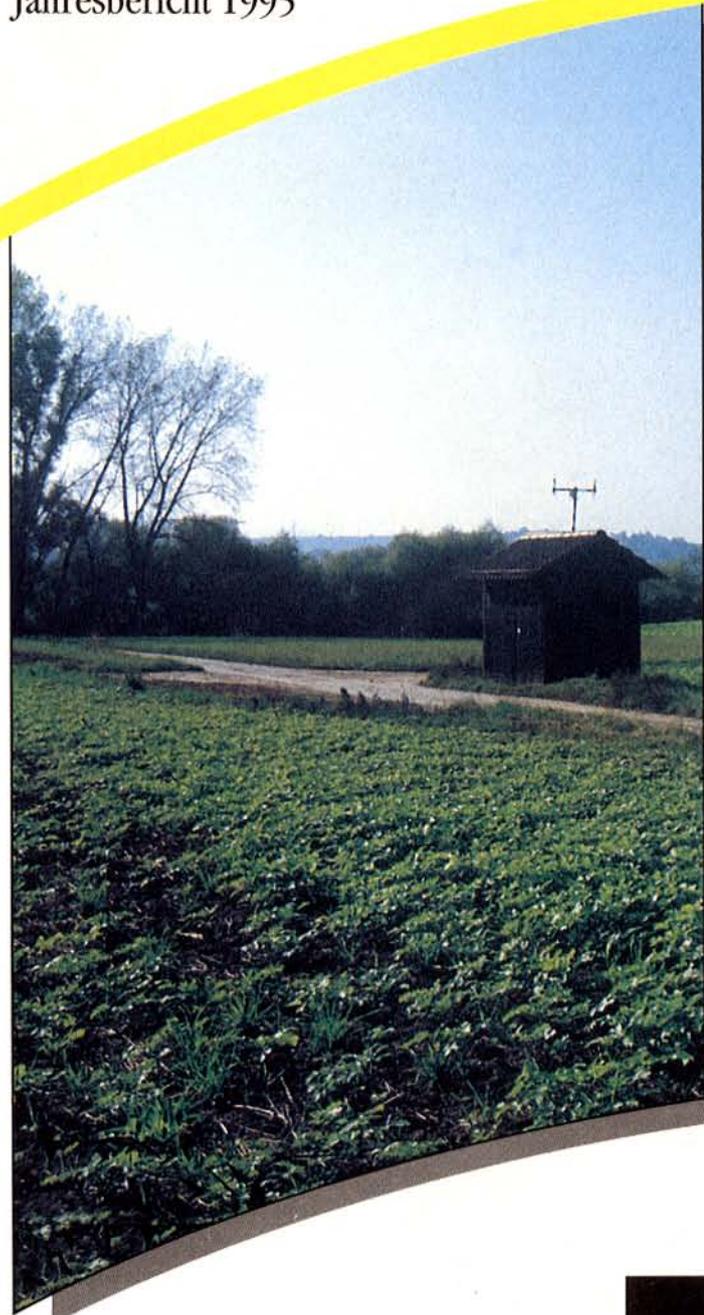


10 Jahre nach Tschernobyl

Radioaktivität in Baden-Württemberg

Jahresbericht 1995



STRAHLENSCHUTZ



10 Jahre nach Tschernobyl

Radioaktivität in Baden-Württemberg

Jahresbericht 1995



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1996

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

ISSN: 0939-8236

Bearbeitung: Landesanstalt für Umweltschutz
Abteilung 3 · Luft, Strahlenschutz,
Lärm, Arbeitsschutz
Referat 32 · Strahlenschutz

Umschlaggestaltung: Stephan May, Marxzell-Schielberg

Druck und Layout: Kraft Druck und Verlag GmbH, Ettlingen

gedruckt auf: Recyclingpapier aus 100 % Altpapier, 80 g
Umschlagkarton aus 100 % Altpapier, 250 g

Bezug: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Referat 15 – Informationsdienste,
Veröffentlichungen
Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe
Telefax 07 21/983-14 56

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1 Radioaktivität

- ▶ Eigenschaften und Begriffe
- ▶ Natürliche Radioaktivität
- ▶ Künstliche Radioaktivität
- ▶ Strahlenquellen in Medizin, Technik und Forschung

2 Überwachung der Radioaktivität

- ▶ Integriertes Meß- und Informationssystem (IMIS)
- ▶ Radioaktivitätsmeßnetze
- ▶ Emissionsüberwachung
- ▶ Kernreaktorfernüberwachung
- ▶ Umgebungsüberwachung

3 Ergebnisse der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität

- ▶ Äußere Strahlung (Ortsdosis)
- ▶ Luft
- ▶ Niederschlag
- ▶ Wasser
- ▶ Boden
- ▶ Bewuchs
- ▶ Nahrungsmittel
- ▶ Abfall

4 Ergebnisse der anlagenbezogenen Überwachung der Radioaktivität

- ▶ Emissionsüberwachung
- ▶ Immissionsüberwachung

5 Ergebnisse aus dem ehemaligen Uranexplorationsgebiet Menzenschwand

6 Strahlenexposition

Anhang

- ▶ Informationen
- ▶ Größen und Einheiten
- ▶ Erläuterungen von Begriffen
- ▶ Datennachweis

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995 Zusammenfassung

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#)
[\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

Zusammenfassung

Der Redaktionsschluß des vorliegenden Berichtes war im April 1996. Am 26. April 1986, das heißt vor genau zehn Jahren hat sich im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl ca. 120 km nordwestlich von Kiew in der Ukraine der bislang weltweit schwerste Reaktorunfall aller Zeiten ereignet. Die radioaktiven Auswirkungen des Unfalls waren selbst im knapp 2000 km entfernten Baden-Württemberg beträchtlich. Auch heute noch sind einzelne aus dem Unfall stammende Radionuklide wie Cäsium-137 in den meisten Umweltmedien nachzuweisen.

Der Bericht informiert als Jahresbericht 1995 über die radiologische Situation im abgelaufenen Jahr in Baden-Württemberg. Er gibt Auskunft über die Abgaben radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Einrichtungen, über die Überwachung auf Radioaktivität in der Umgebung dieser Anlagen sowie in der Umwelt allgemein sowie über die automatischen Meßeinrichtungen des Kernreaktorfernüberwachungssystems und des Radioaktivitätsmeßnetzes. Aus Anlaß des zehnten Jahrestags des Unfalls von Tschernobyl wird zusätzlich in einer Reihe von Abbildungen und im Text die langzeitige Entwicklung der Radioaktivitätsbelastung im Land dargestellt. Die auch heute noch meßbaren Folgen des Unfalls werden aufgezeigt und bewertet.

Die Nutzung der Kernenergie und der Umgang mit radioaktiven Stoffen unterliegen einer intensiven staatlichen Aufsicht. Gegenstand der Überwachung sind die kerntechnischen Einrichtungen und die Umwelt im allgemeinen. Damit wird sowohl dem Schutzzweck des Atomgesetzes, Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen, als auch der Forderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes, die Radioaktivität auch in der allgemeinen Umwelt zu überwachen, Rechnung getragen.



Kernkraftwerke und andere kerntechnische Einrichtungen geben - technisch nicht vermeidbar - mit der Fortluft und dem Abwasser radioaktive Stoffe an die Umgebung ab. Diese Emissionen unterliegen einer umfassenden Kontrolle und Bilanzierung durch die Betreiber der Einrichtungen und durch die staatlichen Behörden.

Bei den Kernkraftwerken an den Standorten Obrigheim, Philippsburg und Neckarwestheim und bei den kerntechnischen Einrichtungen im Forschungszentrum Karlsruhe wurden auch im Jahr 1995 die zugelassenen Abgaben an radioaktiven Stoffen mit dem Abwasser und mit der Fortluft weder erreicht noch überschritten. In der Fortluft wurden die zugelassenen Abgaben an radioaktiven Edelgasen, Aerosolen, Radioiod, Tritium und Kohlenstoff-14 sogar weit unterschritten. Das gleiche gilt auch für die grenznahen ausländischen Kernenergieanlagen in Frankreich und der Schweiz.

Die Umgebung der kerntechnischen Großanlagen wird durch die Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe ständig auf den Eintrag von künstlichen Radionukliden überwacht. In die Überwachungsprogramme sind auch die baden-württembergischen Umgebungen der grenznahen Kernkraftwerke in Frankreich und der Schweiz aufgenommen. Im Rahmen der allgemeinen Überwachung auf Radioaktivität nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz und der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach dem Atomgesetz wurden 1995 ca. 1 200 Proben genommen, an denen etwa 2800 Einzelbestimmungen durchgeführt worden sind. Ferner waren in den Überwachungsbereichen im Umfeld der kerntechnischen Anlagen ca. 400 Thermolumineszenzdosimeter zur Ermittlung der Ortsdosis ausgelegt.

Bei den empfindlichen Radioaktivitätsmessungen an den Proben aus der Umgebung der kerntechnischen Anlagen und aus der allgemeinen Umwelt waren auch 1995 in vielen Fällen Spuren künstlicher Radionuklide nachweisbar. Ihre Herkunft ist jedoch überwiegend auf die früheren Kernwaffentests und auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen. Sie werden auch noch in den nächsten Jahrzehnten zu finden sein. In einigen wenigen Proben aus der Umgebung der kerntechnischen Anlagen, vor allem aus dem Bereich Wasser, wurden auch geringe Spuren radioaktiver Spalt- und Korrosionsprodukte gefunden, die auf den Betrieb derartiger Anlagen zurückzuführen sind. Die gefundenen Werte lagen im Rahmen dessen, was aufgrund der Abgabewerte zu erwarten war. Unzulässige Ableitungen können mit Sicherheit ausgeschlossen werden.



Neben der Vielzahl von Einzeluntersuchungen im Rahmen der Umgebungsüberwachung werden die kerntechnischen Anlagen im Land und in Grenznähe zusätzlich durch ein vollautomatisches

Kernreaktorfernüberwachungssystem kontrolliert. Dieses System liefert den Behörden kontinuierlich Daten über den Betrieb der Anlagen und über die Strahlenpegel in der Umgebung. Im Jahr 1995 wurden bei den 114 Immissionsmeßstellen des Kernreaktorfernüberwachungssystems keine erhöhten Meßwerte festgestellt, die auf ein radiologisches Ereignis innerhalb der kerntechnischen Anlagen zurückzuführen gewesen wären.



Die **Radioaerosol- und Strahlenpegelmeßstationen** des Radioaktivitätsmeßnetzes gewährleisten zusammen mit den Stationen des Kernreaktorfernüberwachungssystems rund um die Uhr und landesweit einen Überblick über die radiologische Situation in Baden-Württemberg. Die mit diesen Meßeinrichtungen gewonnenen Radioaktivitäts- und Dosisleistungswerte lagen während des gesamten Zeitraums in Bereichen, die allgemein im Land üblich sind. Unterschiedliche Meßergebnisse der Dosisleistung an einzelnen Stationen sind vor allem auf die jeweiligen geologischen Verhältnisse vor Ort zurückzuführen. So werden an Standorten mit höherem natürlichen Anteil von Uran und Thorium im Boden auch höhere Strahlenpegel festgestellt.



Wegen der hohen Empfindlichkeit nuklidspezifischer Radioaktivitätsmeßmethoden sind die Auswirkungen des Unfalls in Tschernobyl im Jahr 1986 auch heute noch in Baden-Württemberg

nachweisbar. Die Hauptnahrungsmittel sind jedoch praktisch frei von künstlicher Radioaktivität. Monatlich werden zum Beispiel auch in sieben über das Land verteilten Erzeugerregionen Stichproben von **Milch** untersucht. Dabei zeigen die Ergebnisse des Jahres 1995, daß die Folgen der früheren oberirdischen Kernwaffentestexplosionen und des Unfalls in Tschernobyl zusammen weniger als ein Zehntel der Strahlenbelastung ausmachen, die durch das natürlich in der Milch vorkommende Radionuklid Kalium-40 hervorgerufen wird.



Insgesamt ist die Belastung der Nahrung mit künstlichen Radionukliden äußerst gering. Die Untersuchung der **Gesamtnahrung** aus den Betriebskantinen eines Freiburger und eines Stuttgarter Krankenhauses ergab eine errechnete effektive Äquivalentdosis durch die aufgenommenen künstlichen Radionuklide von etwa 0,003 bis 0,004 Millisievert pro Jahr. Vergleicht man diesen Wert mit der jährlichen Dosis von ca. 2,4 Millisievert, die durch die natürlichen Radionuklide in unserer Umwelt verursacht wird, so liegt der Beitrag über die Nahrungsaufnahme bei weniger als 0,2 % und ist damit vernachlässigbar klein.



Die Messungen im Rahmen der allgemeinen Umweltüberwachung zeigen auch, daß **in Wild und wildwachsenden Pflanzen** insbesondere in Oberschwaben wie im vergangenen Jahr die Auswirkungen des Unfalls von Tschernobyl teilweise noch deutlicher als anderswo bemerkbar sind. So wurden im Jahr 1995 wieder in etlichen Rehfleisch- und Fischproben aus Oberschwaben erhöhte Gehalte von Cäsium-137 gemessen, die zum Teil den Importrichtwert von 600 Becquerel/kg überschritten, den der Rat der Europäischen Gemeinschaften festgesetzt hat. Bei den untersuchten Früchten waren wieder verschiedene Proben von Heidel- und Preiselbeeren erhöht mit Cäsium-137 belastet. Besonders hohe Werte wurden wie in den Jahren zuvor auch bei einer Reihe von Pilzen erreicht, wobei Maronenröhrlinge eine Spitzenstellung einnehmen. Aufgrund dieser Ergebnisse ist auch in den nächsten Jahren in Teilen Oberschwabens mit lokal höheren Kontaminationen der genannten Nahrungsmittel zu rechnen.



Die deutsche Strahlenschutzkommission hat jüngst die aus dem **Tschernobylunfall** für Deutschland sich ergebenden zusätzlichen effektiven Äquivalentdosen für verschiedene Gebiete erneut ermittelt. Sie hat dabei unterschieden zwischen der effektiven Dosis im ersten Jahr nach dem Unfall und der Lebenszeitdosis. Das ist die gesamte zusätzliche effektive Dosis für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre. Der Mittelwert der Effektivdosis im Voralpengebiet, dem am stärksten betroffenen Gebiet Deutschlands, wurde im ersten Jahr nach dem Unfall zu 0,65 Millisievert und für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre zu 2,2 Millisievert ermittelt. Die entsprechenden Mittelwerte für Baden-Württemberg lassen sich für das erste Jahr zu etwa 0,2 Millisievert und für die Lebenszeitdosis zu etwa 0,7 Millisievert abschätzen. Die Werte sind kleiner als die Schwankungsbreite der jährlichen natürlichen Strahlenexposition durch unterschiedliche Aufenthaltsorte. Die Zusatzbelastung wird auch für die gesamte Lebenszeit selbst in den stärker belasteten Regionen nicht höher sein als die natürliche Strahlenexposition in einem Jahr.



Ein wesentlicher Beitrag zur natürlichen Strahlenbelastung wird durch das überall in der Luft vorkommende radioaktive Edelgas **Radon** geliefert. Die mittlere Radonkonzentration beträgt im Freien 23 Becquerel/m³ und an wenigen Orten bis zu 40 Becquerel/m³. Im Inneren von Häusern wurden im Mittel 42 Becquerel/m³ Radon-222 festgestellt. Damit ist die Radonkonzentration im Innern von Häusern im Schnitt doppelt so hoch wie im Freien. Aus dieser Konzentration resultiert eine mittlere effektive Dosis von etwa 1,3 Millisievert pro Jahr. Dies ist gut die Hälfte der Strahlenbelastung des Menschen durch die natürlich vorkommende Radioaktivität.



Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Strahlenbelastung des Menschen in Baden-Württemberg wie in den Vorjahren auch im Jahr 1995 überwiegend durch die Wirkung von natürlichen Radionukliden bestimmt war. Die mittlere effektive Dosis hieraus betrug im Jahr 1995 ca. 2,4 Millisievert. Zusammen mit der Strahlenbelastung aus medizinischen Anwendungen, im statistischen Mittel ca. 1,8 Millisievert/Jahr, ergaben diese beiden Anteile nahezu die gesamte tatsächliche Strahlenbelastung. Im Vergleich dazu waren die Auswirkungen des Unfalls von Tschernobyl mit einer mittleren effektiven Dosis von weniger als 0,02 Millisievert/Jahr, die Nachwirkungen der Kernwaffentests sowie die radiologischen Auswirkungen aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen auch im Jahr 1995 unbedeutend.

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#)
[\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995

Kapitel 1

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#)
[\[Anhang\]](#)

1. Radioaktivität

Eigenschaften und Begriffe

Jede Materie besteht aus Atomen, die sich ihrerseits aus dem Atomkern und den ihn umhüllenden Elektronen zusammensetzen. Die meisten auf der Erde vorkommenden Atomkerne sind stabil. Einige Kernarten sind instabil. Sie zerfallen nach gewissen Zeiten. Ihre Kerne wandeln sich dabei in andere Kerne um. Bei diesem Vorgang wird in der Regel sehr energiereiche Strahlung ausgesandt. Wegen dieser Strahlung nennt man instabile Atomkerne auch **Radionuklide**, das heißt, Strahlung aussendende Kerne.

Instabile Atomkerne geben bei ihrem Zerfall Strahlung von sich aus ab. Sie verhalten sich somit radioaktiv. Den Vorgang nennt man deshalb **radioaktiven Zerfall**. Die physikalische Größe, mit der die Zerfallsraten, das sind die pro Sekunde zerfallenden Atomkerne, beschrieben werden, heißt **Radioaktivität** oder kurz auch Aktivität. Radioaktivität ist immer eine stoffgebundene Eigenschaft. Sie wurde vor genau 100 Jahren von Henri Becquerel als natürliche Eigenschaft an Uranverbindungen entdeckt und in der Folge durch die Untersuchungsergebnisse vieler Forscher, unter ihnen vor allem Marie Curie und Ernest Rutherford, bis ins Detail geklärt. Die Maßeinheit für die Radioaktivität wird zu Ehren von Henri Becquerel mit "**Becquerel**" bezeichnet. Ein Becquerel, abgekürzt: "Bq", entspricht einem Zerfall (Umwandlung) eines Atomkernes pro Sekunde.

Der radioaktive Zerfall unterliegt trotz der Spontanität jeder einzelnen Kernumwandlung im statistischen Mittel festen zeitlichen Änderungsgesetzen. Die charakterisierende Größe ist die **Halbwertszeit**, also die Zeit, nach der die Hälfte der ursprünglichen Menge des radioaktiven Materials (d.h. die Hälfte der radioaktiven Atome) durch Zerfall umgewandelt ist. Sie ist unterschiedlich und spezifisch für jedes Radionuklid und reicht von Mikrosekunden bis zu Milliarden von Jahren.

Neben der Halbwertszeit ist auch die freigesetzte Strahlung ein charakteristisches Merkmal einer radioaktiven Substanz. Trifft die beim radioaktiven Zerfall entstandene energiereiche Strahlung auf Materie, so verändert sie deren inneres Gefüge. Es werden zum Beispiel Elektronen abgespalten und umgelagert. Die Strahlung wirkt ionisierend. Man nennt sie deshalb auch **ionisierende Strahlung**.

Man unterscheidet bei den ionisierenden Strahlen aus Radionukliden als wichtigste Arten:

Alphastrahlung:

das ist eine schwere Teilchenstrahlung aus Heliumkernen (ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen),

Betastrahlung:

das ist eine leichte Teilchenstrahlung aus Elektronen oder Positronen,
Gammastrahlung:
das ist elektromagnetische Strahlung.

