

Zeitschrift: Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität
Herausgeber: Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität
Band: 28 (1984)

Rubrik: 28. Bericht der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für das Jahr 1984 zuhanden des Bundesrates

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.11.2024

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

28. BERICHT

DER EIDG. KOMMISSION ZUR ÜBERWACHUNG DER RADIOAKTIVITÄT FÜR DAS JAHR 1984

ZUHANDEN DES BUNDESRATES

VON PROF. DR. O. HUBER, PRAESIDENT DER KOMMISSION, FREIBURG ¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Auch 1984 war die künstliche Radioaktivität der Luft in der Schweiz sehr tief und kaum mehr nachweisbar. Die dadurch verursachte Personendosis liegt unter 1 mrem/Jahr.

Die Radioaktivitätsabgabegrenzwerte für Abluft und Abwasser wurden von allen Kernanlagen, dem Schweiz. Institut für Nuklearforschung und dem Eidg. Institut für Reaktorforschung eingehalten. Die durch die Abgaben der Anlagen und Institute in deren Umgebung berechneten Personendosen betragen maximal einige mrem/Jahr.

Im Abwasser der Abwasserreinigungsanlagen Zürich, Basel, Bern, Lausanne und La Chaux-de-Fonds lagen die Konzentrationen an Radionukliden in den Wochenproben immer unter dem für Vorfluter geltenden Richtwert.

Bei Stichproben von Entwässerungen aus Deponien in Teufen/AR und La Chaux-de-Fonds lagen einzelne Werte über 300'000 pCi Tritium/Liter. Für die Bevölkerung besteht jedoch keine Gefährdung, da diese Wässer nicht für Trinkzwecke verwendet werden und zudem nach einer kurzen Wegstrecke mit inaktivem Wasser verdünnt werden.

Texte français voir page 71

1) Der Bericht wurde in Zusammenarbeit mit Dr. H. VÖLKLE, Dr. H. SURBECK und Dipl. Phys. C. MURITH (Labor Freiburg der KUER) anhand der Arbeitsberichte der im Anhang aufgeführten Laboratorien verfasst

Aus natürlichen Strahlenquellen erhält die Schweizer Bevölkerung eine mittlere effektive Aequivalentdosis von ca. 135 mrem/Jahr (terrestrische Strahlung 55; kosmische Strahlung 40; interne Bestrahlung 38 mrem/Jahr).

Dazuzuzählen ist die effektive Aequivalentdosis durch das natürliche Edelgas Radon-222 und seine Folgeprodukte - vor allem infolge erhöhter Konzentration im Hausinnern. Die bis jetzt vom Eidg. Institut für Reaktorforschung und der Eidg. Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivität in Zusammenarbeit durchgeführten Untersuchungen in Wohnhäusern ergeben als Mittelwert in der Schweiz eine effektive Aequivalentdosis von ca. 160 mrem/Jahr (vorläufiger Wert); inclusive Anteil durch das kurzlebige Edelgas Radon-220 aus der natürlichen Thorium-Zerfallsreihe. In gewissen Häusern, vor allem in Alpenregionen treten deutlich höhere Dosis-Werte durch Radon auf. Radon bewirkt hauptsächlich eine Bestrahlung der Atemorgane; die genetische Auswirkung ist daher vernachlässigbar.

Radon-Messungen in ehemaligen Setzateliers und Wohnhäusern von La Chaux-de-Fonds ergaben teilweise stark erhöhte Radon-Konzentrationen; diese sind allerdings in den meisten Fällen nicht alarmierend. Für einige Häuser wird jedoch die Möglichkeit einer Sanierung geprüft.

Eine weitere Strahlenexposition ist diejenige durch röntgendiagnostische Untersuchungen in der Medizin. Dieser Beitrag ergibt für alle Untersuchungstypen eine mittlere Knochenmarkdosis von ca. 60 mrem pro Jahr entsprechend einer effektiven Aequivalentdosis von rund 80 mrem/Jahr. Durch Gewichtung der Gonadendosis mit der Kindererwartung erhält man die sogenannte "genetisch signifikante Dosis". Diese beträgt im Mittel ca. 25 mrem/Jahr.

Die Messungen der Eidg. Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivität, der Kontrollinstanzen und der Arbeitsgemeinschaft zur Ueberwachung der Radioaktivität der Lebensmittel ergaben, dass die Bestrahlung der Schweizer Bevölkerung durch weitere, künstlichen Quellen (Atombombenfallout, Radioaktivitätsabgaben aus Kernanlagen, Industriebetrieben und Spitälern, berufliche Strahlenexposition, Kleinquellen etc.) 1984 eine mittlere Jahresdosis von weniger als 15 mrem bewirkte.

Die mittlere effektive Aequivalentdosis der Schweizer Bevölkerung beträgt somit rund 400 mrem/Jahr. Sie setzt sich zusammen aus 135 mrem durch natürliche Strahlung, ca. 160 mrem durch Radon im Hausinnern, ca. 80 mrem durch röntgendiagnostische Untersuchungen, ca. 10 mrem durch nuklearmedizinische Untersuchungen und weniger als 15 mrem durch alle andern künstlichen Strahlenquellen.

Betrachtet man nur die genetisch signifikante Dosis, so ergibt sich im Mittel pro Kopf der Bevölkerung rund 145 mrem/Jahr. Davon kommen 105 mrem von der natürlichen Bestrahlung, 25 mrem aus röntgendiagnostischen Untersuchungen und weniger als 15 mrem durch weitere künstliche Strahlenquellen.

1. EINLEITUNG

1.1. Ursachen und Wirkung der Strahlendosen

Von den Strahlendosen, denen der Mensch dauernd ausgesetzt ist, ist der grösste Teil natürlichen Ursprungs.

Ein Beitrag wird durch die kosmische Strahlung verursacht. Diese wird durch die Atmosphäre abgeschwächt, ist also umso stärker, je höher über Meeresniveau man sich befindet und verdoppelt sich bis in einige km Höhe rund alle 1500 m.

Ein weiterer Beitrag der natürlichen Bestrahlung kommt von den im Boden und Gestein vorhandenen natürlichen Radionukliden von Uran, Thorium, Radium, Kalium etc. Deren Strahlung tritt teilweise aus dem Boden aus und reicht in der Luft einige hundert Meter weit.

Die beim Zerfall der natürlichen Radionuklide in der Erdkruste entstehenden z.T. ebenfalls radioaktiven Tochternuklide sind teilweise gasförmig (z.B. Radon-220 und Radon-222); diese können deshalb aus dem Boden in die Atmosphäre austreten. Radionuklide werden auch durch die kosmische Strahlung in der Atmosphäre gebildet, z.B. Kohlenstoff-14 und Beryllium-7. Ueber die Atemluft gelangen die Radionuklide der Luft in die Atemorgane, wo sie teilweise abgelagert werden und das Lungengewebe bestrahlen. Den grössten Beitrag zu dieser internen Strahlendosis liefern dabei die alphastrahlenden Tochterprodukte des natürlichen radioaktiven Edelgases Radon. Die externe Bestrahlung durch die Radioaktivität dieser Nuklide der Luft fällt nicht ins Gewicht.

Schliesslich gelangen auch über die Nahrung Radionuklide in den Körper und führen zu einer internen Bestrahlung, so z.B. das langlebige natürliche Kalium-40, das in den meisten Nahrungsmitteln vorhanden ist.

Im Hausinnern wird die externe Bestrahlung aus Luft und Boden durch Absorption etwas geschwächt; diese Abnahme kann aber durch Bestrahlung aus den in Baumaterialien enthaltenen natürlichen Radionukliden kompensiert werden. Durch eine gute Wärme-Isolation der Häuser kommt es im Hausinnern zu einer Akkumulation von Radon und dessen Folgeprodukten. Radon kann aus dem Boden über die Kellerräume sowie aus Baumaterialien ins Hausinnere gelangen. Dort ist deshalb die Strahlenexposition der Atemorgane durch Radonfolgeprodukte höher als im Freien.

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen, der künstlichen Radioaktivität sowie der Kernspaltung haben zu zahlreichen Anwendungen geführt, was eine zusätzliche - zivilisationsbedingte - Strahlenexposition des Menschen bewirkt. Militärische Anwendungen der Kernspaltung führten zum Bau von A-Waffen; die Kernwaffenexplosionen in der Atmosphäre bewirkten vor allem in den 50er- und 60er-Jahren eine Kontamination der Umwelt mit künstlichen Radionukliden. Infolge Aufnahme über die Nahrung sind diese auch im menschlichen Körper nachweisbar und ergeben eine zusätzliche Strahlenexposition des Menschen. Der durch die Atombomben verursachte Anstieg der Umweltradioaktivität bewog den Bundesrat 1956, die Eidg. Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivität (KUER) zu gründen. Seit dem Teststoppabkommen der Grossmächte

von 1962 hat die künstliche Radioaktivität der Umwelt wieder abgenommen und liegt heute für die meisten Radionuklide wieder auf dem Niveau, das sie vor den Atombombenversuchen hatte.

Die friedliche Verwendung der Kernenergie, von radioaktiven Substanzen und ionisierender Strahlung in Industrie, Forschung und Medizin führte ebenfalls zu zivilisatorischen Strahlenexpositionen. Daneben gibt es zahlreiche Anwendungen radioaktiver Stoffe in Konsumgütern z.B. in Leuchtzifferblättern von Uhren und Instrumenten, von Uran in Farben, Glaswaren oder Zahnmassen, von Thorium in optischen Gläsern, Schweissdrähten und Gasglühstrumpfen, sowie von verschiedenen Radionukliden in Blitzableitern und Feuermeldern. Schliesslich werden auch Radionuklide bei Fabrikationsprozessen (z.B. Dickenmessung, Füllstandsanzeigen oder zur Beseitigung von statischer Elektrizität) benutzt. Weitere zivilisatorische Strahlendosen sind bedingt durch die erhöhte kosmische Strahlung bei der Zivilluftfahrt; Röntgenanlagen in der Materialprüfung, in der Industrie und bei der Gepäckkontrolle auf Flughäfen sind weitere Strahlenquellen, ebenso Farbfernsehgeräte.

Ionisierende Strahlung kann in lebenden Zellen von Menschen, Tieren und Pflanzen Schäden verursachen. Die Energie der Strahlung wird zum grossen Teil in Form von Wärme an das biologische Material abgegeben. Die Strahlung trennt aber auch chemische Bindungen auf oder stört durch Radiolyse und die Bildung von chemisch aktiven Molekülen (freie Radikale) das Funktionieren von biochemischen Vorgänge in der Zelle. Durch Beschädigung von wichtigen Bestandteilen der Zellkerne (DNA-Moleküle), die für die Produktion von lebenswichtigen Substanzen (Eiweisse) zuständig sind oder durch Veränderung ihrer Struktur (Mutationen) können sich gesundheitsschädigende Wirkungen für die Organismen oder sogar für deren Nachkommenschaft bemerkbar machen (sog. genetisch bedingte Krankheiten). Solche Schäden werden aber auch und in viel grösserem Mass, durch viele chemische Bestandteile unserer Umwelt ausgelöst und werden deshalb als "spontan" bezeichnet. Ein sehr grosser Teil der Schäden wird durch ein in den Zellen vorhandenes "Reparatursystem" (Enzyme) behoben. Da genetische Missbildungen meist nicht lebens- oder überlebensfähig sind, ergibt sich eine natürliche Selektion, die verhindert, dass die Arten trotz natürlicher Bestrahlung und chemischen oder anderen "Stör"-Einwirkungen nicht degenerieren, sondern sich im Verlauf der Evolution laufend den Umweltbedingungen anpassen.

1.2. Die Ueberwachung der Strahlenexposition

In der Schweiz sind für den Schutz von Personen in Anlagen und Betrieben, die radioaktive Stoffe erzeugen, verarbeiten oder handhaben das Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG), die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) und die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) als Kontrollinstanzen zuständig. Das BAG kontrolliert medizinische Betriebe, Institute für Forschung und Lehre an Hochschulen und übrige Ausbildungsstätten. Die SUVA kontrolliert Industrie- und Gewerbebetriebe, Leuchtfarbensetzereien, Handelsbetriebe, Forschungs-, Produktions- und Verwaltungsbetriebe des Bundes, der Kantone und der Gemeinden, Betriebe des öffentlichen und privaten Verkehrs,

Apotheken und medizinisch-analytische Labors. Die HSK kontrolliert die Kernkraftwerke und weitere Kernanlagen.

Die zuständigen Kontrollinstanzen können für jeden einzelnen Betrieb, der radioaktive Stoffe erzeugt oder verarbeitet, Abgabegrenzwerte festlegen. Die Abgabevorschriften für die Kernkraftwerke beruhen auf einer zwischen der HSK, der Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) und der KUER vereinbarten Richtlinie. Gemäss dieser Richtlinie darf keine Person der Umgebungsbevölkerung durch die Abgaben eines KKW mehr als 20 mrem/Jahr erhalten.

Die KUER überwacht die Radioaktivität der Umwelt, insbesondere auch die Umgebung der oben erwähnten Betriebe und Anlagen. Sie misst auch die weltweit verbreitete Radioaktivität von Kernwaffenversuchen und der Kernindustrie. Sie beteiligt sich an Messungen der zivilisationsbedingten erhöhten natürlichen Radioaktivität. Aus den Messwerten leitet sie die Strahlendosen der Bevölkerung her und bewertet diese aus der Sicht des Strahlenschutzes.

Der Probenahme- und Messplan der KUER ermöglicht nebst dem Nachweis natürlicher Radionuklide die Ueberwachung des radioaktiven Ausfalls von Atombombenexplosionen und von radioaktiven Immissionen aus Kernkraftwerken, Radioisotope verarbeitenden Industrien und Spitälern. Die Ueberwachung der gesamten Biosphäre anhand von Stichproben und Reihenmessungen (Luft, Niederschläge, Oberflächen-, Grund- und Abwasser, Erdboden, Gras, Lebensmittel und der menschliche Körper) ergibt ein umfassendes Bild der zivilisationsbedingten und natürlichen Umweltradioaktivität und ermöglicht eine Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung.

Solange Dosiserhöhungen durch künstliche Radioaktivität bei einem Bruchteil der natürlichen Dosen bleiben oder sogar klein sind gegenüber den örtlichen und zeitlichen Variationen der natürlichen Dosis, können sie vom gesundheitlichen Standpunkt aus als unbedenklich angesehen werden.

