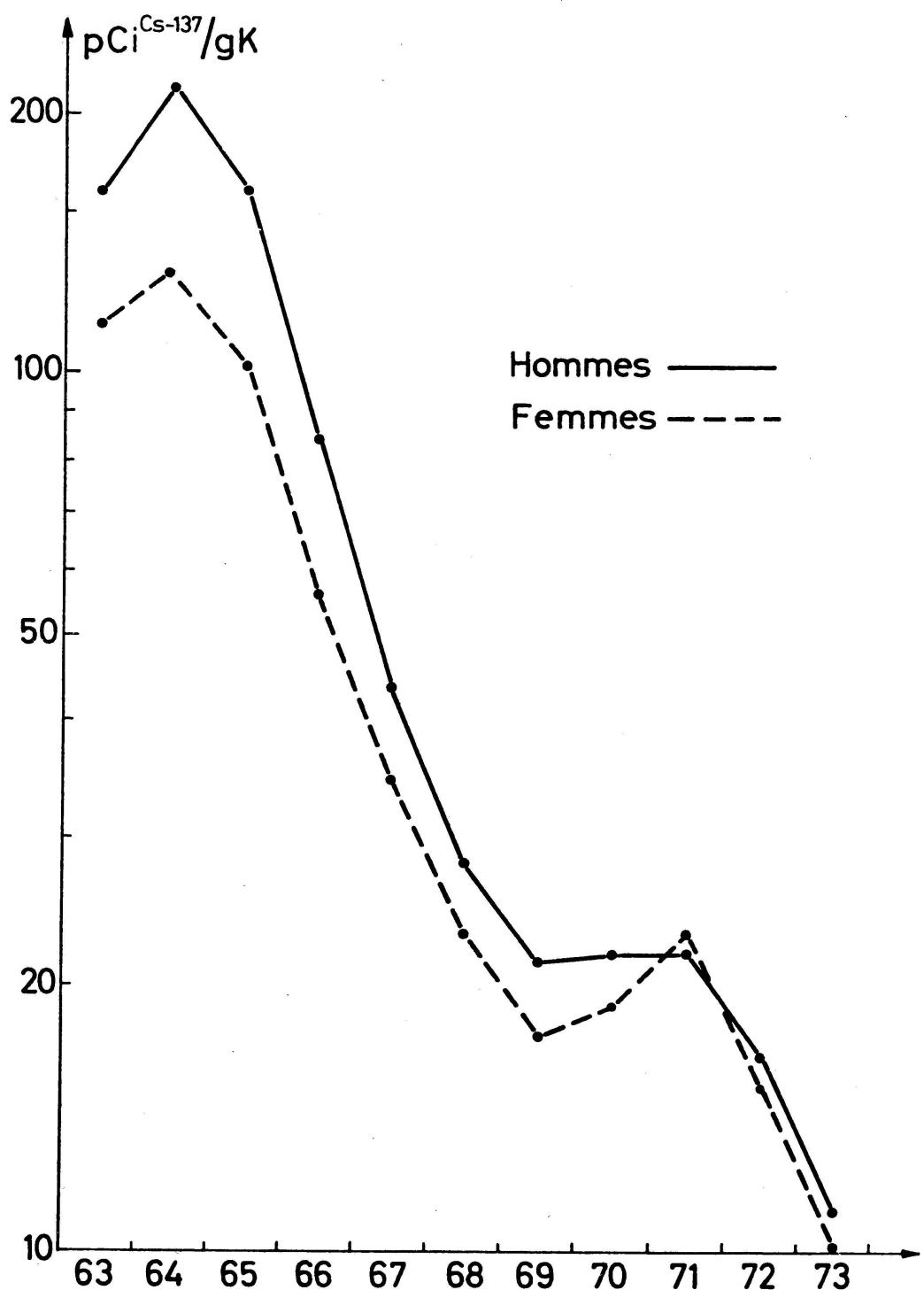


Fig. 5 ^{137}Cs dans le corps humain

Caesium dans le corps humain

L'incorporation du ^{137}Cs , dont la période physique est aussi longue que celle du ^{90}Sr (30,1 ans), est également importante à connaître. Elle se distingue nettement de celle du ^{90}Sr : d'une part la fixation s'effectue dans le tissu musculaire, analogue à celle du potassium: la répartition de ce tissu dans l'organisme est telle que l'irradiation résultante est sensiblement homogène; elle l'est encore d'autant plus que le ^{137}Cs émet un photon d'énergie moyenne (662 KeV) et non seulement des rayons β comme dans le cas de la paire ^{90}Sr - ^{90}Y ; d'autre part, le métabolisme du ^{137}Cs est rapide, la période biologique moyenne est de 70 jours environ.

Les mesures à l'anthropogammamètre donnent l'évolution de l'incorporation par le corps entier (figure 5); un maximum apparaît en 1964/65 qui correspond bien à la contamination des denrées alimentaires, et dont le retard est très inférieur à celui constaté pour le ^{90}Sr , à cause de la grande différence des périodes d'élimination biologique. Les courbes donnent l'activité en pCi $^{137}\text{Cs}/\text{g K}$; étant donné les quantités différentes de potassium que l'on rencontre chez l'homme et la femme, les résultats sont donnés séparément pour chacun des sexes.

Les normes de l'ICRP pour la contamination de l'organisme par le ^{90}Sr et le ^{137}Cs sont respectivement égales à 2 nCi $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$ et 220 nCi $^{137}\text{Cs}/\text{g K}$.

Les maxima que nous avons observés sur les courbes montrant la contamination de l'individu par ces deux radionucléides se situent respectivement à environ 1/200^e et 1/1000^e de ces maxima admissibles. On peut donc conclure que la contamination due aux essais nucléaires militaires est négligeable en Suisse, comparée aux maxima admissibles, comme d'ailleurs aux sources d'irradiation naturelles.

Bibliographie

- 1) Muth H.: Bilanz der externen und internen natürlichen Strahlenexposition, in: Die natürliche Strahlenexposition des Menschen, p. 129 (Thieme Verlag, Stuttgart, 1974).
- 2) Oakley D.T.: Natural radiation exposure in the United States. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 1972.
- 3) Donath A.: Principes généraux de l'analyse compartimentale. Bulletin Acad. Suisse Sciences Med. 27, 311, 1971.
- 4) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford (1977).
- 5) The handling, storage, use and disposal of unsealed radionuclides in hospitals and medical research establishments. A report of a Task Group of ICRP Committees 3 and 4
ICRP Publication 25, Pergamon Press, Oxford (1977).
- 6) Pochin E.E.: Estimated population exposure. Nuclear Energy Agency, Paris 1975.

10. G.G. Poretti (Bern): Die Strahlenbelastung durch röntgendiagnostische Untersuchungen im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung

Die Bestrahlung durch "natürliche" Strahlen aus dem Kosmos (kosmische Komponente), aus der Erdkruste (terrestrische Komponente) und aus körperintern gelagerten Radioisotopen ist zusammen mit der medizinisch-diagnostisch bedingten "künstlichen" Bestrahlung einer immer grösser werden den Anzahl Personen (Patienten) die wichtigste Strahlenbelastung, welcher eine Bevölkerung unterworfen ist.

Um Anhaltspunkte über die mutmassliche Wirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper festlegen zu können, werden die im Körper erzeugten Dosen von Strahlen aus Geräten oder aus radioaktiven Stoffen des öfters mit denjenigen der erwähnten "natürlichen Strahlung" verglichen. Von dieser werden im allgemeinen die Dosisleistungen im Freien angegeben (d.h. im freien Gelände und ohne menschliches Phantom z.B. in mR/Jahr gemessen), so dass, um Vergleiche mit medizinisch bedingten Strahlenbelastungen aufstellen zu können, eine Umrechnung in Organ-Dosisleistungen notwendig ist.

Die durch die erwähnten drei Komponenten der "natürlichen Strahlen" erzeugten mittleren Organdosisleistungen betragen für die Schweiz (1):

Organ	Terrestr. Komponente (mrem/Jahr)	Körperinnere Komponente (mrem/Jahr)	Kosmische Komponente (mrem/Jahr)	Total (mrem/Jahr)
Rotes Knochenmark	65	42	36	143
Testis	54	24	36	114
Ovarien	45	19	36	100
Im Freien gemessen	70	—	36	106

Die *Gonadendosisleistung* errechnet sich unter Berücksichtigung der weiblichen bzw. männlichen Anteile der Bevölkerung (praktisch gleich) mit 107 mrem/Jahr.

In zwei Gebieten der Erde (Kerala, Indien und Guarapari, Brazil) (2) (3) werden im Freien viel höhere natürliche Dosisleistungen als in der Schweiz nachgewiesen (über 500 mrem/Jahr). Ausgedehnte Studien über ev. biologisch-medizinische Folgen für die seit Generationen in diesen Gebieten lebenden Stämme haben keine eindeutige, strahlenbedingte somatische bzw. bevölkerungsgenetische Störungen nachweisen lassen.

Auch eine gründliche USA-Studie zeigte keinen Unterschied der Mortalitätsrate infolge von Malignomen in der Bevölkerung von Gebieten mit verschiedenen natürlichen Strahlenbelastungen (4) (z.B. 210 mrem/Jahr und 118 mrem/Jahr im Freien ermittelt).

Beim Vergleich zwischen der natürlichen Strahlenbelastung einzelner Organe und z.B. derjenigen aus *röntgendiagnostischen* bzw. *nuklearmedizinischen* Untersuchungen, muss berücksichtigt werden, dass die erstere durch langdauernde ("chronische") Expositionen hervorgerufen wird, d.h. dass ihre Dosisleistung (rad oder rem pro Zeiteinheit) relativ klein ist.

Die mittlere natürliche Dosis von 100 mrad für die Ovarien kumuliert sich z.B. im Laufe eines Jahres, währenddem die durch eine Colon-Aufnahme im gleichen Organ hervorgerufene gleiche Dosis in Bruchteilen einer Sekunde entsteht (5).

Die Dosisleistung der natürlichen Strahlung im Knochenmark beträgt $4,5 \cdot 10^{-6}$ mrad/sec; diejenige einer Röntgenaufnahme des Beckens (60 KV, 100 mA und 0,6 sec Expositionszeit) dagegen ca. 100 mrad/sec.