Entsteht die ionisierende elektromagnetische Strahlung nicht beim radioaktiven Zerfall sondern künstlich durch Energieeinatz, nennt man sie nicht Gamma- sondern Röntgenstrahlung.

Die Energieabgaben und damit auch das Durchdringungsvermögen bzw. die Schwächung dieser Strahlungen beim Durchgang durch Materie sind sehr unterschiedlich, was auch zu ihrer Erkennung herangezogen werden kann. Alphastrahlung, als schwere Teilchenstrahlung, ionisiert die durchdrungene Materie auf kurzer Wegstrecke sehr dicht, während Betastrahlen und erst recht Gammastrahlen weitaus weniger dicht ionisieren.

Strahlenarten und ihre Eigenschaften

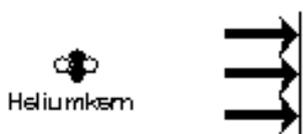
Strahlenart	maximale Reichweite	maximale Reichweite	
		in Luft	in Gewebe
Alpha-Strahlen  Heliumkern	bis 12 cm	bis 0,15 mm	
Beta-Strahlen  Elektron	bis 15 m	bis 2 cm	
Gamma-Strahlen 	35 - 100 m	5 - 15 cm	Schwächung auf die Hälfte

Abbildung 1.1

Die Teilchenstrahlungen Alpha- und Betastrahlen haben begrenzte Reichweiten. Sie liegen für Alphastrahlen bei maximal ca. 12 cm in der Luft bzw. maximal ca. 0,15 mm in Gewebe, für Betastrahlen bei maximal ca. 15 m in der Luft bzw. 2 cm in Gewebe. Die Reichweite niedrigstenergetischer Betastrahlung mit einer Energie von 20 keV, wie z. B der vom Radionuklid Tritium ausgehenden Strahlung, liegt bei nur ca. 0,6 cm in der Luft bzw. ca. 0,01 mm in Gewebe. Für Gamma- und Röntgenstrahlung gibt es keine exakt begrenzten Reichweiten, sondern nur stark energie-, material- sowie schichtdickenabhängige Schwächungsfaktoren. Diese Schwächungsfaktoren werden am besten in Form von sogenannten Halbwertsschichten angesetzt, also Materialschichtstärken, welche die Intensitäten der Gamma- bzw. Röntgenstrahlen jeweils auf die Hälfte herabsetzen. Die Halbwertsschichten für Luft betragen etwa 100 m bei einer Gamma- oder Röntgenstrahlung von 1 MeV bzw. etwa 35 m bei 0,1 MeV. Die entsprechenden Halbwertsschichten für Wasser oder Gewebe liegen bei etwa 15 cm bzw. 5 cm. Abbildung 1.1 gibt einen schematischen Überblick.

Obwohl der Mensch nicht in der Lage ist, ionisierende Strahlen und damit die Radioaktivität direkt wahrzunehmen, erlaubt die moderne Meßtechnik den Nachweis solcher Strahlung mit außerordentlich hoher Empfindlichkeit, so daß die radioaktiven Nuklide heute zu den am besten bekannten Stoffen zählen.

Entscheidend für den Menschen und damit auch für den Strahlenschutz ist die biologische Wirkung, die die ionisierenden Strahlungen im menschlichen Organismus hervorrufen. Die Wirkung, die eine aufgenommene Strahlung erzeugt, wird als **Dosis** bezeichnet. Jede der drei Strahlungsarten führt zur Aufnahme von Energie im biologischen Gewebe, die zur Schädigung von Zellen oder Erbgut führen kann. Zur Beschreibung dieser aufgenommenen Energie, bezogen auf die Masse des biologischen Gewebes, dient primär die physikalische Größe "Energiedosis" (Energie pro Masse) mit der Einheit Gray (Gy). 1 Gray bedeutet 1 Joule/kg.

Die biologische Wirkung einer Strahlenart beruht aber nicht nur auf der absorbierten Energie, sondern vor allem auch auf deren räumlicher Verteilung. Je kleiner der Bereich ist, in dem eine bestimmte Menge Energie wirkt, desto größer ist die Schädigung in diesem Bereich und damit die biologische Wirkung der Strahlung. Dies führte zur Einführung der sogenannten **Äquivalentdosis** mit der Einheit "**Sievert**". 1 Sievert (Sv) bedeutet ebenfalls 1 Joule/kg, jedoch biologisch bewertet. Die Äquivalentdosis ist gleich der Energiedosis, multipliziert mit einem Bewertungsfaktor. Dieser Faktor ist unter anderem abhängig von der Strahlenart. Er beträgt - gleichartige Strahlungsverhältnisse vorausgesetzt - für Alphastrahlung 20 und für Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung jeweils eins. Der für Alphastrahlung 20 mal höhere Wert spiegelt die Besonderheit wider, daß Alphastrahlen ihre Energie in sehr viel kleineren Bereichen des Gewebes abgeben als Beta- oder Gammastrahlen. Alphastrahlende Radionuklide sind daher besonders schädlich für das Gewebe, wenn sie einmal in den Körper gelangt sind und dort verbleiben. Hingegen ist äußere Alphastrahlung fast bedeutungslos, da sie ihre gesamte Energie in einem kleinen Bereich abgibt und deshalb nur die wenig empfindliche Hornschicht der Haut des Menschen trifft und sie nicht durchdringen kann.

Aus Äquivalentdosen, mit denen einzelne Organe belastet werden, kann rechnerisch über bestimmte Wichtungsfaktoren für Organe bzw. Körperteile auch eine "effektive Äquivalentdosis" ermittelt werden. Während es über die Auswirkungen von höheren Äquivalentdosen (ab ca. 500 mSv) gesicherte Erkenntnisse gibt, wird über die Wirkungen niedriger Äquivalentdosen noch wissenschaftlich diskutiert. In der Praxis des Strahlenschutzes geht man davon aus, daß auch eine geringe Dosis im Prinzip zu einer Schädigung führen kann. Allerdings ist das Risiko hierfür sicher umso kleiner, je kleiner die Dosis ist.

Obwohl mit der Äquivalentdosis ein Maß für die Wirkung ionisierender Strahlung gegeben ist, spielt noch eine weitere Einflußgröße eine wichtige Rolle, nämlich die Zeit, in der eine Dosis verabreicht wird. Aufgrund von Reparaturmechanismen in den Zellen des menschlichen Körpers fällt die Schädigung umso geringer aus, je größer der Zeitraum ist, in dem man eine bestimmte Dosis erhält, je geringer also die Dosisleistung, d.h. die Dosis je Zeiteinheit, ist.

Von den aus der Umwelt auf den Menschen von außen einwirkenden Strahlenarten durchdringt die Gammastrahlung den menschlichen Körper am stärksten. Die durch äußere Strahlung verursachte Dosis stammt deshalb fast vollständig von dieser Strahlung. Bei der Überwachung der äußeren Strahlung wird daher in der Regel auch nur die Gammadosis ermittelt. Die dabei gewonnenen Werte beschreiben die von der Gammastrahlung an einem bestimmten Ort verursachte Dosis, die **Gammaortsdosis**. Die pro Zeiteinheit ermittelte Dosis wird als **Gammaortsdosisleistung** bezeichnet. In den folgenden Kapiteln wird als Maß für die Wirkung der äußeren Strahlung die Gammaortsdosisleistung angegeben. Die Angaben erfolgen in der Regel in Mikro- oder Nanosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$ oder nSv/h).

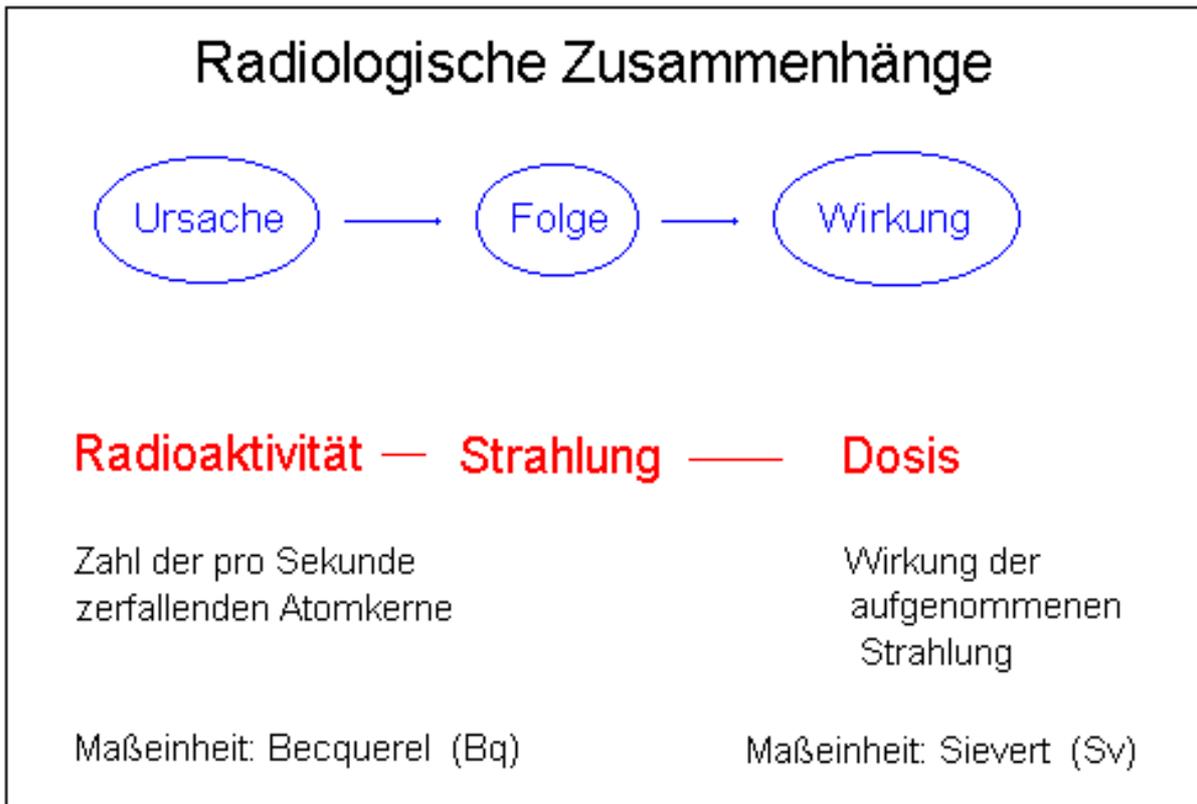


Abbildung 1.2

Zur Verdeutlichung der wichtigsten radiologischen Zusammenhänge sind in Abbildung 1.2 die Begriffe Radioaktivität (als Strahlenquelle oder Ursache), Strahlung (als Folge) und Dosis (als Wirkung auf die bestrahlte Materie) noch einmal einander gegenüber gestellt.

Natürliche Radioaktivität

Von den auf der Erde vorkommenden natürlichen Radionukliden haben einige Halbwertszeiten in der Größenordnung des Erdalters, wie z. B. Uran-238, Thorium-232, Kalium-40. Dabei sind z. B. Uran-238 und Thorium-232 Ausgangsnuklide von Zerfallsreihen, die zahlreiche weitere natürliche Radionuklide enthalten. Von diesen Radionukliden gelangen zum Teil Radon (Radon-222) bzw. Thoron (Radon-220) und ihre Folgeprodukte auch in die Atmosphäre. Zusätzlich werden durch die Wechselwirkung der aus dem Weltall kommenden kosmischen Strahlung mit der umgebenden Luftschicht radioaktive Nuklide wie Kohlenstoff-14, Beryllium-7 und Tritium ständig neu erzeugt. Da diese Radionuklide durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung (auch Höhenstrahlung genannt) entstanden sind, bezeichnet man ihre Herkunft als "kosmogen".

Durch die Aufnahme solcher Radionuklide mit der Atemluft oder der Nahrung kommt es neben der äußeren Strahlenbelastung auch zu einer merklichen inneren Strahlenbelastung des Menschen.

Die wichtigsten natürlichen Radionuklide sind in Tabelle 1.1 aufgeführt. Außer den vier erstgenannten sind diese Radionuklide mehr oder weniger verteilt vor allem in den Böden und Gesteinen der Erdkruste und damit auch in den anorganischen Baumaterialien und Zuschlagstoffen vorhanden.

Tab. 1.1 Natürlich vorkommende Radionuklide

Radionuklid	Strahlungsarten	Halbwertszeit	Herkunft/ Vorkommen
Wasserstoff-3 (Tritium)	Beta	12,3 Jahre	kosmogen
Beryllium-7	Gamma	53 Tage	kosmogen
Kohlenstoff-14	Beta	5730 Jahre	kosmogen
Natrium-22	Beta, Gamma	2,6 Jahre	kosmogen
Kalium-40	Beta, Gamma	1,27 Milliarden Jahre	Erdkruste
Blei-210	Alpha, Beta, Gamma	22,3 Jahre	Uran-Reihe, Erdboden
Bei-212	Alpha, Beta, Gamma	10,6 Stunden	Thorium-Reihe, Erdboden, Luft
Blei-214	Alpha, Beta, Gamma	26,8 Minuten	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Wismut-214	Alpha, Beta, Gamma	19,8 Minuten	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Radon-220 (Thoron)	Alpha, Beta, Gamma	55 Sek	Thorium-Reihe, Erdboden, Luft
Radon-222 (Radon)	Alpha, Beta, Gamma	3,82 Tage	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Radium-226	Alpha, Beta, Gamma	1600 Jahre	Uran-Reihe, Erdboden
Thorium-232	Alpha, Beta, Gamma	14 Milliarden Jahre	Erdkruste
Uran-235	Alpha, Beta, Gamma	0,7 Milliarden Jahre	Erdkruste
Uran-238	Alpha, Beta, Gamma	4,5 Milliarden Jahre	Erdkruste

Anmerkung zu Spalte 2: Bei der Art der Strahlung sind auch die Folgeprodukte des angegebenen Radionuklids berücksichtigt.

Künstliche Radioaktivität

Künstlich vom Menschen erzeugte Radionuklide sind zu Hunderten bekannt und unterliegen samt ihren Strahlungen denselben Gesetzmäßigkeiten wie die natürlich vorkommenden Radionuklide. Praktische Bedeutung für die Belastung von Mensch und Umwelt haben jedoch nur einige wenige Nuklide, die entweder große Halbwertszeiten besitzen oder wegen ihres physiologischen Verhaltens stärker radiotoxisch sind. Einige wichtige künstlich erzeugte Radionuklide sind in Tabelle 1.2 zusammengestellt. Ein Teil der natürlich vorkommenden Radionuklide, z. B. Tritium und Kohlenstoff-14 wird heute auch durch menschliche Tätigkeiten in größerer Menge künstlich erzeugt.

Tab. 1.2 Künstliche Radionuklide

Radionuklid	Art der Strahlung	Halbwertszeit	Ursprung bzw. Anwendung
Wasserstoff-3 (Tritium)	Beta	12,3 Jahre	Kernwaffenfallout, Leuchtfarben, Kerntechnik
Kohlenstoff-14	Beta	5730 Jahren	Kerntechnik, Medizin
Kobalt-60	Beta, Gamma	5,3 Jahre	Medizin, Kerntechnik
Technetium-99 m	Gamma	6,0 Stunden	Medizin
Strontium-90	Beta	28,5 Jahre	Kernwaffenfallout, Kerntechnik, Medizin
Iod-125	Gamma	60 Tage	Medizin
Iod-131	Beta, Gamma	8 Tage	Medizin, Kerntechnik
Cäsium-134	Beta, Gamma	2 Jahre	Kerntechnik, Tschernobyl
Cäsium-137	Beta, Gamma	30 Jahre	Kernwaffenfallout, Tschernobyl, Kerntechnik, Medizin
Promethium-147	Beta	2, 6 Jahren	Leuchtfarben
Iridium-192	Beta, Gamma	74 Tage	Prüftechnik, Medizin
Plutonium-238	Alpha, Gamma	87,7 Jahre	Kerntechnik, Isotopenbatterien
Plutonium-239	Alpha, Gamma	24110 Jahre	Kerntechnik, Kernwaffentechnik
Americium-241	Alpha, Gamma	433 Jahre	Kerntechnik, Brandmelder, Prüftechnik

Kurz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl standen die kurzlebigen Radionuklide, insbesondere das Radionuklid Iod-131, im Mittelpunkt des Interesses von Öffentlichkeit und Fachleuten. In der Folgezeit blieben als einzig bedeutsame "Tschernobyl"-Nuklide die längerlebigen Radionuklide Cäsium-134 und vor allem Cäsium-137 übrig, die fast in jedem am Stoffkreislauf beteiligten Umweltmedium in unterschiedlichen Konzentrationen zu finden sind. Daneben sind auch die Auswirkungen der früheren oberirdischen Kernwaffentestexplosionen aus den 50er Jahren und

Anfang der 60er Jahre noch nachweisbar. Hier stammen ein Teil des heute in der Umwelt vorhandenen Cäsium-137 sowie die Hauptmenge des vorhandenen Strontium-90.

Die Emissionen aus dem Normalbetrieb von Kernkraftwerken sind demgegenüber so gering, daß die Bewertung des radiologischen Risikos dieser Kernenergienutzung fast ausschließlich von der Bewertung des Störfallrisikos abhängt.

Strahlenquellen in Medizin, Technik und Forschung

Durch gezielte Anreicherung natürlicher Radionuklide, wie z. B. Radium-226, konnten in der Vergangenheit Strahlenquellen hergestellt werden, die sowohl in der Medizin zur Tumorthherapie als auch in der Grundlagenforschung eingesetzt werden. In letzter Zeit werden zunehmend die natürlichen Substanzen durch gezielt hergestellte künstliche Radionuklide wie Kobalt-60, Strontium-90, Cäsium-137 und Iridium-192 ersetzt.

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzeranforderungen in Medizin, Technik und Forschung bezüglich Strahlenart, Strahlenhärte (Strahlenenergie) und Strahlenintensität wurden zunehmend auch Beschleuniger errichtet. Es handelt sich hierbei um Anlagen, die erst bei ihrem Einschalten ionisierende Strahlen erzeugen und insofern keine permanenten Strahlenquellen darstellen.

In Baden-Württemberg gibt es etwa zwei Dutzend Orte, in denen umschlossene radioaktive Quellen in der Forschung und Technik oder in der Medizin verwendet werden und in denen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung arbeiten.

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#)
[\[Anhang\]](#)

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995

Kapitel 2

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

2. Überwachung der Radioaktivität

In Erfüllung des Schutzzweckes des Atomgesetzes, "Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen", und des Schutzzieles des Strahlenschutzvorsorgegesetzes, "Zum Schutze der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen", wurde in Baden-Württemberg ein komplexes System zur Überwachung der Radioaktivität aufgebaut.

Schwerpunkte der Überwachung sind die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen. Es wird jedoch auch flächendeckend das ganze Land erfaßt. Die Daten laufen bei der Landesanstalt für Umweltschutz zusammen, werden dort ausgewertet und ermöglichen einen Gesamtüberblick über die radiologische Situation im Land.

