

Zeitschrift: Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Herausgeber: Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Band: 30 (1987-1988)

Heft: 1: Text

Rubrik: Radon und Folgeprodukte

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: 14.05.2025

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

Der Bericht ist bewusst kurz gefasst. Er soll eine Uebersicht über die wichtigsten Resultate und Schlussfolgerungen der Ueberwachung in den Jahren 1987 und 1988 geben. Dazu wurde eine vereinfachte Darstellung der Zusammenhänge gewählt; ergänzende Informationen sind im ausführlichen Textband der KUeR für die Jahre 1985 und 1986 enthalten. Der vorliegende Textband enthält nur wenige Figuren (mit römischer Numerierung), jedoch Hinweise auf den umfassenden Figuren- und Tabellenband (arabische Nummern). Die Aussagen stützen sich auf die Resultate der im Anhang aufgeführten Laboratorien.

2. Radon und Folgeprodukte

2.1. Eigenschaften und Herkunft von Radon

Radon-222 entsteht beim Zerfall von Radium-226, einem Folgeprodukt des in der Natur praktisch überall im Boden vorkommenden Uran-238. Radon-222 hat eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Es tritt als Edelgas aus dem Boden und zum Teil auch aus Baumaterialien in die Luft aus. Die Menge, die frei wird, hängt vom Radium-Gehalt des Bodens oder Baumaterials ab, und von der Möglichkeit, dass das Radon die feste Substanz verlassen kann. Im Innern von Gebäuden ist die Konzentration von Radon meist deutlich höher als im Freien, da sich Radon beispielsweise in gut abgedichteten Räumen anreichern kann. Die Radonkonzentration im Hausinnern hängt nicht nur von der geologischen Zusammensetzung des Untergrundes ab, sondern insbesondere von der Gas-Durchlässigkeit des Bodens und von der Bauweise eines Hauses, von der Belüftung der Räume und von meteorologischen Bedingungen.

2.2. Wie kommt es zu einer Dosis?

Beim Zerfall von Radon-222 entstehen Folgeprodukte wie Polonium, Wismut und Blei. Diese Einzelatome lagern sich weitgehend an Aerosole in der Luft an. Beim Atmen werden diese und auch freie Radon-Folgeprodukte in den Bronchien und an der Lungenoberfläche abgelagert.

Radon und mehrere radioaktive Folgeprodukte sind Alpha-Strahler. Der radioaktive Zerfall insbesondere der Folgeprodukte führt zu einer Bestrahlung der Atemorgane und damit zu einer Lungendosis. Diese hängt unter anderem davon ab, wie gross die Konzentration von Folgeprodukten in der Atemluft ist, resp. wie gross der Anteil an Folgeprodukten ist, der sich an Wänden und anderen Oberflächen eines Raumes absetzt.

2.3. Schwerpunkte der Untersuchungen

Die in diesem Bericht erwähnten Untersuchungen wurden zum grössten Teil im Rahmen des **Radon Programms Schweiz** (RAPROS) und von verschiedenen Institutionen (Anhang 2) durchgeführt. Sie dienten insbesondere der Beantwortung folgender Fragen:

- Wie gross sind die mittleren Radon-Konzentrationen in den Wohnungen der Schweiz und der einzelnen Kantone und zu welchen Dosen führen sie?
- Welches ist der Schwankungsbereich und wie gross sind die Maximalwerte der Konzentrationen und der Dosen? Wo treten Maximalwerte auf?
- Wie hängen insbesondere Maximalkonzentrationen von der Beschaffenheit des Bauuntergrundes, von der Bauweise der Häuser und von Ausbreitungsparametern im Haus ab?
- Wieviel Radon stammt aus Baumaterialien und aus dem Trink- und Brauch-Wasser?
- Haben hohe Radonkonzentrationen im Jura natürliche oder künstliche Ursachen (Leuchtzifferindustrie)?
- Welche Sanierungen reduzieren erhöhte Radon-Konzentrationen wirksam?