Vergleiche der ev. biologisch-medizinischen Folgen für den menschlichen Körper dieser zwei Strahlenarten sind deshalb nur zutreffend, wenn bei gleicher Gesamtdosis, die erhöhte biologische Wirkung der höheren Dosisleistung berücksichtigt wird.

Die natürliche Strahlung belastet die Gonaden einzelner Personen der Bevölkerung mit einem mittleren Wert von mrad, unabhängig von der Art der Röntgenuntersuchung. Die jährliche genetisch signifikante Dosis (*GSD*) für die natürliche Strahlung ist somit gleich der von dieser Strahlung in den Gonaden erzeugten (mittleren) jährlichen Dosis (107 mrem für die Schweiz).

Eine in der Schweiz durchgeführte Erhebung für die Bestimmung der durch röntgendiagnostische Untersuchungen entstandene mittlere genetisch signifikante Dosis, ergab einen Wert von ca. 43 mrem/Jahr (5).

Rein physikalisch wäre somit die medizinisch bedingte GSD für die Bevölkerung ca. 2,5 mal kleiner als die natürlich bedingte GSD. In bezug auf die voraussichtlichen biologisch-medizinischen Folgen, bedeuten aber die kurzzeitig wirkenden röntgendiagnostischen Untersuchungen sehr wahrscheinlich für den menschlichen Körper eine etwas höhere Strahlenbelastung.

Die Strahlenbelastung des aktiven Knochenmarkes z.B. kann zu einer erhöhten Inzidenz der Leukämie, insbesondere der myeloischen Formen, führen. Es stellt sich deshalb die Frage, ob die infolge röntgendiagnostischen Untersuchungen entstehende Organdosis und insbesondere die mittlere jährliche Knochenmarkdosis pro Person als eine Art von "gewichtetem Durchschnittswert" einer Bevölkerung für die Beurteilung der somatischen Strahlenwirkung nicht aufschlussreich sein könnte.

Die mittlere jährliche Knochenmarkdosis pro Person für das Jahr 1971 betrug in der Schweiz ca. 120 mrad. Wird für praktisch-pädagogische Zwecke dieser Wert mit demjenigen der "natürlichen Strahlung" verglichen, so muss berücksichtigt werden, dass die ca. 143 mrem/Jahr der "natürlichen" Knochenmarkdosis einen geringeren biologischen Einfluss als die erwähnten 120 mrad/Jahr haben könnten.

Die Strahlenbelastung einzelner Organe bleibt in der diagnostischen Nuklearmedizin relativ niedrig (z.B. für eine Hirnszintigraphie mit 10 mCi Tc-99m beträgt die Knochenmarkdosis bis zum vollständigen Zerfall des Radionuklides ca. 245 mrad) (1). Dagegen kann sie bei bestimmten Behandlungen relativ hoch sein, wie z.B. bei der Hyperthyreose. Es wird gezeigt, dass eine therapeutische I-131-Verabreichung von 10 mCi eine Testisdosis (bis zum vollständigen Abbau des Radionuklides) von mehr als 5000 mrad

hervorruft. Trotz solchen hohen Strahlenbelastungen haben die bis jetzt durchgeführten Erhebungen an ca. 19000 mit I-131 behandelten Patienten keine Erhöhung z.B. der Leukämierate nachweisen lassen (1).

Die in der Strahlenschutzverordnung für Einzelpersonen einer Bevölkerung vorgesehenen 500 mrem/Jahr Strahlendosisleistung für den ganzen Körper, zusätzlich zu der natürlichen und der medizinisch bedingten Bestrahlungen, stellen eine sehr vernünftige Limite dar innerhalb welcher eine Beziehung zwischen Strahlendosis und gesundheitsschädlicher Wirkung genetischen oder somatischen Ursprungs kaum zu beweisen ist.

Wie neueste Versuche andeuten, muss für die Strahlenwirkung der Reparaturfähigkeit des Organismus als Ganzes (auf zellulärer Ebene und hauptsächlich durch Gewebskontrollfaktoren) eine viel grössere Bedeutung beigemessen werden, als wie bis dahin angenommen wurde.

Literaturverzeichnis

- 1) G.G. Poretti: Natürlich bedingte Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung. Schweiz. Mediz. Wochenschrift (im Druck).
- 2) A.R. Gopal-Ayengar et al.: Evaluation of the long-term effects of high background radiation on selected population groups on the Kerala coast – Peaceful Use of Atomic Energy, Proc. of the 4th Int.Conf., Geneva 1971, Vol. 11.
N. Kochupillai et al.: Down's syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala – Nature 262, 60 (1976)
- 3) M.A. Barcinski et al.: Cytogenetic investigation in a Brazilian population living in an area of high natural radioactivity – Am. J. Hum. Genet. 27, 802 (1975)
- 4) The Argonne Radiological Impact Program – ARIP. Part I, N.A. Firgerio et al. ANL/ES, 26, 1973
- 5) G.G. Poretti, F. Ionesco-Farca und W. Lanz: Erhebung über die Strahlenbelastung in folge röntgendiagnostischer Untersuchungen, 1971 – Vollständiger Bericht – Schweiz. Vereinigung für Atomenergie, Postfach 2613, 3001 Bern, 1975

11. H. Fritz-Niggli (Zürich): Gesundheitliche Risiken durch die natürliche und künstliche Strahlenbelastung

Die ionisierende, energiereiche Strahlung stellt den bestuntersuchten Umweltfaktor dar, den wir überhaupt kennen. Nur wenige Monate nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen begann man bereits deren biologische Wirkung zu erkennen und zu untersuchen. Die strahlenbiologische Wissenschaft wurde geboren. Über die Wirkung keines Umweltfaktors, keines Pestizides und keines Pharmakons sind so viele Daten gesammelt worden, wie über diejenige energiereicher, ionisierender Strahlen. So sind deshalb heute Aussagen über die gesundheitlichen Risiken kleiner Strahlenmengen möglich, selbst wenn sich verständlicherweise aus statistischen Gründen die Wirkung kleinster Dosen kaum erfassen lässt. Die Strahlenbiologie hat sich als eine umfangreiche Wissenschaft entwickelt, die nicht nur erlernt werden muss, sondern die sich ständig wie jede andere Wissenschaft mit neuen Erkenntnissen bereichert. Ohne den nötigen Sachverstand ist, wie in andern wissenschaftlichen Gebieten eine Diskussion wertlos, da die Einsicht in die Grundlagen fehlt.

Die Strahlenbiologen haben als erste die möglichen Strahlenschäden durch kleine Dosen erkannt und stets auf die Gefahren aufmerksam gemacht. Ohne sie wäre es beispielsweise unerkannt geblieben, dass ionisierende Strahlen beim Menschen Mutationen auslösen könnten. Es bedurfte kluger Experimente an der Taufliege, um quantitativ einwandfrei nachzuweisen, dass in den Keimzellen höherer Organismen Mutationen durch Strahlen induziert werden. Es dürfte deshalb nicht abwegig sein, diesen Forschern Gehör zu schenken, die selber seit Jahrzehnten auf mögliche Gefahren aufmerksam gemacht haben und auch in den Gremien sitzen, welche über den Strahlenschutz des Menschen diskutieren. In einer kurzen Zusammenfassung werde ich diese heutigen Vorstellungen schildern, die sich nach der Durchsicht Tausender Experimente und von statistischen Untersuchungen beim Menschen ergeben. Es wird darauf verzichtet, einzelne Arbeiten zu zitieren, da dies den Rahmen dieser kurzen Stellungnahme sprengen würde. Hingegen werden Übersichtsberichte angeführt, in denen Tausende von Experimenten und Untersuchungen kritisch dargestellt sind.

	<i>Knochenmarkdosis</i>	<i>Gonadendosis</i> (genetisch signifikant)
Natürliche Strahlenquellen	143 (90 bis > 400)	107
Künstliche Strahlenquellen		
Medizin	121	43
Kernwaffenversuche	3	3
Leuchtziffern, Fernsehapparate etc.	1	1
Industrie, Kernkraftwerke (kleine Bevölkerungsgruppen).	1	1

Tab. 1 Natürliche Strahlenbelastung in der Schweiz (Mittelwerte) und künstliche Strahlenbelastung in Millirem/Jahr (nach PORETTI et al., 1976; PORETTI, 1978)

Gesundheitliche Risiken durch die künstliche Strahlenbelastung, denen der heutige Mensch seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen ausgesetzt ist, müssen im Vergleich mit der natürlichen Strahlenbelastung und der natürlichen Schädigungsrate dargestellt werden. Aus Tabelle 1 kann die natürliche und künstliche Strahlenbelastung des Schweizers entnommen werden. Es wird ersichtlich, dass die medizinische Anwendung von ionisierenden Strahlen den Hauptanteil in der künstlichen Strahlenbelastung einnimmt. Dabei stellen die Zahlen für die medizinische Belastung Mittelwerte für jeden Schweizer dar, wobei die Belastungen für das Individuum das Mehrfache dieses Wertes oder Null sein können. Die Strahlen werden in der Medizin (Röntgendiagnostik) zeitlich konzentriert verabreicht, während die Fall out- und KKW-Belastungen in zeitlich verdünnter Weise einwirken, genauso wie die natürliche Strahlenbelastung.