Das Überwachungssystem kontrolliert sowohl die Abgaben der Anlagen (Emissionen) als auch die Einträge in die Umweltbereiche (Immissionen). Es besteht aus folgenden Komponenten:

Allgemeine Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz

1. Integriertes Meß- und Informationssystem des Bundes und der Länder (IMIS)
2. Radioaktivitätsmeßnetze
3. Radiologische Forschungsvorhaben

Anlagenbezogene Überwachung der Radioaktivität nach dem Atomrecht

1. Emissionsüberwachung
2. Kernreaktorfernüberwachung (Emissionen und Immissionen)
3. Umgebungsüberwachung (Immissionen)

Dabei werden automatisch rund um die Uhr arbeitende Meßeinrichtungen betrieben und eine Vielzahl von Einzelproben im Labor untersucht. Im folgenden werden die einzelnen Komponenten des Überwachungssystems näher erläutert.

Allgemeine Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt

Integriertes Meß- und Informationssystem (IMIS)

Um die radioaktiven Auswirkungen von Kernwaffentests der Großmächte feststellen zu können, war in der Bundesrepublik Deutschland schon vor 30 Jahren ein Überwachungssystem für Radioaktivität aufgebaut worden. Dieses Meßsystem erwies sich allerdings anläßlich des Unfalls in Tschernobyl mit seinen großräumigen und vielfältigen Auswirkungen als nicht ausreichend. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit schuf deshalb auf der Basis des 1986 erlassenen Strahlenschutzvorsorgegesetzes in Zusammenarbeit mit den Ländern das sogenannte "Integrierte Meß- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität" (IMIS). Danach werden die Meßaufgaben wie folgt aufgeteilt:

a) Dem Bund obliegt die großräumige Ermittlung

- der Gammaortsdosisleistung
- der Radioaktivität in Luft und Niederschlägen
- der Radioaktivität in Bundeswasserstraßen und in Nord- und Ostsee

b) Die Länder ermitteln die Radioaktivität insbesondere

- in Lebensmitteln, Tabakerzeugnissen und Bedarfsgegenständen sowie Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffen
- in Futtermitteln
- im Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern außer Bundeswasserstraßen
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Reststoffen und Abfällen
- im Boden und in Pflanzen (z. B. Gras, Laub)
- in Düngemitteln.

Auf der Grundlage dieser Aufgabenzuweisung wurde für Baden-Württemberg ein umfangreiches Meßprogramm aufgestellt, das entsprechende Untersuchungen über das ganze Land und die Jahreszeiten verteilt gewährleistet. Eine große Zahl von weiteren Messungen führt das Land darüber hinaus in Eigeninitiative durch, um eine bestmögliche Übersicht über die Radioaktivitätsgehalte aller Umweltmedien zu erhalten.

Lebensmittel, Bedarfsgegenstände und Arzneimittel werden von den Chemischen Landesuntersuchungsanstalten in Stuttgart und Freiburg analysiert, Futtermittel, Böden und Düngemittel von der Landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersuchungsanstalt Augustenberg, alle übrigen Medien von der Landesanstalt für Umweltschutz. Darüber hinaus überwacht die Landesanstalt für Umweltschutz den Boden an 50 Orten im Land regelmäßig mittels in-situ-Gammaspektrometrie auf Ablagerung radioaktiver Stoffe.

Alle Meßergebnisse dieser Meßstellen werden bei der Landesanstalt für Umweltschutz als zuständiger Datenzentrale des Landes für das Integrierte Meß- und Informationssystem gesammelt und zur Zentralstelle des Bundes weitergeleitet.

Darüber hinaus hat das Land nach dem Tschernobylunfall zur Untersuchung der ablaufenden radioökologischen Prozesse radioökologische Forschungsvorhaben vergeben. Die Schwerpunkte der Vorhaben lagen in Oberschwaben, der einzigen Region in Baden-Württemberg, in der die Radioaktivität aufgrund des Reaktorunglücks von Tschernobyl noch signifikant erhöht ist. Durch die Untersuchungen der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten und die Messungen der Freien Meßstelle Bad Wurzach wurden dabei in Oberschwaben regional verdichtete Meßergebnisse über die Radioaktivität von Pilzen, Wild und Fischen gewonnen. Durch diese Forschungstätigkeit wird auch erreicht, daß bei einem etwaigen erneuten Anforderungsfall im Land weitere qualifizierte Meßkapazitäten vorhanden sind.

Radioaktivitätsmeßnetze

Der Bund mißt mit dem sogenannten WADIS-Netz des Bundesamtes für Zivildienst-Informationssystem (WADIS) bundesweit an ca. 2000 Orten recht engmaschig die Gammaortsdosisleistung. Etwa 200 dieser Orte liegen in Baden-Württemberg. Die luftgetragene Radioaktivität wird vom Bund großräumiger erfaßt. Er ermittelt im Rahmen des IMIS mit dem Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes an 39 Stellen die Aktivitätskonzentration der Luft nuklidspezifisch. Vier dieser Stationen stehen in Baden-Württemberg (in Stuttgart, Ulm, Freiburg und Konstanz). Ferner erfaßt der Bund zusätzlich mit dem Meßnetz des Umweltbundesamtes an 11 Stellen, davon mit einer Meßstation in Baden-Württemberg (in Mannheim), die Gesamtbeta- und Iod-131-Konzentration in der Luft.

Da die Bedürfnisse des Landes von den Meßnetzen des Bundes nicht ausreichend befriedigt werden konnten, hat Baden-Württemberg nach dem Unfall von Tschernobyl zur Überwachung der Radioaktivität und als Frühwarnsystem ein eigenes flächendeckendes Radioaktivitätsmeßnetz aufgebaut. Es gliedert sich in Komponenten für Radioaerosol - und für Strahlenpegelmessungen, die technisch und räumlich voneinander unabhängig sind und getrennte Meßaufgaben haben.

Das Radioaerosolmeßnetz überwacht mit 6 vorzugsweise über die Randzonen des Landes verteilten Meßstationen ständig die Luft auf Radioiod und radioaktive Aerosole. Hierzu wird in den Meßstationen kontinuierlich Außenluft über Filter gesaugt. Auf den Glasfaser-Feinfiltern schlagen sich die in der Luft enthaltenen Partikel nieder. In nachgeschalteten Kohlefiltern wird zudem elementares Iod adsorbiert. Die so festgehaltenen Stoffe werden automatisch auf die Art und die Menge der darin enthaltenen Radionuklide gammaspektrometrisch untersucht.

Das Strahlenpegelmeßnetz mißt an 35 Stellen im Land kontinuierlich die Ortsdosisleistung sowie den Beta-/ Gamma-Strahlenpegel (Impulsrate) mit Hilfe von Zählrohren. Des weiteren werden in den Meßstationen Luftfilter bestaubt und Regenwasser gesammelt und anschließend im Labor der Landesanstalt für Umweltschutz ausgemessen.

Anlagenbezogene Überwachung der Radioaktivität

Grundlagen für die anlagenbezogene Überwachung der Radioaktivität sind das Atomgesetz und die darauf aufbauende Strahlenschutzverordnung. In dieser sind für Einzelpersonen und Personengruppen Grenzwerte für Äquivalentdosen festgesetzt, die im allgemeinen mit den international gültigen Grenzwerten übereinstimmen, diese teilweise aber auch erheblich unterschreiten. Die Strahlenschutzverordnung schreibt insbesondere vor, daß die Ableitung radioaktiver Stoffe aus einer Anlage über Abluft und Abwasser bei Personen der Allgemeinbevölkerung höchstens zu einer effektiven Äquivalentdosis für den gesamten Körper von jeweils 0,3 mSv pro Jahr führen darf (zum Vergleich beträgt der Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen 50 mSv pro Jahr). Die Durchführung der daraus resultierenden Überwachung ist in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen geregelt.

Emissionsüberwachung

An vielen Orten im Lande werden radioaktive Stoffe in der Industrie, der Medizin und der wissenschaftlichen Forschung genutzt. Überwachungspflichtige Emittenten von Bedeutung sind allerdings nur die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sowie die nuklearmedizinischen Zentren. Aber auch hier ist noch weiter zu differenzieren. Die kleinen Schul- und Unterrichtsreaktoren mit der elektrischen Leistung einer Taschenlampe emittieren praktisch nichts. Die nuklearmedizinischen Zentren geben fast ausschließlich kurzlebige Radionuklide an die Umwelt ab. Von denen ist im wesentlichen nur Iod-131 über das Abwasser meßtechnisch nachweisbar. Es hat aber keine nennenswerte radioökologische Auswirkung. Auch diese Emissionen und die daraus resultierenden Immissionen werden überwacht oder durch staatliche Aufsicht begrenzt.

Der eindeutige Schwerpunkt der Emissions- und Immissionsüberwachung liegt jedoch bei den Kernkraftwerken des Landes, d. h. den Anlagen in Obrigheim, Philippsburg und Neckarwestheim sowie bei den kerntechnischen Einrichtungen des Forschungszentrum Karlsruhe (bis 31.12.1994 Kernforschungszentrum Karlsruhe). Deren Emissionen werden entsprechend der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen ständig überwacht. Es wird hierbei sowohl die Abgabe radioaktiver Stoffe in die Luft als auch in das Wasser kontrolliert. Ferner überprüft das Bundesamt für Strahlenschutz die Eigenüberwachung der Betreiber systematisch durch Kontrollmessungen.

Kernreaktorfernüberwachung

Die Kernkraftwerke in Baden-Württemberg werden zusätzlich mit Hilfe des Kernreaktorfernüberwachungssystems rund um die Uhr vollautomatisch überwacht. Es erfaßt ständig sicherheitsbedeutsame Betriebsdaten der Anlagen, die radioaktiven Emissionen mit Abluft und Abwasser, meteorologische Größen sowie die Strahlendosisleistungen in der Umgebung. Diese Daten werden laufend zur Landesanstalt für Umweltschutz als Zentrale sowie zum Umweltministerium als atomrechtlicher Aufsichtsbehörde übertragen.

Das Kernreaktorfernüberwachungssystem stellt eine nochmalige Gegenkontrolle zur Emissions- und Immissionsüberwachung dar. Der Hauptzweck des Systems ist aber eine unmittelbare und sofortige Kontrolle derjenigen Einflußgrößen, die für die Sicherheit der Anlage und den Strahlenschutz von Bedeutung sind. Es ist ein Instrument der atomrechtlichen Aufsicht und ermöglicht eine ständige, betreiberunabhängige Kontrolle. Insbesondere können Abweichungen vom Normalbetrieb, von Störungen und von Störfällen schnell erkannt werden.

Die Gammaortsdosisleistung in einem Bereich bis zu 10 km Entfernung wird durch Meßsysteme überwacht, die in eigenen Meßstationen oder in öffentlichen Gebäuden untergebracht sind. In der Umgebung der Kernkraftwerke Obrigheim und Neckarwestheim gibt es jeweils 28 derartige Meßstationen und in der Umgebung von Philippsburg 31. Auch die grenznahen ausländischen Anlagen Fessenheim (Elsaß, Frankreich) und Leibstadt (Schweiz) sind mit jeweils etwa einem Dutzend Meßstationen auf deutscher Seite in die immissionsseitige Überwachung durch das baden-württembergische Kernreaktorfernüberwachungssystem einbezogen. Da bei diesen Anlagen die direkte Abfrage von Betriebsdaten und Emissionen mit Abluft und Abwasser durch das Fernüberwachungssystem nicht möglich ist, wurde in unmittelbarer Nähe, bei Bremgarten und bei Dogern, jeweils eine Überwachungsmeßstation errichtet, die auch auf künstliche Radioaktivität in der Luft fortlaufend messen (Abbildung 2.1). Die beiden Überwachungsstationen entsprechen technisch den bereits erwähnten 6 Radioaerosolmeßstationen des Aerosolmeßnetzes.

Umgebungsüberwachung

Die immissionsseitige Umgebungsüberwachung der Kernkraftwerke des Landes und des Forschungszentrums Karlsruhe erfolgt ebenfalls entsprechend der bundeseinheitlichen Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung. Mit hochempfindlichen Verfahren werden die Luft, Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser, Sedimente, Wasserpflanzen, Fische, Boden und Bewuchs sowie Nahrungsmittel pflanzlichen und tierischen Ursprungs regelmäßig und systematisch unter Beachtung der radioökologischen Zusammenhänge auf Radioaktivität untersucht. Ferner werden die Strahlendosen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen gemessen.

Die Umgebungsüberwachung stellt eine Gegenkontrolle zur Emissionsüberwachung dar und gibt andererseits einen unmittelbaren Aufschluß über die Auswirkungen der Emissionen auf die Umgebung. Im Rahmen der Umgebungsüberwachung werden bei den kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg zwei voneinander unabhängige Meßprogramme durchgeführt, eines vom Betreiber der Anlage, das andere von der Landesanstalt für Umweltschutz.

Das Meßprogramm des Betreibers ist im allgemeinen stärker auf die Überwachung der Primärmedien Luft und Wasser bis hin zur Ablagerung auf Boden, Bewuchs und Sediment ausgerichtet, das Programm der Landesanstalt für Umweltschutz orientiert sich mehr an der Nutzung der Umgebung durch die Bevölkerung und den dort erzeugten Nahrungsmitteln. Daneben muß das Meßprogramm der Landesanstalt für Umweltschutz durch überlappende Messungen auch eine Kontrolle der Messungen des Betreibers gewährleisten. In der baden-württembergischen Umgebung der grenznahen ausländischen Anlagen Fessenheim (Frankreich) und Leibstadt (Schweiz) wird - abgesehen von wenigen Vergleichsproben - vom Prinzip des doppelten Meßprogramms abgewichen. Dort mißt allein die Landesanstalt für Umweltschutz. Das Meßprogramm ist daher erweitert.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß das Radioaktivitätsüberwachungssystem des Landes bereits die Emissionen der wesentlichen Emittenten genau erfaßt und das gesamte Land flächendeckend in allen Umweltbereichen meßtechnisch sehr empfindlich kontrolliert. An den Standorten der wesentlichen Emittenten und im Bereich der noch signifikanten Tschernobyl-Auswirkungen erfolgt eine angemessene Verdichtung. Darüber hinaus ist durch den Einsatz der automatischen Systeme eine schnelle Information und Alarmierung sichergestellt. Die Zusammenführung aller Daten bei der Landesanstalt für Umweltschutz ermöglicht einen vollständigen Überblick über die radiologische Situation im Land.

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995

Kapitel 3

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

3. Ergebnisse der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität

Sowohl die Menge als auch die Art der in der Umwelt vorhandenen radioaktiven Stoffe schwanken innerhalb des Landes sowie zwischen den verschiedenen Medien stark. In Baden-Württemberg werden deshalb alle wichtigen Umweltmedien intensiv auf ihren Gehalt an radioaktiven Stoffen kontrolliert.

Mit den Messungen zur allgemeinen Überwachung der Radioaktivität wird flächendeckend ganz Baden-Württemberg erfaßt. Die so gewonnenen Meßergebnisse stellen den in den einzelnen Landesteilen herrschenden radioaktiven Hintergrundpegel dar, d. h. sie geben den Anteil der Radioaktivität wieder, der nicht auf die Abgabe einer bestimmten kerntechnischen Anlage zurückzuführen ist. Dennoch handelt es sich nicht nur um natürliche Radioaktivität, sondern auch um "Altlasten" an künstlicher Radioaktivität. Diese Altlasten sind im wesentlichen die Einträge früherer Kernwaffentests an Cäsium-137, Strontium-90 und Tritium sowie der Eintrag von Cäsium-137 aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl.

Äußere Strahlung (Ortsdosis)

Seit es Menschen gibt sind sie einer von außen einwirkenden ionisierenden Strahlung (äußeren Strahlung) ausgesetzt. Diese natürliche ionisierende Strahlung läßt sich auf vier Quellen zurückführen.

- Aus dem Weltall trifft die kosmische Strahlung mit einem sehr energiereichen Anteil an Protonenstrahlung auf die Erde.
- In der Erdatmosphäre werden aufgrund der Kollision der kosmischen Strahlung mit Molekülen der Lufthülle ständig Radionuklide mit relativ kurzer Halbwertszeit neu gebildet (u.a. Beryllium-7 und Tritium).
- Auf der Erde vorhandene natürliche Radionuklide mit langer Halbwertszeit, die sich durch nur einen Zerfallsschritt in stabile Nuklide umwandeln (z.B. Kalium-40).
- Ebenfalls auf der Erde vorhandene natürliche Radionuklide mit langer Halbwertszeit, die sich in mehreren Stufen zu inaktiven Nukliden umwandeln. In diesen Zerfallsreihen entstehen auch Radionuklide mit kurzen Halbwertszeiten.

Der letztgenannte Beitrag hängt stark von den örtlichen geologischen Verhältnissen ab. An Standorten mit einem höheren natürlichen Anteil an Uran und Thorium im Boden ist der Strahlenpegel höher als an Standorten mit einem geringeren Anteil.

Radioaktivitätsmeßnetze in Baden Württemberg

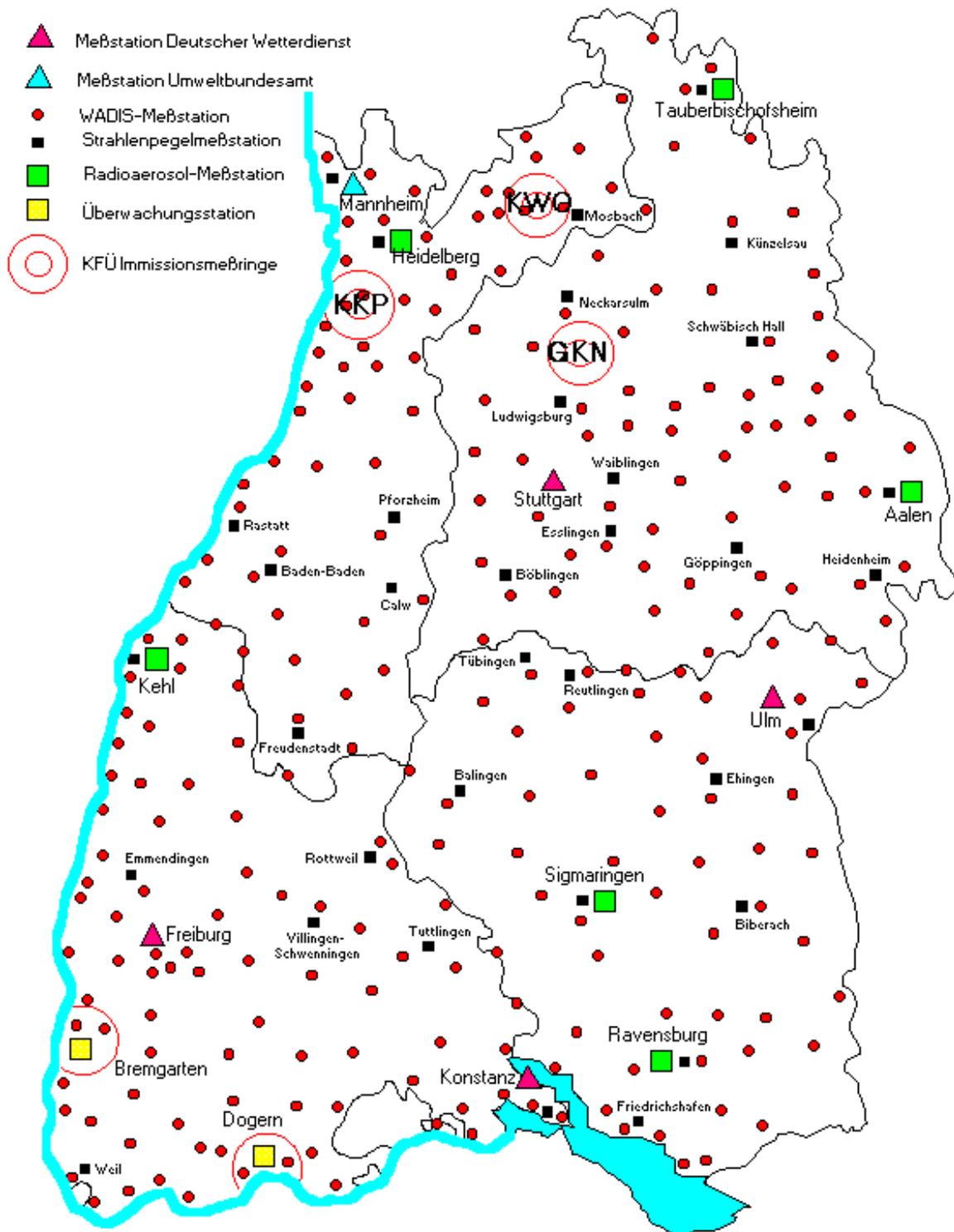


Abbildung 2.1

Die von der äußeren Strahlung ausgehende Wirkung wird für jeden Ort durch die dort herrschende Ortsdosis beschrieben. Die pro Zeiteinheit ermittelte Dosis ist die Dosisleistung. Die schädigende Wirkung der äußeren Strahlung wird vor allem durch Gammastrahlung hervorgerufen, da diese in den Körper am stärksten eindringt. Daher wird an den Meßstationen des Strahlenpegelmeßnetzes des Landes und im WADIS-Netz des Bundes (Abbildung 2.1) die Gamma-Ortsdosisleistung ermittelt, d. h. die Dosisleistung der Gammastrahlung am Ort der jeweiligen Meßstation.