2.4. Messresultate

In den Figuren I (= Figur 2.1.a im Figuren- und Tabellenband) und II (= Figur 2.7.) sind einige Resultate von Radonmessungen zusammengestellt. Die Radon-Konzentrationen weisen eine grosse Schwankungsbreite auf: in Wohnräumen wurden Werte zwischen ca. 5 Becquerel/m³ und mehreren Tausend Becquerel/m³ gefunden. Ca. 5% aller Wohnräume zeigen Radon-Konzentrationen von mehr als 200 und ca. 1% über 500 Becquerel/m³. In Kellern ist die Radon-Konzentration meist höher als in Wohnräumen. Daraus kann geschlossen werden, dass das Radon in diesen Fällen primär aus dem Erdboden stammt und via Keller in die Wohnräume gelangt. So wurde auch gemessen, dass die Radon-Konzentration in Mehrfamilienhäusern in den höheren Stockwerken meist kleiner ist als in den tieferen (Fig. 2.2.).

Detailliertere Auswertungen zeigen für die Kantone unterschiedliche Konzentrationen und Verteilungen (Fig. 2.4. und 2.5.). Werte über 1000 Becquerel/m³ wurden bisher in einzelnen Wohnräumen der Kantone Graubünden, Jura und Neuenburg gemessen. Aber auch in andern Gegenden können hohe Radon-Werte auftreten, wobei bisher noch keine Zusammenhänge, z.B. mit der Geologie des Untergrundes, gefunden werden konnte (Fig. 2.18.). Ferner wurde nachgewiesen, dass in Einfamilienhäusern oft kleinere Radon-Konzentrationen herrschen als in Bauernhäusern, jedoch grössere als in Mehrfamilienhäuser (Fig. 2.1.b). Zudem ist die Radon-Konzentration im Wohnbereich im Sommer häufig kleiner als im Winter.

Fig. I : Radon-Messwerte bis inkl. Winter 88/89

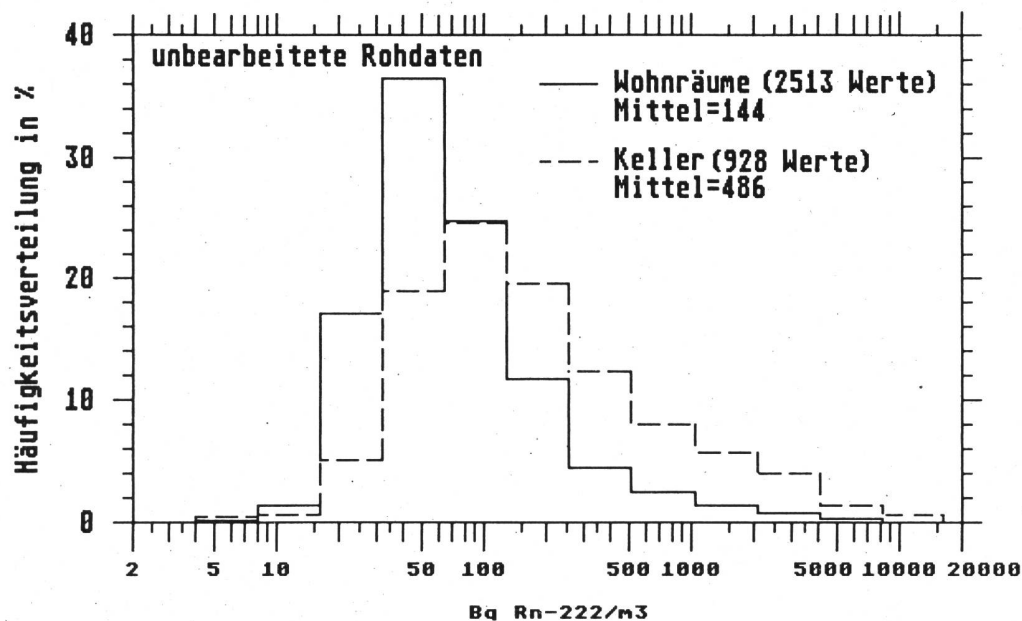
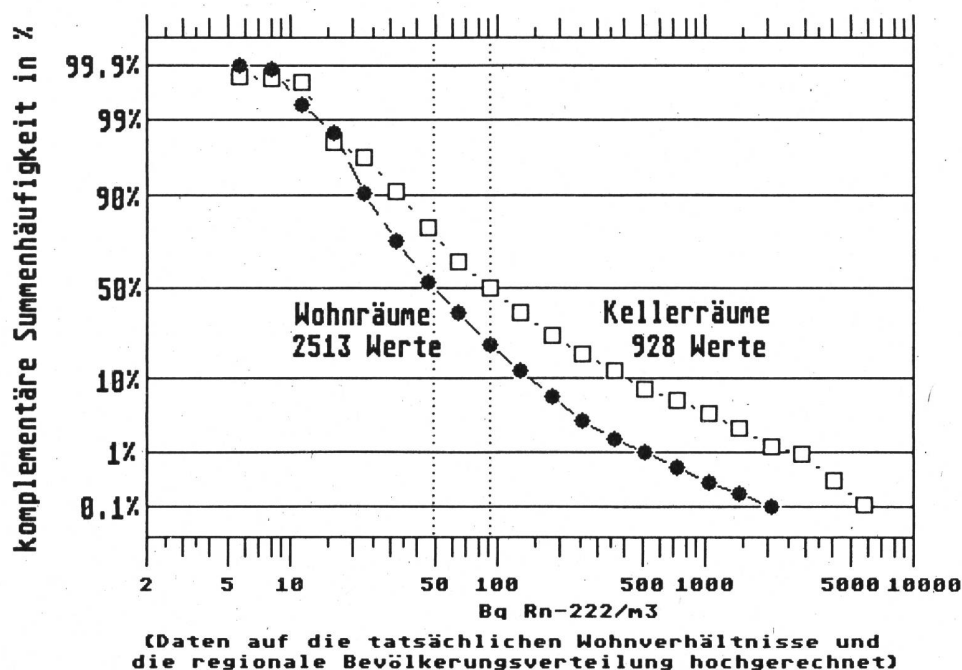