1. Allgemeine strahlenbiologische Tatsachen

Ionisierende Strahlen erzeugen Schädigungen, die auch auf natürliche, sogenannte 'spontane' Weise entstehen können. Gerade die beiden, für den Menschen schwerwiegenden Wirkungen der ionisierenden Strahlung, wie Mutationsinduktion und Erhöhung des Krebsrisikos, sind normalerweise 'spontan', das heisst ohne eine für uns vorläufig erkennbare Ursache derart häufig, dass die Wirkung kleiner Dosen statistisch nicht mehr fassbar ist. Wir sind deshalb zumeist auf Extrapolationen von der Wirkung grösserer Dosen auf diejenige kleiner Dosen angewiesen. In den folgenden Berechnungen und Schätzungen der gesundheitlichen Risiken (Mutationsinduktion und erhöhte Krebsinduktion) wird stets mit der Annahme gearbeitet, dass die Dosiswirkungskurve linear durch den Nullpunkt verläuft; das heisst es existiert keine unschädliche Dosis, keine Schwellendosis. Diese Beurteilung steht im Einklang mit den Feststellungen der ICRP-Publikation 26 (1977). Differenziert wird in eine stochastische und nichtstochastische Wirkung der ionisierenden Strahlung, wobei die stochastische Wirkungsweise (Tabelle 2), vor allem für die Induktion von Mutationen und auch für die Krebsentstehung in Frage kommt. Das heisst, dass für diese Schädigungstypen keine Schwellendosis existiert. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Effektes ist eine Funktion der Dosis und mit sinkender Dosis vermindert sich die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses. Oft sind lediglich Daten bekannt, die mit relativ hohen Dosen gewonnen wurden. Da im höheren Dosis-Bereich die

Stochastische Wirkungsweise:

- Keine Schwellendosis
- Prozesse laufen nach statistischen Regeln ab.
Wahrscheinlichkeit der Wirkung = Funktion der Dosis
- Mutationen (somatische, Keimzellmutationen)
- Krebsinduktion (Hauptproblem!)

Nichtstochastische Wirkungsweise:

- Schwellendosis möglich
- Ausmass des Schadens, Funktion der Dosis

Tab. 2 Wirkungsweisen ionisierender Strahlung

Dosis-Wirkungs-Kurve abflachen kann (ein Sättigungswert wird erreicht), ist es möglich, dass durch eine lineare Extrapolation von hohen Dosen die Wirkung kleiner Dosen (medizinische Belastung) unterschätzt wird. Es ist ebenfalls möglich, dass durch hohe Strahlendosen mutationstragende Zellen oder latente Krebszellen eliminiert werden. Ein 'Pseudoschutz' ist die Folge, und eine Wirkungslosigkeit höherer Strahlendosen wird vorgetäuscht. Im niedrigsten Dosis-Bereich (natürliche Strahlenbelastung, KKW-Belastung) hingegen dürfte sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Ereignissen gegen Null nähern, von denjenigen Ereignissen nämlich, die auf multiplen, indirekten Strahlenreaktionen beruhen, zum Beispiel Rekombinationen strahleninduzierter Wasser-Radikale). Diese Reaktionsmechanismen dominieren als Initianten fundamentaler Schädigungen. Für alle Wirkungsweisen gilt eine Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (Tabelle 3), wobei zur Beurteilung

- Strahlenwirkung hängt ab von der zeitlichen Verteilung der Dosis (Zeitfaktor)
- Strahlenwirkung hängt ab von der räumlichen Verteilung der Dosis
LET-Abhängigkeit (Strahlenqualität bestimmt zum Teil Effekt)
dicht ionisierende Strahlen wirksamer
- Strahlenwirkung hängt ab von Milieufaktoren, vom Alter, physiologischen Zustand, von genetischen Faktoren des Reaktionssystems
- Primärereignisse + Erholung = **Endeffekt**

Tab. 3 Für die Beurteilung der Strahlenrisiken wichtige Erkenntnisse der Strahlenbiologie

lung der Strahlenrisiken hauptsächlich die Abhängigkeit der Wirkung von der zeitlichen Verteilung der Dosis wichtig ist. Eine Strahlenmenge, die fraktioniert oder verdünnt (verteilt über eine lange Zeit) abgegeben wird, wirkt meist weit weniger als die gleiche Dosis in konzentrierter Applikation. Die Zellen, Organsysteme und Lebewesen haben Zeit, sich zu erholen, wenn die Dosis verdünnt verabreicht wird. Beispielsweise wird ein Säugetier eine akut verabreichte Totalbestrahlung mit 500 rad nur zu 50% überleben, während dieselbe Dosis, verteilt über Jahre, kaum fassbare Schädigungen (abgesehen von eventuellen Spätschäden) induziert. Die natürliche Strahlenbelastung wirkt verdünnt auf den Menschen, ebenso wie die Belastung durch Kernkraftwerke (KKW). Die medizinische Belastung hingegen erfolgt kurzfristig, konzentriert und ist demnach biologisch grösstenteils wirksamer.

2. Genetische Risiken

Schädigungen der Erbsubstanz, das heisst Mutationen, können sich in Körper- und Keimzellen ereignen. Mutationen in Körperzellen erlöschen mit dem Tode des Trägers, während Mutationen in den Keimzellen auf die Nachkommen übertragen werden können. Die Risiken für die genetische Schädigung in den Keimzellen sind anhand von umfangreichen Experimenten bei Säugetieren mit verdünnter und konzentrierter Bestrahlung dargestellt. Die natürliche Mutationsrate ist sehr gross, wobei das einzelne Gen selten mutiert, aber die grosse Zahl der Gene führt dazu, dass von einer Million

Keimzellen 30000 stets neue Mutationen irgend eines Gens tragen dürften (Tabelle 4). Berücksichtigt man sämtliche Mutationen, die auch für leichte konstitutionelle Anomalien verantwortlich sind, erhöht sich diese Zahl. 10% aller Lebendgeborenen dürften in diesem Fall genetisch bedingte Anomalien

Verdünnnte Bestrahlung (KKW, natürliche Belastung)

Natürliche Mutationsrate	=	30000 Mutationen in 1 Million Keimzellen
~ 100 rem (Verdoppelungsdosis)	=	30000 Mutationen in 1 Million Keimzellen
1 rem	=	300 Mutationen in 1 Million Keimzellen
1 mrem	=	0,3 Mutationen in 1 Million Keimzellen

Konzentrierte Bestrahlung (medizinische Belastung)

~ 33 rem (Verdoppelungsdosis)	=	30000 Mutationen in 1 Million Keimzellen
1 mrem	=	0,9 Mutationen in 1 Million Keimzellen

Tab. 4 Mutationsinduktion durch verdünnte und konzentrierte Bestrahlung (zum Teil nach Unscear 1972) mit der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungskurve

aufweisen (UNSCEAR 1977). Eine verdünnte Bestrahlung wirkt etwa 3mal weniger als eine konzentrierte, und die sogenannte Verdoppelungsdosis, das heisst die Dosis, die gleich viele Mutationen erzeugt, wie sie natürlicherweise entstehen, liegt etwa bei 100 rem*, für konzentrierte Bestrahlung hingegen bei etwa 33 rem. Dies bedeutet, dass in der Schweiz bei 100000 Geburten im Jahr (Tabelle 5) die Strahlenbelastung durch KKW (unter der Voraus-

<i>Natürliche Mutationsrate</i>			
Natürliche Belastung im Jahr:	107 mrem	~	6000,0
in 30 Jahren:	3210 mrem	~	6,4 (19,2)
KKW (ganze Schweiz in unmittelbarer Nähe) im Jahr:	1 mrem	~	192,6 (577,8)
	in 30 Jahren:	30 mrem	~ 0,06 (0,18)
Medizinische Belastung im Jahr:	43 mrem	~	1,8 (5,4)
in 30 Jahren:	1290 mrem	~	7,7
		~	232,2

Tab. 5 Mutationsinduktion durch natürliche und künstliche Strahlenbelastung. Voraussetzung: Erbmasse in weiblichen und männlichen Keimzellen gleich strahlenempfindlich. Werte für konzentrierte Bestrahlung in Klammer.
Für die Schweiz in 100000 Geburten/Jahr, Vater und Mutter bestrahlt

setzung, dass die ganze Schweizer Bevölkerung unmittelbar in der Nähe leben würde) in 30 Jahren zu den 6000 natürlichen Mutationen 1,8 hinzufügen würde, hingegen die medizinische Belastung deren 232. Die sichtbaren Anomalien, die in der ersten Generation bemerkt werden können (Tabelle 6) sind viel geringer, da die meisten Mutationen rezessiv sind. So würden zu den 6000 sichtbaren Anomalien in 100000 Geburten der Schweiz, die natürlicherweise entstehen, durch die KKW 0,06 hinzugefügt werden, statt 6000,00 würden 6000,06 registriert, durch die medizinische Belastung in 30 Jahren deren 7,7. Nach ICRP 26 (1977) errechnet sich ein genetisches Risiko von $4 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}^{-1}$, resp. $4 \cdot 10^{-5} / \text{rem}$ für manifeste Anomalien in den ersten beiden Generationen. Nach UNSCEAR (1977) stellen sich unter

* (rem = absorbierte Dosis-Einheit (rad), multipliziert mit dem biologischen Qualitätsfaktor 1 rem = 0,01 Sievert (neue Einheit) 1 rad = 0,01 Gray (neue Einheit))

	Direkte Methode	Verdoppelungs-dosis-Methode
Natürlicherweise	~ 6000,0	(10520,0)
Natürliche Strahlenbelastung (30a)	~ 6,4	(20,2)
KKW (ganze Schweiz in unmittelbarer Nähe) (30a)	~ 0,06	(0,19)
Medizinische Belastung	~ 7,7	(8,13)

Tab. 6 Sichtbare, genetisch bedingte Anomalien in der 1. Generation nach Bestrahlung von Vater und Mutter in der Schweiz. 100000 Geburten/Jahr. Werte nach UNSCEAR (1977) unter Berücksichtigung sämtlicher genetischen Anomalien, nicht differenziert in konzentrierte und verdünnte Bestrahlung in Klammer

Berücksichtigung aller Mutationen und der 'Verdoppelungs-Dosis'-Methode in der ersten Generation nach einer Belastung der Eltern mit 1 rad 63 genetische, manifeste Leiden ein (nicht differenziert in verdünnte und konzentrierte Bestrahlung). Für alle weiteren Generationen ergibt sich bei steter kontinuierlicher Exposition mit 1 rad für jede Generation ein Wert von 185 auf 1 Million Lebendgeborene (= 0,17% der natürlichen Rate). Es wird offensichtlich, dass selbst bei der Annahme 'keiner Schwellendosis' die genetischen, manifesten Anomalien, induziert durch die künstliche Strahlenbelastung statistisch kaum erfassbar sind und besonders im Falle der Belastung durch KKW gegenüber der natürlichen hohen Mutationsrate vernachlässigt werden können.