Besondere Anstrengungen sind notwendig, um die Strahlendosen durch Radon im Hausinnern gesamtschweizerisch zu ermitteln um ev. gezielte Sanierungsmassnahmen bei stark erhöhten Dosen einzuleiten.

1.3. Die Begrenzung der Strahlenexposition

Die Beurteilung der Strahlendosen der Bevölkerung und der beruflich strahlenexponierten Personen basiert auf den Empfehlungen der International Commission on Radiological Protection (ICRP), die in den meisten Ländern auch als Basis für die entsprechende Strahlenschutzgesetzgebung dienen. Die Schweizerische Strahlenschutzverordnung (SSVO) legt folgende höchstzulässige Dosen für Ganzkörperbestrahlung fest:

Beruflich strahlenexponierte Personen	5000 mrem pro Jahr
Einzelpersonen der Bevölkerung	500 mrem pro Jahr

Nach Artikel 107 der SSVO dürfen die Abgaben radioaktiver Stoffe aus Betrieben in die Atmosphäre an keinem allgemein zugänglichen Ort zu Konzentrationen führen, welche über die Atemluft zu Strahlendosen von mehr als 50 mrem/Jahr führen würden. Ebenso ist die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser im Wochenmittel so beschränkt, dass der ausschliessliche Gebrauch des "Vorfluters" (öffentliches Gewässer, in das die Abgaben erfolgen) als Trinkwasser zu maximal 50 mrem/Jahr führen würde. Art. 28 verlangt schliesslich: "Jedermann ist verpflichtet, unnötige Bestrahlungen von Personen zu vermeiden".

In ihrem neuen Konzept von 1977 [1] (siehe Anhang I), schlägt die ICRP für beruflich strahlenexponierte Personen die Begrenzung der "effektiven Aequivalentdosis" d.h. der gewichteten Summe der Dosen der einzelnen Organe auf 5000 mrem/Jahr vor. Früher war die Dosis im kritischen Organ limitiert. Zusätzlich empfiehlt die ICRP, dass kein einzelnes Organ eine Dosis von mehr als 50 rem/Jahr erhalten soll. Für Einzelpersonen der Bevölkerung schlägt die Kommission als Limite 1/10 der Werte für beruflich strahlenexponierte Personen vor, was in der SSVO bereits in Anwendung ist. In der neuesten Empfehlung schlägt die ICRP vor, dass die Limite von 500 mrem/Jahr nur noch in besonderen Fällen angewendet werden soll und dass im langjährigen Mittel die zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung 100 mrem/Jahr nicht übersteigen soll. Dieses Konzept entspricht weitgehend den 50 mrem/Jahr über das Abwasser plus 50 mrem/Jahr über die Abluft des oben erwähnten Art. 107 der SSVO.

1.4. Messgrössen und verwendete Einheiten

Solange die Schweizerische Strahlenschutzverordnung noch auf den "alten" Einheiten Ci, rad, rem etc. basiert, werden diese auch in unseren Berichten angewendet, obwohl zahlreiche Länder zu den "neuen" SI-Einheiten Bq, Gy, Sv etc. übergegangen sind.

Die Einheit für die Aktivität ist das Curie (Ci; $1 \text{ Ci} \hat{=} 3,7 \cdot 10^{10}$ Zerfälle/s). Die entsprechende "neue" Einheit ist das Becquerel ($1 \text{ Bq} \hat{=} 1$ Zerfall/s; $1 \text{ nCi} \hat{=} 37 \text{ Bq}$).

Meist wird den Einheiten ein Präfix vorangestellt; ($m \hat{=} 10^{-3}$; $\mu \hat{=} 10^{-6}$; $n \hat{=} 10^{-9}$; $p \hat{=} 10^{-12}$; $f \hat{=} 10^{-15}$).

Für die Strahlendosen werden die Einheiten rad und rem verwendet. Die entsprechenden SI-Einheiten sind das Gray (Gy; $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$) bzw. das Sievert (Sv; $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$). Das rad (absorbierte Dosis) ist ein Mass für die durch die Strahlung an die Materie übertragene Energie ($1 \text{ rad} \hat{=} 100 \text{ erg/g} = 0,01 \text{ J/kg}$). Durch Multiplikation der absorbierten Dosis mit einem Qualitätsfaktor Q (dieser berücksichtigt die Ionisationsdichte der Strahlung; für γ , β , Röntgen: $Q = 1$; für α und Neutronen: $Q = 20$); erhält man die Aequivalentdosis in rem. Diese ist ein Mass für die biologische Wirkung der Strahlung. Unabhängig von der Art der Strahlung bewirkt die gleiche Anzahl rem die gleichen biologischen Auswirkungen. Summiert man die Aequivalentdosen der Organe, wobei diese je nach ihrer Strahlenempfindlichkeit mit einem Gewichtungsfaktor bewertet werden, erhält man die effektive Aequivalentdosis. Dieser Wert ersetzt in gewissem Sinne den in der SSVO verwendeten Begriff "Ganzkörperdosis".

Bei den Fehlerangaben in diesem Bericht handelt es sich, wo nicht anders vermerkt, um die einfache Standardabweichung.

2. ALLGEMEINE UEBERWACHUNG

2.1. Luft

2.1.1. Künstliche Radioaktivität der Luft (Tab. 1).

An Aerosole angelagerte, künstliche Radioaktivität der Bodenluft herrührend von Kernwaffenversuchen, war 1984 praktisch keine mehr nachweisbar. (Caesium-137: $< 0,05 \text{ fCi/m}^3$).

Argon-37-Bestimmungen ($T_{1/2} = 35$ Tage) in der Luft zeigten 1984 Werte zwischen 30 und 240 fCi/m^3 , mit einem Anstieg auf 1400 fCi/m^3 am Ende des Jahres (natürlicher Pegel $\approx 10 \text{ fCi/m}^3$). Diese Aktivitäten stammen grösstenteils aus künstlichen Quellen, wie unterirdischen Kernwaffenversuchen und aus der Kernindustrie. Beim Krypton-85 ($T_{1/2} = 10,3$ Jahre), das vorwiegend von Wiederaufbereitungsanlagen stammt, ergaben Messungen Werte zwischen 21 und 26 pCi/m^3 . Gegenüber 1977/78 mit ca. 17 pCi/m^3 bedeutet dies eine deutlich messbare Erhöhung. Weitere weltweit in der Atmosphäre verbreitete langlebige künstliche Radionuklide sind Tritium ($T_{1/2} = 12$ Jahre), Kohlenstoff-14 ($T_{1/2} = 5730$ Jahre) und Jod-129 ($T_{1/2} = 1,7 \cdot 10^7$ Jahre), die noch von früheren Kernwaffenversuchen, aber auch aus der Kernindustrie stammen. Für Kohlenstoff-14 und Tritium wird eine Abnahme der weltweiten atmosphärischen Konzentration beobachtet.

Diese Nuklide verursachen zusammen eine Strahlendosis durch Inhalation unter $0,1 \text{ mrem/Jahr}$ (Ingestion von Kohlenstoff-14 siehe 2.1.3.).

2.1.2. Kurzlebige, natürliche Radionuklide in der Luft

Der grösste Teil der kurzlebigen natürlichen Radioaktivität der bodennahen Luft stammt vom Alpha-Strahler Radon-222 ($T_{1/2} = 3,8$ Tage), einem Zerfallsprodukt von Radium-226 aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe und von dessen kurzlebigen Folgeprodukten (Alpha-, Beta- und Gamma-Strahler). Je nach Jahreszeit, Witterung und Bodenbeschaffenheit beträgt deren Konzentration im Freien, bis einige hundert pCi/m^3 , im Mittel 100 bis 200 pCi/m^3 .

Radon-220 ($T_{1/2} = 53$ Sek.) aus der Thoriumreihe und seine kurzlebigen Folgeprodukte weisen im Mittel Aktivitäten auf, die etwa 10 mal kleiner sind als Radon-222 resp. dessen Tochter-Nuklide.

2.1.3. Langlebige natürliche Radionuklide

Die beiden langlebigen natürlichen Radionuklide der bodennahen Luft, Blei-210 (Betastrahler, $T_{1/2} = 22,3$ Jahre) und Polonium-210 (Alpha-Strahler; $T_{1/2} = 138$ Tage), beides Folgeprodukte von

Radon-222, ergeben Konzentrationen von 10-20 fCi/m³ (Pb-210) bzw. 3-5 fCi/m³ (Po-210). Die durch Aufnahme dieser beiden Nuklide über die Nahrung verursachte Strahlendosis liegt nach (4) bei 13 mrem/Jahr; die über die Atemluft verursachte Dosis ist wesentlich geringer.

Beryllium-7 (T_{1/2} = 53 Tage), durch die kosmische Strahlung erzeugt, lagert sich an Aerosole an. Die mittlere Konzentration beträgt 70 fCi/m³ (Minimum im Winter bei rund 30, Maximum im Sommer bei rund 110 fCi/m³); daraus resultieren vernachlässigbar kleine Dosen.

1 Gramm Kohlenstoff, in der Luft als CO₂, in Blättern und jungen Trieben von Pflanzen über die Luft assimiliert, enthält rund 6 pCi des durch die kosmische Strahlung erzeugten natürlichen Radioisotopes Kohlenstoff-14 (T_{1/2} = 5730 Jahre). Die dadurch vor allem über die Nahrung bewirkte Dosis beträgt 1,3 mrem/Jahr. Gegenwärtig liegen die Kohlenstoff-14-Werte in Proben von Baumblättern (vgl. Kapitel 3.3.7.) noch ca. 22% über dem natürlichen Pegel. Dieser Anteil, der pro Jahr um 1-2% zurückgeht, rührt zum grössten Teil noch von Atombombenversuchen in der Atmosphäre her und verursacht gegenwärtig eine zusätzliche Dosis von etwa 0,3 mrem/Jahr.

2.1.4. Strahlendosen durch Radon und dessen Folgeprodukte in Wohnräumen

Der grösste Beitrag zur internen Strahlenexposition d.h. durch im Körper eingebaute Radionuklide, wird durch die Tochternuklide von Radon-222 verursacht. Als Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen kann Radon aus Boden und Baumaterialien, die Radium-226 (T_{1/2} = 1600 Jahre) enthalten, in die Atmosphäre austreten; seine radioaktiven Tochternuklide (Alpha-, Beta- und Gamma-Strahler) lagern sich an die Aerosole der Luft an. Beim Atmen werden diese in den Bronchien und dem Lungengewebe abgelagert. Dabei führt vor allem der Alpha-Zerfall der Tochternuklide Polonium-218 (T_{1/2} = 3,05 min.) und Polonium-214 (T_{1/2} = 0,16 msec.) zu einer Bestrahlung der Atemorgane. Die Radon-Folgeprodukte lagern sich im Gegensatz zum Radon selbst zum Teil auf dem Boden, in Häusern auch auf den Wänden ab; das führt in der Atemluft zu einer Anreicherung der Tochternuklide auf 20%-50% gegenüber dem Radon.

Im Innern von Gebäuden ist die Konzentration von Radon und Folgeprodukte und die dadurch verursachte Strahlendosis oft deutlich höher als im Freien, da sich Radon, das hauptsächlich aus dem Boden via Keller in die Wohnräume gelangt, vor allem in gut abgedichteten Häusern anreichert. Auch gewisse Baumaterialien enthalten Radium und das daraus entstehende Radon gelangt ebenfalls in die Innenluft der Häuser.

Die Radonkonzentration im Hausinnern ist nicht nur vom geologischen Untergrund und der Bauweise abhängig sondern auch von der Belüftung der Räume und den meteorologischen Bedingungen.

Erhebungen in der Schweiz über den Radon-Pegel im Hausinnern werden seit 1981 durch die Abt. Strahlenüberwachung des EIR, ab 1983 in Zusammenarbeit mit der KUER, durchgeführt. Die erste Un-

tersuchungsserie von 1981/82, zum überwiegenden Teil Einfamilienhäuser, ergab Werte zwischen 400 und 100'000 pCi/m³ mit einer starken Häufung zwischen 500 und 2000 pCi/m³, im Mittel 1500 pCi/m³. Messungen im Winterhalbjahr 1983/84, hauptsächlich in Mehrfamilienhäusern, einigen Schulhäusern, Bürogebäuden und Spitälern in verschiedenen Agglomerationen der Schweiz ergaben im Mittel in den Wohnräumen etwa 1000 pCi/m³ mit Werten zwischen 300 und 4800 pCi/m³; in den Kellerräumen im Mittel 4200 pCi/m³ mit Einzelwerten zwischen 400 und 30'000 pCi/m³. Zwischen den Agglomerationen ergaben sich nur geringe Unterschiede; es wurde keine merkliche Stockwerkabhängigkeit festgestellt. Gesamthaft weisen jedoch die Werte in Mehrfamilienhäusern einen geringeren Streubereich auf und sind im Mittel um ca. einen Drittel tiefer als diejenigen in Einfamilienhäusern. Eine Wiederholungsmessung bei einem Teil der Häuser im Sommer 1984 ergab gegenüber den Wintermesswerten der entsprechenden Räume im Mittel ca. 25% tiefere Radonkonzentrationen. Dies hängt damit zusammen, dass im Sommer mehr gelüftet wird als im Winter.

Eine weitere Kampagne, die im Winter 1984/85 durchgeführt wurde, ergab folgende Ergebnisse:

Gegend	Anzahl Häuser	Wohn- und Aufenthalts-Räume pCi/m ³		Kellerräume pCi/m ³	
		Mittel	Werte- bereich	Mittel	Werte- bereich
St. Gallen (Stadt)	4	700	500- 1200	1200	1000- 1300
St. Gallen (Kanton)	12	3600	500- 7900	6100	900- 20000
Winterthur	7	1400	1000- 4000	1600	1000- 2100
Inner-schweiz	5	2000	700- 3900	11000	2700- 20000
Berner Oberland	5	1800	600- 4000	2900	900- 6000
Fribourg (Land)	2	1000	700- 1200	2500	900- 4000
Region Jura (ohne La Ch.-d-F.)	9	3000	900- 8700	10000	2400- 27000
Wallis	6	2900	800-13000	2500	2000- 2900
Tessin	31	2400	800-26000	9300	1600- 91000
Chur (Stadt)	3	1200	900- 1600	3200	1000- 5400
Graubünden (Vorderrhein u. Engadin)	18	7200	1800-29000	47400	2000-134000

Die Messwerte aus dem Schweizerischen Mittelland unterscheiden sich nicht wesentlich von den im Winter 83/84 gemessenen Konzentrationen. Die Resultate aus dem Alpenraum sind teilweise deutlich höher. Die höhere Konzentration in andern Regionen und der grössere Wertebereich hängen wahrscheinlich mit dem höheren Gehalt des Untergrundes an Radium (Granit, Gneis) zusammen, teilweise auch mit der Verwendung von Granit zum Bau der Häuser oder mit der Porosität des Untergrundes.