Fig. II : Radon-Konzentrationen in Schweizer Häusern bis incl. Winter 88/89



2.5. Gewichtung bei der Berechnung von Mittelwerten und Verteilungen

Bei der Berechnung von Mittelwerten für Radon Konzentrationen können die Messwerte nur mit Korrekturen benutzt werden, weil

- relativ zur Anzahl Bewohner häufiger in Einfamilienhäusern als in Mehrfamilienhäusern oder Bauernhäusern gemessen wurde;
- in Regionen, wo hohe Radon-Konzentrationen vermutet oder schon einmal gefunden wurden, vermehrt Erhebungen durchgeführt wurden;
- ca. 80% aller Messungen in der Winterperiode durchgeführt wurden und Wiederholungen im Sommer sich oft auf hohe Werte in einer Winterkampagne beschränkten.

Deshalb wurden die gemessenen Daten korrigiert, um für die Schweiz repräsentativere Häufigkeitsverteilungen und Mittelwerte zu erhalten; mit diesen sollen später repräsentative Dosiswerte berechnet werden (Kap. 2.9.). Für jeden Kanton wurden zunächst die Messwerte bezüglich der Anzahl Bewohner in Mehrfamilien-, Einfamilien- und Bauernhäusern gewichtet. Die so erhaltenen kantonalen Häufigkeitsverteilungen wurden mit der Einwohnerzahl des betreffenden Kantons gewichtet und daraus der Schweizerische (arithmetische) Mittelwert bestimmt. Am Schluss wurden Sommer-Winter Ungleichheiten ausgeglichen und es wurden auch Annahmen getroffen, wie lange man sich im Mittel im Wohnhaus und wie lange im Freien oder am besser belüfteten Arbeitsplatz aufhält.

Bei diesen Abschätzungen zeigt sich, dass die Gewichtung mit der kantonalen Einwohnerzahl die grössten Auswirkungen hat. Die Gewichtung mit den Haustypen verändert die Häufigkeitsverteilung nur in den Kantonen resp. Regionen, wo erhöhte Radon-Konzentrationen gefunden wurden (Fig. 2.3.). Als Beispiele für diese Umrechnungen sind im Folgenden die gerundeten Ergebnisse einer speziellen Studie im Winter 88/89 in La Chaux-de-Fonds und diejenigen für die ganze Schweiz aufgeführt (vgl. auch Tabelle 2.1. im Figuren- und Tabellenband und Fig. 2.6.b und 2.16.):

	La Chaux-de-Fonds (Bq/m ³)	Schweiz (Bq/m ³)
ungewichteter Mittelwert in Wohnräumen	220	140
Gewichtung mit Haustypen und (für die Schweiz) mit der kantonalen Einwohnerzahl	120	80
Zudem mit Sommer/Winter- Korrektur und mit Annahmen über Aufenthaltszeit =	90	70
Gewichteter Mittelwert für Aufenthalt im Innern von Gebäuden		

Diese Abschätzungen zeigen auch, dass der im letzten KUeR-Bericht behelfsmässig verwendete geometrische Mittelwert die durchschnittliche Radon Konzentration etwas unterschätzte. Die KUeR schätzt, dass die Unsicherheit der jetzt berechneten Mittelwerte etwa 30% betragen. Die in Fig. II wiedergegebene Häufigkeits-Verteilung entspricht den mit der kantonalen Einwohnerzahl und mit den Haustypen gewichteten Daten.