3. Krebsinduktion

Während schon in der Pionierzeit der Radiologie und der Strahlenphysik offenbar wurde, dass chronische Belastungen mit grösseren Strahlenmengen zu Strahlenkrebs führen, wurde es offensichtlich, dass auch kleinere Strahlenbelastungen das Risiko, an Krebs zu erkranken und auch daran zu sterben, erhöht. Das natürliche Krebsrisiko ist derart hoch (jeder fünfte in der Schweiz stirbt heute an Krebs), dass mögliche, durch Strahlenbelastung erhöhte Risiken kaum bemerkt werden können. Unter der Annahme einer stochastischen Wirkungsweise (ohne unschädliche Schwellendosis) lässt sich in Zusammenfassung vieler Untersuchungen schätzen, dass sich durch 1 rem (1000 millirem) in konzentrierter Applikation ca. 120 zusätzliche Krebstodesfälle unter einer Million Bestrahlter einstellen, durch eine protrahierte Bestrahlung weniger, nämlich etwa 40 Fälle (nach JACOBI (1973)). Wird das Risiko allgemein gemittelt für alle Alter und Bestrahlungsarten (nicht differenziert in verdünnte und konzentrierte Bestrahlung) ergibt sich nach ICRP 26 ein Wert von 10^{-2} Sv^{-1} , resp. $10^{-4}/\text{rem}$. Tabelle 7 zeigt die Zusammenstellung des Krebsrisikos durch die natürliche und künstliche Strahlenbelastung. Die mögliche Zunahme der Krebstodesfälle im Vergleich zur natürlichen Rate durch die künstliche Belastung ist verschwindend klein, so für KKW (unter der Voraussetzung, dass eine Million Menschen in unmittelbarer Nähe lebt) 0,04–0,1 Fälle pro Million gegenüber 2300 spontanen Krebstodesfällen pro Million.

Das natürliche Risiko, an Krebs zu sterben, beträgt für den Menschen etwa 20%. Selbst wenn angenommen würde, dass in unmittelbarer Nähe

	in 1 Million/Jahr
Natürliche Krebstodesfälle	~ 2300,0
Natürliche Strahlenbelastung (143 mrem)	~ 5,7 (14,3)
KKW (ganze Schweiz in unmittelbarer Nähe (1 mrem)	~ 0,04 (0,1)
Medizinische Strahlenbelastung (121 mrem)	~ 14,4 (12,1)

Tab. 7 Krebs-Mortalitäts-Risiko (kontinuierliche Bestrahlung) nach JACOBI, 1973; nach ICRP 26 (1977) nicht differenziert in verdünnte und konzentrierte Bestrahlung in Klammer

eines KKW 10 mrem auf ihn während 70 Jahren einwirken, würde das Risiko lediglich von 20,000% auf 20,007% erhöht. Es wird verständlich, dass die Wirkungen kleiner Dosen, zum Beispiel auch erhöhter, natürlicher Strahlenbelastung, schwer zu erfassen sind.

	Dosis	Beobachtungszeit in a	Risiko/10 ⁶ für die gegebene Dosis u. Beobachtungszeit	Exponierte Bevölkerung, erforderliche Grösse in Millionen
Kinder				
Leukämie	5 rad	10	500	0,062
Schilddrüse	5 rad	10	125	0,14
Erwachsene				
Brust	20 rad	20	280	2,1
Lunge	20 rad	20	600	0,72
Leukämie	20 rad	20	560	0,10
Andere	20 rad	20	1000	0,6
Karzinome				

Tab. 8 Grössen bestrahlter Populationen, die es gestatten, mit einer Chance von 95% einen Anstieg des Krebsrisikos auf dem 5%-Niveau zu entdecken. (Nach GOSS, 1975).

Untersuchungen von GOSS (1975) (Tabelle 8) zeigen, dass bei der Bestrahlung Erwachsener mit einer Dosis von 20 rem eine Untersuchung einer Population von mindestens 100000 Bestrahlter notwendig wäre, um überhaupt einen signifikanten Anstieg der Leukämiehäufigkeit entdecken zu können. Um eine Krebsinduktion im allgemeinen durch 20 rem (20000 mrem) signifikant nachweisen zu können, würde eine Bevölkerung von je 1 Million (Bestrahlte und Unbestrahlte) benötigt. Diese Dosis ist 4000mal grösser als die höchste Belastung in der unmittelbarsten Nähe eines KKW.

Bibliographie

- Fritz-Niggli, Hedi: Strahlengefährdung, Strahlenschutz – Ein Leitfaden für die Praxis. Verlag Hans Huber, Bern, 1975
- Goss, S. G.: Sizes of Population Needed to Detect an Increase in Disease Risk when the Levels of Risk in the Exposed and the Controls are Specified: Examples from Cancer Induced by Ionizing Radiation. *Hlth. Phys.* **29**, 715–721 (1975)
- ICRP Publication **26**, Radiation Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press: Oxford, New York, Frankfurt. 1977
- Jacobi, W.: Die Grenzen der Strahlenbelastung. SVA (Tagungsreferate), Zürich-Oerlikon, 64–85 (1973)
- Poretti, G.G., Ionesco-Farca, F. und W. Lanz: Die Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung infolge röntgendiagnostischer Untersuchungen. *Schweiz. med. Wschr.* **106**, 1682–1687 (1976)
- Poretti, G. G.: Natürlich bedingte Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung. *Schweiz. Med. Wschr.* **108**, 235–243 (1978)
- UNSCEAR: United Nations Report: Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing Radiation: Levels and Effects, Vol. I: Levels II: Effects. 1972, N.Y.
- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report. Sources and Effects of Ionizing Radiation. 1977, N.Y., p. 1–725

12. P. Weish (Wien): Die Problematik niederer Strahlendosen in Zusammenhang mit dem Ausbau der Kernindustrie

Einleitung

Internationale und nationale Strahlenschutzgremien heben hervor, dass die Festsetzung höchstzulässiger Dosen, sowohl für beruflich strahlenexponierte Personen als auch für die Gesamtbevölkerung eine technologische Entwicklung ermöglicht, deren Vorteile so gross sind, dass die aus der mit dieser Technik verbundenen Strahlenbelastung resultierenden Gesundheitsschäden ein akzeptables Mass nicht überschreiten.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) führt dazu aus: "Die Kommission ist der Ansicht, dass dieser Wert (5 rem als jährliche Grenzdosis für die Gesamtbevölkerung – Anm. d. Verf.) einen vernünftigen Spielraum für die Atomenergieprogramme der absehbaren Zukunft schafft. Es sollte hervorgehoben werden, dass dieser Wert möglicherweise wegen der Unsicherheiten in der Abschätzung der möglichen Schäden und der wahrscheinlichen Vorteile kein richtiges Gleichgewicht zwischen Schäden und Nutzen repräsentiert". (1)

Von der Schwierigkeit der Abwägung von wirtschaftlichen Vorteilen gegenüber Gesundheitsschäden, die sich noch dazu räumlich und zeitlich auf verschiedene Menschen verteilen ganz abgesehen, soll im Folgenden gezeigt werden, dass die heute üblichen Abschätzungen der als Preis für eine expandierende Kernindustrie zu erwartenden Strahlenschäden keineswegs auf der sicheren Seite liegen, wie häufig behauptet wird. Auf den Stellenwert, der

einer Abschätzung der Wirkung niederer Strahlendosen bei der Beurteilung der Gefahren der Kernindustrie zukommt, sowie auf den heute bereits umstrittenen Wert eines exponentiell wachsenden Energieangebotes, soll abschliessend nur kurz eingegangen werden.

Mögliche Unterschätzung des Strahlenrisikos

Die zur Abschätzung der Wirkung niederer Strahlendosen auf grosse Bevölkerungsgruppen in der Regel angewendete lineare Dosis – Wirkungsbeziehung wird gelegentlich als pessimistisch oder konservativ bezeichnet (2). Begründet wird diese Ansicht meist mit dem Hinweis auf enzymatische DNS-Reparaturvorgänge, wie sie an verschiedenen Mikroorganismen und einigen Zelltypen nachgewiesen sind und der nicht ausreichend begründeten Annahme eines besseren Wirkungsgrades solcher Reparaturmechanismen im (experimentell schwer erfassbaren) niederen Dosisbereich.

Neuerdings sprechen einige Gründe dafür, dass die auf die Dosis bezogene Strahlenwirkung im niederen Dosisbereich (bzw. bei niederer Dosisleistung) höher liegen kann, als nach linearer Dosis – Wirkungsbeziehung anzunehmen wäre (3), (4).

Somatische Strahlenspätschäden

Im Experiment mit Versuchstieren zeigt die Krebshäufigkeit im hohen Dosisbereich eine Abflachung, weil neben overkill geschädigter Zellen die Mortalität auch von indirekten Strahlenwirkungen (Schädigung des Immunsystems, Vitalitätsverminderung) beeinflusst wird. Die Extrapolation in den niederen Dosisbereich ergibt dann dort einen zu geringen Anstieg der Krebshäufigkeit.

Die Theorie der linearen Dosis-Wirkungsbeziehung wird meist auf eine als gleichmässig strahlenempfindlich angenommene Bevölkerung angewendet. Bross und Natarajan (5) haben jedoch gezeigt, dass die Strahlenempfindlichkeit (Entstehung strahleninduzierter Leukämie bei Kindern, die im Mutterleib Röntgenbestrahlung ausgesetzt waren) keine Konstante ist, sondern dass Gruppen mit etwa 10-fach höherer Empfindlichkeit existieren. Die Anwendung dieser Ergebnisse auf Risikoabschätzungen wird dadurch erschwert, wenn nicht unmöglich, dass die erhöhte Empfindlichkeit genetisch bedingt ist und man die Häufigkeit solcher Genotypen in verschiedenen Populationen nicht kennt.

Von besonderer Bedeutung sind Befunde, die eine überadditive (synergistische) Wirkung bei Zusammentreffen von Strahlung und chemischen Schadstoffen zeigen (6), (7). Gerade in Ballungsgebieten mit hohen Schadstoffimmissionen müssen derartige – leider keineswegs ausreichend erforschte synergistische Effekte ein wesentlich höheres Strahlenrisiko ergeben als bisher angenommen (8) wurde.