Die gesamthaft bis jetzt von EIR und KUER untersuchten 296 Häuser ergeben ein für die Schweizer Bevölkerung gewichtetes Mittel, das etwas höher liegt, als der im Jahresbericht 1983 angegebene Mittelwert von 1250 pCi Radon pro m³ Luft. Die Untersuchungen laufen weiter. Aus den bisher vorliegenden Resultaten kann ein provisorischer Mittelwert für die Schweiz von 160 mrem/Jahr (inkl. ca. 10 mrem/Jahr durch des kurzlebige Radon-220 mit Folgeprodukten) angegeben werden. Aus den Messwerten ergibt sich deutlich ein grosser Wertebereich der Radonkonzentrationen (vgl. obige Tabelle).

Gemäss den im Jahresbericht 1982 (Seite 6-7) beschriebenen Überlegungen bezüglich Atemraten und Aufenthaltsdauer im Hausinnern und basierend auf internationalen Empfehlungen (4) wird ein Umrechnungsfaktor für die Radonkonzentration in Wohnräumen in eine effektive Äquivalentdosis von 100 mrem/Jahr pro 1000 pCi Radon-222/m³ Luft zugrundegelegt. Die Organdosis der Lunge, ist dabei 8 mal höher, da der Gewichtungsfaktor der Lunge von der ICRP zu 12% angegeben ist.

Da Radon und Folgeprodukte in erster Linie eine Bestrahlung der Atemorgane bewirken, ist die genetische Auswirkung vernachlässigbar. Aus den Statistiken über Lungenkrebskrankungen bei Minenarbeitern geht hervor, dass hohe Radon-Konzentrationen in der Atemluft Lungenkrebs auslösen. Extrapolationen des Krebsrisikos für die in den Wohnhäusern gemessenen, im Mittel wesentlich niedrigeren Radonpegel sind jedoch unsicher und ergeben nur die Grössenordnung des Risikos. Lungenkrebs kann nicht nur durch Radon ausgelöst werden, sondern auch durch andere Ursachen oder Schadstoffe (z.B. Rauchen, Luftverschmutzung etc.).

2.2. Niederschläge (Tab. 2)

Die Gesamt-Beta-Aktivität der Niederschlagsproben von 7 Sammelstationen Cernier/NE, Davos, Fribourg, Gösigen-Däniken, Leibstadt, Locarno und La Valsainte lag im Mittel bei 2 pCi/l (Maximum 5 pCi/Liter). Die gesamte pro km² abgelagerte Beta-Aktivität betrug 1984 2,5 mCi/km² (wie im Vorjahr) und besteht zum grössten Teil aus den langlebigen Folgeprodukten des natürlichen Radon-222. Die in Locarno gemessene trockene Ablagerung von 0,4 mCi/km² pro 1984 beträgt etwa 15% der mit dem Niederschlag abgelagerten Aktivität.

Die Tritiumkonzentration der Niederschläge lag 1984 an allen von Abgaben aus Betrieben unbeeinflussten Sammelstationen im Mittel unter 120 pCi/Liter (Maximum 300 pCi/Liter). Dieser Tritiumgehalt kommt zu einem grossen Teil noch von den Atombombenversuchen der 60er-Jahre. Der Anteil an natürlichem Tritium liegt bei ca. 20 pCi/Liter. Die Station Bern ist mit einem Jah-

resmittel von 360 pCi/Liter immer noch höher als die übrigen Stationen (Einfluss von Tritium-verarbeitenden Betrieben in der Region Bern). Ebenso ist die Station EIR erhöht. Die Dosen durch Tritium sind belanglos.

2.3. Oberflächengewässer (Tab. 3; Fig. 1, 2)

Die Ergebnisse der Gesamt-Alpha-, Gesamt-Beta- und Tritium-Messungen von Sammel- und Stichproben aus verschiedenen Oberflächengewässern der Schweiz sind in Tab. 3 zusammengefasst. Es ergaben sich keine erhöhten Messwerte und gegenüber den entsprechenden Proben des Vorjahres keine Unterschiede. Während die Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Messwerte weitgehend auf natürliche Radioaktivität zurückzuführen sind, stammt der Tritiumgehalt der Oberflächengewässer immer noch zu einem grossen Teil von früheren Kernwaffenversuchen. Eine Ausnahme bildet weiterhin der Doubs, dessen Tritiumgehalt wegen den Tritium-Abgaben aus der Region La Chaux-de-Fonds erhöht ist (vgl. Kap. 4).

2.4. Erdboden und Gras (Tab. 4)

Die Strontium-90- und Caesium-137-Konzentrationen im Erdboden und Gras der verschiedenen Probenahmestellen ergaben ähnliche Werte wie im Vorjahr. Diese beiden Nuklide stammen ausschliesslich von oberirdischen Kernwaffenversuchen. In Davos-Stillberg ist der Strontium-90- und der Caesium-137-Gehalt im Erdboden, weiter deutlich höher als im Mittelland, was auf die Unterschiede der meteorologischen Verhältnisse sowie der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Erdbodens zurückzuführen ist.

Die im Erdboden heute noch vorhandenen Spuren von Caesium-137 bewirken in 1 m Höhe eine Ortsdosis von ca. 1 mrem/Jahr. Der grösste Anteil der Radioaktivität von Boden und Gras stammt dagegen von den natürlichen Radionukliden Uran, Radium, Thorium, Kalium, etc.; diese ergeben im Mittelland eine Ortsdosis in 1 m Höhe über dem Boden von ca. 40-50 mrem/Jahr.

2.5. Milch, Getreide und andere Lebensmittel (Tab. 5)

Diese Nahrungsmittel werden stichprobenweise in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft zur Ueberwachung der Radioaktivität der Lebensmittel (ARL) überwacht. Der Hauptanteil der Aktivität in diesen Proben stammt vom natürlichen Kalium-40.

Die Caesium-137-Aktivität in Milchproben aus dem Mittelland lag unter 5 pCi/Liter. Lediglich Davos-Stillberg, Pontresina und Mürren zeigten wie in den letzten Jahren Werte bis 30 pCi/Liter. Die mittleren Strontium-90-Messwerte lagen im Mittelland bei 3,6 pCi/Liter, in Davos-Stillberg bei 17, in Mürren bei 23 und im Tessin bei 7 pCi Strontium/Liter.

Im Weizen der Ernte 1983 von mehreren Stellen der Alpennordseite, vom Tessin und aus der Umgebung der Kernanlagen lag die Caesium-137-Aktivität meist unter 5 pCi/kg, diejenige von Strontium-90 im Mittel bei 15 pCi/kg.

Alle untersuchten Lebensmittel waren bezüglich Radioaktivität für den Genuss unbedenklich. (Für weitere Angaben, vgl. Bericht der Arbeitsgemeinschaft zur Ueberwachung der Radioaktivität der Lebensmittel in "Mitt. Gebiete Lebensm." Hyg. Vol. 76/4, 1985).

In verschiedenen europäischen Ländern werden Lebensmittel und weitere Konsumgüter (z.B. medizinisches Material wie Spritzen, Ampullen, pharmazeutische Produkte etc.) zur Verlängerung der Haltbarkeit bzw. zur Verhinderung des Keimens (z.B. bei Kartoffeln, Zwiebeln) oder zur Sterilisation (z.B. Gewürze) bestrahlt. Dazu werden in der Regel Cobalt-60-Bestrahlungseinrichtungen verwendet. Dabei werden Dosen von 10 bis einige hundert kRad appliziert. Die verwendete Gamma-Strahlung von 1,3 MeV induziert in den bestrahlten Produkten keine Radioaktivität; vom Strahlenschutzstandpunkt aus können somit keine Bedenken gegen den Konsum solcher bestrahlter Lebensmittel vorgebracht werden, auch dann nicht wenn Röntgenstrahlen höherer Energie verwendet werden.

2.6. Menschlicher Körper

1984 wurden wiederum je 22 Schülerinnen und Schüler einer Mittelschule aus Genf im Alter von 16-20 Jahren mit dem Ganzkörperzähler des "Service Cantonal de Contrôle des Irradiations" (SCCI) untersucht. Im Mittel betrug der Caesium-137-Gehalt ca. 12 pCi pro kg Körpergewicht. Dies führt zu einer Ganzkörperdosis von < 0,2 mrem/Jahr. Demgegenüber verursacht die mittlere Kalium-40-Konzentration von 1900 pCi/kg Körpergewicht bei den Jungen und 1400 pCi/kg Körpergewicht bei den Mädchen Ganzkörperdosen von 16 bzw. 13 mrem/Jahr.

Die Bestimmung von Strontium-90 in Wirbeln von 22 verstorbenen erwachsenen Männern aus der Gegend von Lausanne ergab 1984, umgerechnet auf das Skelett, 0,56 pCi Strontium-90/g Calcium. Dieser Wert ist seit 1975 praktisch konstant und führt zu einer jährlichen Strahlendosis in den blutbildenden Organen von rund 2 mrem. Diese Untersuchungen werden ab 1985 eingestellt.

2.7. Radioaktivität und ionisierende Strahlung von Konsumgütern

Zahlreiche Materialien und Gegenstände des täglichen Gebrauchs enthalten natürliche oder künstliche radioaktive Stoffe oder senden ionisierende Strahlen aus und können somit zur Strahlenexposition der Benutzer dieser Gegenstände beitragen.

Armbanduhren haben heute Leuchtziffern auf Tritiumbasis, selten Prometium-147, während Radium-226 nicht mehr zu Leuchtfarbe verarbeitet wird. Die weiche Betastrahlung des Tritium wird zwar durch das Gehäuse der Uhr vollständig absorbiert, jedoch diffundiert ca. 5% des Tritiums pro Jahr aus der Uhr heraus, was über Atemluft und Hautkontakt zu einer zusätzlichen Strahlenexposition des Trägers führen kann.

Tritium-Gas-Leuchtquellen werden zwar in der Schweiz hergestellt, aber fast ausschließlich für den Export. Sie dienen u.a. zur Beleuchtung von Instrumenten und Anzeigen. Die Glaspullen sind zwar wesentlich dichter als Uhren, enthalten aber

auch grössere Tritiummengen; eine Gefährdung entsteht erst wenn ein solches Röhrchen zerbrochen wird und das Tritium austritt.

Weitere Gebrauchsgegenstände, die Radionuklide enthalten, sind Feuermelder, in wenigen Fällen auch Blitzableiter, Antistatik-Vorrichtungen, Vorionisatoren für Funkenzünder bei Oelbrennern, Uran in Zahnporzellan, in gewissen Gläsern und Porzellan-Glasuren, Keramikgegenständen und Fliessen, Thorium in optischen Linsen und Brillengläsern, in Glühstrümpfen, in Schweissdrähten und Mettalllegierungen, schliesslich auch Na-22 bzw. Kobalt-60 (zur Kontrolle bei der Glas- bzw. der Stahlherstellung).

Auch gewisse Baustoffe, enthalten je nach Herkunft der verarbeiteten Rohmaterialien Uran, Radium, Thorium und Kalium. Auch Kohle enthält natürliche Radionuklide, die beim Verbrennen freierwerden. Nicht unerwähnt bleiben darf eine zusätzliche Strahlenexposition durch Tabakrauchen infolge Inhalation hauptsächlich von Polonium-210, das sich auf Tabakblättern aus der Luft ablagert, in der brennenden Zigarette flüchtig wird und beim Inhalieren in die Lunge gelangt.

Weitere Bestrahlungsquellen sind die erhöhte kosmische Strahlung bei der Zivilluftfahrt, Röntgengeräte, die Gepäckkontrolle auf Flughäfen, Elektronenmikroskope, Hochspannungsgleichrichterröhren etc.

Die Dosen dieser Strahlenquellen lassen sich nur schwer abschätzen dürften aber im Mittel nicht über 10 mrem/Jahr liegen.

3. KERNANLAGEN (In Zusammenarbeit mit der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen [HSK])

3.1. Uebersicht

Kernkraftwerke (KKW) geben während ihres Betriebes über die Abluft hauptsächlich radioaktive Edelgase, weitere gasförmige und an Aerosole angelagerte Radioaktivität, Jod-Isotope, Kohlenstoff-14 und Tritium an die Umwelt ab. Die radioaktiven Stoffe (ausser Edelgase) können sich auf Boden und Pflanzen ablagern, oder von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen werden. Radioaktive Spalt- und Aktivierungsprodukte sowie Tritium werden von KKW auch über das Abwasser an die Flüsse (Vorfluter) abgegeben. Diese können aus dem Flusswasser in Wasserpflanzen, Fische und Flussedimente übergehen. Die an die Umwelt abgegebenen radioaktiven Stoffe verursachen eine externe Bestrahlung von Personen, die sich in der Umgebung der KKW aufhalten; sie können aber auch über Atemluft, Trinkwasser und Nahrung in den menschlichen Körper aufgenommen werden, wo sie zu einer internen Bestrahlung führen.

Die Abgabelimiten der KKW werden gemäss der Richtlinie R-11 so festgelegt, dass keine Person der Umgebungsbevölkerung durch Immissionen aus einem KKW eine Strahlendosis von mehr als 20 mrem/Jahr erhält. Der Betreiber eines KKW wird in der Betriebs-

bewilligung verpflichtet, sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt lückenlos zu messen und zu bilanzieren. Die HSK kontrolliert die Angaben des Betreibers durch Ueberprüfung seiner Messgeräte und Aufzeichnungen und durch stichprobenartige eigene Messungen. Darüber hinaus kontrollieren die Labors von HSK und KUER die Messresultate des Betreibers durch Parallel- und stichprobenartige Messungen.