2.6. Einfluss von geologischen und meteorologischen Parametern auf die Radon-Konzentration

Aus den Messresultaten der RAPROS Projekte können zudem folgende wichtige Erkenntnisse gewonnen werden:

- der Zusammenhang zwischen der Geologie des Untergrundes und der Radon-Konzentration in Gebäuden ist sehr komplex. Obschon ein hoher Uran Gehalt (z.B. in den Alpen) zu einer erhöhten Radon Produktion führt, heisst das noch nicht, dass die Radon Gehalte in Häusern in diesen Gegenden auch hoch sind. Die wichtigste Voraussetzung für hohe Konzentrationen scheint eine hohe Permeabilität des Bodens zu sein, wie sie in Gebieten mit Karst, Kies oder Felssturzmaterial vorkommt. Deshalb können auch in Gebieten mit "normaler" Radon-Produktion hohe Konzentrationen

in Häusern auftreten (Fig. 2.18.). Die Suche nach hohen Radon-Konzentrationen in Häusern und erst recht ihre Voraussage in Neubauten ist deswegen so schwierig, weil als Parameter die Produktion, die Freisetzung aus dem Stein, die Permeabilität im Untergrund und die Eintrittswahrscheinlichkeit ins Haus zusammenwirken und zu ganz unterschiedlichen Konzentrationen führen.

- Radon tritt meist durch die Kellerräume ins Haus, wo die Ausbreitung wiederum durch mehrere Parameter beeinflusst wird. Insbesondere wirken Druckdifferenzen zwischen Keller und oberen Stockwerken als treibende Kraft für den Radontransport in Luftströmungen. So gelangt bei höheren Druckdifferenzen resp. Luftströmungen mehr Radon in den Wohnbereich als bei kleineren Werten (Fig. 2.19.). Bei gewissen Temperatur- resp. Druckbedingungen kann deshalb in einem Haus ein "Kamineffekt" entstehen, bei dem vermehrt Radon aus dem Boden und dem Keller in den Wohnbereich gezogen wird. Dadurch kommt es zu einem Tagesgang der Radon-Konzentration und zu einer höheren Konzentration im Winter als im Sommer.

2.7. Weitere Ergebnisse der RAPROS Projekte

Untersuchungen von Baumaterialien im PSI haben gezeigt, dass diese maximal etwa 10 bis 70 Bq/m³ zum Radon-Gehalt in Wohnräumen beitragen können (siehe auch Tabelle 2.2.). Das heisst, dass ein kleiner oder mittlerer Radon Gehalt im Wohnbereich meist nur zu einem kleinen Teil aus Baumaterialien stammt und dass Baumaterialien als Ursache erhöhter Radon-Konzentrationen ausgeschlossen werden können.

Am PSI wurde auch untersucht, wie stark die Radon-Konzentration in einem Haus ansteigt, wenn dieses gegen Wärmeverluste besser isoliert wird. Ueberraschenderweise hat sich herausgestellt, dass in den untersuchten Fällen der Unterschied nicht signifikant ist. Als Erklärung ist denkbar, dass eine verstärkte Anreicherung von Radon (durch das Abdichten) kompensiert wird durch eine Verminderung des Kamineffekts.

Die Abklärungen der SUEr, weshalb in La Chaux-de-Fonds vermehrt hohe Radon Pegel auftreten, wurden in Zusammenarbeit mit den Gemeindebehörden und den Hausbewohnern weitergeführt. Der Radionuklidgehalt in Bodenproben aus der Umgebung der Häuser, und die Verteilung mit der Korngrösse des Materials wurden bestimmt. Es wurden auch Radon-Gehalte in Bodengas und in Höhlensystemen gemessen. Die Ergebnisse haben die Vermutung bestätigt, dass die hohen Pegel in Häusern grösstenteils auf natürliche Ursachen zurückzuführen sind: die grosse Durchlässigkeit des Karstuntergrundes führt vermutlich in diesem Gebiet zu erhöhten Radon-Gehalten. Der Eintritt des Gases in den Wohnbereich wird zudem dann erleichtert, wenn ein Haus nicht unterkellert ist. Abfälle aus der früheren Radium-Industrie müssen nur für Einzelfälle als Ursache erhöhter Werte in Betracht gezogen werden.