Untersuchungen der Strahlenschädigung von künstlichen Phospholipidmembranen (9) haben ergeben, dass die Wirksamkeit pro rad bei niederen Dosisleistungen mehr als tausendmal höher ist, als bei sehr hohen Dosisleistungen. Dieser Dosisleistungseffekt kann auf eine indirekte Schädigung der

Membranen durch Peroxid-Radikale zurückgeführt werden. Der gleiche Schädigungsmechanismus wurde seither auch an Mycoplasmazellen (10) und Säugerzellen (11) gefunden. Sollte sich dieser "Petkau-Effekt" generell bestätigen, hätte das kaum abzusehende Konsequenzen. Es würde bedeuten, dass im Bereich niederster Strahlenintensitäten (und Dosen) die Schädigung von Zellmembranen gegenüber derjenigen der DNS in den Vordergrund treten könnte. Dann wäre wegen Schächung der Immunabwehr der Zellen (12) die Erhöhung der Häufigkeit zahlreicher Infektionskrankheiten als indirekte Strahlenwirkung zu erwarten.

Viele Strahlenschäden lassen sich quantitativ am besten mit der Gleichung $E = C \cdot D^n$ beschreiben, wobei E der Effekt, C eine Konstante, D die Strahlendosis und n wieder eine Konstante ist. Bei einer linearen Dosis – Wirkungsbeziehung gilt: $n = 1$. In einigen Fällen mit $n > 1$ nimmt der Effekt pro rad im niederen Dosisbereich ab. In vielen Fällen aber ergibt sich die beste Übereinstimmung wenn $n < 1$. Für Krebsauslösung ergab eine Untersuchung (13) eine Wirkungskurve, die mit $n = 1/2$ am besten beschrieben wird. In diesem Fall ist die Anwendung der linearen Dosis-Wirkungsbeziehung nicht konservativ. J. Martin Brown, der die Dosis-Wirkungsbeziehung für Strahlenkrebs eingehend diskutiert (3) kommt zu dem Schluss: "Entgegen einem weitverbreiteten Glauben gibt es ziemlich gute Daten über Krebsauslösung am Menschen durch niedere Dosen und/oder niedere Dosisleistungen von Strahlung mit niederm linearen Energietransfer. Es stellt sich heraus, dass die Risikoabschätzungen bei niederen Dosen nicht geringer sind, als vergleichbare Risikoabschätzungen, die von hohen Dosen ausgehen. Die Daten sprechen eher für das Gegenteil". In diesem Zusammenhang ist auf die Untersuchung von Mancuso, Stewart und Kneale (14) zu verweisen, die bei beruflich strahlenexponierten Personen auf ein unerwartet hohes Krebsrisiko schliessen lässt.

Die mögliche Unterschätzung genetischer Strahlenschäden

Bei der quantitativen Ermittlung des genetischen Strahlenrisikos finden meist nur Letalfaktoren und auffällige Erbkrankheiten Beachtung. Wir wissen aber heute, dass verschiedene weitverbreitete Krankheiten genetische Komponenten haben; dementsprechend ist nach erhöhter Strahlenbelastung längerfristig nicht nur mit der Zunahme einiger seltener auffälliger Erbkrankheiten zu rechnen, sondern mit einem schlechrenden Verfall der allgemeinen Gesundheit.

Zu diesem Problem führt das Beir-Committee (15) aus: "Es besteht die Gefahr, dass in den früheren Abschnitten infolge Beschränkung ausschliesslich auf gut definierte genetisch bedingte Krankheiten nur die Spitze eines Eisberges behandelt wurde. Wie steht es mit den übrigen Krankheiten? Auch sie sind zu einem gewissen Grad genetisch bedingt (p. 56) ... Ein ernstes Bedenken des Subkomitees gilt der möglichen Existenz einer Klasse von Erbschäden, die den Abschätzungen entgangen sind. Indem wir uns so sehr auf Daten aus Versuchen mit Mäusen gestützt haben, könnten wir wichtige Effekte übersehen haben, die an der Maus nicht zu erkennen sind, oder die Maus könnte möglicherweise kein geeignetes Versuchsmodell für das Studium des Menschen sein" (p. 57). Aus diesen Gründen sind die Schätzungen

des menschlichen genetischen Strahlenrisikos mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und Zahlenangaben täuschen eine nicht vorhandene Exaktheit vor. Dazu kommt noch, dass die Strahlenempfindlichkeit verschiedener Gene sehr unterschiedlich sein kann (stabile und labile Gene) und über deren Häufigkeit und Verteilung beim Menschen so gut wie nichts bekannt ist. Ausserdem ist erwiesen, dass die Strahlenempfindlichkeit einzelner Gene von anderen Erbanlagen abhängig sein kann (16) und dementsprechend individuell verschieden sein dürfte.

Wegen des rezessiven Charakters der meisten Mutationen und des starken Genflusses in der Bevölkerung wird das Auftreten erblicher Krankheiten gegenwärtig erst in geringem, in Zukunft jedoch in steigendem Masse erkennbar werden. Für die Menschheit und ihre Zukunft ist es keineswegs tröstlich, dass die überwiegende Zahl der Erbschäden keine einschneidende Vitalitätsverminderung mit sich bringt – denn je geringer sich die Erbschädigung im Einzelfall auswirkt, desto länger vermag sie sich (infolge geringerer Auslese) im Genpool der menschlichen Population zu halten.

Gelegentlich wird die These vertreten, dass wegen existierender DNS-Reparatursysteme geringe Strahlendosen für den Menschen genetisch unbedenklich seien, solange sie innerhalb der Streubreite der regional stark unterschiedlichen natürlichen Strahlenbelastung liegen. Das mag vielleicht für Populationen gelten, die einer starken natürlichen Auslese unterliegen (wie z.B. hoher Säuglingssterblichkeit) sicher aber nicht für die Zivilisation, für die bereits die von der natürlichen Strahlung mitverursachte spontane Mutationsrate längerfristig problematisch ist (17). Sollten Reparatursysteme tatsächlich in allen Keimzellstadien existieren (was bisher noch nicht nachgewiesen wurde), dann arbeiten sie jedenfalls nicht mit hundertprozentigem Wirkungsgrad, denn sonst könnte es weder eine Evolution, noch Erbkrankheiten geben. In diesem Zusammenhang ist die epidemiologische Studie von Kochupillai und Mitarbeitern (18) von grosser Bedeutung. In der Kerala-Region (Vorderindien) wurde in einer Gegend hoher natürlicher Strahlung eine auffällige Häufigkeit von Mongolismus und anderer Formen angeborenen Schwachsins gefunden. Dies ist umso bemerkenswerter, als die in dieser Region sehr hohe allgemeine Säuglingssterblichkeit (die bei etwa 180 pro 1000 Lebendgeburten liegt und für Mongolismus noch höher ist) dem manifest werden von Erbschäden stark entgegenwirkt. Vor kurzem gelang einem japanischen Forscherteam der direkte Nachweis genetischer Effekte in der Umgebung eines Atomkraftwerkes (19). Als Testobjekt diente *Tradescantia ohiensis*. Eine Kreuzung mit blauen Staubgefäßhaaren erlaubt ein leichtes Erkennen und Auszählen einer bestimmten somatischen Mutation, die eine Farbänderung der normal blauen Haarzellen nach rosa bewirkt. Die reiche Erfahrung mit diesem günstigen System (20, 21, 22, 23) erlaubte die Auswahl eines Klons mit einer von klimatischen Bedingungen weitgehend unabhängigen Mutationsrate. Die Pflanzen wurden an einigen Stellen um ein neu errichtetes Atomkraftwerk (Hamaoka) kultiviert und vor der Inbetriebnahme die Mutationen ausgezählt, desgleichen nach Aufnahme des Reaktorbetriebes. Die Untersuchung umfasste mehr als eine Million Staubgefäßhaare mit insgesamt etwa 34 Millionen (!) Haarzellen. Die etwa 5000 beobachteten Mutationen gestatteten eine statistische Auswertung, die zu signifikanten Ergebnissen führte. Die Mutationsrate liess eine Zunahme von etwa 30% über den spontanen Wert erkennen, das entspricht (im Expe-

riment mit Gammastrahlung) einer Dosis von etwa 300 mR. Die offiziellen Angaben wiesen jedoch (mit Thermoluminiszenzdosimetern gemessene) Gamma Dosen der Luft von 9 mR aus. Die Diskrepanz wird damit erklärt, dass radioaktive Stoffe aus den Emissionen des Atomkraftwerkes zum Teil an den Oberflächen von Pflanzen adsorbiert werden und dadurch insbesondere die wirksam werdende Betadosis viel höher liegt.

Diese neuen Befunde sind in zweifacher Hinsicht bedeutungsvoll: Erstens weisen sie – mit beachtlichem Arbeitsaufwand – strahlengenetische Effekte im extrem niederen Dosisbereich nach und zweitens machen sie deutlich, dass die biologische Wirkung in die Biosphäre freigesetzter Stoffe weit höher liegen kann, als auf Grund einer Dosimetrie der Radioaktivität der Luft (oder einer rechnerisch ermittelten Ausbreitung der Emissionen) zu erwarten gewesen wäre. Dieser Adsorptionseffekt stellt den ersten Schritt in der Nahrungskettenspeicherung dar und erweist die Problematik der Gleichsetzung von natürlicher Strahlung mit radioaktiven Emissionen.

Die Vernachlässigung von Belastungen aus dem Brennstoffkreislauf

Eine Betrachtung der Strahlenbelastung des Menschen aus der Kernindustrie muss den gesamten Brennstoffkreislauf einschliessen.

Bisher fanden in erster Linie Krypton-85 und Tritium Beachtung. Es zeigte sich jedoch, dass bereits bei der Urangewinnung mit den Abfallerzen freigesetzte Radionuklide der Uranzerfallsreihe wie z.B. das Thorium-230 ein Umweltproblem ersten Ranges bilden. Dieses langlebige Nuklid (HWZ 76000 Jahre) zerfällt über Radium-226 zu Radon-222, das als radioaktives Edelgas in die Atmosphäre übergeht und vor allem als Faktor der Auslösung von Lungenkrebs in Frage kommt. Wird die über den gesamten Zerfallszeitraum verursachte Bevölkerungsdosis berechnet (dose commitment) ergibt sich eine wesentlich höhere Schädlichkeit, als die von Tritium und Krypton-85. (24).