Eine allfällige Direktstrahlung aus einem KKW (z.B. durch die hochenergetische Gamma-Strahlung von Stickstoff-16 im Dampfkreislauf eines Siedewasserreaktors) darf ausserhalb des umzäunten Areals zu einer Ortsdosis von höchstens 10 mrem/Woche führen. Eine solche Direktstrahlung ist nur in unmittelbarer Nähe ausserhalb der Umzäunung des KKW wirksam und nimmt mit der Entfernung rasch ab. Falls die über sämtliche Belastungspfade akkumulierte Jahresdosis von Einzelpersonen der Bevölkerung, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und der zu erwartenden Expositionszeiten durch die Direktstrahlung, den Wert 30 mrem überschreiten würde, müsste gemäss R-11 die Direktstrahlung durch zusätzliche Massnahmen weiter reduziert werden.

Die Festlegung der Abgabegrenzwerte, sowie die Berechnung der durch die Abgaben des KKW verursachten Strahlendosen der Bevölkerung, basieren auf Modellrechnungen. Diese berücksichtigen die Ausbreitung, den Uebergang in Pflanzen und Nahrung und die Aufnahme in den menschlichen Körper von radioaktiven Stoffen, unter Einbezug der meteorologischen und topographischen Situation sowie der Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung. Die Berechnung der Strahlendosen für einzelne Radionuklide oder Radionuklidgemische aufgrund der in der Umwelt gemessenen oder berechneten Aktivitätskonzentrationen geschieht gemäss den Empfehlungen der ICRP, wobei soweit als möglich die tatsächlichen Verhältnisse berücksichtigt werden. Dies ist jedoch nicht immer möglich, sodass für gewisse Dosis-Abschätzungen jeweils die ungünstigsten Voraussetzungen angenommen werden müssen. Bei solchen Abschätzungen kann die Strahlenexposition der Bevölkerung gegenüber den tatsächlichen Werten deutlich überschätzt werden.

Zusätzlich zur Ueberwachung der Emissionen eines KKW wird die Umgebung auf Radioaktivität überwacht. Dadurch können die aus den Abgaben berechneten Dosen für die Umgebungsbevölkerung durch Messwerte überprüft werden. Gemäss einem für jedes Werk spezifischen Mess- und Probenahmeplan wird die Ortsdosis an mehreren Stellen sowie die Radioaktivität der wichtigsten Belastungspfade - teilweise kontinuierlich, teilweise stichprobenartig - gemessen. Dieses Programm umfasst die Untersuchung von Luft, Aerosolen, Niederschlägen, Boden, Gras, Milch, Getreide, Gewässer, ausserdem von Wasserpflanzen, Schwebestoffen, Sedimenten und Fischen. Diejenigen Messungen, die der Kernkraftwerksbetreiber selbst auszuführen hat, werden stichprobenartig durch die KUER überprüft.

Aus den gemessenen Radioaktivitätsabgaben wird in Verbindung mit Ausbreitungs- und Dosisberechnungen und unter Abstützung auf die Resultate der Umgebungsüberwachung, die Strahlenexposition der Bevölkerung ermittelt und die Einhaltung des Dosisgrenzwertes von 20 mrem/Jahr überprüft.

Eine lückenlose Umgebungsüberwachung ist allerdings nicht möglich. Die Erfahrungen der KUER haben jedoch bestätigt, dass eine Beschränkung auf die wichtigsten Belastungspfade, auf wenige örtlich gut plazierte Stellen für kontinuierliche Probenahmen und Messungen, ergänzt durch Stichproben von Medien, bei denen eine Akkumulation stattfindet (Boden, Pflanzen, Nahrung, Sedimente, Wasserpflanzen, Fische) zusammen mit der Emissionsüberwachung gewährleisten, dass unzulässige Immissionen nicht un bemerkt bleiben.

Um die Auswirkungen eines KKW auf die Umwelt beurteilen zu können, werden Radioaktivität und Ortsdosen in dessen Umgebung bereits im Rahmen der radiologischen Beweissicherung vor Betriebsaufnahme bestimmt. Die Beweissicherungsmessungen für das KKW Leibstadt, das am 9.3.84 die erste Kritikalität erreichte und Ende 1984 seinen vollen Betrieb aufgenommen hat, dauerten fast fünf Jahre und wurden Ende 1983 abgeschlossen. Die Inbetriebnahmebewilligung durch die HSK wurde am 15.2.84 erteilt, die erste Stromabgabe an das Netz erfolgte am 24.5.84 und 100% Leistung wurde am 13.9.84 erreicht. Da sich das KKW Leibstadt direkt an der Grenze zu Deutschland befindet, bestehen im Rahmen der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen bezüglich der Umgebungsüberwachung des KKW Leibstadt enge Kontakte mit den zuständigen deutschen Stellen.

3.2. Emissionen aus Kernanlagen

Eine Zusammenstellung der flüssigen und gasförmigen Radioaktivitätsabgaben aus Kernanlagen an die Umwelt sowie die daraus berechneten maximalen Personendosen und die gemäss Abgabereglement zulässigen Jahresabgaben findet sich in Tab. 6. Auch 1984 verursachten die Abgaben für die in der Umgebung lebende Bevölkerung Dosen, die weit unter den Grenzwerten lagen.

Die Radioaktivitätsabgaben der Kernanlagen werden nuklidspezifisch, getrennt nach Abwasser und Abluft bilanziert. Die Zusammensetzung der Abgaben geht aus den Tab. 7 und 8 hervor. Erstmals wurden 1984 auch Abwasserproben aus dem KKL erhoben.

Die Resultate von Parallelmessungen (Tab. 9-12) durch HSK und KUER zeigten auch 1984 eine befriedigende Uebereinstimmung mit den Messungen der Werke.

Gemäss den Auflagen in den Betriebsbewilligungen darf bei der Abgabe die Aktivitätskonzentration im Abgabetank bzw. in der Kontrollkammer folgende Werte nicht übersteigen:

	KKM	CNL	EIR	KKB	KKG	KKL
Limite gemäss Betriebsbewilligung (C_w)	10	10	10	10	5	5
1984 in Stichproben gemessen (C_w)	<0,4	<10 ⁻²	<0,04	<1,4	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴

(1 C_w ist diejenige Aktivitätskonzentration im Wasser, die bei

Dauerkonsum von 1,1 Liter/Tag an 250 Tagen pro Jahr zu den für beruflich strahlenexponierte Personen höchstzulässigen Dosen gemäss SSV0 führen würde).

Für alle 12 Monatsmischproben, zusammengestellt aus den Abwassertanks des KKM, ergaben die Messungen Konzentrationen unter $1 C_w$. Proben von Abwasser aus der ehemaligen Centrale nucléaire expérimentale von Lucens ergaben maximale Abwasserkonzentrationen von 77 pCi Caesium-137/Liter, 18,5 pCi Strontium-90/Liter und 0,012 μ Ci Tritium/Liter.

Aus den Versuchsreaktoren der ETH Lausanne und der Universitäten Basel und Genf wurden nach Angaben der HSK keine nennenswerten Aktivitäten mit dem Abwasser abgegeben. Stichproben erhärteten diese Feststellung. Stichproben von Abwasser der kontrollierten Zone des Institut de Génie Atomique der ETH Lausanne ergaben:

Datum	Probe	Tritium nCi/Liter	Gamma-Strahler pCi/Liter
1. 3.84 10. 7.84 15.10.84	Abwasser aus der kontrollierten Zone	135±10 17± 2 48± 2	Na- 22: 28±2 keine Gammastrah- ler nachweisbar

Die Labors von HSK und KUER erheben in den Kernanlagen auch Stichproben von Abgas, Aerosolfiltern und Aktivkohle-Kapseln (Bestimmung des Jodausstosses) (Tab. 13, 14).

Auch die Abgaben mit der Abluft lagen 1984 deutlich unter den Grenzwerten.

Gemäss einer Abschätzung der HSK und Stichprobenmessungen betragen die Kohlenstoff-14-Abgaben der Kernanlagen (bei Vollleistung) über die Abluft: KKB I und II ca. 1 Ci/Jahr; KKM ca. 5; KKG ca. 3; KKL ca. 12 (im Jahre 1984 noch nicht voll in Betrieb) und Reaktor Saphir des EIR weniger als 0,2. Bei Druckwasserreaktoren (KKB und KKG) werden nur ca. 50% des Kohlenstoff-14 als CO₂ d.h. in assimilierbarer Form abgegeben. Die Tritium-Abgaben über die Abluft liegen ebenfalls gemäss HSK-Abschätzungen beim KKB I und II bei ca. 40, beim KKM bei ca. 10, beim KKG bei ca. 100 und beim KKL bei ca. 30 Ci/Jahr.

3.3. Umgebungsüberwachung der Kernanlagen

3.3.1. Ortsdosen

Die Ortsdosen in der Umgebung der Kernanlagen werden mit Thermolumineszendsosimetern (TLD) überwacht; diese werden vierteljährlich ausgewertet. Die Genauigkeit der ermittelten Quartalsdosen liegt bei $\pm 20\%$. An je 4 Stellen in der Umgebung jedes KKW sind zusätzlich zu den werkeigenen TLD auch solche der KUER installiert. 1984 ergab die Ueberwachung mit TLD die in Tab. 15a angegebenen Ortsdosen.

Wie aus Tab. 15a ersichtlich, stimmen die TLD der KUER mit den an den gleichen Stellen in der Umgebung der Kernanlagen aufgestellten werkeigenen Dosimetern innerhalb des Fehlerbereiches überein.

Die Messungen ergaben Variationen der Jahres-Ortsdosis zwischen den einzelnen KKW-Standorten (vgl. Tab. 15) und in der Umgebung der einzelnen Werke bis zu 30%. Dafür sind hauptsächlich Unterschiede in der Zusammensetzung des Bodens, bei einzelnen Messstellen auch die Nähe von Gebäuden verantwortlich. Die Ortsdosen und deren zeitliche Variationen hängen ausserdem von meteorologischen Faktoren wie Temperatur, Niederschlag, Wassergehalt oder Schneebedeckung des Bodens ab. Unter der Annahme, dass die Einflüsse der Witterung, der Kalibrierung und der Auswertemethode auf die TLD-Ergebnisse der gleichen KKW-Umgebung und des gleichen Quartals die selben sind, lassen sich durch eine geeignete Datenverarbeitung der Ergebnisse eventuelle durch die KKW-Abgaben verursachte Beiträge zur Strahlendosis genauer ermitteln. Es wäre so möglich, zusätzliche Dosen von wenigen mrem/Jahr, verursacht durch KKW-Abgaben, noch festzustellen; dies obwohl die Streuungen der Bruttomesswerte deutlich grösser sind (± 10 bis 15 mrem/Jahr). Im Berichtsjahr wurden ausser im Einflussbereich der Direktstrahlung innerhalb der durch die obgenannte Genauigkeit vorgegebenen Limite keine Dosisbeiträge aus den KKW festgestellt.

Seit Anfangs 1984 sind auch an sieben Stellen in der Umgebung des Institut de Génie Atomique der ETH-Lausanne TLD der KUER (Auswertung durch das Institut de Radiophysique appliquée der Universität Lausanne) aufgestellt. Sie ergaben Jahresdosen (inkl. natürlichem Untergrund) zwischen 73 und 88 mrem und zeigen keinen messbaren Einfluss der Abgaben des Instituts.

Zusätzlich zu den TLD werden auch Messungen der Ortsdosis mit Hochdruckionisationskammern durchgeführt; einerseits kurze Messungen (einige Minuten) an 30-40 Stellen, andererseits auch kontinuierliche Registrierungen an ausgewählten Stellen über längere Zeit (Fig. 3). Diese Messungen ergaben 1984, auf das Jahr umgerechnet, folgende Resultate:

Kurze Messungen (einige Minuten)

Umgerechnet auf das Jahr

(Ohne Stellen im Bereich der Direktstrahlung)

Fehlerangabe beim Mittelwert : einfache Standardabweichung)

Umgebung	Datum	Anzahl Stellen	Streubereich der Messwerte mrem/Jahr	Mittelwert mrem/Jahr
KKM	18.7.-19.7.84	40	76-102	86 \pm 8
KKG	22. 7.84	38	66- 89	75 \pm 6
KKL	27. 6.84	32	61- 85	74 \pm 6
KKB/EIR	29. 6.84	33	63- 91	75 \pm 6

Kontinuierliche Registrierungen

Werk	Stelle	Dauer der Messung	Ortsdosis (Ionisationskammer) mrem/Jahr	KUER-TLD in der Nähe dieser Stelle mrem/Jahr
KKM	BKW-Schaltzentrale (800m ENE)	10 Monate	90±8	78±8
KKM	Ufem Horn (500m W)	11 Monate	102±8	83±8
KKG	220 kV-Schaltanlage Niedergösgen (800m ENE)	11 Monate	79±7	69±7
KKL	Full-Pumpwerk	11 Monate	85±3	73±7
KKL	Leibstadt-Chlämme	11 Monate	84±4	65±7

Ionisationskammern erlauben eine genauere Messung der Ortsdosis als die TLD; der Kammer-Einsatz im Dauerbetrieb ist jedoch wesentlich aufwendiger, weshalb diese Geräte nur an ein bis zwei Stellen in der Umgebung jedes KKW eingesetzt werden. Da sie die Dosisleistung kontinuierlich registrieren werden auch natürliche oder durch KKW-Abgaben verursachte Variationen der Dosisleistung erfasst.

3.3.2 Erhöhte Ortsdosen infolge Direktstrahlung

Bei den meisten Kernanlagen ergibt sich unmittelbar ausserhalb der Umzäunung eine zusätzliche Ortsdosisleistung durch Direktstrahlung. Die Netto-Dosis nach Abzug der natürlichen Untergrunddosis liegt jedoch überall unter dem für allgemein zugängliche Gebiete ausserhalb von Anlagen maximal zulässigen Wert von 10 mrem/Woche (500 mrem/Jahr). Drittpersonen halten sich im Bereich dieser Direktstrahlung nur kurze Zeit auf und akkumulieren daher nur geringe zusätzliche Dosen.

Die TLD entlang der Umzäunung des KKB zur Messung der Direktstrahlung ergaben 1984 im Sektor NE-SE Jahresdosen (incl. natürlichem Untergrund von 60-70 mrem/Jahr) zwischen 126 und 152 mrem/Jahr. Ein Dosimeter an der nördlichen Umzäunung ergab 164 mrem/Jahr. Die übrigen Dosimeter entlang der Umzäunung wiesen keine gegenüber dem natürlichen Untergrund erhöhten Dosen auf. Diese Messwerte entlang der Umzäunung wurden von der HSK durch Messungen mit tragbaren Geräten bestätigt.