Weitere Untersuchungen durch die ETHZ und das PSI führten zum Schluss, dass die mit dem Trink- und Brauchwasser in die Häuser gebrachte Menge Radon in der Schweiz nicht ins Gewicht fällt.

2.8. Pilotsanierungen von Häusern mit erhöhten Radon-Gehalten

In Zusammenarbeit mit Gemeindebehörden und Hausbewohnern wurden unter Leitung des BAG verschiedene Häuser mit erhöhten Radon Gehalten saniert, um im Hinblick auf Vorschriften die nötigen Erfahrungen bei Sanierungen unter Schweizer Bedingungen zu sammeln. Prinzipiell wurden Methoden angewandt, um den Eintritt von Radon in den Wohnbereich zu erschweren.

Ein nur teilweise unterkellertes Bauernhaus in La Chaux-de-Fonds konnte dadurch saniert werden, dass ein neuer Fussboden eingezogen wurde, der auch eine aktive Unterbodenbelüftung ermöglicht. Die Radon-Konzentration, die im Winter bis 2200 Bq/m³ betrug, konnte um ca. einen Faktor fünf gesenkt werden (Fig. 2.8.). In einem mehrstöckigen unterkellerten Haus im Graubünden konnten die erhöhten Radon-Konzentrationen im Wohnbereich dadurch beseitigt werden, dass im Keller durch eine Ventilation ein Unterdruck gegenüber den höheren Stockwerken erzeugt wurde.

2.9. Dosis durch Radon Folgeprodukte

Um die gemessenen Radon-Konzentrationen bewerten zu können, werden die dadurch verursachten Lungendosen und effektiven Aequivalentdosen berechnet. Dazu müssen Annahmen getroffen werden über den für die Dosis massgebenden Gleichgewichtsfaktor zwischen Radon-Folgeprodukten und dem Radon in der Atemluft, über Atemraten und über die strahlenbiologischen Wirkungen in der Lunge. Die von der KUeR verwendeten Umrechnungen stützen sich auf Literaturangaben und setzen beispielsweise voraus, dass die Konzentration von Folgeprodukten 40% derjenigen vom Edelgas Radon selbst ist. (Bez. Atemraten und Aufenthaltsdauer im Haus: siehe KUeR Bericht 1985/86, Tabelle 2.1.a.)

Mit diesen Annahmen erhält man für die mittlere Radon-Konzentration von 70 Bq/m^3 in der Schweiz eine effektive Aequivalentdosis von jährlich 1.9 mSv . Die Beiträge durch Radon-220 aus der Thorium-Zerfallsreihe und durch Radon-Expositionen bei Aufenthalt im Freien erhöhen diesen Dosiswert auf jährlich $2,2 \text{ mSv}$. Dies entspricht einer jährlichen Lungendosis von ca. 15 mSv . Aus der bisher gemessenen Konzentrationsverteilung der Figur II und den erwähnten Umrechnungen ergibt sich, dass in der Schweiz in ca. 10% der Fälle effektive Dosen von über 4 mSv pro Jahr und in ca. 1% der Fälle von über 10 mSv pro Jahr auftreten. In Einzelfällen treten jährlich effektive Aequivalentdosen bis maximal ca. 150 mSv auf.

Diese Dosen durch Radon werden in Kapitel 7 zur Bewertung mit andern Dosen verglichen. Hier ist aber nochmals auf die Unsicherheiten hinzuweisen, welche die Messresultate und die getroffenen Annahmen für Korrekturen und Umrechnungen beinhalten. Auch wenn die Dosiswerte eine Fehlerbreite von schätzungsweise einem Faktor 2 aufweisen, kann ausgesagt werden, dass Radon die wichtigste Komponente der Strahlenexposition in der Schweiz darstellt, und dass durch Radon die höchsten Einzeldosen verursacht werden.