Die weitaus grösste radioaktive Verseuchung verursachen die Wiederaufarbeitungsanlagen, die bis zu tausendmal soviel Radioaktivität emittieren, wie die von ihnen betreuten Atomkraftwerke im Normalbetrieb zusammen. Erst vor wenigen Jahren wurde bekannt (25,26), dass von solchen Anlagen unter anderem beachtliche Mengen von Kohlenstoff-14 emittiert werden. Der Radiokohlenstoff verursacht – langfristig betrachtet – ebenfalls eine weitaus höhere Zahl von Strahlenschäden als Krypton und Tritium (27). Diese erst in jüngerer Zeit bekanntgewordenen Emissionen widerlegen die (bereits seit vielen Jahren geäusserte) These, dass die Gefahren der Kernenergie in vollem Umfang bekannt seien. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass uns weitere unangenehme Überraschungen bevorstehen. Länder, die Atomkraftwerke betreiben, die bestrahlten Brennelemente jedoch zur Wiederaufarbeitung ins Ausland schicken, exportieren Umweltverschmutzung. Der bisherige Betrieb von Wiederaufarbeitungsanlagen ist generell als besorgnisregend zu bezeichnen.

Im Rahmen eines umfangreichen Hearings anlässlich der geplanten Erweiterung der britischen Windscale-Anlage (Windscale inquiry, Sept. 1977) wurden alarmierende Zustände offenkundig, sowohl was die wachsende Gefährdung der Angestellten, als auch was die radioaktive Verseu-

chung der näheren und weiteren Umgebung betrifft. Für Menschen, die grössere Mengen Fisch verzehren, konnte sich (1974) eine Strahlenbelastung von mehr als 200 mrad ergeben und die Kontamination von Meerestieren zeigt eine weiterhin stark ansteigende Tendenz (28).

Grosse Unsicherheit besteht auch bei der Abschätzung der Schadwirkung inkorporierter Radionuklide. So ist anzunehmen, dass die von Tritium verursachten Gesundheitsschäden bisher unterbewertet wurden. In Versuchen an Säugetieroozyten ergab sich eine Zunahme der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) im niederen Dosisbereich (29).

Kerntechnik und Umweltschutz – akzeptables Risiko?

“Beim Umweltschutz geht es um die einfache Frage, ob das Überleben der Gattung Mensch auf diesem Planeten noch gesichert werden kann, oder ob es dafür bereits zu spät ist (31)”. Vor jedem potentiell folgeschweren Unternehmen ist daher das wichtigste Entscheidungskriterium ob es die Chancen zur Erhaltung des Lebens vergrössert oder verkleinert. Krebsforscher haben erkannt, dass die meisten Krebsfälle von Umweltfaktoren ausgelöst werden. Als beste Strategie gegen den bedrohlichen Anstieg der Krebshäufigkeit wird das Identifizieren und *Eliminieren* krebsauslösender Faktoren gefordert (32).

Einer solchen lebenswichtigen, fortschrittlichen Umwelthygiene steht die Kernindustrie entgegen, die grosstechnisch enorme Mengen künstlicher Radioaktivität erzeugt und diese potenten Karzinogene und Mutagene in vielen industriellen Teilbereichen in unseren Lebensraum abgibt.

Der aufwendige Rasmussen-report entpuppte sich als Alibistudie, die nur zu dem Zweck erstellt worden war, das Schadenspotential und die Eintrittswahrscheinlichkeit von Reaktorunfällen herunterzuspielen (33). Neben vielen ungelösten technischen Sicherheitsfragen entstehen mit dem Ausbau der Kernindustrie zahlreiche prinzipiell nicht technisch lösbare Probleme höherer Ordnung wie im Bereich der sogenannten Plutoniumökonomie (34). Friedensforscher treten gegen die Ausweitung der zivilen Kernindustrie auf, weil mit ihr die Verbreitung von Atomwaffen einhergeht (35).

Neueste umfassende Untersuchungen auf dem Energiesektor zeigen, dass uns die teure Kernenergie daran hindert, den aus ökologischen und ökonomischen Gründen notwendigen Übergang zu Massnahmen der effizienten Energieanwendung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen rechtzeitig zu vollziehen (36).

Die Förderung der Kernenergie wird mit der These begründet, dass ihre Nachteile klein im Vergleich zu ihren Vorteilen sind. Eine kritische Betrachtung zeigt jedoch, dass die Risiken der Kernenergie nicht nachweisbar klein und ihre Vorteile nicht nachweisbar gross sind, ihr Ausbau daher nicht gerechtfertigt ist.*)

*) Während der Drucklegung dieses Referats wurden mehrere wichtige Untersuchungen über die Verseuchung der Umwelt durch kerntechnische Anlagen sowie die Schädlichkeit niedriger Strahlendosen veröffentlicht, u.a.: Murray, C.N. et al.: Actinide activities in water entering the northern North Sea. – Nature 276, 225–230, 1978; Morgan, K.Z.: Cancer and ionizing radiation. – Bull. At. Sci. 34 (7), 30–41, 1978;

Rotblat, J.: The risk for radiation workers. – Bull. At. Sci. 34 (7) 41–46, 1978; Johnson, C.J.: Rates of leukemia, lung cancer and congenital malformations by census tract in areas contaminated with plutonium. – Int. Congress Human Ecology, Vienna, okt. 1978.

Anmerkungen

- 1) ICRP Publ. 9 (1965) Pergamon Press, Oxford, Abschnitt 15. Diese Feststellungen sind grundsätzlich bis heute aktuell geblieben.
- 2) Für die Gesundheitsvorsorge ist es selbstverständlich von der allergrößten Bedeutung, dass derartige Schätzungen konservativ sind, d.h. im Falle eines Irrtums auf d. sicheren Seite liegen. Ausserachtlassen v. Schädigungsmöglichkeiten bzw. d. Verwenden d. optimistischen Schätzwerte v. Schadefekten f. Hochrechnungen v. Wirkungen auf grosse Gruppen ist leichtsinnig und verantwortungslos.
- 3) Brown, J.M. (1976): Linearity vs. non-linearity of dose response for radiation carcinogenesis. – Health Physics 31, 231–245.
- 4) Morgan, K.Z. (1975): Suggested reduction of permissible Exposure to Plutonium and other transuranium Elements. – Am. Industr. Hyg. Ass. J. 567–575.
- 5) Bross, I.D.J., Natarajan, N.M.S., (1977): Leukemia from low-level radiation. Identification of susceptible children. – New England J. of Med. 287, 107–110.
- 6) Lundin, F.E. jr., Lloyd, J.W., Smith, E.M., Archer, V.E., Holaday, D.A. (1969): A joint publication: Mortality of uranium miners in relation to radiation exposure, Hardrock mining and cigarette smoking, 1950–1967. – Health Physics 16, 571–578.
- 7) Mc Gandy, R.B., Kennedy, A.R., Terzagi, M., Little, J.B. (1974): Experimental respiratory Carcinogenesis: Interaction between alpha radiation and benzo (a) pyrene in the hamster. – In: Karbe, E., Park, J.F. (Ed.): Experimental Lung cancer. Carcinogenesis and bioassays – Springer-Verlag, 485–491.
- 8) Befunde epidemiologischer Untersuchungen, die keinen oder gar einen paradoxen Einfluss erhöhter natürlicher Strahlenbelastung auf die Mortalität feststellen konnten, lassen sich am ehesten mit dem störenden Einfluss von chemischen Schadstoffen erklären. In höheren Lagen mit gröserer Belastung mit kosmischer Strahlung sind in der Regel die umwelthygienischen Bedingungen viel besser als in urbanen und industriellen Ballungsräumen in tieferen Lagen.
Lave, L.B., Leinhardt, S., Kaye, M.B. (1972): Low-level environmental radiation and US mortality. – Carnegie Mellon, Univ. W.P. 19–70–1.
- 9) Petkau, A. (1972): Effects of Na-22 on a phospholiquid Membrane. – Health Physics 22 (2), 239–244.
- 10) Chelak, W.S., Forsythe, M.P., Petkau, A. (1974): Can. J. Microbiol. 20, 308.
- 11) Petkau, A.: Paper presented at the April 1975 Meeting of the Bio-Phys. Soc. Philadelphia, Pennsylvania.
- 12) Erst in jüngster Zeit wurde das Verständnis der Plasmenmembranen wesentlich vertieft (siehe z.B. Bretscher, M.S. & Raff, M.C., Nature 258, 43–49, 1975). Es wurde erkannt, dass Leistung und Überleben von Körperzellen wesentlich von der Funktion in der Zellmembran liegender Rezeptoren abhängen (Bengeldorf, I.S., Bio Science 26, 400–402, 1976), die auf Wirkstoffe wie Hormone oder Immunstoffe spezifisch reagieren. Membranschäden, die die Wirkungsweise spezifischer Rezeptoren beeinträchtigen, könnten z.B. die Immunisierung von Körperzellen gegenüber Virusinfektionen verhindern. Die Frage, ob Membranschäden zu Krebs in Beziehung gebracht werden könnten, ist völlig offen, doch weisen Befunde über Viren, die gemeinsam mit Leukämien nachgewiesen wurden (z.B. Weiss, T.,