Dosisleistung bei Strahlenpegel-Meßstationen

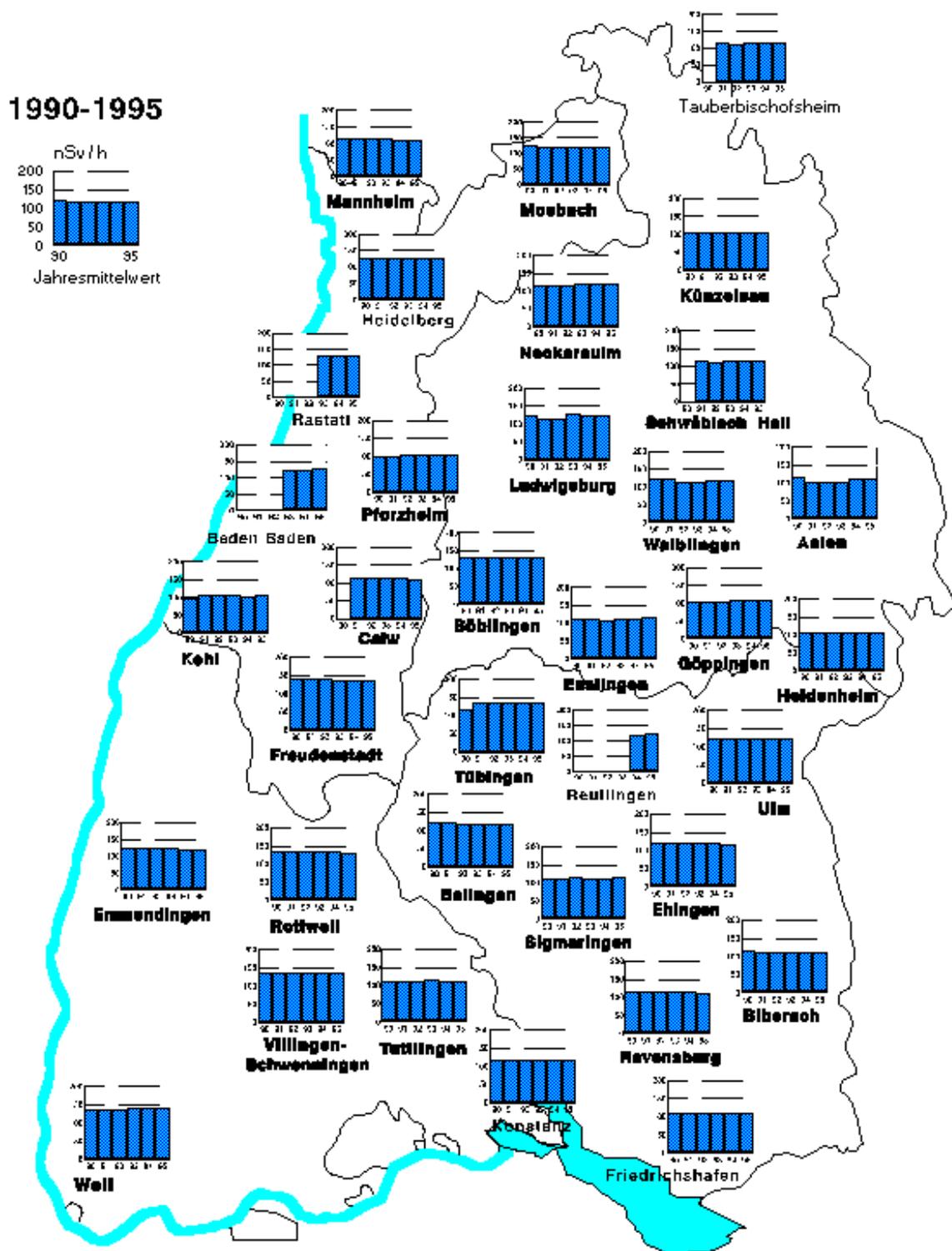


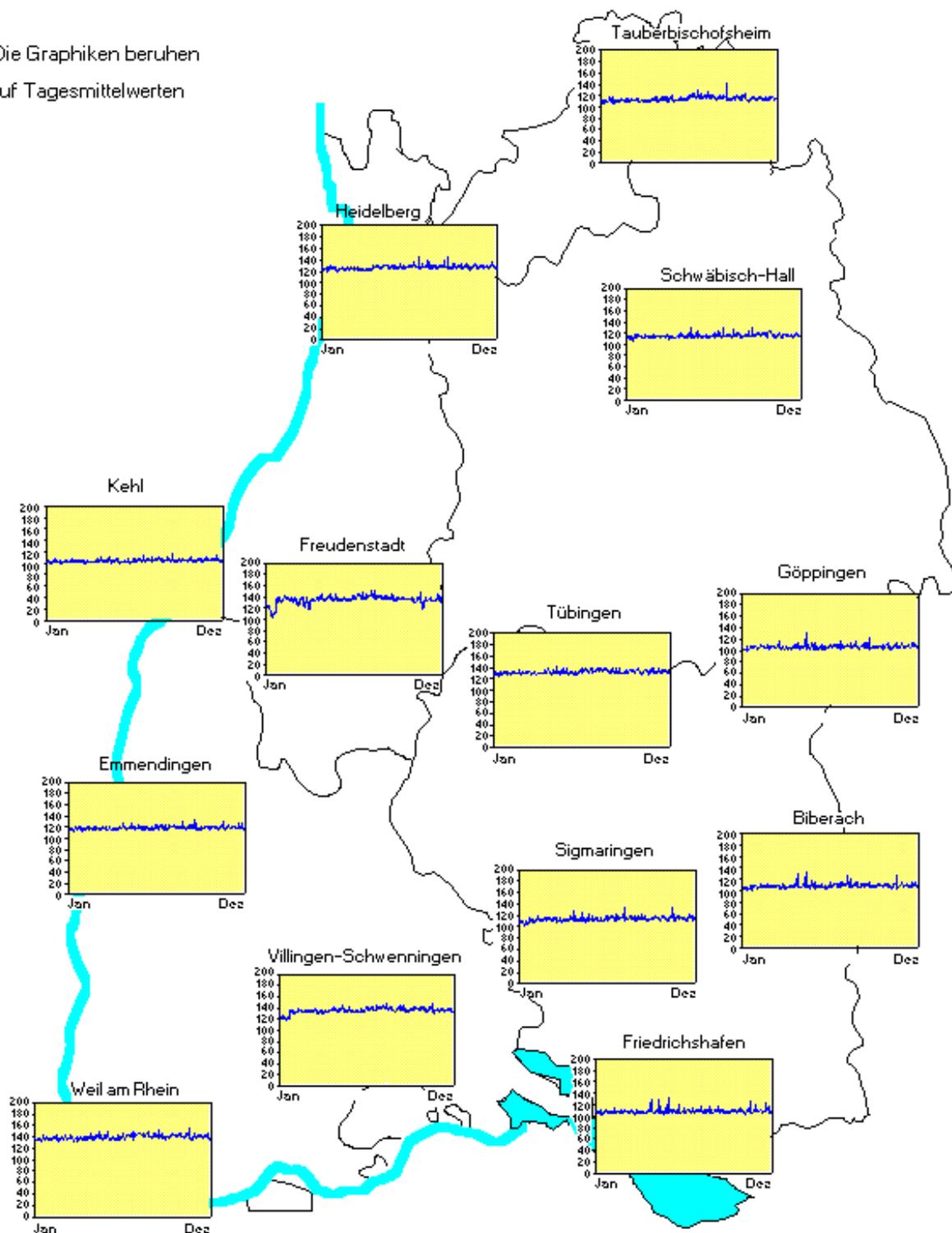
Abbildung 3.1

In der Übersichtskarte (Abbildung 3.1) sind für die Jahre 1990 bis 1995 die Jahresmittelwerte der Gamma-Ortsdosisleistung aller verfügbaren Meßstationen des Strahlenpegelmeßnetzes des Landes eingetragen. Der Meßnetzbetrieb wurde 1990 mit 29 Stationen aufgenommen. Die letzte Station ging Ende 1993 in Betrieb.

Jahresverlauf der Dosisleistung 1995

in nSv/h

Die Graphiken beruhen auf Tagesmittelwerten



In Abbildung 3.2 ist zusätzlich für 1995 der Jahresverlauf der Dosisleistung anhand von Tagesmittelwerten für ausgewählte Meßstationen dargestellt. Man erkennt, daß die Dosisleistung leichten Schwankungen unterliegt. Diese werden durch natürliche Effekte, wie z. B. meteorologisch bedingte Schwankungen der bodennahen Konzentration der Folgeprodukte der Radonisotope hervorgerufen. Die Unterschiede zwischen den an einzelnen Meßstationen gemessenen Werten sind hauptsächlich durch die verschiedenen geologischen Verhältnisse am jeweiligen Meßort bedingt. Der Beitrag künstlicher Radionuklide zu den ermittelten Ortsdosen ist überall in Baden-Württemberg gering bis vernachlässigbar.

Luft

Ein erwachsener Mensch atmet stündlich etwa 12 Liter Luft pro Kilogramm seines Körpergewichts ein. Mit dieser Luft gelangen nicht nur der lebensnotwendige Sauerstoff in die Lungen, sondern auch alle Schadstoffe, die der Luft beigemischt sind. Neben dem Zigarettenrauch wirkt eine Vielzahl von Gasen und Aerosolen (feste Schwebstoffe) aus Haushalt, Verkehr und Industrie auf die Lungen ein. Eine Aufgabe des Umweltschutzes ist es, die Freisetzung von Schadstoffen zu vermeiden oder weitestgehend zu reduzieren.

Unter den Gasen und Aerosolen unserer Atemluft befinden sich stets auch solche, die radioaktiv sind. Vor allem handelt es sich um die natürlich vorkommenden radioaktiven Isotope des Edelgases **Radon**, nämlich Radon-222 (kurz: Radon) und Radon-220 (Thoron), sowie insbesondere ihre radioaktiven Folgeprodukte, die zu einer Strahlenbelastung der Lungen führen. Die Konzentrationen liegen über dem kontinentalen Festland im Freien im Mittel bei 7 Bq/m³ für Radon-222 und bei etwa 0,2 Bq/m³ für Radon-220. Die bodennahe Luft in Baden-Württemberg enthält aufgrund geologischer Verhältnisse im Land deutlich höhere mittlere Radonkonzentrationen. In Baden-Württemberg liegen die mittleren Radonkonzentrationen im Freien bei 23 Bq/m³ und erreichen an einigen wenigen Orten mit höheren Radiumkonzentrationen des Bodens bis zu 40 Bq/m³. Innerhalb von Gebäuden herrschen daher vor allem in Kellern höhere Konzentrationen. Erhöhte Radongehalte ergeben sich aber auch in anderen Innenbereichen wegen der teilweise hohen Radiumgehalte in einzelnen Bau- und Zuschlagstoffen. Die Untersuchung der Luft im Inneren von über 900 Häusern ergab einen Mittelwert von 42 Bq/m³ Radon-222 und ist damit etwa doppelt so hoch wie im Freien. Die daraus resultierende mittlere effektive Äquivalentdosis beträgt ca. 1,3 Millisievert im Jahr.

Radon ist wie alle Edelgase chemisch inaktiv. Es verbreitet sich durch Diffusion in Bodenkapillaren, Gesteinsspalten und Hohlräumen. Auf diesen Wegen gelangt ein Teil des Gases an die Oberfläche und vermischt sich mit der freien Luft. Hier kann es über weite Entfernungen transportiert werden.

Die Menge des gebildeten Radons ist abhängig von der Ausgangskonzentration seines Mutternuklids Radium im Boden. Andererseits hat auch die Porosität des Bodens bzw. Gesteins einen Einfluß auf die Quellstärke des in die Luft austretenden Radonanteils. Trockenheit des Bodens begünstigt die Freisetzung, während ein erhöhter Feuchtigkeitsgehalt (z.B. nach einem Regen) den Radonaustritt stark behindert. Radon ist in Wasser teilweise löslich. Im Sommer, vor allem nach Erwärmung des Erdreichs durch direkte Sonneneinstrahlung, kann die Radon-Diffusion beschleunigt ablaufen. Auch der Einfluß von Luftdruckschwankungen ist erkennbar: fallender atmosphärischer Luftdruck läßt aufgrund eines Druckausgleichs Radon vermehrt aus dem Erdreich ins Freie ausströmen. Im Winter, wenn der Erdboden gefroren oder vollständig mit Schnee bedeckt ist, kann so gut wie kein Radon mehr austreten. Durch diese vorübergehende "Versiegelung" werden erhöhte Mengen von Radon im Erdreich festgehalten. Mit dem anschließenden Tauwetter werden dann regelmäßig die aufgestauten Mengen innerhalb kurzer Zeit in die Luft freigesetzt. Aufgrund der geschilderten Zusammenhänge ist verständlich, daß die Radonkonzentration und somit auch die seiner Folgeprodukte starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterliegt.

Niederschlagsmenge und Blei-214-Aktivitätskonzentration in der Luft

Radioaerosol-Meßstation Kehl

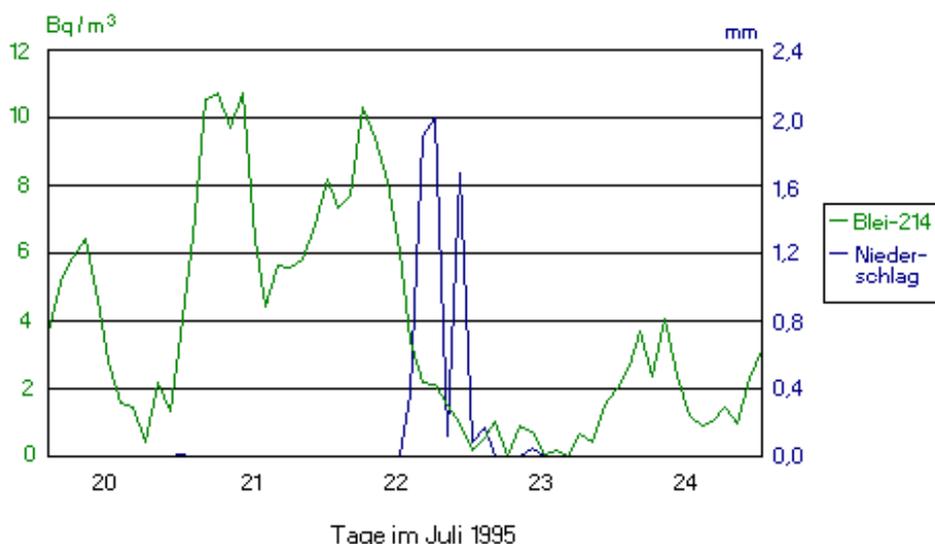


Abbildung 3.3

In den acht Radioaerosolmeßstationen des Landes werden hauptsächlich die **Radonfolgeprodukte** gemessen, welche sich im Gegensatz zum Edelgas Radon an Aerosole anlagern und somit in den Filtern dieser Stationen gesammelt werden. Die Aktivitätskonzentration der Folgeprodukte hängt stark von der des Radon-222 ab. Neben den Schwankungen aufgrund der Radon-222 Abgaben des Bodens ist für diese Folgeprodukte noch der "Auswaschungseffekt" von Aerosolen bei starken Niederschlägen von Bedeutung. Abbildung 3.3 zeigt dies anhand der bodennahen Aktivitätskonzentrationen des Radonfolgeproduktes Blei-214 und der Niederschlagsmengen für einen Zeitraum von 4 Tagen im Juli 1995 an der Station Kehl. Wie man deutlich erkennen kann, ist die Konzentration dieses Radonfolgeprodukts wegen der Niederschläge am 22. Juli deutlich niedriger.

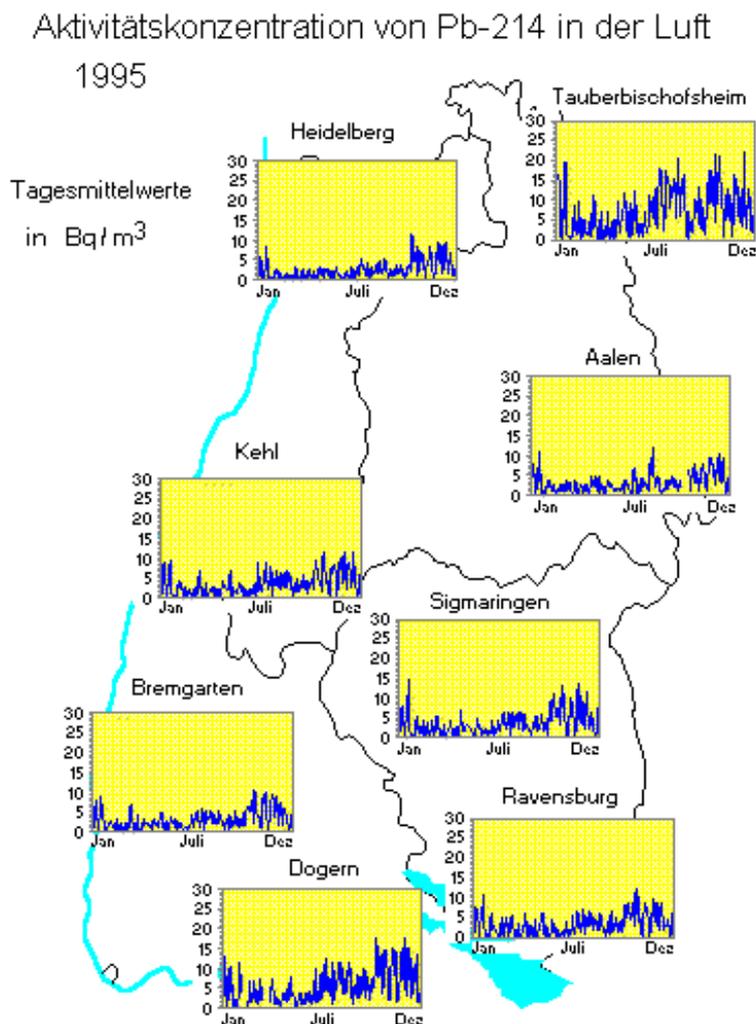


Abbildung 3.4

Wie in Abbildung 3.4 zu erkennen ist, lagen 1995 die Tagesmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des Blei-214 an den acht Radioaerosolmeßstationen des Landes unter 25 Bq/m³.