2.10. Das Lungenkrebsrisiko durch Radon

Die Berechnung des durch Radon verursachten zusätzlichen Lungenkrebsrisikos kann entweder von den Dosiswerten ausgehen oder direkt von den an Bergwerksarbeitern bestimmten Risikofaktoren. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass erhöhte Konzentrationen von Radon-Folgeprodukten in Minen vermehrt Lungenkrebs auslösen. Gemäss neuerer Literatur (BEIR IV-Bericht, 1988) wurde die beste Anpassung der Modelle an die Messergebnisse mit einem relativen, altersabhängigen Risikomodell erreicht. Dabei wird angenommen, dass das durch Radon bewirkte zusätzliche Krebsrisiko proportional zum spontanen (nicht strahlenbedingten) Risiko zunimmt. Das heisst insbesondere, dass Raucher durch eine bestimmte Radon-Konzentration stärker gefährdet sind als gleich bestrahlte Nichtraucher. Es ist aber zu betonen, dass das Rauchen selbst ein viel grösseres Lungenkrebsrisiko darstellt als das Radon in der Innenluft schweizerischer Wohnhäuser; durch hohe Radon-Konzentrationen wird, wie schon gesagt, das Raucher-Risiko verstärkt (Synergismus).

Eine Uebertragung des Krebsrisikos von Minenarbeitern auf die Schweizer Bevölkerung ist indessen mit Unsicherheiten behaftet, weil Lebensbedingungen, Staubgehalt in der Luft und Rauchergewohnheiten der beiden Populationen unterschiedlich sind. Immerhin ist festzuhalten, dass im Wohnbereich der Schweiz in einigen Fällen Konzentrationen an Radon-Folgeprodukten gemessen wurden, bei welchen bei Bergwerksarbeitern bereits eine Erhöhung der Lungenkrebshäufigkeit feststellbar ist.

Nach BEIR IV lässt sich rechnerisch für die mittlere Radon-Konzentration in der Schweiz von 70 Bq/m³ bestimmen, dass ca. 15% der Lungenkrebstodesfälle den Radon-Folgeprodukten zuzuordnen sind. 1986 betrug die Lungenkrebsmortalität in der Schweiz bei den Männern 756 Fälle pro Million und Jahr und bei den Frauen 127. Der grössere Teil des Unterschieds hängt vermutlich mit den unterschiedlichen Rauchergewohnheiten

zusammen: Männer rauchen öfters und haben meist früher mit Rauchen angefangen als Frauen, so dass die Latenzzeit von 20-30 Jahren zwischen dem Zigarettenkonsum und der klinischen Diagnose von Krebs heute zu unterschiedlichen Risiken führt. Wird das relative Risikomodell von der amerikanischen auf die Schweizer Bevölkerung übertragen, sind dem Radon pro Jahr und Million Männer ca. 100 Lungen-Krebsfälle und pro Jahr und Million Frauen ca. 20 Fälle zuzuordnen. Es sei aber nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei diesen Risikozahlen um extrapolierte Schätzungen handelt, die nicht direkt überprüfbar sind.

3. Radioaktivität aus Tschernobyl

3.1. Einleitung

Dieses Kapitel gibt Antwort auf die Fragen, wo in unserer Umwelt 1987 und 1988 noch Radioaktivität aus Tschernobyl nachgewiesen wurde und wie gross sie war. Ferner wird abgeschätzt, welche externe und interne Dosen dadurch verursacht wurden und welche Dosis in den kommenden Jahren noch zu erwarten ist.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde in den Berichtsjahren in vielen Stichproben die Radioaktivität in der Luft, in Niederschlägen, Gewässern, Lebensmitteln und in Mensch und Tier gemessen. Insbesondere wurde die Aktivität der langlebigen Nuklide Caesium-137 (30 Jahre Halbwertszeit), Caesium-134 (2 Jahre) und Strontium-90 (28 Jahre) untersucht. Die Resultate sind ausführlich im Figuren- und Tabellen-Band zusammengestellt. Auch wenn dabei das Schwergewicht auf die Messresultate derjenigen Proben gelegt wird, die noch Radioaktivität in messbarer Menge enthielten, darf nicht vergessen werden, dass sehr häufig keine künstliche Aktivität mehr nachgewiesen werden konnte. Auch ist zu beachten, dass die natürliche Radioaktivität in den meisten Proben grösser ist als die künstliche.