- Nature 254, 101–102, 1975; Teich, N.M., et al., Nature 356, 551–555, 1976) auf diese Möglichkeit hin.
- 13) Baum, J., (1974): Population heterogeneity hypothesis on radiation induced cancer. – Given orally at Houston, Texas, meeting of the Health Physics Soc., July 10th, 1974. (Zit. nach (4)).
 - 14) Mancuso, T.F., Stewart, A., Kneale, G. (1976): Radiation exposure of Hanford-workers dying from various causes. Presented at the Tenth Midyear Symp. of the Health Physics Soc. Saratoga Springs, New York, 11 – 13 Oct. 1976.
 - 15) BEIR-Report (1972): The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation. – Report of the advisory committee on the biological Effects of ionizing radiations. NAS, Washington, Nov. 1972.
 - 16) Kaplan, R.W. (1957): Die Gefährdung der Erbanlagen des Menschen durch Strahlen. – Naturwissenschaften 44, 433–438.
 - 17) Weish, P., Gruber, E., (1975): Radioaktivität und Umwelt, – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, siehe Abschnitt 4.5.: Ionisierende Strahlung und Evolution.
 - 18) Kochupillai, N., Verma, I.C. Grewal, M.S. Ramalingaswami, V., (1976): Down's syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala. – Nature, 262, July 1., p. 60–61.
 - 19) Ichikawa, S., Nagata, M., Oki, S.: Nuclear power plant suspected to increase mutations. – Manuscript from Lab. of Genetics, Faculty of Agriculture Kyoto Univ., submitted to New Scientist (London).
 - 20) Ichikawa, S. (1971): Somatic mutation rate at low levels of chronic gamma-ray exposures in *Tradescantia* stamen hairs. – Jap. J. Genetics 46, 371–381.
 - 21) Sparrow, A.H., Underbrink, A.G., Rossi, H.H. (1972): Mutations Induced in *Tradescantia* by small doses of X-rays and Neutrons: Analysis of dose response curves. Science 176, 916–918.
 - 22) Ichikawa, S. (1972): Somatic mutation rate in *Tradescantia* stamen hairs at low radiation levels: Finding of low doubling doses of mutations. – Jap. J. Genetics 47, 411–421.
 - 23) Takahashi, C.S., Ichikawa, S. (1976): Variation of spontaneous mutation frequency in *Tradescantia* stamen hairs under natural and controlled environmental conditions. – Environmental and Experimental Botany 16, 287–293.
 - 24) Pohl, R.O. (1976): Radioactive Pollution. – ASHRAE Journal, Sept. p. 47 – 51.
 - 25) Rublevskiy, V.R., Zykova, A.S., Turkin, A.B. (1973): Atomic electric power stations as sources of carbon-14 discharge. 3rd Int. Congr. Int. Rad. Prot. Ass. Wash. D.C. 1973, p. 21.
 - 26) Bonka, H., Brüssermann, K., Schwarz, G., (1974): Umweltbelastung durch Radio-kohlenstoff aus kerntechnischen Anlagen. Reaktortagung, Berlin, 2. – 5. April, pp. 454–457.
 - 27) Pohl, R.O. (1976): Nuclear Energy: Health impact of Carbon-14 – Radiation and Environmental Biophys. 13, 315–327.
 - 28) Windscale inquiry, Sept. 1977, Proof of evidence by Prof. R. Ellis, p. 9f. Town and Country Planning Assoc., 17 Carlton House Terrace, London SW 1Y 5 A.H.
 - 29) Dobson, R.L., Kwan, T.C. (1976): The RBE of Tritium radiation measured in mouse oocytes: Increase at low exposure levels. – Rad. Res. 66. 615–625.
 - 30) Windscale inquiry siehe (28).
Proof of evidence by Dr. Alice Stewart (with George Kneale).
 - 31) Picht, G. (1971): Umweltschutz und Politik. Z.f. Rechtspolitik, 4, Heft 7, 152–158.
 - 32) Cairns, J. (1975): The cancer problem. Sci. Am. (nov.) p. 64–78.
 - 33) Ford, D. (1977): A history of federal nuclear safety assessments: From WASH-740 through the Reactor Safety Study. – Union of Concerned Scientists, Cambridge, Mass., USA; Siehe auch Shapley, D., (1977): Reactor Safety: Independence of Rasmussen study doubted. – Science, 1. July 1977, p. 29–31.

- 34) Broda, E. (1975): Eine Welt aus Plutonium? – Naturwiss. Rundschau 28, S. 233–239.
- 35) Barnaby, F., (1977): The mounting prospects of nuclear war – a report of the Stockholm International Peace Research Institute. – Bull. Atom. Sci., 33, June 1977, p. 11–20.
- 36) Lovins, A.B., (1977): Soft energy paths. Toward a durable peace. Ballinger, Cambridge, Mass.

Diskussion

Hedi Fritz-Niggli: Zu den Ausführungen von Herrn Weish möchte ich folgendes klar- und richtigstellen:

Die Feststellung einer Altersabhängigkeit des Krebsrisikos, insbesondere der erhöhten Gefährdung des Kindes in utero, ist selbstverständlich in den verschiedenen Berichten (BEIR-Report, 1972, UNSCEAR, 1972, ICRP-Report 1977) diskutiert und berücksichtigt worden. Es ist selbstverständlich, dass für alle toxischen Agentien (seien es Gifte, Pharmaka, Infektionserreger) die Individuen verschieden empfindlich sind. Es gibt resistente und sensible Menschen, und für alle Toxizitäts-Ermittlungen können nur Mittelwerte angegeben werden, unter der Voraussetzung einer individuellen Variationsbreite. Alle Argumentationen über besonders strahlengefährdete Personen müssen konsequenterweise auch auf die natürliche Strahlenbelastung übertragen werden, die bekanntlich, je nach Wohnlage, erheblich variieren kann.

Dass ionisierende Strahlen Membrane schädigen können, ist allen Strahlenbiologen seit Jahrzehnten bekannt. Die Veränderungen in der lebenden Zelle sind aber derart instabil und reversibel, dass sie nur nach der Einwirkung grosser Strahlendosen (über 1000 rem) zu biologischen, irreversiblen Änderungen führen. Gewisse Reaktionen (Zurückziehen von Fühlern bei Mollusken, Reaktionen der Mimosa pudica), die wahrscheinlich auf osmotischen Änderungen beruhen, werden durch ionisierende Strahlen ausgelöst, allerdings nur bei zeitlich konzentrierter Energieabgabe. Im Experiment lassen eventuelle Membranstörungen sich *in vitro* bemerkern, wobei die Nährmedien die entscheidende Rolle spielen. Eine extrem lange, verdünnte Bestrahlung kann im künstlichen Milieu allein durch die lange Bestrahlungszeit durch Artefakte mehr schädigen als eine kurzfristige. Die Resultate lassen sich nur bedingt auf die lebendige Zelle übertragen. Niemals dürfen Experimente an künstlichen Membranen als relevant für biologische Schädigungen herangezogen werden (wie z.B. Experimente von Petkau). Die biologische Membranfunktion wird enzymatisch gesteuert und beruht teilweise auf aktiven Ionen-Pumpen.

In Kerala sind von Gopal-Ayengar et al. (1971) keine signifikanten Unterschiede in unterschiedlich strahlenbelasteten Bevölkerungsgruppen festgestellt worden. Bei einer natürlichen Belastung von bis zu 2000 mrem/Jahr wurde keine Zunahme von Anomalien und Aborten, lediglich eine statistisch nicht gesicherte Erhöhung der Kindersterblichkeit festgestellt. Die Bevölkerungsgruppen sind zu klein, die schädigenden Umweltnoxen der tropischen Gegend zu gross, um etwas Sichereres aussagen zu können.

Das gleiche gilt für die Untersuchungen bei Mongolismus. Bei dieser chromosomal bedingten Krankheit ist das Risiko übrigens abhängig u.a. vom Alter der Mutter (Streuung zwischen einem Risikofaktor von 1:2000 bis zu 1:50 für alte Mütter) und ebenfalls vom Alter des Vaters. Eine andere ernsthaftere Studie von George et al. (1976) konnte z.B. in Kerala bei einer Belastung von 1500 mR/a keine Zunahme der Chromosomenaberrationen im peripheren Blut bemerken.

Die Untersuchungen von Ichikawa mit einem sensiblen Pflanzensystem und somatischen Zellen, mit dem sich Millionen bestrahlter Zellen erfassen lassen, zeigen höchstens, dass unsere Hypothese stimmen dürfte, nämlich dass die Mutationsinduktion keine Schwellendosis kennt. Sein System reagiert allerdings auf alle anderen Einflüsse, wie Chemikalien, Bodenbeschaffenheit, thermische Einflüsse derart sensibel, dass es als biologischer 'Strahlendosimeter' nicht in Frage kommt. Seine Bemerkung, die festgestellte Mutationsrate wäre höher als die gemessene Strahlendosis erwarten liesse, und zwar durch inkorporierte Radionuklide, wäre übrigens leicht physikalisch zu testen. Er müsste lediglich sein Pflanzenmaterial auf Radioaktivität testen.

Alle Argumentationen über die besonderen genetischen Risiken und Krebsrisiken durch KKW-Belastungen müssen auf die natürliche Strahlenbelastung und den hohen Anteil der Medizin an der künstlichen Belastung übertragen werden. Am besten illustriert wohl eine Darstellung der verschiedenen Belastungen des UNSCEAR-Berichtes 1977 die Sachlage:

Gemessen wird die jährliche Belastung in Tagen der natürlichen Strahlenbelastung (Weltbürger)

1 Jahr	natürliche Strahlenbelastung	= 365 d
1 Jahr	medizinische Strahlenbelastung	= 70 d
1 Jahr	Fallout (bereits explodierter Atomwaffen)	= 30 d
1 Jahr	Exposition durch strahlenaussendende Gebrauchsgegenstände	= 3 d
1 Jahr	geschäftliche Flüge	= 0,4 d
1 Jahr	Exposition durch KKW ($8 \cdot 10^4$ MW (e))	= 0,6 d

Zu bedenken ist noch die Tatsache, dass die natürliche Strahlenbelastung auf den Weltbürger mit ca. 100 mrad/a bezogen ist. Für den Schweizer variiert diese Belastung zwischen 90 bis über 400 mrad.

H. Brunner: Die vorhergehenden Referate der KUER haben die tatsächlichen Verhältnisse und die erfreulichen Ergebnisse des Strahlenschutzes gezeigt.

Diese Erfolge basieren auf der bald 50-jährigen Tätigkeit der ICRP und auf einem schrittweise entwickelten Schutzkonzept, das in den soeben revidierten ICRP-Empfehlungen der Publikation 26 erneut bestätigt und präzisiert wurde, und das ich Ihnen in einigen Stichworten vorstellen will, da es auch allgemein auf den Umweltschutz anwendbar ist.