Ortsdosen bis ca. 180 mrem/Jahr (inkl. nat. Untergrund) wurden am NE-Rand des EIR-Areals an der Umzäunung (verursacht durch das Abfallager und das Übungsgelände der Schule für Strahlenschutz) festgestellt (vgl. auch Jahresbericht 1979, Seite 13).

Beim KKM ergibt die Direktstrahlung aus dem Maschinenhaus infol-

ge der harten Gamma-Strahlung von Stickstoff-16 aus dem Primärkreislauf entlang der Umzäunung, vor allem südlich und östlich des Maschinenhauses eine erhöhte Ortsdosis. Das Maximum am Zaun südlich des Maschinenhauses betrug 1984 inkl. natürlichem Untergrund rund 400 mrem/Jahr. Auf der Waldstrasse im Runtigenrain (ca. 200 m südlich des KKM) liegt das aus Kurzzeitmessungen mit Ionisationskammern auf das Jahr umgerechnete Maximum der Ortsdosis (inkl. Untergrund) bei 136 mrem/Jahr, auf dem Umgehungsweg bei 240 und beim Weekendhaus auf der rechten Aareseite bei 106 mrem/Jahr (nat. Untergrund: Mittelwert der von der Direktstrahlung unbeeinflussten Stellen 86 ± 8 mrem/Jahr). Da der Einfluss der Direktstrahlung jedoch mit der Entfernung rasch abnimmt und sich unbeteiligte Personen nur kurze Zeit im Bereich dieser Strahlung aufhalten, können unzulässige Personendosen durch die Direktstrahlung ausgeschlossen werden.

Beim KKG registrierten die 10 TL-Dosimeter entlang der Umzäunung Ortsdosen zwischen 68 und 99 mrem/Jahr inklusive Untergrund, der im Mittel der übrigen Stationen der Umgebung bei 86 ± 12 mrem/Jahr liegt. Auch Messungen mit Ionisationskammern zeigten in unmittelbarer Nähe des Werkes (ausserhalb der Umzäunung) keinen Einfluss der Direktstrahlung.

Auch in der Umgebung des KKL wurden von der HSK im November 1984, als der Reaktor seine volle Nennleistung von 920 MW erreicht hatte, Messungen der Direktstrahlung entlang der Umzäunung vorgenommen. Die Messungen ergaben umgerechnet auf 1 Jahr bei einer Anlagenverfügbarkeit von 80% und 100% Nennleistung eine geschätzte Jahresdosis von ca. 180 mrem/Jahr, inklusive natürlichem Untergrund von ca. 75 mrem/Jahr.

Auch beim CNL sind erhöhte Ortsdosen durch Direktstrahlung vorhanden (vgl. Jahresbericht 1979, Seite 13), die ausserhalb des Zauns, nach Abzug der natürlichen Strahlung, höchsten 400 mrem/Jahr betragen.

3.3.3. Feldmessungen in der Umgebung der Kernkraftwerke mit tragbarem Germanium-Detektor (Fig. 4, Tab. 16)

Bis vor kurzem konnten viele Messungen der Umgebungsüberwachung der KKW nur durch Analysen von Proben im Labor durchgeführt werden. Seit es tragbare und felddaugliche Germanium-Detektoren und Vielkanalanalysatoren gibt, können gewisse Ueberwachungsmessungen direkt vor Ort ("in situ") durchgeführt werden. An mehreren Stellen in der Umgebung jedes KKW wird mit dem Germanium-Detektor in 1 m Höhe über dem Boden, die Gamma-Strahlung aus Luft und Boden gemessen. Aus den während wenigen Stunden pro Stelle akkumulierten Spektren kann anschliessend für jedes gamma-strahlende Nuklid (sowohl natürliche als auch aus den KKW-Abgaben stammende) die Aktivitätskonzentration des Bodens berechnet werden (vgl. Tab. 16). Die Messapparatur wird für diese Untersuchungen eigens kalibriert und anhand von Laboruntersuchungen von Erdproben überprüft. Da diese Messungen einen Mittelwert über eine Fläche von ca. 100 m² liefern sind diese Resultate repräsentativer als diejenigen von Laboruntersuchungen an Stichproben. Aus den Aktivitätskonzentrationen im Erdboden kann die durch die terrestrische Strahlung verursachte Ortsdosisleistung in 1 m Höhe über dem Boden berechnet und mit Ionisationskammer-Messwerten

verglichen werden (vgl. Fig. 4). Diese Messmethode hat vor allem auch bei Störfällen grosse Vorteile und ist zudem so empfindlich, dass Abgaben von radioaktiven Aerosolen aus dem KKW im Bereich der Jahreslimite gut nachgewiesen werden können.

3.3.4. Aerosole und Niederschläge (Tab. 2; Fig. 5)

Die Bestimmung der Radioaktivität der Luftaerosole erfolgt monatlich mit Hilfe von vaselinbeschichteten Platten auf denen sich die Aerosole ablagern. Anschliessend wird ihre Gesamt-Beta-Aktivität untersucht. Diese ergab 1984, wie auch beim Niederschlag, keinen Unterschied gegenüber dem Vorjahr oder - mit Ausnahme der Messstelle beim EIR - zu andern Stationen in der Schweiz.

Aerosole werden auch kontinuierlich beim KKG (Niedergösgen, 220 kV-Schaltanlage ATEL), beim KKL (Full, Wasserresevoir beim Schützenhaus) seit Ende 1984 auch beim KKM ("Ufem Horn") und nördlich des EIR auf Zellulosefiltern gesammelt und monatlich (EIR: wöchentlich) auf Gamma-strahlende Nuklide analysiert.

Die Station beim EIR zeigte vom 13.3.-13.4. und 16.11.-30.11.84 Spuren von Caesium-137 (bis 11 fCi/m^3) und Zink-65 sowie Silber-110m (je einige fCi/m^3) während des Betriebs der Verbrennungsanlage (13.2.-17.4.84 und 22.10.-14.12.84). Im Vergleich dazu ergab die Station Freiburg in den gleichen Zeiträumen nur Caesium-137 mit einer Konzentration von $\leq 0,05 \text{ fCi/m}^3$.

Niederschlagsproben werden beim KKG (Niedergösgen, 220 kV-Schaltanlage), beim KKL (Full, Wasserreservoir beim Schützenhaus) beim EIR und seit Mai an vier Stellen um das KKM (nur zur Tritiumbestimmung) gesammelt und wöchentlich auf Gesamt-Beta-Aktivität und Tritium untersucht. Die gemessene Gesamt-Beta-Aktivität an diesen Stationen stimmen innerhalb der Messgenauigkeit und der üblichen Variationen mit denjenigen von Freiburg und andern Stationen überein. Beim Tritium sind lediglich die Niederschläge aus der Umgebung des EIR mit im Jahresmittel 450 pCi/Liter erhöht gegenüber den übrigen Stationen in der Schweiz, mit rund 80 pCi/Liter .

3.3.5. Erde, Gras, Getreide, Milch (Tab. 4, 5)

Proben von Erde, Gras, Getreide und Milch, die periodisch in der Umgebung von Kernanlagen erhoben werden, zeigten keine signifikanten Abweichungen der Aktivität zu entsprechenden Proben aus andern Landesgegenden (vgl. auch Kap. 2.4. und 2.5.). In allen Proben sind nur noch geringe Spuren von Strontium-90 und Caesium-137 vom Atombombenfallout feststellbar. Infolge der unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Erdbodens ergeben sich lokale Unterschiede z.B. beim Caesium-137 bis zu einem Faktor 3 bei der Erde bzw. einer Grössenordnung beim Gras.

3.3.6. Wasser, Sedimente, Wasserpflanzen, Fische (Tab. 3, 18)

Flusswasserproben oberhalb und unterhalb der Kernanlagen werden kontinuierlich gesammelt und wöchentlich auf Gesamt-Beta-Aktivi-

tät ($E\beta > 150$ keV) untersucht; sie ergaben meist Werte unter 10 pCi/Liter, im Mittel 2-4 pCi/Liter, in Uebereinstimmung mit anderen Oberflächengewässern der Schweiz. Ein Unterschied zwischen oberhalb und unterhalb der einzelnen Kernanlagen gesammelten Wasserproben ist nicht festzustellen (vgl. Fig. 1; Tab. 3). Die Tritium-Aktivität von Sammel- und Stichproben der gleichen Probenahme-Stellen betrug 70 bis 850 pCi/Liter, im Mittel ca. 200 pCi/Liter (Fig. 2; Tab. 3).

Grundwasserstichproben aus Pumpwerken in der Umgebung der Kernanlagen zeigten Gesamt-Beta-Aktivitäten meist unter 5 pCi/Liter, und Tritium-Aktivitäten von 100-500 pCi/Liter. Auch diese Messungen lassen keinen Einfluss der Kernanlagen erkennen.

Proben von Sediment und Wasserpflanzen aus den Flüssen unterhalb der Kernanlagen enthielten teilweise nebst natürlichen Radionukliden auch Jod-131, Caesium-134 und -137, Antimon-125, Mangan-54, Kobalt-58 und -60, Zink-65 etc. mit Konzentrationen bis zu einigen Hundert pCi/kg Trockensubstanz (Tab. 18). Diese rühren zum Teil von den Kernanlagen her, doch kommt ein Teil des Caesium-137 noch vom Fallout, während Jod-131 auch von den Abgaben aus Spitälern stammt. Da sich gewisse Radionuklide in solchen Proben anreichern sind diese empfindliche Indikatoren für die Anwesenheit künstlicher Radioaktivität.

Proben von Fischfleisch (Filets) aus den Flüssen bei den Kernanlagen ergaben nebst natürlichem Kalium-40 (im Mittel 3000 pCi/kg Fischfleisch) lediglich Caesium-137 (12 bis 380 pCi/kg Fischfleisch), das zum grossen Teil noch vom Ausfall der Atombombenversuche stammt.

3.3.7. Kohlenstoff-14-Messungen in Buchenblättern (Tab. 17; Fig. 6)

1984 wurden Buchenblätter aus der Umgebung KKM, KKG, KKB/EIR/SIN und vom Imihubel bei Niedermuhlern/BE auf Kohlenstoff-14 untersucht; dies um festzustellen, ob die Kohlenstoff-14-Abgaben der Kernanlagen in den Pflanzen der Umgebung zu einer Erhöhung der Konzentration dieses Nuklides führen ($T_{1/2} = 5730$ Jahre).

An der Referenzstation (Imihubel/BE) lag 1984 die Kohlenstoff-14-Konzentration noch 220%-Einheiten über dem natürlichen Wert (1983: 240%-Einheiten). Diese allgemeine Erhöhung stammt von den Kernwaffenversuchen der 60er-Jahre und nimmt pro Jahr im Mittel um ca. 20%-Einheiten ab, infolge Austausch von CO_2 der Atmosphäre mit den Ozeanen.

5 Stichproben aus der Umgebung KKM und KKG ergaben zum Teil Kohlenstoff-14-Werte wie an der Referenzstation und zum Teil erhöhte Werte, bis maximal 120 %-Einheiten (siehe Tab. 17). Die gemessenen Konzentrationen sind im Einklang mit Abschätzungen, welche sich auf die Kohlenstoff-14-Emissionen dieser Werke abstützen. Die zusätzliche Strahlenexposition durch ausschliesslichen Verzehr von Nahrungsmitteln mit dem maximal erhöhten Kohlenstoff-14-Gehalt aus der Umgebung dieser Kernanlagen beträgt ca. 0,2 mrem/Jahr und ist deshalb vernachlässigbar.

5 Stichproben aus der unmittelbaren Umgebung des EIR (eine Probe im EIR-Areal) lassen eindeutig den Forschungsreaktor SAPHIR als Quelle erkennen. Da dieser nur über ein kleines Abluftkamin verfügt ist die Verdünnung der Abluft schlechter als wenn diese (wie bei den KKW) über ein Hochkamin abgegeben würde, was zu den hohen Werten in der unmittelbaren Umgebung führt (ca. 1400 %o-Einheiten in 30 m resp. ca. 400 %o-Einheiten in 90 m Entfernung). Kohlenstoff-14-Messungen in grösseren Entfernungen (ca. 300 bis 400 m) ergaben 1981 bis 83 Erhöhungen zwischen 20 und 70 %o-Einheiten. In Fig. 6 ist u.a. ersichtlich, wie die Kohlenstoff-14-Konzentration mit der Entfernung abnimmt, in Uebereinstimmung mit den Modellvorstellungen. Der in den Bäumen eingebaute Kohlenstoff-14 führt selbst an den Stellen mit den grössten Konzentrationen zu zusätzlichen Dosen, die kleiner sind als die Variationen der natürlichen Strahlendosis; diese fallen deshalb nicht ins Gewicht. An den landwirtschaftlich genutzten Orten NE vom EIR ist die Kohlenstoff-14-Konzentration so stark verdünnt, dass zusätzliche Dosen durch den Verzehr der dort erzeugten landwirtschaftlichen Produkte vernachlässigbar sind.

3.3.8. Mögliche Zusammenhänge zwischen KKW und Waldschäden

Bei der Beantwortung der Frage, ob radioaktive Emissionen bzw. Direktstrahlung aus Schweizer KKW Waldschäden verursachen können, sind zwei Aspekte zu berücksichtigen: einerseits die zusätzliche externe und interne Bestrahlung der Bäume durch die radioaktiven Abgaben bzw. Direktstrahlung und andererseits die Auswirkungen der durch die KKW-Abgaben verursachten zusätzlichen Ionisation der Luft. Als Vergleichsgrösse dazu dienen die natürliche Strahlendosis bzw. Ionisation und deren örtliche und zeitliche Variationen. Zu beachten ist ferner, dass Laub- und Nadelhölzer weniger strahlenempfindlich sind als der Mensch.

Zur Strahlendosis

Die Emissionen aus den Schweizer KKW und die Resultate der Umgebungsüberwachung werden seit Jahren in den KUER-Berichten publiziert. So zeigte sich auch 1984, dass die KKW-Abgaben (Edelgase und Aerosole) zu zusätzlichen Ortsdosen führen, die auch in der Nahumgebung der Werke kleiner sind als wenige mrem/Jahr, also kleiner als die Variationen der natürlichen Dosen und erst recht kleiner als diese selbst.