Neben den Radonfolgeprodukten Blei-214 und Wismut-214 werden auch die **Thoronfolgeprodukte** Blei-212, Wismut-212 und Thallium-208 nachgewiesen. Außerdem ist auf den Aerosolfiltern auch das natürliche Radionuklid **Beryllium-7** zu finden. Es besitzt eine Halbwertszeit von 53,3 Tagen. Beryllium-7 entsteht durch Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit Luftmolekülen der Erdatmosphäre. Etwa 60 % des Beryllium-7 befinden sich in der Stratosphäre. Es ist aber auch zu 8 % in der Biosphäre und zu 20 % im Meer zu finden. Die Konzentration an Beryllium-7 in der bodennahen Luft unterliegt saisonalen Schwankungen von ca. 2 bis 5 mBq/m³ in unseren Breiten. Die dadurch bedingte jährliche Strahlendosis der Lunge beträgt für Erwachsene nur ungefähr 0,02 µSv/Jahr. Neben diesen natürlichen Beiträgen ist die durch künstliche Radionuklide in der Luft verursachte Strahlenbelastung verschwindend gering und liegt weit unter 1% der Gesamtbelastung.

Gamma-Spektrum einer Radioaerosol-Meßstation

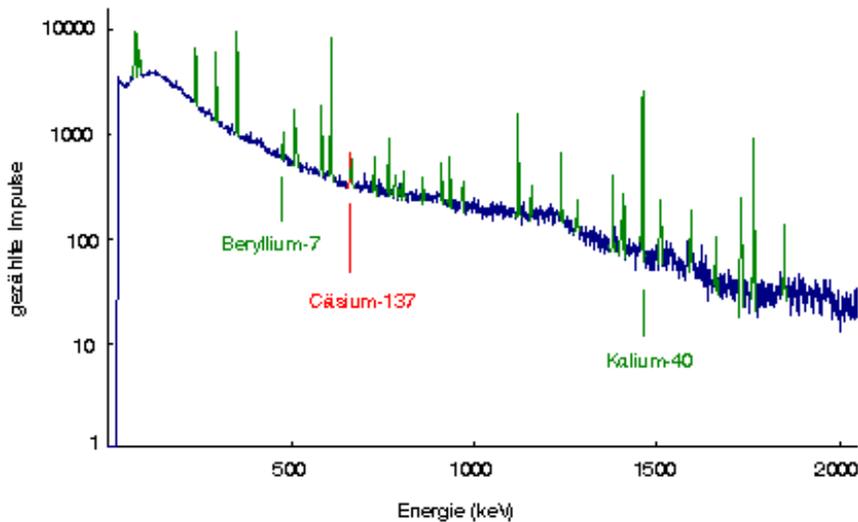


Abbildung 3.5

In Abbildung 3.5 ist ein typisches Aerosol-Gammaspektrum einer baden-württembergischen Radioaerosolmeßstation dargestellt. Als einziges künstliches Radionuklid ist **Cäsium-137** aus dem Tschernobyl-Fallout zu erkennen. Alle nicht beschrifteten Gamma-Linien stammen von den natürlichen Radon- und Thoronfolgeprodukten, welche als Aerosole in der Atemluft vorkommen. Auch Beryllium-7 und Kalium-40 sind natürliche Nuklide, wobei letzteres überall vorhanden ist und somit als Teil des Nulleffektes in das Probenahmesystem einstrahlt.

An den Meßstellen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg konnte 1995 keine einzige Überschreitung der sehr niedrigen meßtechnischen Erkennungsgrenze von etwa $5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ für Cäsium-137 nachgewiesen werden. Auch an den Radioaerosolmeßstationen des Landes wurde Cäsium-137 nur in einigen wenigen Einzelfällen in der Luft gefunden. Diese geringen Luftaktivitäten resultieren aus einem erneuten Eintrag von bereits zu einem früheren Zeitpunkt auf dem Boden abgelagertem Cäsium in die Atmosphäre durch Staubaufwirbelungen insbesondere in Trockenzeiten. Die Konzentrationen heute liegen um den Faktor 100.000 niedriger als in den ersten Tagen nach dem Unfall von Tschernobyl.

Krypton-85 in der Luft bei Freiburg 1976-1995

Monatsmittelwerte der Aktivitätskonzentration

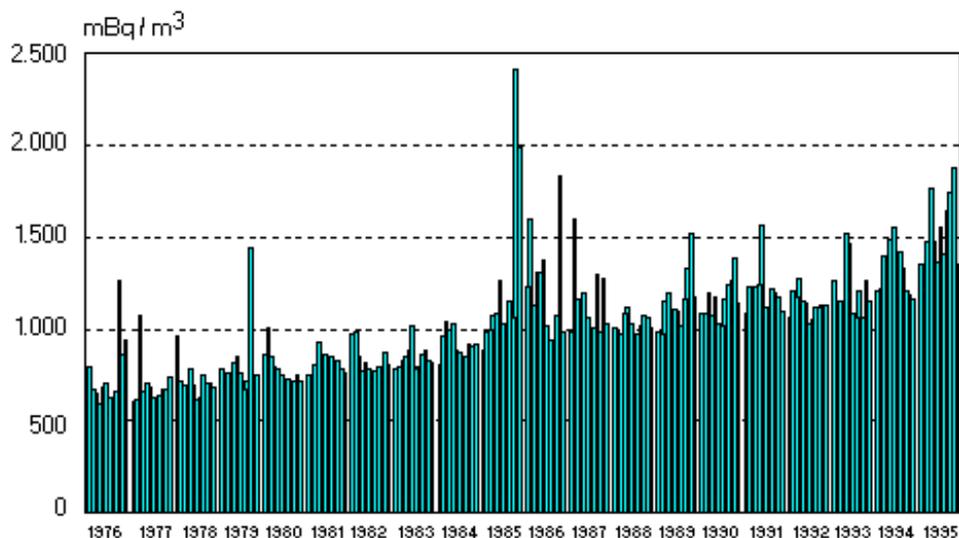


Abbildung 3.6

In der Luft kommen an künstlichen Radionukliden außerdem noch die Edelgase **Krypton-85 und Xenon-133** vor, die aus der technischen Nutzung der Kernenergie resultieren. Vor allem bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente werden diese Spaltprodukte aus dem Brennstoff freigesetzt. Das langlebige Krypton-85 (Halbwertszeit 10,8 Jahre) kann sich dabei global verteilen und in der Atmosphäre anreichern, das kurzlebige Xenon-133 (Halbwertszeit 5,3 Tage) bleibt dagegen regional begrenzt. Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Xenon-133 von etwa 10 mBq/m³ haben sich seit 1980 nicht verändert. Das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität erhöhte sich dagegen in unseren Breitengraden in den vergangenen 20 Jahren von 0,6 auf 1,5 Bq/m³ (Abbildung 3.6). Dies entspricht dem globalen Trend und zeigt, daß die Freisetzungsrates für Krypton-85 größer ist als seine radioaktive Zerfallsrate. Die Stagnation Anfang der 90er Jahre war möglicherweise auf einen Rückgang der militärischen Wiederaufarbeitung zurückzuführen. Der erneute Anstieg der Kr-85-Aktivität, der auch an anderen europäischen Meßstationen registriert wurde, kann zumindest teilweise durch die erhöhten Emissionen aus der französischen Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague erklärt werden. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des durchschnittlichen jährlichen Anstiegs ausmachen können, sind auf europäische Quellen (insbesondere die Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague in Frankreich und Sellafield in Großbritannien, sowie früher auch in Karlsruhe) zurückzuführen.

Radiologisch stellen weder Krypton-85 noch Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen ein Problem dar.

Niederschlag

An 13 über das Land verteilten Meßstellen werden monatlich Regenwasserproben gesammelt und von der Landesanstalt für Umweltschutz auf **Tritium** untersucht. Die Werte liegen alle unter der Nachweisgrenze von ca. 8 Bq/l.

Tritium im Niederschlag Stuttgart 1961 - 1993

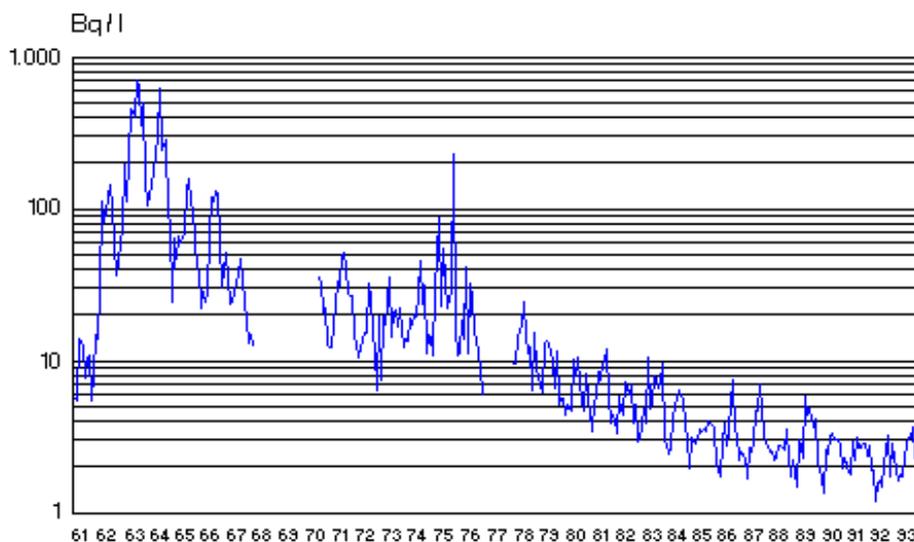
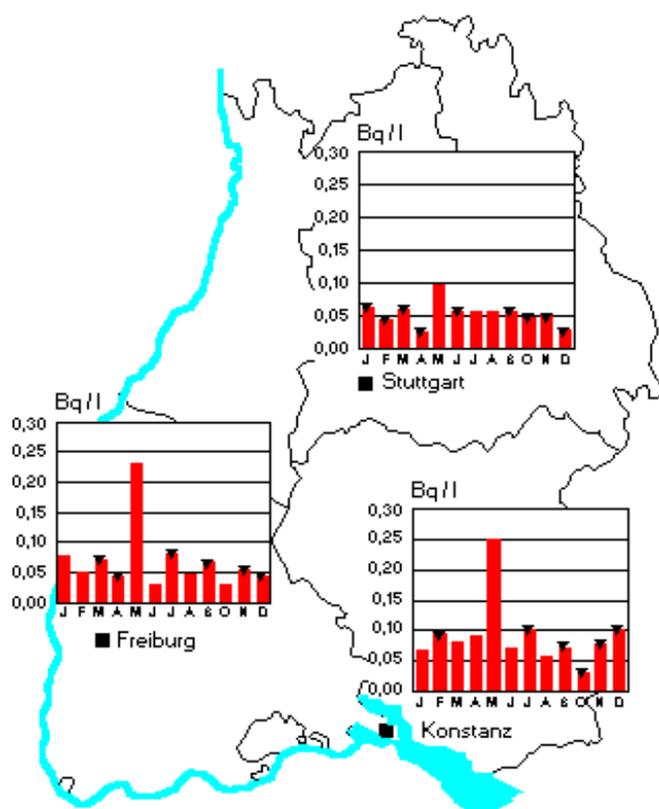


Abbildung 3.7

Einen Überblick über die zeitliche Entwicklung der Tritium-Konzentration im Niederschlag seit 1961 gibt die Abbildung 3.7. Diese Messungen werden seit Beginn der 60er Jahre im Rahmen eines globalen Meßnetzes zur Überwachung der Niederschläge (Global Network of Isotopes in Precipitation) durchgeführt. Dieses Programm wurde Ende der 50er Jahre wegen der ständig steigenden Radioaktivität in Luft und Niederschlägen aufgrund der atmosphärischen Kernwaffentests ins Leben gerufen. Es handelte sich um eine gemeinsame Initiative der Welt-Meteorologie-Organisation WMO und der Internationalen Atomenergie-Agentur IAEA. Man erkennt in der Abbildung, daß die Tritium-Aktivität im Niederschlag seit dem Kernwaffen Teststopp-Abkommen 1963 stark zurückgegangen ist. Einen Spitzenwert gab es nur noch einmal Mitte der 70er Jahre, als die Volksrepublik China, die das Teststopp-Abkommen nicht unterzeichnet hat, weitere atmosphärische Kernwaffentests durchführte.

Cäsium-137 im Niederschlag 1995



▼ Der dargestellte Balken entspricht der Nachweisgrenze

Abbildung 3.8

Darüber hinaus findet man in Niederschlagsproben auch **Cäsium-137**, das zusammen mit dem Staub zu Beginn eines Regens ausgewaschen wird (Abbildung 3.8). So entstehen bei geringen Niederschlagsmengen höhere Aktivitätskonzentrationen, die bei einem länger anhaltenden Regen wieder verdünnt werden. Durch diesen Sekundäreintrag wurden im Jahr 1995, z. B. in Konstanz maximal 1,1 Bq/m² Cäsium-137, in Stuttgart maximal 0,6 Bq/m² und in Freiburg im Breisgau maximal 0,8 Bq/m² an den Standorten der Meßstationen abgelagert.

Mit Niederschlägen abgelagerte Gesamt-Beta-Aktivität Jahreseinträge in Stuttgart 1958-1995

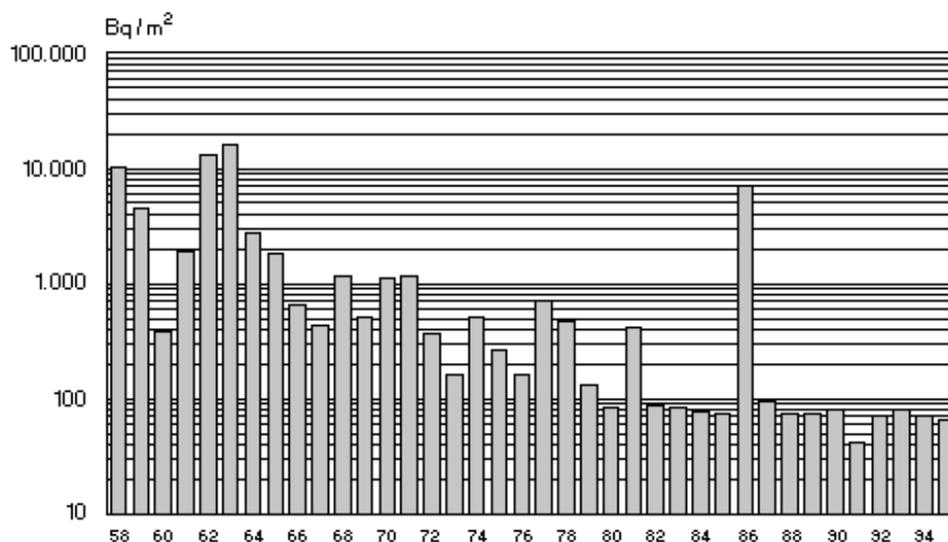


Abbildung 3.9

Einen langjährigen Überblick über den Eintrag von Radionukliden in den Boden zeigt Abbildung 3.9. Hier ist für Stuttgart die dem Boden zugeführte langlebige Aktivität durch alle Beta-Strahler in Becquerel pro Quadratmeter dargestellt. Damit werden fast alle künstlichen Radionuklide außer den Alpha-Strahlern wie z.B. Plutonium erfaßt. Die höchsten Werte waren Anfang der 60er Jahre mit etwa 16000 Bq/m² durch die oberirdischen Kernwaffenexplosionen zu verzeichnen. Das Ereignis von Tschernobyl brachte kurzzeitig ebenfalls hohe Werte hervor. Mittlerweile ist der Wert mit 66 Bq/m² auf den niedrigsten Stand seit Beginn der Messungen Ende der 50er Jahre abgesunken. Lediglich im Jahr 1991, das einen sehr trockenen Sommer mit ungewöhnlich geringen Niederschlägen hatte, war der Wert noch kleiner.

Wasser

Wasser sichert die Lebensgrundlagen von Menschen, Tieren und Pflanzen. Es löst Salze, transportiert Nährstoffe und stabilisiert das Erdklima. Damit ist das Wasser eines der wichtigsten Umweltmedien, weshalb ihm auch ein besonderes Augenmerk hinsichtlich seines Gehaltes an radioaktiven Stoffen gilt.

Eine wichtige Rolle spielt hierbei das in allen Wasserproben enthaltene Tritium. Sein Gehalt in oberflächennahen Wässern, die nicht durch aktuelle anthropogene Tätigkeit beeinflusst sind, liegt heute bei etwa 2 bis 5 Bq/l. Ohne menschliches Zutun läge dieser Wert bei deutlich unter 1 Bq/l. Die beobachteten erhöhten Tritiumwerte in der Umwelt sind nach wie vor überwiegend eine Folge der oberirdischen Kernwaffenversuche der frühen 60er Jahre. Durch radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit etwa 12 Jahre), zunehmende Auswaschung aus der Atmosphäre sowie Verdünnung mit dem vorhandenen Wasser ist die Tritiumbelastung in der Umwelt in den letzten 30 Jahren deutlich zurückgegangen.

Im Jahre 1995 wurden die oberirdischen Fließgewässer, sowie Trink- und Grundwässer auf ihre radioaktiven Inhaltsstoffe untersucht.

Oberflächenwasser

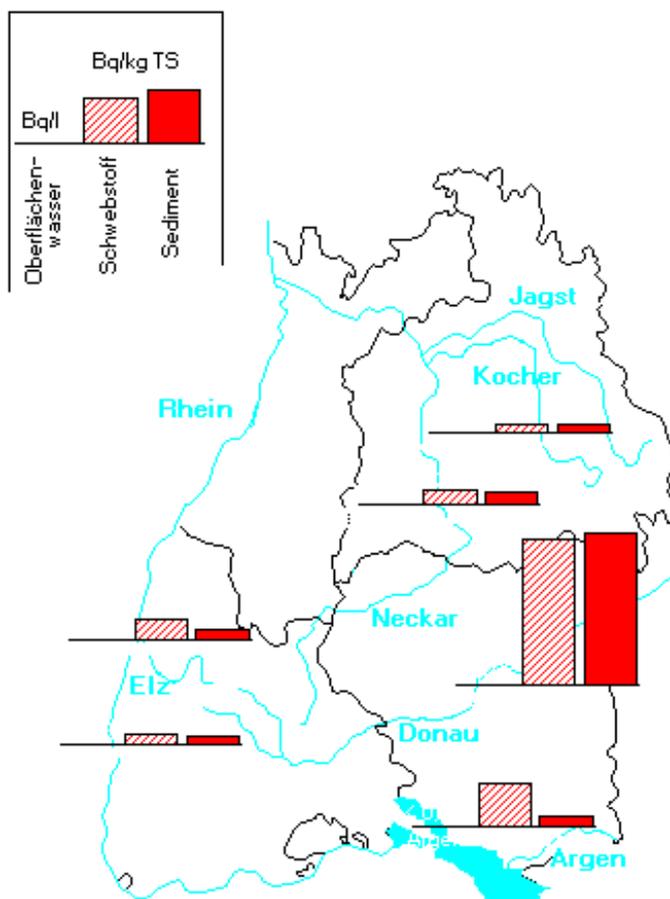


Abbildung 3.10

Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten mit wenigen Ausnahmen (Strontium-90 mit typisch 0,005 Bq/l in Quartalsproben) im Wasser selbst keine gelösten künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden (siehe Abbildung 3.10). Allerdings transportieren Bäche und Flüsse auch mehr oder weniger feine Schwebstoffe, an denen radioaktive Stoffe angelagert werden können und die über Sedimentationsprozesse auf dem Gewässerboden als Sediment abgelagert werden.