1. Ziele des Strahlenschutzes nach ICRP 26

Schutz von Individuen, ihrer Nachkommen und der Menschheit als ganzer vor ionisierenden Strahlen unter Zulassung notwendiger Tätigkeiten mit Bestrahlung.

2. Ziele der ICRP-Empfehlungen

(stoch.: Wahrsch. Auftr. prop. D/nicht stoch.: Schwelle, Schwere \sim Dosis)

a. Verhütung

nicht stochastischer Wirkungen \longrightarrow Dosis-Grenzwerte \ll Schwellenwert

\longrightarrow alle Dosen $<$ Grenzwerte

b. Begrenzung der Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen auf annehmbares Mass

\longrightarrow Optimisieren (ALARA)

c. Rechtfertigungs- zwang von Tätigkeiten mit Strahlenexposition

3. System der Dosisbegrenzung nach ICRP 26

a. Rechtfertigung

keine unnötigen Strahlenanwendungen
nur annehmbar, wenn Nettonutzen resultiert,
der anders nicht erreichbar ist

\longrightarrow Kosten / Nutzen-
analyse

b. Optimisieren

(ALARA = As Low As Reasonably Achievable)
notwendige oder unvermeidbare Strahlenbelastungen sind so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar zu halten, unter Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Aspekte.

c. Schutz des Individuums

(beruflich strahlenexponiert/Einzelperson der Bevölkerung)

Individualdosen $<$ Grenzwerte

Grenzwerte basieren auf umfangreichen Risikostudien, zur Vereinfachung der Praxis werden prophylaktisch die Risiken linear nach kleinen Dosen extrapoliert.

Grenzwerte sind einwandfrei und genügend empfindlich messbar und basieren auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen über Strahlenrisiken und auf vergleichenden Untersuchungen über die Annehmbarkeit von Risiken in Beruf und im täglichen Leben, wobei das Gesamtrisiko annehmbar bleiben soll.

ICRP 26 enthält keine Änderung der beiden grundlegenden Grenzwerte von 5 rem/Jahr für Berufstätige und 500 mrem/Jahr für Einzelpersonen der Bevölkerung.

Erfolg des ICRP-Konzeptes: die ganze Welt wendet die ICRP-Empfehlungen und Grenzwerte an.

Erfolgskontrolle: Berichte von KUeR und UNSCEAR.

Dies wurde in aller Stille in geduldiger freiwilliger Zusammenarbeit von Fachleuten erreicht, weil es auf wissenschaftlich sauberer Basis und auf Tatsachen basiert, die in vorsichtiger, aber nicht übertriebener Weise in ein realistisches, vernünftiges, praktikables und damit für alle annehmbares Konzept umgesetzt wurden, das zudem laufend überprüft und angepasst wird.

Es brauchte dazu weder politische Aktionen, UN-Monsterkongresse, Pressekampagnen noch Bürgerinitiativen, nur guten Willen, Vernunft und Sinn für das Mögliche.

Ich bin überzeugt, dass man auch im Umweltschutz mit den gleichen Methoden und Konzepten letztlich mehr erreichen könnte, allerdings ohne Gelegenheit für spektakuläre Auftritte von Politikern und selbsternannten Propheten, indem auf sachlicher Basis und auf Grund von Tatsachen praktikable und vernünftige, für alle annehmbare Lösungen gesucht würden, statt in unüberlegten Kurzschlussaktionen à la Albatross die Emotionen anzuheizen und damit Umweltschutz immer mehr zu einem Schimpfwort zu machen.

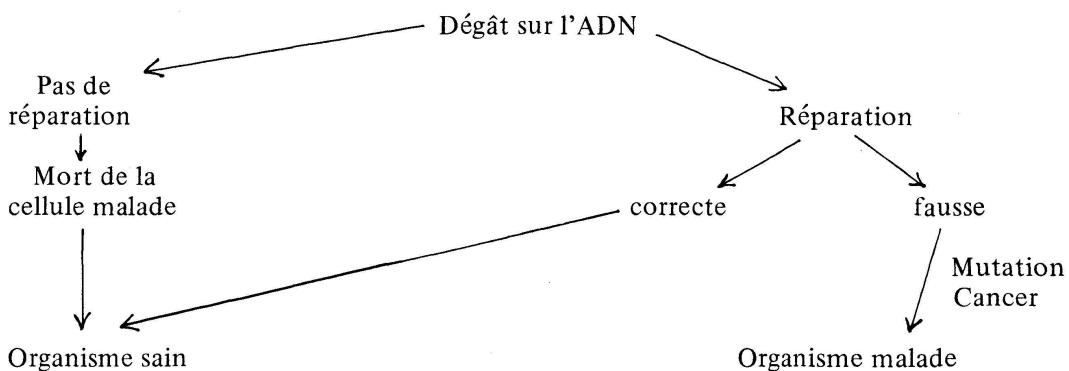
Wir brauchen nicht Umweltschutz als Selbstzweck und religiösen Fanatismus, sondern einen vernünftigen, verantwortbaren Umweltschutz auf solider wissenschaftlicher Basis zum Schutz und Wohl sowohl von Mensch wie Umwelt. Der Strahlenschutz hat bewiesen, dass dies möglich ist.

13. J. Dubochet et M. Tosi (Bâle): Effets des faibles doses de radiations: la mutagénèse

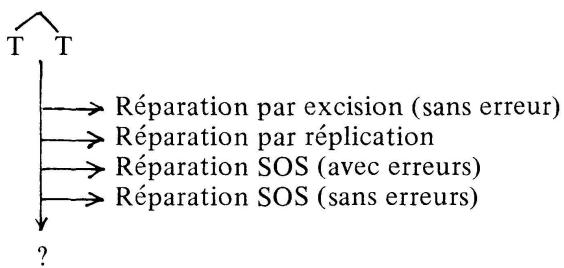
La dosimétrie ayant été discutée en détail dans ce symposium, nous souhaitons ici porter l'accent à un autre aspect du problème des radiations: Quel est l'effet d'une dose donnée sur l'organisme? Pour répondre à cette question, une approche épidémiologique est possible. Les possibilités et les limites de cette approche ont été discutées dans l'exposé de Madame Fritz-Niggli. Une autre voie consiste à étudier la biologie des phénomènes causés par les radiations. Des progrès remarquables ont été faits dans cette direction grâce aux recherches expérimentales sur les micro-organismes et, plus récemment, sur les cultures de cellules animales. Dans ces systèmes, il est possible d'étudier directement une partie au moins des effets biologiques des radiations. Ce sont de ceux-ci dont nous voulons parler.

La composante cellulaire la plus spécialement touchée par les radiations est l'acide desoxyribonucléique (ADN), bien que d'autres composantes (en particulier les membranes) peuvent en principe avoir aussi une haute sensibilité. Le dégât consiste (sous une forme ou l'autre) en un dérangement de la double hélice soit dans sa structure, soit dans la fidélité du "base pairing".

Des effets semblables sont aussi produits par un certain nombre d'agents chimiques. Ainsi des dégâts identiques peuvent être produits soit par des radiations, soit par des agents chimiques. Une classification des effets biologiques doit donc être basée sur le type de changement chimique de l'ADN plutôt que sur le type d'agent (physique ou chimique) qui le produit. La possibilité d'une action cumulative de ces divers agents n'est donc pas exclue. Toutes les cellules vivantes sont probablement équipées de plusieurs mécanismes pour réparer les dégâts de l'ADN. Le schéma suivant montre la relation entre le dégât sur l'ADN, les systèmes de réparation et l'apparition de mutation ou éventuellement de transformation en cellule cancéreuse.



Si un dégât important sur l'ADN n'est pas réparé, il conduit généralement à la mort de la cellule. Chez les organismes multicellulaires cela n'a généralement pas de conséquences fâcheuses. L'action de mécanismes de réparation incorrecte peut par contre avoir des conséquences dramatiques. Le schéma suivant montre quelques exemples de mécanismes de réparation. Nous avons choisi comme exemple de défaut le cas des dimères de thymidine souvent produits par les rayons ultraviolets. Dans les microorganismes les mêmes systèmes enzymatiques apparaissent lors de la réparation d'autres types de dégât. Ce schéma montre que si le blocage dans l'ADN ne peut pas être éliminé par un mécanisme correct (l'excision enzymatique, par exemple), d'autres mécanismes de secours seront alors stimulés.



Le système de réparation SOS est remarquable parce qu'il peut être induit par la présence de dégâts sur l'ADN et parce qu'il introduit souvent des erreurs. Un système de réparation induit qui ne semble pas produire d'erreur a aussi été récemment découvert chez les bactéries.

Deux des mécanismes étudiés chez les bactéries (excision enzymatique et réparation du type SOS) ont été aussi trouvés chez les cellules

animales. Certaines différences dans le mode d'action de ces enzymes ont été découvertes en comparant les cellules de différentes espèces. Par exemple les rongeurs n'ont pas de mécanisme d'excision, mais ils sont apparemment capables de réparer correctement à un autre niveau.

La biologie moléculaire des organismes supérieurs progresse très rapidement, en particulier en ce qui concerne la structure du matériel génétique et son expression. Les conditions existent donc pour une étude expérimentale des effets des radiations au niveau moléculaire. Ces études ont lieu dans plusieurs laboratoires étrangers.

Pour conclure, nous aimerais résumer notre point de vue par les recommandations suivantes:

- 1) L'existence de système de réparation ne doit pas être interprétée comme une garantie que les dégâts sur le matériel génétique soient corrigés sans erreurs.
- 2) L'étude des effets biologiques doit être faite parallèlement pour les agents physiques et les agents chimiques.
- 3) Il est nécessaire de tenir compte des différences entre les espèces — que ce soit à cause de systèmes de réparation ou de durée de vie différente — pour interpréter les résultats obtenus sur les animaux de laboratoire.
- 4) Nous souhaitons finalement que la Suisse participe plus activement à la recherche biochimique sur la mutagénèse et la cancérogénèse. Le résultat de cette recherche est une pièce essentielle pour comprendre la relation entre l'homme et son milieu.