An einigen Stellen in der unmittelbaren Umgebung der Kernanlagen ergibt die Direktstrahlung erhöhte Dosen; die grössten Werte wurden am Zaun gemessen: z.B. beim KKB ca. 100 mrem/Jahr, beim KKM ca. 300 mrem/Jahr. Die Direktstrahlung nimmt mit dem Abstand vom KKW rasch ab. Messungen zeigen z.B. beim KKM in ca. 400 m Entfernung, dass die Erhöhung der Ortsdosen dort kleiner ist als die örtlichen Variationen infolge geologischer Unterschiede. Falls Baumschäden durch die Direktstrahlung erzeugt würden, müssten diese im Einflussbereich derselben viel deutlicher sein und bis in einige 100 m stark abnehmen.

Abgegebene Radionuklide wie Tritium und Kohlenstoff-14 können von Pflanzen eingebaut werden und zu einer zusätzlichen internen Dosis führen. Der Tritium-Gehalt in Niederschlägen aus der Umge-

bung von Schweizer KKW ergab 1984 keinen signifikanten Unterschied zu Vergleichsstationen. Die gegenüber dem natürlichen Tritium-Gehalt erhöhten Tritium-Konzentrationen sind vorwiegend noch den Kernwaffentests der 60er Jahre zuzuschreiben. In den Pflanzen aus der Umgebung von Schweizer KKW sind also gegenüber andern Stellen keine erhöhten Tritium-Gehalte zu erwarten. Da der Beitrag zur Strahlendosis auch vom Bomben-Tritium gering ist, ist derjenige vom Tritium aus den KKW völlig vernachlässigbar. In der Umgebung Tritium-verarbeitender Industriebetriebe wurden dagegen deutlich höhere Tritium-Konzentrationen in den Niederschlägen festgestellt.

Kohlenstoff-14-Aktivitäten werden in Baumblättern aus der Umgebung von Schweizer KKW seit 1977 gemessen. Während die Kohlenstoff-14-Erhöhung gegenüber dem natürlichen Pegel, verursacht durch die Kernwaffentests der 60er-Jahre, heute immer noch ca. 220 ‰-Einheiten beträgt, sind in der Umgebung von Schweizer KKW durch deren Kohlenstoff-14-Abgaben zusätzliche Erhöhungen am kritischen Ort bis maximal ca. 150 ‰ gemessen worden. In einigen Kilometern Entfernung unterscheiden sich die Kohlenstoff-14-Konzentrationen nicht mehr signifikant von denjenigen der unbeeinflussten Vergleichstation. Die durch den zusätzlichen Kohlenstoff-14 bewirkte maximale Dosis verursacht weniger als 2 Promille der totalen natürlichen Dosis von Menschen und Pflanzen, was bedeutungslos ist.

Zur Ionisation der Luft und deren Auswirkungen

Für Synergismen, d.h. Verstärkungseffekte zwischen ionisierender Strahlung und chemischen Schadstoffen in der Luft, kann angenommen werden, dass diese langfristig (für die natürliche und die künstliche Strahlung) proportional zur Dosis sind. Weil die Dosen in der Umgebung der KKW durch die künstliche Radioaktivität klein sind gegenüber denjenigen durch die natürliche, sind somit auch Synergismen chemischer Schadstoffe mit der künstlichen Radioaktivität langfristig klein gegenüber solchen mit der natürlichen Radioaktivität.

Für die Abschätzung kurzfristiger Effekte ist von der Ionisation der Luft direkt in der Abluftwolke am Kaminaustritt auszugehen, welche die natürliche Ionisation in Extremfällen kurzzeitig bis zu ca. einem Faktor 1000 überschreiten kann. Bis zum Auftreffen der Abluft-Fahne am Boden werden jedoch sowohl die produzierten Ionen wie auch die durch die Strahlung allenfalls verstärkt erzeugten Schadstoffe stark verdünnt. Im langfristigen Mittel ist deren Konzentration auch am kritischen Ort vernachlässigbar. Die zusätzliche Ionisation der Luft am kritischen Ort (z.B. Ufem Horn beim KKM) ist in Extremfällen kurzfristig höchstens gleich gross wie die natürliche Ionisation, im Mittel aber viel kleiner. Messungen der Dosisleistung an dieser Stelle ergeben, dass die grössten Variationen der Luftionisation erhöhten (natürlichen) Radonkonzentrationen zuzuschreiben sind.

Zusätzlich ist zu beachten, dass ionisierende Strahlung nur zu einem verschwindend kleinen Anteil als Verursacher am Schadstoffgehalt der Luft beteiligt ist: z.B. ist die Ozonproduktion durch Radioaktivität um Grössenordnungen kleiner als durch andere Prozesse.

Schlussfolgerungen:

Sowohl für die Strahlendosen wie auch für die Ionisation und deren Auswirkungen gilt, dass künstliche Beiträge, verursacht durch die Emissionen der Schweizer KKW kleiner sind als die örtlichen und zeitlichen Variationen der natürlichen Beiträge und deshalb nach dem heutigen Wissenstand ein Einfluss auf Waldschäden ausgeschlossen werden kann.

4. INDUSTRIEN, SPITÄLER UND FORSCHUNGSBETRIEBE

Auch in Spitälern (Nuklearmedizin), Forschungslaboratorien, klinisch-chemischen Laboratorien, Industriebetrieben und Leuchtfarbensetzereien werden radioaktive Stoffe verwendet bzw. verarbeitet. Gemäss den Angaben der SUVA werden in der Schweiz ca. 150'000 Ci Tritium pro Jahr verarbeitet, wovon das meiste (ca. 93%) in Industriebetrieben, ca. 7% in Leuchtfarbensetzereien und weniger als 1% in Forschungslaboratorien. Weiter werden auch ca. 1200 Ci Prometium-147, ca. 12 Ci Americium-241 und wenige Ci Kohlenstoff-14 verarbeitet. Forschungslaboratorien verwenden überdies 25-30 Ci Technetium-99m, ca. 20 Ci Kohlenstoff-14 und geringe Mengen (je wenige Ci) Jod-125, Chrom-51, Schwefel-35, Phosphor-32 und Calcium-45. Ueber die in Spitälern verbrauchten Mengen liegen der KUER noch keine Angaben vor.

4.1. Einzelne Industriebetriebe (In Zusammenarbeit mit der SUVA)

Radium-Chemie AG, Teufen

Die Radium-Chemie AG in Teufen verarbeitet heute hauptsächlich Tritium für die Herstellung von Leuchtfarben. In geringen Mengen wird Prometium-147 verarbeitet, das jedoch nicht ins Abwasser gelangen kann.

Die Tritium-Abgabe über das Abwasser betrug 1984 0,5 Ci (1983: 0,32 Ci). Stichproben aus dem Vorfluter, dem Regenklärbecken bei der ARA Teufen, ergaben 2700-6300 pCi Tritium/Liter. Der Richtwert nach SSVO für die Aktivitätszunahme in Vorflutern beträgt im Wochendurchschnitt 300'000 pCi/Liter. In der ARA Teufen ergaben Stichprobenmessungen Tritiumkonzentrationen von 570-1180 pCi/Liter. Daraus kann ein Netto-Tritium-Abfluss über die ARA von ca. 0,4 Ci/Jahr abgeschätzt werden.

Mit der Abluft gab die Firma 1984 320 Ci Tritium an die Atmosphäre ab, wovon 280 Ci in Form von HTO. Die durch diese Abgabe verursachten Immissionen werden im Niederschlag, 65 m östlich des Kamins, überwacht. In Monatsmischproben betrug der Tritiumgehalt dieses Niederschlags zwischen 10'000 und 90'000 pCi/Liter. In früheren Jahren durchgeführte Tritiumbestimmungen in Urinproben von Anwohnern der Firma ergaben eine Strahlenexposition durch die Tritiumabgaben der Firma über die Abluft von höchstens einigen mrem/Jahr.

Der in früheren Berichten erwähnte "Brunnen Reifler" wurde 1984 entfernt. Die Quelle in der Umgebung der Firma, aus der er gespeisen wurde fließt über ein unterirdisches Feuerwehrbecken in den kleinen Bach unterhalb der Firma; Stichproben aus diesem Feuerwehrbecken ergaben 24'000 - 210'000 pCi Tritium/Liter.

Im kleinen Bach, unterhalb der Firma wurden in Stichproben 7'800-21'000 pCi Tritium/Liter gemessen, im Mittel 13'000 pCi/Liter, woraus sich ein Jahresabfluss von ca. 0,3 Ci Tritium abschätzen lässt.

Das Tritium in Quellwasser der näheren Umgebung des Betriebes kommt einerseits von früheren Ablagerungen tritiumhaltiger Abfälle und Bauschutt, sowie von den Abgaben über die Abluft, die z.T. über Niederschläge abgelagert werden. Nach einer Speicherung im Boden, gelangt das Tritium in das Quellwasser.

Stichproben der Entwässerungen der Deponien "Bächli" (Zivilschutzgelände Teufen) und "List" (Gemeinde Stein) wo früher Radium- bzw. Tritiumhaltige Abfälle und Bauschutt beseitigt wurden, wiesen Konzentrationen von 68'000-230'000 bzw 220'000 und 240'000 pCi Tritium/Liter auf. Erhöhte Aktivitätskonzentrationen (Alpha: 10 pCi/Liter, Tritium: 180'000 bis 630'000 pCi/Liter) zeigten auch Stichproben des Ueberlaufes des Regenklärbeckens bei der ehemaligen Abfalldeponie Teufen, wo heute das Zivilschutzzentrum der Gemeinde steht. Alle diese Wässer werden nicht als Trinkwasser benutzt und fließen nach wenigen Metern in Bäche, wodurch die Aktivität auf unbedeutende Werte verdünnt wird. Auch die Gesamtbetaaktivität (128-542 pCi/Liter; hauptsächlich Strontium-90) in der Entwässerung der Deponie "Bächli" bedeutet keine Gefährdung von Personen.

MB-Microtec AG, Niederwangen/BE (Fig. 11)

1984 betrug die Tritiumabgabe dieser Firma mit dem Abwasser 0,5 Ci (1982: 0,34 Ci); mit der Abluft wurden 5600 Ci Tritium (1983: 3300 Ci) an die Atmosphäre abgegeben, davon 506 Ci als HTO, der Rest als HT-Gas.

Der Tritiumgehalt der Luftfeuchtigkeit wird an einer Stelle 200 m NE des Werkes gemessen. Es ergaben sich Werte zwischen 70 und 4'400 pCi/m³ Luft (Mittel 780 pCi/m³). Nach SSVO gilt für öffentlich zugängliche Gebiete ausserhalb von Betrieben ein Richtwert für Tritium als Wasserdampf in der Luft von 33'000 pCi/m³, was bei Dauerexposition zu 50 mrem/Jahr führen würde. Die Strahlendosen der sich in der Umgebung des Betriebes aufhaltenden Personen betragen somit höchstens einige mrem/Jahr.

Die Tritiummessungen von vier in der Umgebung der Firma aufgestellten Regensammlern ergaben 1984 folgende Resultate:

Stelle	1	2	3	4
Richtung	SW	SE	NE	NNE
Distanz (m)	200	300	320	180
Minimum (pCi/l)	610	270	2400	750
Maximum (pCi/l)	30000	120000	180000	100000
Gewichtetes Mittel (pCi/l)	9200	10200	19100	10500

Schneeproben vom 19.1.84 ergaben Tritium-Konzentrationen zwischen 200 und 147'000 pCi/Liter; das Maximum lag ebenfalls in der Nähe der Stelle 3. Zwei Grundwasserproben aus der Nähe des Betriebes ergaben 4500 und 5200 pCi/Liter.

Stichproben von Gras und Baumblättern vom August 1984 aus der Nähe der Stellen 3 und 4 ergaben 42'000-66'000 pCi/Liter im Pflanzenwasser.

Eine Probe der Entwässerung der Deponie Teuftal (östlich von Bern), wo Erde und Bauschutt nach der Sanierung des ehemaligen Fabrikgeländes von Merz & Benteli in Bümpliz abgelagert wurden, ergaben folgende Messwerte (in pCi/Liter):

Datum	Ra-226 + Folgeprod.	Cs-137	Co-60	K-40
20.12.84	0,2±0,1	1,8±0,1	1,0±0,1	9,0±0,6

Cerberus AG, Männedorf und Volketswil

Die Cerberus AG verarbeitet in ihrem Werk Volketswil Tritium und Americium-241. Ueber die Abluft wurden 17,5 Ci Tritium abgegeben; über das Abwasser 1,8 Ci Tritium und weniger als 15 µCi Americium-241. Je vier Stichproben werden jährlich aus den Abwasserkanälen der beiden Werke (Männedorf und Volketswil) auf Gesamtalpha-, Gesamtbeta- und Tritium-Aktivität untersucht. Die Gesamtbetaaktivität betrug maximal 15 pCi/Liter und die Gesamt-alphaaktivität weniger als 10 pCi/Liter (Richtwert für Americium-241 im Vorfluter gemäss SSVO 300 pCi/Liter). Die Tritiumkonzentration im Abwasser der Cerberus Männedorf lag in Stichproben zwischen 1400 und 4100 pCi/Liter; in Volketswil zwischen 22'000 und 210'000 pCi/Liter (Richtwert für Tritium im Vorfluter gemäss SSVO: 300'000 pCi/Liter).

Im Anschluss an den Tritium-Zwischenfall vom Dezember 1983 im Werk Volketswil/ZH der Firma CERBERUS, bei dem ca. 500 Ci Tritium unbeabsichtigt in die Kanalisation gelangten, wurden 1984 verschiedene Grundwasserbrunnen Glatt-abwärts laufend auf Tritium untersucht. Der Tritium-Gehalt der Grundwässer stieg dabei vom Untergrund von 200 pCi/Liter bis auf einige Tausend pCi/Liter. Während dieser Anstieg in einzelnen Brunnen bereits wenige Wochen nach dem Zwischenfall auftrat und rasch wieder abklang war er in andern Brunnen um mehrere Monate bis zu einem Jahr verzögert. Sowohl in der Glatt (Maximum 150'000 pCi/Liter) wie auch im Trinkwasser (Maximum 3000 pCi/Liter) lagen die Werte jedoch immer unter der Limite für Vorfluter gemäss SSVO von 300'000 pCi/Liter.

Deponien Trimbach/SO und Härkingen/SO

Stichproben der Entwässerung von zwei Deponien (Trimbach/SO und Härkingen/SO), auf denen auch Schutt und Bauabfälle von Leuchtfarbenbetrieben abgelagert wurden, ergaben Tritium-Aktivitäten von 9800 bzw. 7600 pCi/Liter.