Sedimente, Schwebstoffe

Für viele Kleinlebewesen und Fische sind die im Wasser enthaltenen Schwebstoffe ein wichtiger Nahrungsbestandteil und auch Wasserpflanzen ziehen hieraus ihre Nährstoffe. Daher wurden für 10 baden-württembergische Fließgewässer, sowie für den Rhein als Bundeswasserstraße, neben dem Wasser selbst auch Sedimente und bei 6 Flüssen zusätzlich Schwebstoffe untersucht (Abbildung 3.10). Dabei zeigt sich, daß in der Regel die Schwebstoffe eine höhere spezifische Aktivität aufweisen als das am selben Ort entnommene Sediment. Dies deutet darauf hin, daß auch heute noch durch Erosionsvorgänge höher belastetes Material aus den oberen Bodenschichten in die Gewässer gelangt und zu deren Radioaktivitätsfracht beiträgt. So ist es auch nicht verwunderlich, daß z. B. die höchsten Werte für Cäsium in der Donau gefunden werden, da diese ein Gebiet durchfließt, in dem höhere Belastungen der Böden auf Grund des Unfalls in Tschernobyl vorhanden sind.

Cäsium-137 im Sediment 1984 - 1995

in Bq/kg TS

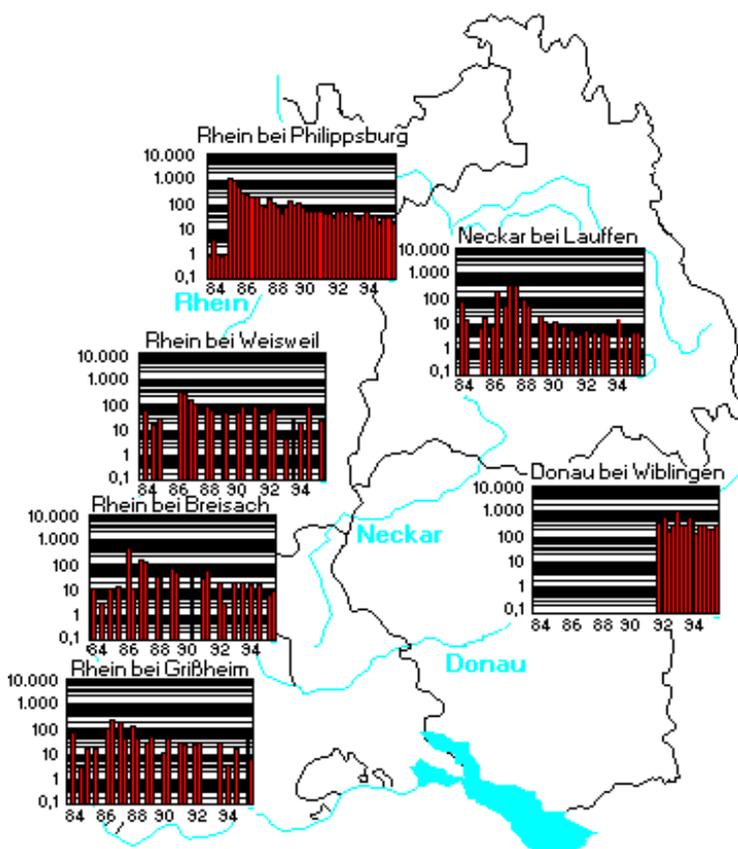


Abbildung 3.11

Abbildung 3.11 zeigt die zeitliche Entwicklung der Cäsium-137-Konzentration im Sediment von Flüssen für einige Probenahmestellen aus der Umgebungsüberwachung. Die abgebildete Zeitreihe reicht bis in die Zeit vor dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 zurück. Die Proben aus der Donau stammen aus dem IMIS-Programm, das erst nach Tschernobyl geschaffen wurde. Man sieht bei allen Probenahmeorten 1986 einen deutlichen Anstieg der Cäsium-137-Konzentration gegenüber 1985 um den Faktor 10 bis 1000 und einen langsamen Abfall in den Folgejahren. Heute liegen die Konzentrationen zumeist wieder in derselben Höhe wie vor dem Unfall. Die Sedimentproben von Philippsburg werden mit einem Absetzkasten als Quartalsmischproben gesammelt. Es handelt sich hierbei um sehr feinkörniges Material, das also eine große Oberfläche aufweist. An diese kann sich daher mehr Cäsium-137 anlagern, so daß bei diesen Proben die Aktivität 1986 deutlich höher lag als bei den anderen Proben, die als Sedimentkerne ausgestochen werden und daher auch grobkörnigeres Material enthalten.

Die Cäsium-137-Konzentration im Sediment stammt - genau wie beim Boden - aus zwei Quellen. Dies zeigt sehr anschaulich die Tiefenverteilung der Konzentration in einem Sedimentkern aus dem Bodensee. Der Cäsium-Eintrag aus dem Kernwaffen-Fallout der 50er und frühen 60er-Jahre befindet sich heute in einer Tiefe von etwa 10 cm. Das Cäsium aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl liegt hingegen erst 2 - 3 cm tief. Hierdurch ist es auch sehr gut möglich, diese beiden Anteile voneinander zu trennen.

Horizontalverteilung von Kernwaffentest-Cäsium-137 im Sediment des Bodensee-Obersees 1993

zerfallskorrigiert auf 1963

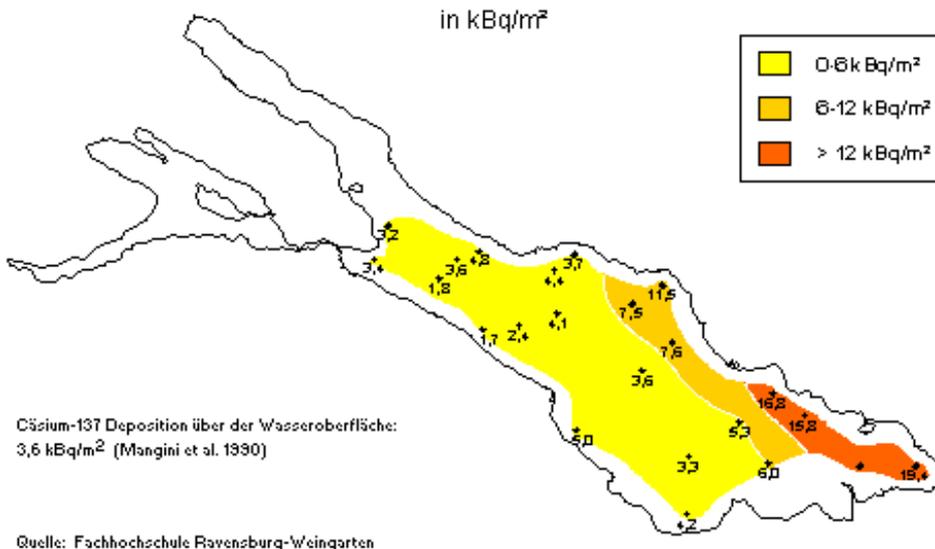


Abbildung 3.13

Horizontalverteilung von Tschernobyl-Cäsium-137 im Sediment des Bodensee-Obersees 1993

zerfallskorrigiert auf 1.5.1986

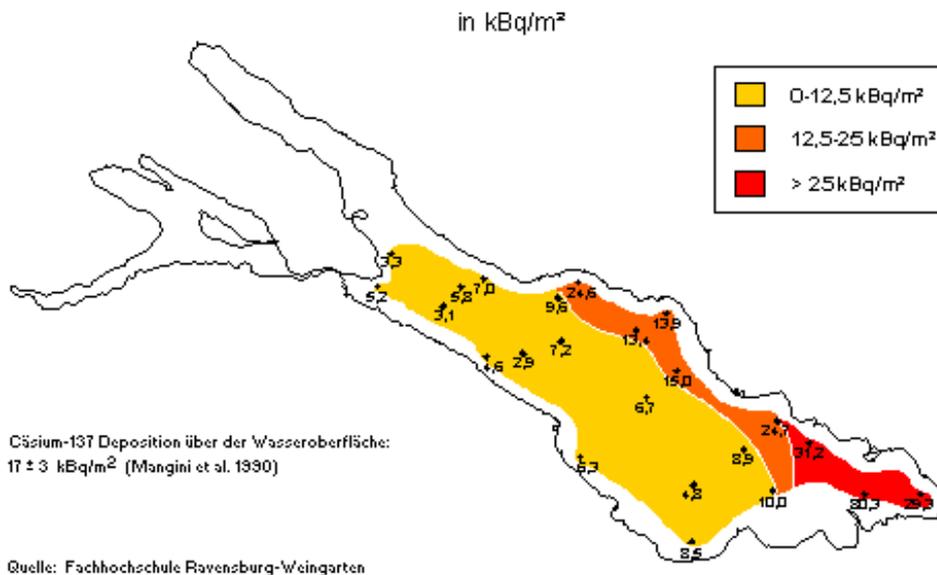


Abbildung 3.14

Den unterschiedlichen Eintrag von Cäsium-137 in den Bodensee durch den Kernwaffen-Fallout und durch Tschernobyl zeigen die Abbildungen 3.13 und 3.14.

Trink- und Grundwasser

In den untersuchten Trink- und Grundwässern konnten neben gelegentlichen Spuren von Strontium-90 (max. 0,006 Bq/l) keine künstlichen gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen liegen durchweg unterhalb des Gehalts an natürlichen Radionukliden. So weist das Trinkwasser in Deutschland Radium-226-Konzentrationen zwischen 0,002 und 0,1 Bq/l und Kalium-40-Konzentrationen um 0,2 Bq/l auf. Die entsprechenden

Werte liegen beim Grundwasser sowohl für Radium-226 als auch Kalium-40 zwischen 0,004 und 0,4 Bq/l.

Boden

Der Boden gehört neben dem Wasser und der Luft zu den natürlichen Lebensgrundlagen. Er ist Bestandteil der ursprünglichen Landschaft und dient gleichzeitig der Landwirtschaft als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion. Nahezu alle radioaktiven Stoffe, die heute bei den Untersuchungen von Pflanzen, Tieren und Menschen gefunden werden, waren zuvor in unseren Böden vorhanden. Überwiegend sind dies die bekannten natürlichen radioaktiven Stoffe.

Von den künstlichen Radionukliden, die heute noch nachgewiesen werden können, stammt der überwiegende Teil des Strontium-90 und ein Teil des Cäsium-137 aus dem Kernwaffen-Fallout. Insgesamt sind hierdurch seither im Mittel 5000 Bq/m² Cäsium-137 und 3000 Bq/m² Strontium-90 in die Böden Baden-Württembergs gelangt. Das übrige Cäsium-137 und das gesamte Cäsium-134 sind dagegen auf den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 zurückzuführen.

Das Verhältnis der durch Tschernobyl bei uns abgelagerten Radionuklide Cäsium-137 zu Cäsium-134 zu Strontium-90 betrug zum Zeitpunkt der Ablagerung kurz nach dem Unfall 1 : 0,53 : 0,01. Die auf dem Boden abgelagerte Aktivität war Mitte 1995 durch den radioaktiven Zerfall für Cäsium-137 auf 81 %, für Cäsium-134 auf 4,6 % und für Strontium-90 auf 80 % des jeweiligen Ausgangswerts zurückgegangen.

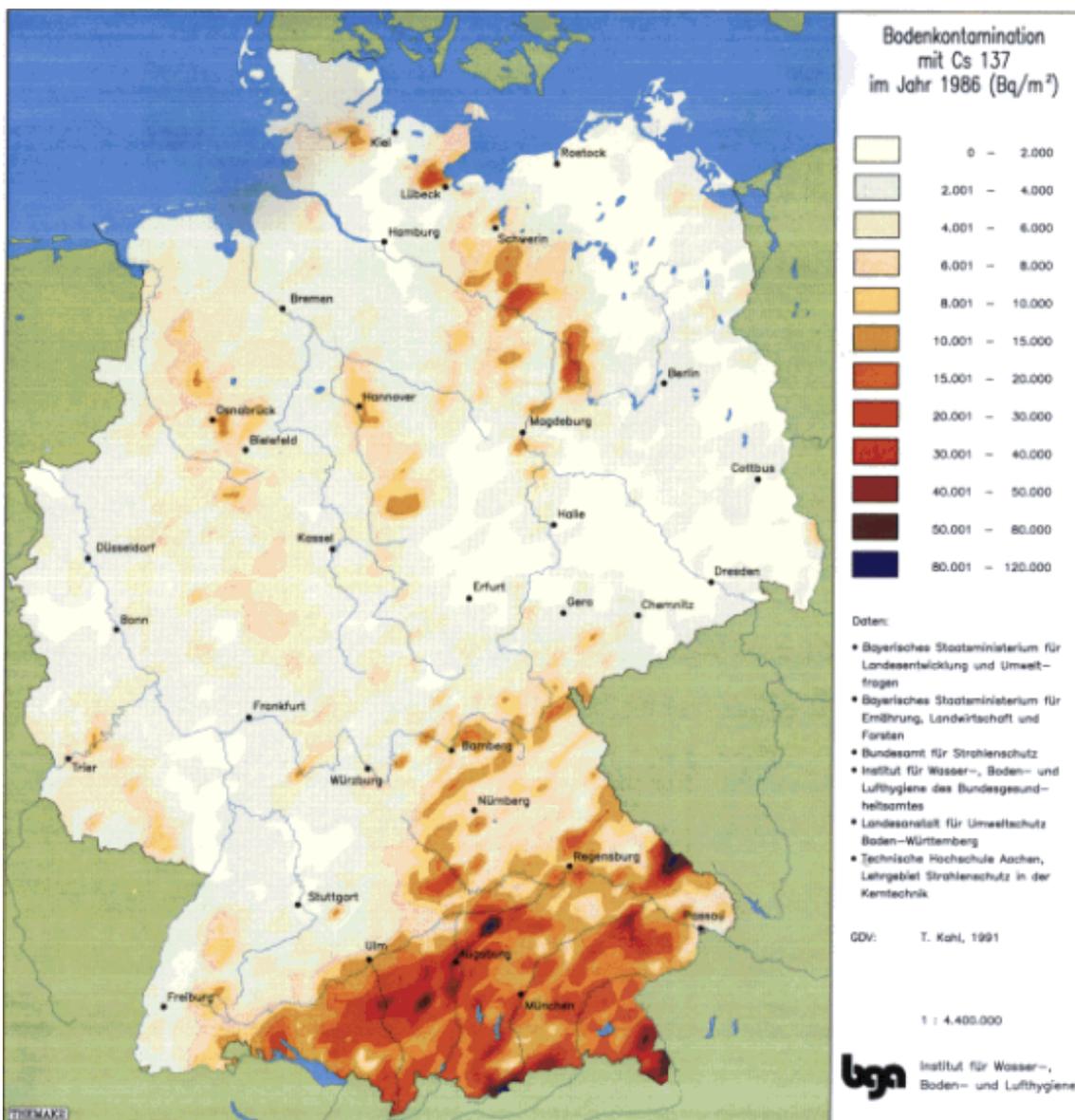


Abbildung 3.15

Als Folge des russischen Reaktorunfalls wurden 1986 bereits umfangreiche Untersuchungen der Bodenkontaminationen durchgeführt. Es zeigte sich, daß je nach den damals herrschenden Wetterbedingungen die verschiedenen Gebiete Deutschlands unterschiedlich stark betroffen waren (Abbildung 3.15). Insbesondere in Bayern und in den südlichen und südöstlichen Regionen Baden-Württembergs weisen noch heute die Böden im Vergleich zu den anderen Bundesländern höhere Cäsiumkonzentrationen auf.

Cäsium-137 in Böden

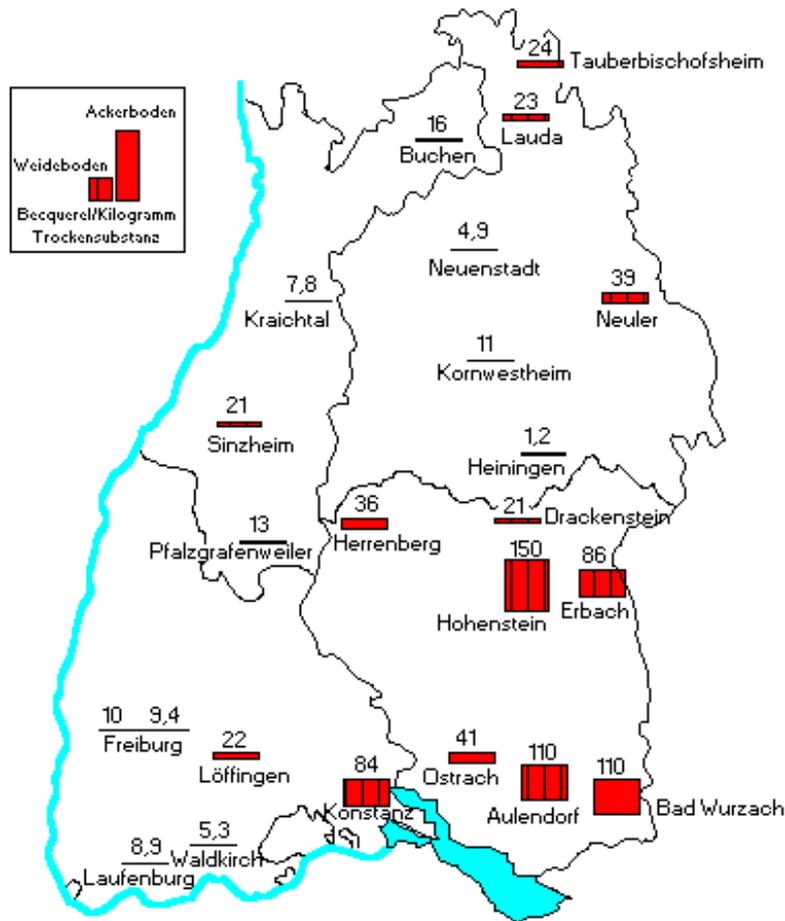


Abbildung 3.16

Auch innerhalb von Baden-Württemberg streuen die Cäsium-Werte stark. Einen Überblick über die aktuelle Situation im Jahr 1995 gibt die Abbildung 3.16, in der die Aktivitätskonzentrationen für Weide- und Ackerböden dargestellt sind.

Cäsium-137 im Boden eines Fichtenwaldes in Oberschwaben

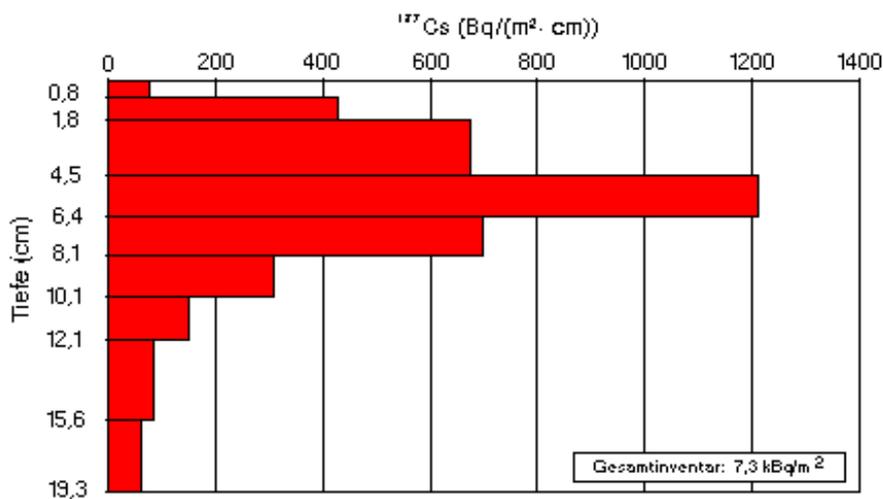


Abbildung 3.17

Das aus dem Unfall in Tschernobyl stammende Cäsium-137 befindet sich auch heute noch im wesentlichen in den oberen 10 cm, d. h. weiterhin im Wurzelbereich der Pflanzen. Abbildung 3.17 zeigt die Tiefenverteilung für ein Bodenprofil aus dem Altdorfer Wald, einem Fichtenwald in Oberschwaben. Das Maximum der Cäsium-137-Verteilung befindet sich hier in etwa 5 cm Tiefe. Aufgrund des sehr hohen Humusanteils in diesem Horizont ist das Cäsium gut für Waldpflanzen wie Farne, Brombeeren oder Pilze verfügbar (s.a. [Abbildung 3.23](#)).

Die unterschiedliche Bodenbelastung hat deutliche Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem. Die absolute Höhe der Kontaminationen ist dabei von vielen Faktoren abhängig, wie Bearbeitungszustand der Böden, unterschiedliche Nahrungsaufnahmen der Pflanzen, Möglichkeiten der Anreicherung und vieles mehr. Es gibt Hinweise darauf, daß Cäsium besonders fest an Tonmineralien angelagert wird und damit von den Pflanzen schlecht aufgenommen werden kann. Somit erklärt sich auch, daß Pilze, Wild und Fische aus moorigen Gebieten höher belastet sind, da dort Tonmineralien nur eine untergeordnete Rolle spielen und das Cäsium leichter in die Pflanzen übergehen kann.

Bewuchs

Laub und Nadeln

Cäsium-137 und Kalium-40 in Fichtennadeln

1989 - 1995

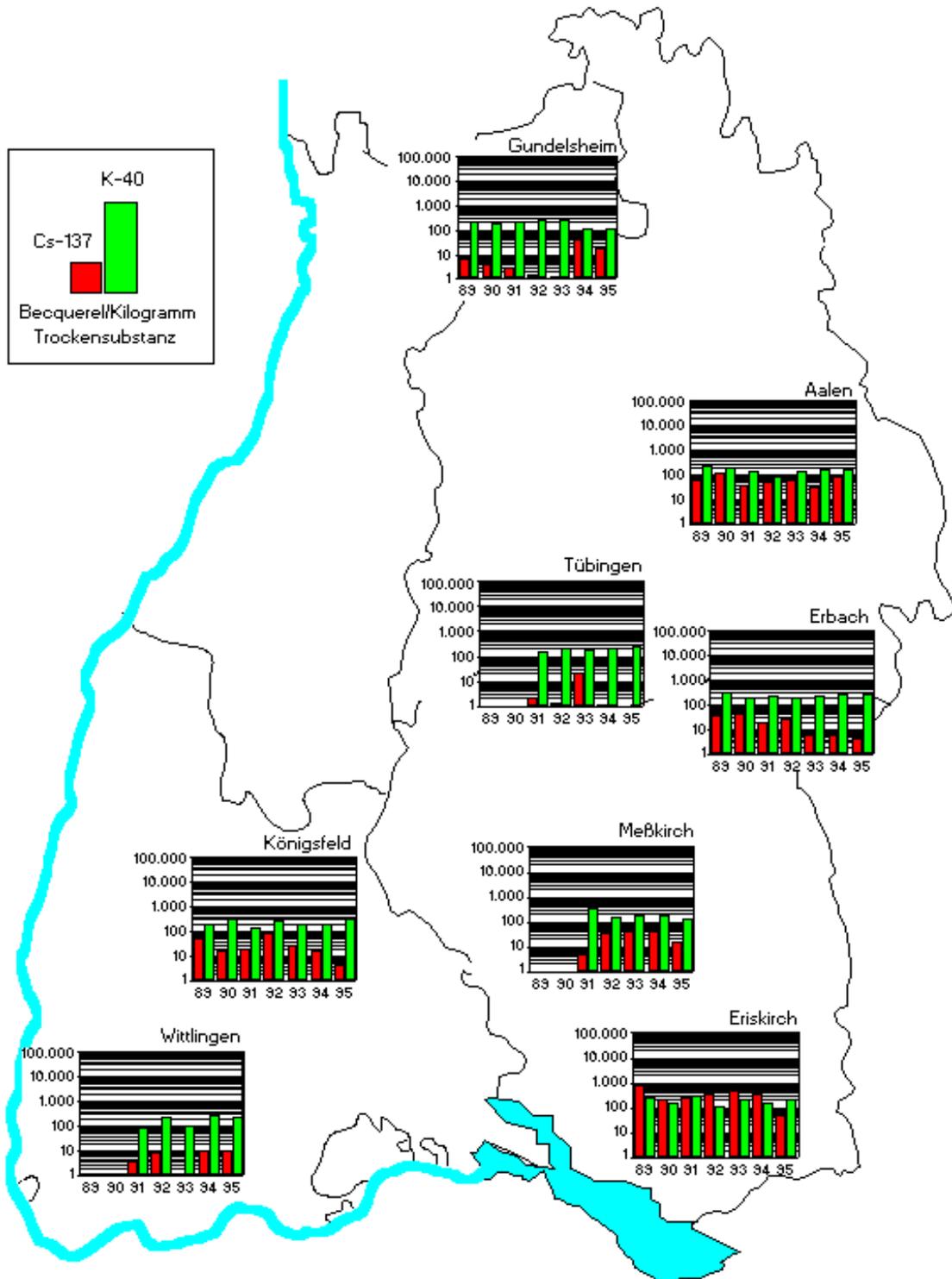


Abbildung 3.18

Cäsium-137 und Kalium-40 in Buchenlaub

1989 - 1995

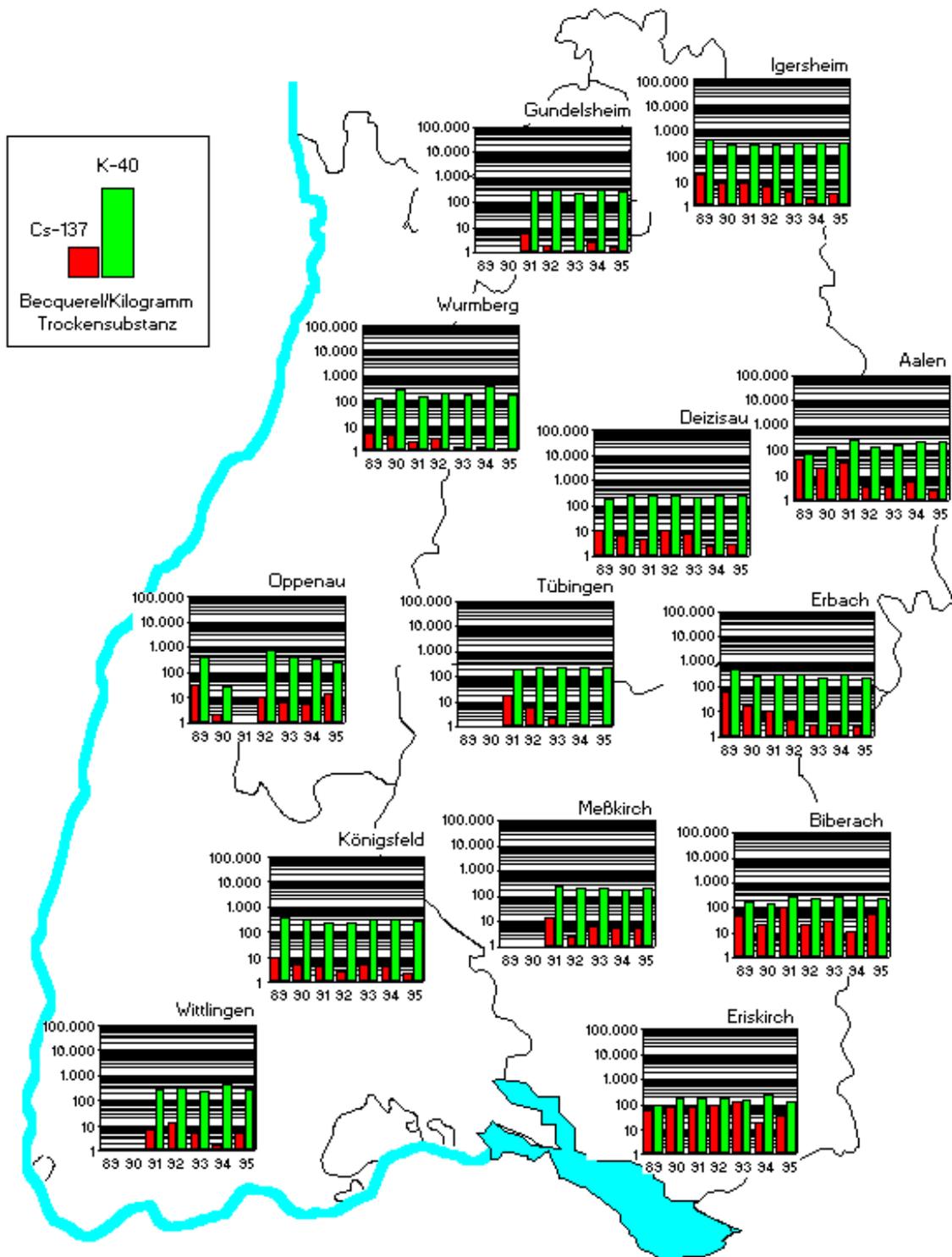


Abbildung 3.19

Um Aussagen über das Verhalten von Cäsium-137 in der Biosphäre zu gewinnen, werden in Baden-Württemberg einmal jährlich Fichtennadeln (jüngster Jahrgang) und Buchenblätter untersucht. Im Gegensatz zu den angebauten Lebensmitteln haben diese Pflanzen den großen Vorteil, jedes Jahr am selben Standort verfügbar zu sein und auf unbearbeiteten Böden zu wachsen. Nur so ist sichergestellt, daß bei der Betrachtung von Zeitreihen über mehrere Jahre menschlicher Einfluß weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Die Abbildungen 3.18 und 3.19 zeigen die zeitliche Entwicklung der Cäsium-137-Aktivität in diesen Indikatormedien seit Beginn des IMIS-Programmes. Als Vergleichswerte

sind ebenfalls die Werte des natürlichen Radionuklides Kalium-40 eingetragen, die in der Regel höher liegen als die gefundenen Cäsium-Werte.

Die Messungen zeigen das bekannte Bild, daß im Süden und Südosten des Landes die höheren Kontaminationen vorliegen. Ansonsten schwanken die Cäsium-137-Konzentrationen sehr stark, da sie von Witterungseinflüssen und pflanzenphysiologischen Effekten abhängen, die sehr starken Schwankungen unterliegen.

Cäsium-137 und Kalium-40 in Farnen

1995

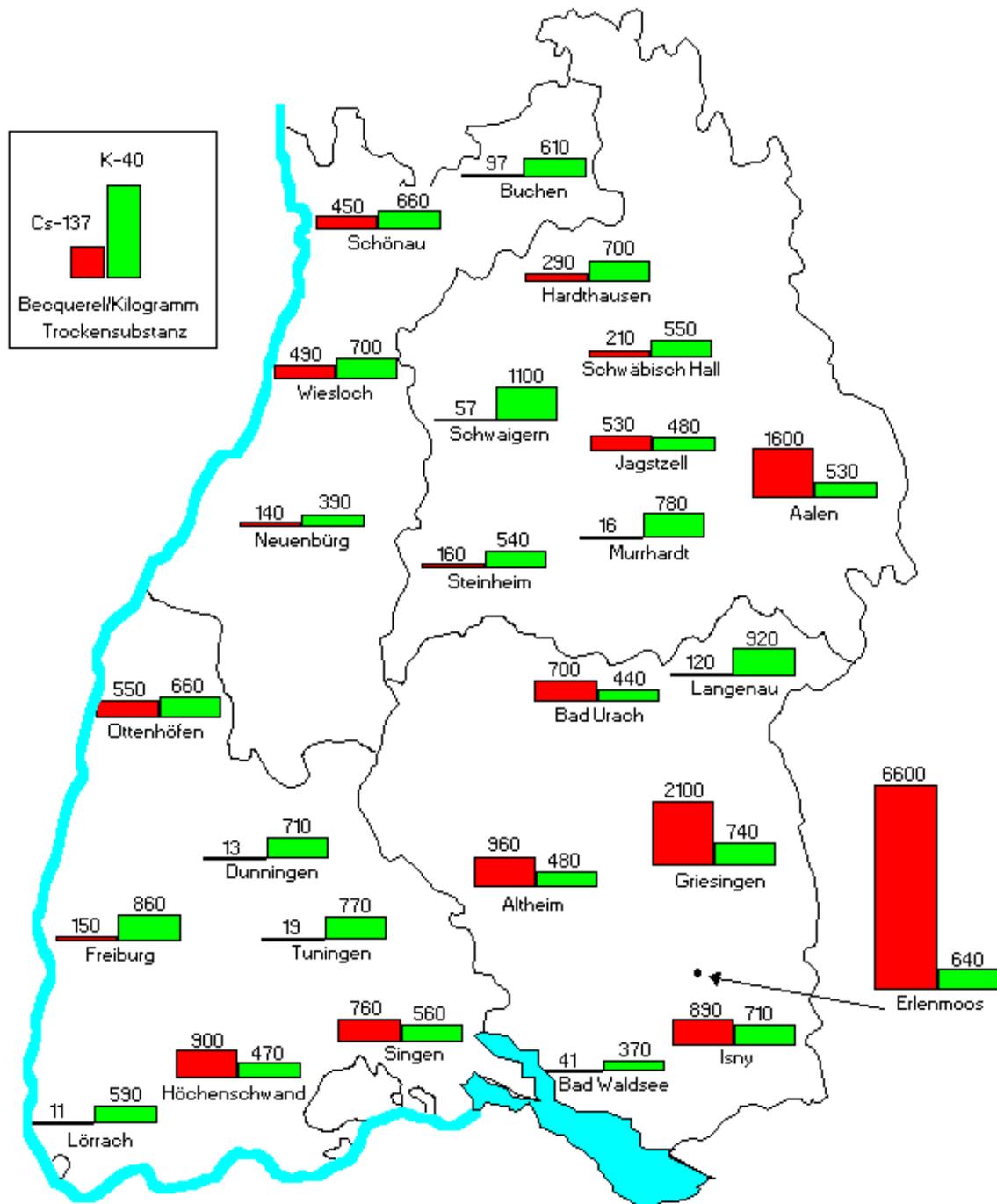


Abbildung 3.20

Cäsium-137 und Kalium-40 in Farnen 1987 - 1995

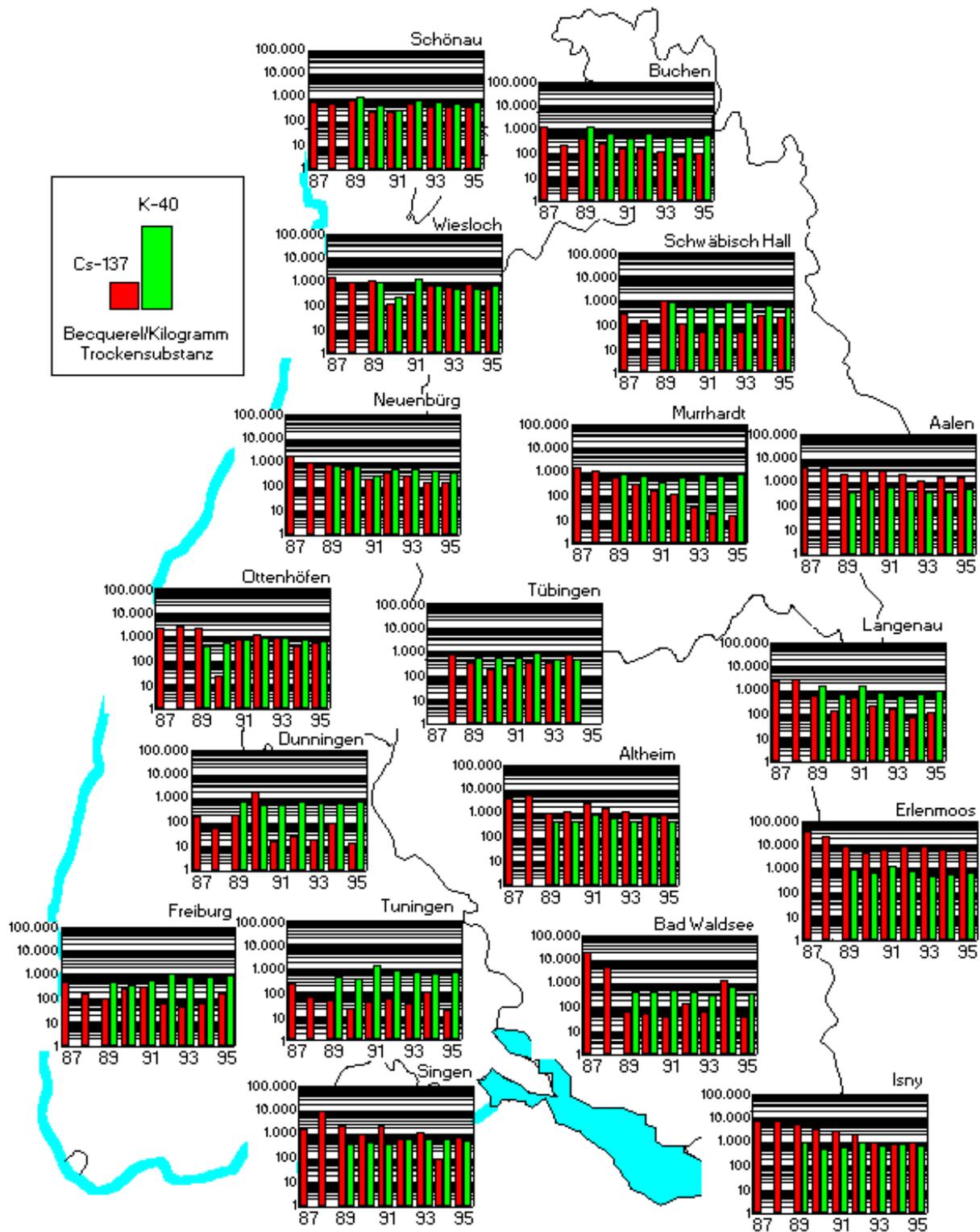


Abbildung 3.21

Farnkräuter nehmen die radioaktiven Cäsiumisotope besonders gut aus dem Boden auf und reichern sie in ihrem Gewebe an. Sie werden daher als Indikatorpflanzen für das Ausmaß der radioaktiven Bodenbelastung herangezogen. Außerdem dienen sie in einigen Gegenden dem Wild als Nahrung, wodurch dieses das radioaktive Cäsium in nicht

unerheblichen Mengen aufnehmen kann. Auch hier werden in den südlichen und südöstlichen Landesteilen besonders hohe Cäsiumbelastungen in den Farnen gefunden. Die im Jahre 1987 hauptsächlich an Adlerfarn gewonnenen Meßwerte bis maximal 37.000 Bq/kg Trockensubstanz werden allerdings heute bei weitem nicht mehr erreicht (Abbildung 3.20). In Abbildung 3.21 sind für 18 der 26 Probenahmeorte die zeitlichen Entwicklungen der Aktivitätskonzentrationen von 1988 bis 1995 gezeigt. Die Diagramme sind im selben Maßstab wie bei den Fichtennadeln und Buchenblättern (Abbildung 3.18, Abbildung 3.19) skaliert und erlauben daher einen direkten Vergleich der verschiedenen Pflanzen. Wie bei Fichtennadeln und Buchenlaub unterliegen die Aktivitätskonzentrationen auch bei Farnen aus pflanzenphysiologischen Gründen und aufgrund von Witterungseinflüssen starken Schwankungen von Jahr zu Jahr. Sie liegen aber wegen der besonderen Anreicherung deutlich höher. Der Gehalt an natürlichem Kalium-40 in Farnpflanzen liegt in der Regel im gesamten Land bei Werten um 500 ± 200 Bq/kg Trockensubstanz. An einigen Orten werden jedoch auch Werte von über 1.000 Bq/kg Trockensubstanz gefunden.