4.2. Region La Chaux-de-Fonds

4.2.1. Tritium (Fig. 9, 10)

Die Monatswerte der Tritiumaktivität in den Niederschlägen von "Anciens Moulins" bei La Chaux-de-Fonds lagen zwischen 360 und 1020 pCi/Liter, im Jahresmittel bei 550 pCi/Liter (1983: 540 pCi/Liter). An der Vergleichsstation Cernier betrug der Jahresmittelwert ca. 130 pCi Tritium/Liter Regenwasser.

Die total 1984 über die städtische ARA La Chaux-de-Fonds abgeflossene Tritiumaktivität betrug 350 Ci (Vorjahr 640 Ci). Vergleichsmessungen in Zusammenarbeit mit der Gemeinde und der SUVA ergaben, dass dieses Tritium zum grössten Teil von der Anlage CRIDOR/STEN (CRIDOR = regionale Kehrichtverbrennungsanlage; STEN = Neutralisationsanlage für Industriebabwässer) kommt. Aus wöchentlichen Abwassersammelproben dieser Anlage kann ein Jahresabfluss in das städtische Abwasser von 350-400 Ci Tritium abgeschätzt werden. Wie aus Messungen der SUVA hervorgeht kommt das Tritium hauptsächlich von der Rauchgaswaschanlage von CRIDOR (ca. 1 Ci/Tag). Durch Sammelaktionen der SUVA für tritiumhaltige Abfälle in der Region La Chaux-de-Fonds soll vermieden werden, dass inskünftig solche Abfälle weiterhin in CRIDOR verbrannt werden.

Stichproben von verschiedenen Stellen der Entwässerung der Abfalldeponie La Sombaille ergaben Tritiumaktivitäten zwischen 6'400 und 590'000 pCi/Liter, von derjenigen aus der Deponie La Charrière zwischen 1300 pCi/Liter und 26'000 pCi/Liter. Da diese Wasser nicht als Trinkwasser benützt werden und nach kurzem Lauf versickern oder mit inaktivem Wasser verdünnt werden, führen sie nicht zu unzulässigen Bestrahlungen von Personen.

Im Doubs oberhalb der Einmündung von Quellen, die versickertes Abwasser von La Chaux-de-Fonds enthalten, zeigten zwei Stichproben Tritiumkonzentrationen zwischen 190 bzw. 360 pCi/Liter, also kaum mehr als andere Schweizer Flüsse. Die Ronde bei der Einmündung in den Doubs zeigte in Stichproben Aktivitäten 560 bzw. 500 pCi Tritium/Liter; Quellen, die Abwasser aus La Chaux-de-Fonds enthalten, deren Wasser nach kurzem Lauf in den Doubs mündet, enthielten in Stichproben 2900 bis 7600 pCi Tritium/Liter. Das automatische Sammelgerät am Doubs in St. Ursanne war 1984 nicht in Betrieb.

Das Trinkwasser von La Chaux-de-Fonds wird von der Areuse-schlucht zugeführt und weist keinen erhöhten Tritiumgehalt auf.

4.2.2. Radon in Wohnhäusern

Im Raume La Chaux-de-Fonds wurde in der Uhrenindustrie bis 1963 mit Radium hergestellte Leuchtfarbe zur Fertigung von Leuchtzifferblättern verarbeitet. 1982/83 wurden von der SUVA einige ehemalige Setzateliers saniert; gleichzeitig wurden in diesen Gebäuden und in benachbarten Häusern Radon-Messungen durchgeführt, die teilweise stark erhöhte, in den meisten Fällen aber nicht alarmierende, Radonkonzentrationen, zeigten (vgl. Jahresbericht 1983, Seite 23).

In Zusammenarbeit mit der SUVA, dem BAG, den Gemeindebehörden von La Chaux-de-Fonds und den beteiligten Hausbewohnern sind Abklärungen über die Ursachen der erhöhten Radon-Pegel und mögliche Sanierungsmassnahmen für die Häuser mit den höchsten Werten im Gang.

Die bis jetzt durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass das Radon-Problem sehr komplex ist. Ablagerungen von Radium in der Kanalisation sowie vergrabene und mit Radium kontaminierte Abfälle könnten für die erhöhten Radon-Konzentrationen in Wohnräumen von La Chaux-de-Fonds verantwortlich sein. Natürliche Radiumvorkommen als Ursache der erhöhten Radonpegel scheinen weniger wahrscheinlich. Ziel der Abklärungen ist es, Massnahmen vorzuschlagen, die mit vertretbarem Aufwand eine deutliche Reduzierung des Radonpegels in diesen Häusern bringen.

4.3. Abwasserreinigungsanlagen (ARA) (Tab. 19; Fig 7, 8)

Am Ausfluss der Abwasserreinigungsanlagen von Zürich, Basel, Bern und Lausanne werden wöchentlich Sammelproben von Abwasser erhoben und teils wöchentlich, teils monatlich auf Radioaktivität untersucht. Mit diesen Messungen werden alle Emittenten im Einzugsgebiet der ARA (Spitäler, Industrien etc.) erfasst.

ARA Zürich-Werdhölzli: Die mittlere Gesamtalphaaktivität und die mittlere Tritiumaktivität im Wasser am Ausfluss der ARA liegen im selben Bereich wie die Aktivitäten von Fliessgewässern. Der Jod-131-Gehalt ist nochmals leicht zurückgegangen und liegt weit unterhalb der Limite für Vorfluter gemäss SSVO.

ARA Bern-Stuckishaus: Der Tritium-Gehalt am Ausfluss der ARA ist wegen den Abgaben eines T-verarbeitenden Betriebes in der Region Bern ungefähr doppelt so hoch wie in Zürich und Lausanne. Aus dem Tritiumabfluss von 30 Ci aus der ARA Bern im Jahr 1984 errechnet sich eine mittlere Erhöhung des Tritiumgehaltes im Aarewasser von ca. 8 pCi/Liter, was nicht mehr nachweisbar ist. Der Jod-Gehalt ist ebenfalls weit unter der Limite für Vorfluter.

ARA Lausanne: Die Gesamt-Alpha-, Gesamt-Beta- und Tritium-Messwerte im Abwasser von Lausanne entsprechen denjenigen von Oberflächengewässern.

ARA Basel: Auch das Abwasser der ARA Basel zeigte keine, gegenüber Schweizer Oberflächengewässern signifikant erhöhten Aktivitäten.

4.4. Schweizerisches Institut für Nuklearforschung (SIN)

Aus dem SIN wurden gemäss Abgabebilanzierung 1984 mit dem Abwasser nur geringe Mengen radioaktiver Stoffe an die Aare abgegeben. Bei einem jährlichen Wasserverbrauch von $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ wurden gesamthaft 0,44 mCi Kobalt-56-Aequivalent abgegeben. Davon waren 33 mCi Tritium, ca. 73 μCi Natrium-22, ca. 1 μCi Vanadium-48, ca. 6 μCi Kobalt-60 und ca. 22 μCi Silber-110m. Von der Bewilligungsinstanz (BAG) ist der Grenzwert für flüssige Abgaben auf 0,1 mCi Kobalt-56-Aequivalent pro Woche festgelegt.

Die aerosol- und gasförmigen Abgaben des SIN setzten sich zusammen aus 1930 Ci kurzlebigen Beta-Strahlern (wovon 31% Kohlenstoff-11, 31% Stickstoff-13 und 38% Sauerstoff-15), ca. 217 Ci Argon-41, 6,4 Ci Xenon-122, 3,4 Ci Xenon-123, 10 Ci Xenon-125, 0,5 Ci Xenon-127 und 13 Ci Tritium. Zudem wurden 5,9 Ci Jod-122 ($T_{1/2} = 3,5 \text{ min}$), und 1,3 Ci Jod-123 ($T_{1/2} = 13,3 \text{ h}$) abgegeben. Diese Abgaben ergeben zusammen rund 1970 Ci Argon-41-Äquivalent. Die Kohlenstoff-14-Abgaben wurden zu rund 1 mCi/Jahr abgeschätzt. Die maximal zulässige Abgabe via Abluft ist von der Kontrollinstanz (SUVA) auf 2500 Ci Argon-41-Äquivalent pro Jahr festgesetzt.

Zwischen dem 24.10. und 22.11.84, als im SIN ein Versuch mit einer Tritium-Gas-Target stattfand, wurden Niederschlagssammelproben von vier Stellen aus der näheren Umgebung sowie die Luftfeuchtigkeit auf Tritium untersucht. Es ergaben sich Werte im Regen zwischen 150 und 1900 pCi/Liter.

Gemäss den Messungen des SIN beträgt die Gamma-Ortsdosis, nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes, am Zaun der Süd-Seite des SIN 10-50 mrem/Jahr, am Zaun SW des Areals 10-25, auf dem Parkplatz auf der Nord-Seite ungefähr 10 und an der SE-Ecke des Areals bis zu 220 (beim Lager für aktive Komponenten).

An 6 Stellen in der Umgebung des SIN wird die Neutronendosis mit Neutronen-Dosimetern des EIR registriert, um einen allfälligen Einfluss der Teilchenbeschleuniger des SIN festzustellen. Es ergaben sich 1984 folgende Werte in mrem/Jahr (inkl. natürlicher Untergrund):

EIR-Süd (Wohnhaus)	(350m SE)	3,9±1,9
Stall Schödler	(150m WNW)	12,5±5,1
Tüeliboden	(400m NW)	3,1±1,6
SIN-Gästehaus	(300m NNE)	5,3±2,5
Villigen (Schulhaus)	(1200m SSW)	2,9±1,5
Station Förderband	(500m S)	3,3±1,7
Ennetbaden (Referenzstation)		2,4±1,3

Nur die Messstelle "Stall Schödler" zeigt einen erhöhten Wert gegenüber der Referenzstation; die Stelle beim SIN-Gästehaus ist kaum signifikant erhöht. Nach den Messungen des SIN beträgt die Neutronendosis entlang der Umzäunung maximal ca. 10-15 mrem/Jahr.

4.5. CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire); Genf

Aus dem CERN wurden 1984 gemäss der "Radiation Protection Group" über die Abluft aus den verschiedenen Laboratorien und Experimentier-Gebäuden folgende Mengen radioaktiver Stoffe an die Umwelt abgegeben: 520 Ci/Jahr kurzlebige Gesamt-Beta-Aktivität (hauptsächlich C-11, N-13, O-14, O-15); < 15 mCi Beryllium-7 und 0,3 mCi langlebige Beta-Strahler. Die Abgaben über das Abwasser (an die beiden Flüsse "Le Lion" (F) und "Nant d'Avril" (CH)) waren so gering, dass in den Abwässern keine Radioaktivität nachgewiesen werden konnte.

Von den entlang der Umzäunung aufgestellten Dosimetern ergaben einige leicht erhöhte Ortsdosen von maximal 150 mrem/Jahr exkl. natürlichem Untergrund, der in der Umgebung des CERN bei ca. 87 mrem/Jahr (80 mrem/Jahr Gamma-Dosis und 7 mrem/Jahr Neutronendosis) liegt.

Weitere Proben aus der Umgebung, die von der "Radiation Protection Group" untersucht wurden (Aerosole, Oberflächen- und Grundwasser, Schlamm, Gras etc.), ergaben keine Aktivitäten, die auf Abgaben des CERN zurückzuführen sind.

5. ZUSAMMENSTELLUNG DER STRAHLENDOSEN DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG

Aus den Radioaktivitätsmessungen der beteiligten Laboratorien, den von den Kontrollinstanzen ermittelten Radioaktivitätsabgaben aus Kernkraftwerken und Betrieben, den Dosen beruflich strahlenexponierter Personen und den Radon-Messungen in Häusern leitet die KUER die mittlere jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung her. Die KUER ist dabei bestrebt in ihrer Zusammenstellung immer den aktuellen Stand wiederzugeben, weshalb Zahlenwerte von einem Jahr auf das andere leicht ändern können. Geänderte Zahlen bedeuten vielfach nicht, dass sich die Dosiswerte geändert haben, sondern dass neuere Werte vorliegen. Für das Jahr 1984 ergeben sich folgende Dosisbeiträge:

5.1. Natürliche Strahlendosen

In der Schweiz variiert die natürliche Ortsdosis (terrestrische und kosmische Strahlung) zwischen ca. 50 mrem/Jahr im Jura und ca. 300 mrem/Jahr in einzelnen Alpenregionen. Diese und die im Körper vorhandenen natürlichen Radionuklide, vor allem Kalium-40 verursachen im Mittel eine effektive Äquivalentdosis der schweizerischen Bevölkerung von ca. 135 mrem/Jahr (terrestrische Strahlung 55, kosmische Strahlung 40, interne Bestrahlung 38 mrem/Jahr).

5.2. Zivilisatorische Strahlendosen

5.2.1. Bestrahlung durch Radon und Folgeprodukte in Wohnräumen

Das vor allem aus dem Erdboden und aus Baumaterialien austretende Radon und seine Folgeprodukte können sich in Wohnräumen anreichern. Die bis heute aus der Schweiz vorliegenden Messwerte des EIR und der KUER ergeben im Hausinnern, entsprechend der Aufenthaltsdauer in Wohnräumen, für die Strahlenexposition durch Radon eine zusätzliche mittlere Lungendosis der Schweizer Bevölkerung von ca. 1300 mrem/Jahr, was einer effektive Äquivalentdosis von ca. 160 mrem/Jahr entspricht. Darin ist der Dosisbeitrag durch das kurzlebige Radon-220 aus der natürlichen Thorium-Zerfallsreihe enthalten. Da durch das Radon und seine Folgeprodukte praktisch nur das Lungengewebe bestrahlt wird, können genetische Auswirkungen ausgeschlossen werden.

In gewissen Häusern, vor allem in den Alpenregionen, treten jedoch deutlich höhere Dosiswerte als der oben erwähnte Mittelwert auf, bedingt durch den höheren Radiumgehalt des Untergrundes (Granit, Gneis); u.U. spielt auch die Porosität des Bodens eine Rolle. Zur besseren Ermittlung der Variationsbreite der Dosen in der ganzen Schweiz und der genaueren Abschätzung des Mittelwertes sind weitere Messungen notwendig.

Radon ist damit der höchste Einzelbeitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung und gibt auch die höchsten Extremwerte. Sein Ursprung ist in den meisten Fällen natürlich, doch kann auch die Bauweise der Häuser zu erhöhten Konzentrationen führen. Die höchsten bis jetzt in Häusern in den Schweizer Alpen gefundenen Radon-Konzentrationen sind von der gleichen Grössenordnung wie die höchsten in La Chaux-de-Fonds gefundenen Werte. Dem Strahlenschutzaspekt des Radons im Hausinnern konnte bis jetzt zu wenig Gewicht beigemessen werden, da einerseits der Einfluss der Bauweise zu wenig in Betracht gezogen wurde und andererseits auch die Radon-Messtechnik noch nicht entwickelt war. Der Strahlenexposition durch Radon im Hausinnern soll daher inskünftig mehr Aufmerksamkeit beigemessen werden.

Im Raume von La Chaux-de-Fonds, wo in der Uhrenindustrie früher Radium-Leuchtfarbe verarbeitet wurde, hat die SUVA anlässlich von Sanierungsarbeiten z.T. erhöhte Radon-Konzentrationen in Wohnräumen festgestellt. Diese führen bei den Bewohnern der untersuchten Häuser zu effektiven Äquivalentdosen bis maximal 8000 mrem/Jahr, im Mittel zu ca. 660 mrem/Jahr. Abklärungen über Ursachen und mögliche Sanierungsmassnahmen sind im Gang.

5.2.2. Weltweiter Ausfall von Atombombenexplosionen

Von früheren Atombombenversuchen stammendes, auf dem Boden abgelagertes Caesium-137 und über die Nahrung in den Knochen eingebauten Strontium-90 ergeben immer noch Dosen von zusammen etwa 3 mrem/Jahr. Weitere weltweit in der Atmosphäre verbreitete langlebige Radionuklide, die zum Teil auch aus der Kernenergieproduktion stammen, wie Tritium, Kohlenstoff-14, Krypton-85 und Jod-129 bewirken auf verschiedenen Pfaden ebenfalls eine zusätzliche Bestrahlung, die aber zusammen unter 1 mrem/Jahr liegt.

5.2.3. Bestrahlung durch andere Quellen

Weitere Strahlendosen ergeben sich durch die Radioaktivität von Konsumgütern, z.B. Uhren mit Leuchtzifferblättern, Farbfernsehgeräten etc., sowie durch erhöhte kosmische Strahlung bei der Zivilluftfahrt und durch das beim Rauchen inhalierte Polonium-210. Insgesamt führen diese Beiträge zu Dosen bis etwa 10 mrem/Jahr.

5.2.4. Kernanlagen und Forschungsinstitute

Immissionen, verursacht durch Abgaben radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen an die Umwelt sind auch in der unmittelbaren Umgebung gering und meist nicht nachweisbar. Deshalb werden für die dadurch verursachte Strahlenexposition der Umgebungsbevölkerung aus den Emissionen Maximalwerte abgeschätzt. Die mit dem Abwasser abgegebene Radioaktivität führt zu hypothetischen Dosen (Annahme: Flusswasser wird als Trinkwasser benutzt; Strahlendosen

durch Fischkonsum miteinbezogen) von unter 0,1 mrem/Jahr, diejenige mit der Abluft zu Dosen von weniger als 1 mrem/Jahr. Die hypothetischen Schilddrüsendosen von Kleinkindern betragen bei Annahme von ausschliesslicher Ernährung durch Milch von am kritischen Ort grasenden Kühen: beim KKB 1,2; beim KKM 0,4; beim KKG und KKL weniger als 0,1 und beim EIR 15 mrem/Jahr.

Die Dosen durch weltweit in der Atmosphäre verteilte langlebige radioaktive Nuklide aus der Kernindustrie (Tritium, Kohlenstoff-14, Krypton-85, Jod-129) sind unerheblich.

Erhöhte Ortsdosen durch Direktstrahlung wurden in der unmittelbaren Umgebung an unbewohnten Stellen ausserhalb der Umzäunung der Kernanlagen (Beznau, Eidg. Institut für Reaktorforschung, Mühleberg, Leibstadt) und der ehemaligen "Centrale nucléaire expérimentale de Lucens", sowie beim Schweizerischen Institut für Nuklearforschung festgestellt. Die Dosiserhöhungen betragen am Ort des Maximums beim Kernkraftwerk Beznau ca. 100, beim Eidg. Institut für Reaktorforschung ca. 120, beim Schweizerischen Institut für Nuklearforschung ca. 100, beim Kernkraftwerk Mühleberg ca. 310, beim Kernkraftwerk Leibstadt ca. 150 und bei der ehemaligen "Centrale nucléaire expérimentale de Lucens" ca. 400 mrem/Jahr. Die sich daraus ergebenden jährlichen Personendosen (Ortsdosis mal Aufenthaltsdauer pro Jahr) von Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung, die sich kurze Zeit an diesen Stellen aufhalten, liegt unter 10 mrem/Jahr.

5.2.5. Industrien und Spitäler

Auch Industriebetriebe und Spitäler geben verschiedene Radioisotope mit dem Abwasser ab. Die dadurch bewirkte Erhöhung der Radioaktivität in Gewässern ist gering und wird zudem bei der Aufarbeitung zu Trinkwasser weitgehend entfernt. Nur Tritium - das als Wasserstoffisotop im Wassermolekül eingebaut ist - wird bei der Trinkwasseraufbereitung nicht zurückgehalten.

Am meisten Tritium wird in der Schweiz aus den Betrieben MB-Microtec AG Niederwangen/BE und Radium-Chemie Teufen/AR über die Abluft in die Umgebung abgegeben. Aus früheren Tritiummessungen in Urinproben von Anwohnern der Radium-Chemie Teufen, wurden effektive Aequivalentdosen von weniger als 10 mrem/Jahr ermittelt.

5.2.6. Beruflich strahlenexponierte Personen

Im Jahr 1984 wurden von den drei Kontrollinstanzen 49'950 beruflich strahlenexponierte Personen überwacht. Zusammen akkumulierten sie 1683 rem (im Mittel 34 mrem/Person). Gemittelt über die Gesamtbevölkerung ergibt dies weniger als 0,3 mrem/Jahr. Dieser Wert ist massgebend für die genetischen Auswirkungen auf die Bevölkerung.

5.2.7. Medizinische Anwendungen

Erhebungen über die mittlere Knochenmarkdosis und die mittlere genetisch signifikante Dosis (GSD, d.h. die mit der Kindererwartung gewichtete Gonadendosis) durch röntgendiagnostische Untersuchungen in der Medizin wurden in der Schweiz zum letzten mal 1978 durchgeführt (17). Für diese Erhebung ergaben sich Mittel-

werte für die GSD von rund 25 mrem/Jahr und für die Knochenmarkdosis von rund 63 mrem/Jahr. Als effektive Äquivalentdosis kann ein Wert von ca. 80 mrem/Jahr angenommen werden. Nuklearmedizinische Untersuchungen (18) ergaben 1976 im Mittel für die Bevölkerung von Basel-Stadt eine GSD von 0,5 mrem/Jahr (mittlere Gonadendosis 10 mrem/Jahr).

Herrn Bundesrat Dr. A. Egli, Herrn E. Marthaler Generalsekretär des Eidg. Departementes des Innern und Prof. Dr. B. Roos, Direktor des Bundesamtes für Gesundheitswesen danken wir für die grosse Unterstützung der KUER. Ebenso möchten wir uns bei allen Experten und Mitarbeitern der beteiligten Laboratorien und Probenahmestellen, sowie insbesondere bei der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, der Schweiz. Unfallversicherungsanstalt und der Sektion Strahlenschutz des Bundesamtes für Gesundheitswesen für die vorzügliche Zusammenarbeit bedanken.

Zusammensetzung der Kommission:

Prof. Dr. O. Huber, Universität Freiburg, Präsident
PD Dr. H. Loosli, Universität Bern, Vizepräsident
PD Dr. C. Bovet, CERN, Genf
Prof. Dr. A. Donath, Kantonsspital, Genf
Prof. Dr. G. Poretti, Inselspital, Bern
Prof. Dr. W. Stumm, ETH, Zürich
Prof. Dr. J. Wellauer, Universitätsspital, Zürich

Anhang I

Quellen:

1. ICRP-Publikation Nr. 26: RECOMMENDATIONS OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Pergamon Press, Oxford, January 1977
2. ICRP-Publikation Nr. 30: LIMITS FOR INTAKES OF RADIONUCLIDES BY WORKERS. Pergamon Press, Oxford, July 1978
3. ICRP-Publikation Nr. 39: PRINCIPLES FOR LIMITING EXPOSURE OF THE PUBLIC TO NATURAL SOURCES OF RADIATION. Pergamon Press, Oxford, October 1984
4. UNSCEAR-Report 1982: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: IONIZING RADIATION: SOURCES AND BIOLOGICAL EFFECTS. United Nations Publications, New York, 1982
5. BEIR-III-Bericht: THE EFFECTS ON POPULATIONS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION: 1980. National Academic Press, Washington, 1980
6. NCRP-Report Nr. 56: RADIATION EXPOSURE FOR CONSUMER PRODUCTS AND MISCELLANEOUS SOURCES. National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington, 1977
7. STUDIE ÜBER DIE RADIOAKTIVITÄT IN VERBRAUCHSGÜTERN. F. Wachsmann. EUR 5460 d/e. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg 1976
8. RADIOACTIVITY IN CONSUMER PRODUCTS. A.A. Moghissi, P. Paras, M.W. Carter, R.F. Barker (Editors); U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1978
9. PUBLIC HEALTH ASPECTS OF PRODUCTION AND APPLICATION OF RADIOLUMINOUS MATERIALS ACTIVATED WITH TRITIUM AND CARBON-14. Von K. Krejci und A. Zeller jun. in (8)
10. ZUR STRAHLENBELASTUNG DURCH ZIGARETTENRAUCHEN. Von H. Völkle, Jahrestagung der Schweiz. Gesellschaft für Strahlenbiologie und Strahlenphysik. Oktober 1981, Zürich
11. UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND KERNTECHNIK ALS MÖGLICHE URSACHEN VON WALDSCHÄDEN ? Von L.A. König, KfK-Nachrichten, Nr. 1/85, Kernforschungszentrum Karlsruhe
12. HABEN KÜNSTLICH ERZEUGTE RADIONUKLIDE WIE KR-85, C-14 UND H-3 MIT DER LUFTIONISATION, MIT DEM SAUREN REGEN UND DEM WALDSTERBEN ETWAS ZU TUN ? Von H.H. Loosli, in SVA-Bulletin Nr. 3/1984, P. 21

13. IFEU-Bericht Nr. 25: WALDSTERBEN, NATÜRLICHE UND KERNTÉCHNISCH ERZEUGTE RADIOAKTIVITÄT. Von D. Teufel, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, eV. Juni 1983
14. SPECTROMETRIE GAMMA "IN SITU" AUTOÜR DES CENTRALES NUCLEAIRES. Von C. Murith, H. Völkle und O. Huber; Frühjahrstagung der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft, 1985 in Freiburg. (Publikation in HPA)
15. EIN VERGLEICH ZWISCHEN KONSERVATIVEN UND REALISTISCHEN DOSESABSCHÄTZUNGEN FÜR DIE UMGEBUNGSBEVÖLKERUNG VON KERNKRAFTWERKEN. Von H. Völkle und J. Czarnecki, 6. IRPA-Congress, Berlin Mai 1984
16. BERICHTE ZUR RADIOLOGISCHEN UMGEBUNGSÜBERWACHUNG DER KERNKRAFTWERKE GÖSGEN-DÄNIKEN UND LEIBSTADT. Von H. Völkle, C. Murith, J. Czarnecki und J. Schuler
17. DIE BESTIMMUNG DER KNOCHENMARK - BZW. DER GONADENDOSIS INFOLGE VON DIAGNOSTISCHEN RÖNTGENUNTERSUCHUNGEN. G. Poretti et al. in Wissenschaftliche Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Strahlenbiologie und Strahlenphysik, Genf, Oktober 1983
18. DIE BESTIMMUNG DER STRAHLENBELASTUNG DER PATIENTEN IN DER RÖNTGENDIAGNOSTIK UND NUKLEARMEDIZIN. J. Roth, Kantonsspital Basel, Dezember 1978
19. IMPORT UND EXPORT RADIOAKTIVER STOFFE IN DER SCHWEIZ IM JAHRE 1983. Bulletin des BAG Nr. 42 / 25.10.84

Anhang II

Die in diesem Bericht zusammengestellten Messwerte stammen von Analysen folgender Laboratorien:

- ARL Arbeitsgemeinschaft zur Ueberwachung der Radioaktivität der Lebensmittel (Präsident Dr. B. Zimmerli, P. Renard, Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern)
- CBE Institut für anorganische, analytische und physikalische Chemie, Universität Bern (Prof. Dr. H.R. von Gunten)
- EIR Abteilung Strahlenüberwachung des Eidg. Institutes für Reaktorforschung, Würenlingen (H.H. Brunner, Dr. W. Burkart, Dr. W. Görlich, Dr. E. Nagel, Ch. Wernli)
- EPFL Institut d'Electrochimie et de Radiochimie, Eidg. Technische Hochschule Lausanne (Prof. Dr. P. Lerch, J.J. Geering, Mme F. Staudenmann-Barraud)
- HSK Abteilung Strahlenschutz der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Würenlingen (S. Prêtre, Dr. J. Czarnecki, W. Jeschki, Dr. H.-J. Pfeiffer, J. Schuler, Dr. U. Weidmann)
- LDU Laboratorium Dübendorf der KUER, c/o Abt. Radioaktivität der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Prof. Dr. W. Stumm, Dr. P. Santschi, K. Farrenkothen, H.J. Hüppi, A. Lück, Frl. E. Werth, Frl. C. Weber)
- LFR Laboratorium Freiburg der KUER, c/o Physikalisches Institut der Universität (Prof. Dr. O. Huber, Dr. H. Völkle, Dr. H. Surbeck, C. Murith, L. Ribordy, F. Wicht, L. Baeriswyl, Frau M. Gobet, I. Sachs)
- NESTEC Société d'assistance technique pour produits Nestlé S.A., La Tour-de-Peilz (M. Arnaud, Frau I. Bracco)
- PBE Physikalisches Institut der Universität Bern (Prof. Dr. H. Oeschger, PD Dr. H. Loosli, U. Schotterer)
- SCCI Service Cantonal de Contrôle des Irradiations, Genf (Prof. Dr. A. Donath)
- SUVA Sektion Physik der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt, Luzern (Dr. D. Galliker, Dr. A. Auf der Maur, Dr. T. Lauffenburger)