Cäsium-137 in Gras

1995

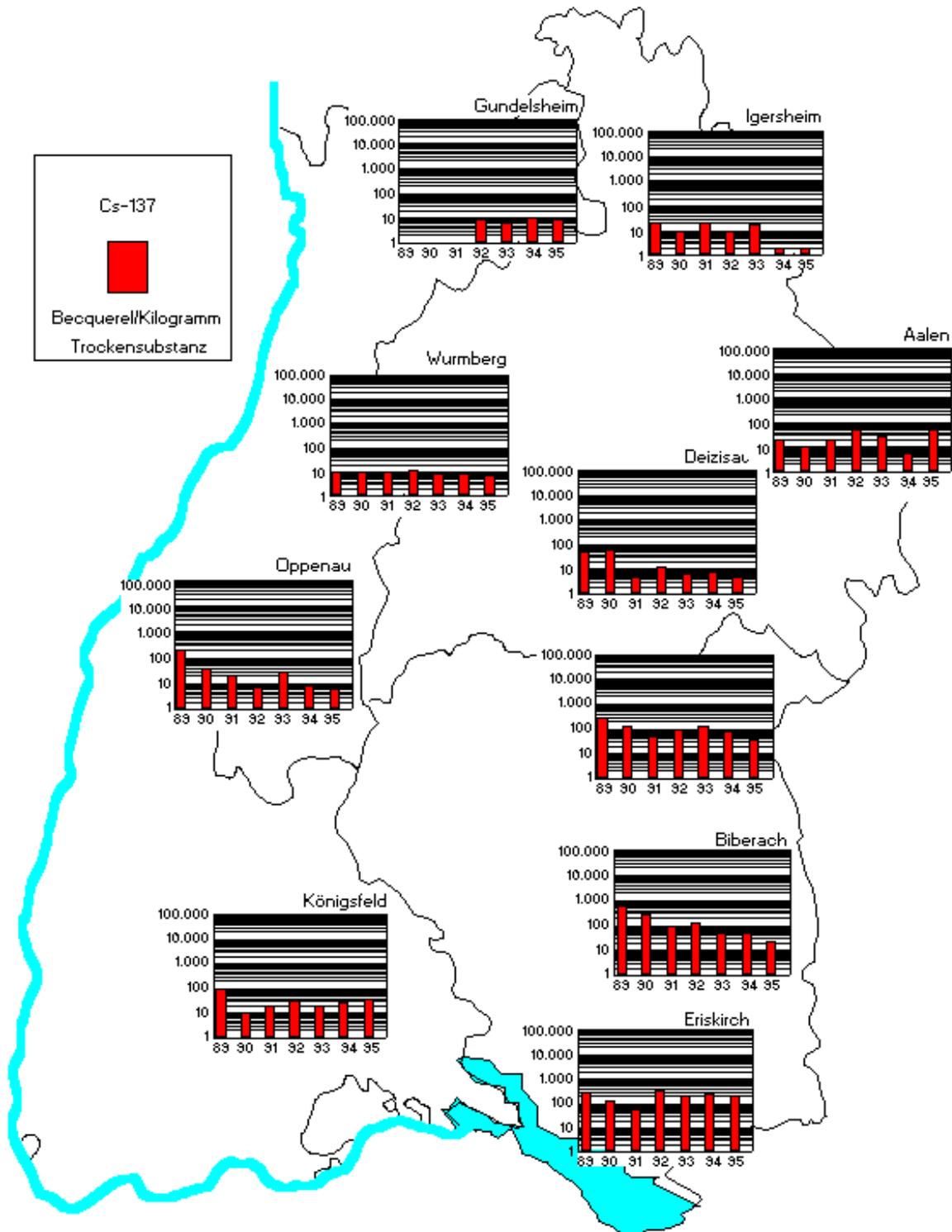


Abbildung 3.22

Gras stellt ein wichtiges Futtermittel dar. Es ist fast überall und zu jeder Jahreszeit verfügbar. Damit eignet es sich

besonders gut für die Beobachtung von radiologischen Einwirkungen auf die Umwelt. Gras ist auch eine wichtige Zwischenstation auf dem Weg der Radionuklide vom Boden in die Milch. Gras wird deshalb in Baden-Württemberg flächendeckend untersucht (Abbildung 3.22).

Die Meßergebnisse zeigen für Cäsium-137 das gleiche Bild, wie wir es schon bei den bisher behandelten Medien beobachten konnten. Dem stärker belasteten Gebiet im Süden und Südosten Baden-Württembergs stehen niedrigbelastete Gebiete in den übrigen Landesteilen gegenüber. Hier zeigt sich erneut, welche schwerwiegenden Auswirkungen das Auswaschen einer durch den Tschernobylunfall stark mit Radioaktivität belasteten Luftmasse durch Niederschlag im Vergleich zu einer trockenen Staubablagerung hatte.

Pflanzen in Oberschwaben

Wie unterschiedlich Cäsium-137 von verschiedenen Pflanzen angereichert wird, zeigen auch die Ergebnisse eines Forschungsprogramms der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten aus Oberschwaben - dem innerhalb von Baden-Württemberg durch den Reaktorunfall in Tschernobyl am stärksten betroffenen Gebiet.

Cäsium-137 in Pflanzen aus Oberschwaben

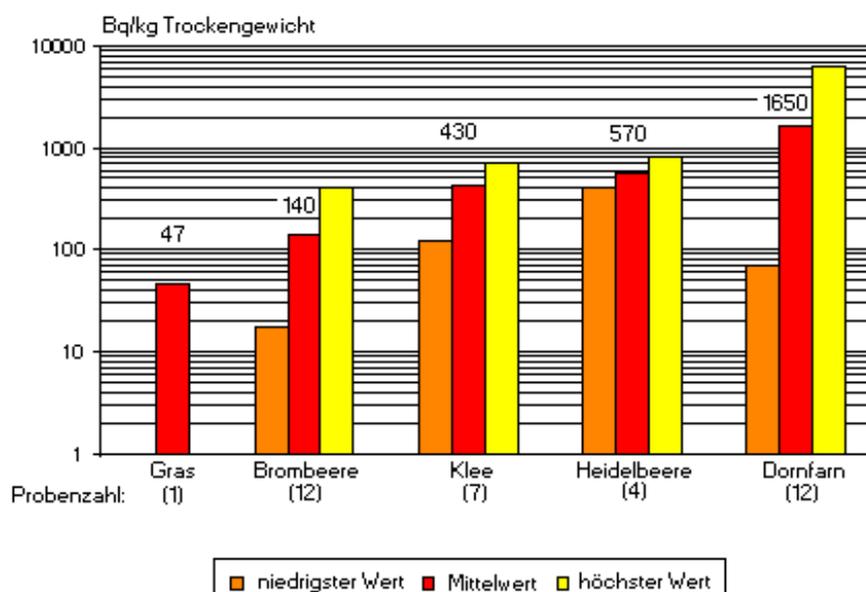


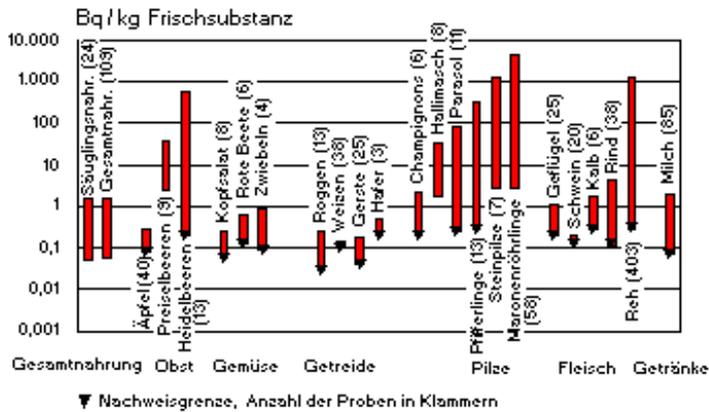
Abbildung 3.23

Abbildung 3.23 zeigt einen Vergleich von fünf Pflanzenarten am selben Standort im Altdorfer Wald. Am geringsten ist die Aufnahme von Cäsium durch Gras, die höchsten Cäsium-Werte findet man bei Farnen, insbesondere bei Dornfarn. Eine ähnliche Reihenfolge der spezifischen Aktivität der verschiedenen Pflanzen konnte bereits in früheren Jahren auch an anderen Standorten beobachtet werden.

Nahrungsmittel

Die Gesamtnahrung der Menschen setzt sich aus den unterschiedlichsten Lebensmitteln zusammen. Diese werden im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität auf ihre Gehalte an radioaktiven Stoffen untersucht. Hierfür wird eine Vielzahl an unterschiedlichen Nahrungsmitteln gemessen. In der Mehrzahl der Proben ist kein Cäsium-137 mehr nachweisbar. So wurden 1995 z. B. 102 Einzelproben von 30 Gemüsesorten untersucht, wobei nur in 5 Proben Cäsium gefunden wurde (maximal 0,92 Bq/kg Frischmasse bei Knoblauch). Wegen der aufwendigeren Untersuchungsmethoden werden weniger Proben auch auf Sr-90 untersucht. Aufgrund der sehr niedrigen Nachweisgrenze dieser Methode sind in allen Proben geringe Spuren von Strontium nachweisbar, die in der Regel deutlich unter 0,5 Bq/kg Feuchtmasse (FM) liegen. Der maximale gefundene Wert trat 1995 mit 1,1 Bq/kg (FM) bei einer Zwiebel auf.

Cäsium-137 in Nahrungsmitteln 1995



Strontium-90 in Nahrungsmitteln 1995

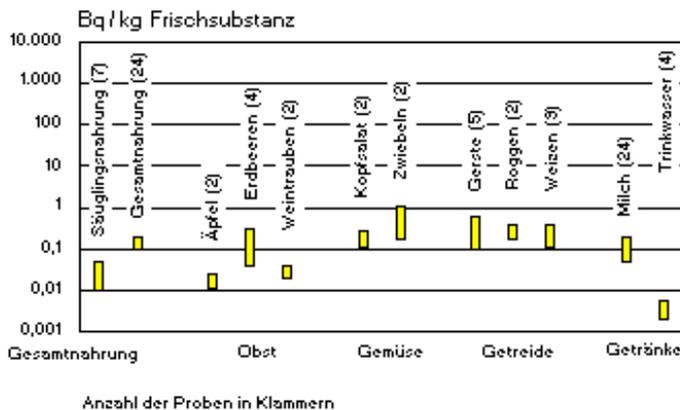


Abbildung 3.25

Einen Überblick über die Schwankungsbreite der Cäsium-137- und der Strontium-90-Konzentrationen in unseren Nahrungsmitteln gibt die Abbildung 3.25. Insgesamt zeigt sich, daß die Belastung mit künstlichen Radionukliden so gering ist, daß in der überwiegenden Zahl unserer landwirtschaftlichen Produkte die künstlichen Radionuklide mit den üblichen Routinemessungen nicht mehr nachweisbar sind.

Für Milch, pflanzliche Nahrungsmittel, Fleisch und Fisch sowie die Gesamtnahrung werden die Meßergebnisse im folgenden ausführlich diskutiert.

Milch

In Deutschland werden im Mittel von jeder Person etwa 70 Liter Milch im Jahr getrunken. Milch ist ein besonders hochwertiges Nahrungsmittel und enthält fast alle Nährstoffe, die vor allem Kinder für ihre Entwicklung brauchen. Nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurde daher die Milch in sehr kurzen Zeitabständen auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Als kritisches Radionuklid galt im Mai und Juni 1986 das Iod-131, da dieses Nuklid zur Schilddrüsenbelastung von Säuglingen und Kleinkindern maßgeblich beiträgt. Seither ist dieses Iod-131 aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von etwa 8 Tagen aus unserer Umwelt längst verschwunden. Statt dessen spielen nur noch die langlebigen Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 (aus Kernwaffen-Tests) eine Rolle. Cäsium-134 war 1995, neun Jahre nach dem Unfall in Tschernobyl, in keiner einzigen Milchprobe mehr nachweisbar.

Cäsium-137 in Milch aus Ravensburg 1986-1995

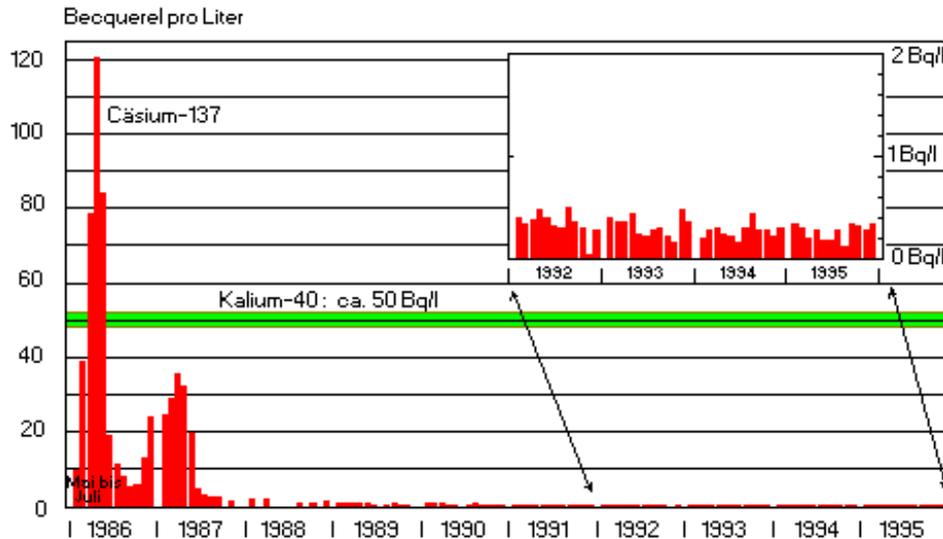
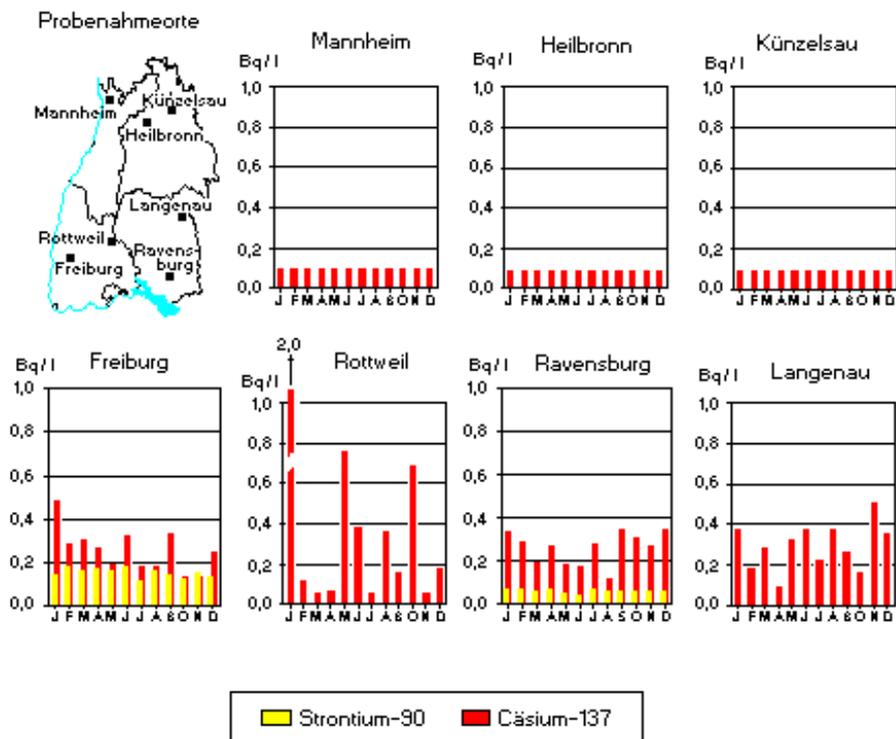


Abbildung 3.26

Über die Belastung der Milch mit Cäsium-137 seit dem Mai 1986 gibt die Abbildung 3.26 am Beispiel der Erzeugerregion Ravensburg Auskunft. Nachdem zunächst ein sehr starker Anstieg bis Ende Mai 1986 zu beobachten war, nahm die Aktivität in der Milch bis Oktober 1986 wieder stark ab. Danach war ein erneuter Anstieg im Winterhalbjahr 1986/1987 zu verzeichnen, der auf das Verfüttern von kontaminiertem Heu insbesondere aus der ersten Ernte von 1986 zurückzuführen ist. Seitdem ist es zu keinen erneuten saisonalen Schwankungen gekommen, und es deutet sich aus den Ergebnissen der letzten Jahre an, daß sich die Belastung der Milch aus der Erzeugerregion Ravensburg auch in den nächsten Jahren voraussichtlich unter 0,5 Becquerel Cäsium-137 je Liter einpendeln wird.

Künstliche Radionuklide in Milch 1995



Wegen der Bedeutung der Milch für die menschliche Ernährung wird außer in Ravensburg auch in weiteren sechs Erzeugerregionen des Landes monatlich die Milch untersucht. Es handelt sich dabei jeweils um eine Stichprobe der angelieferten Rohmilch, die sich aus den Lieferungen von 20 bis 30 unterschiedlichen Erzeugern zusammensetzt. Dadurch sind gewisse Schwankungen in den Meßergebnissen bedingt. An zwei Orten wird neben den üblichen gammaspektrometrischen Untersuchungen regelmäßig der Gehalt an Strontium-90 gemessen. Aus der Abbildung 3.27 sind die durch die unterschiedlichen Boden-/Gras-Kontaminationen bedingten regionalen Unterschiede erkennbar. In den südlichen Landesteilen lag die Cäsiumbelastung in den Milchproben 1995 zwischen 0,13 und 2,0 Becquerel, bei einem Mittelwert von 0,31 Bq/l je Liter. Dagegen wurde in Mannheim, Heilbronn und Künzelsau die Nachweisgrenze von 0,1 Bq/l in keinem Fall überschritten.

Der Gehalt der Milch an Strontium-90 aus der Region Freiburg ist im Mittel ungefähr doppelt so hoch wie der der Milch aus der Region Ravensburg. Da der Strontiumeintrag als Folge des Tschernobylunglücks nur sehr gering war, dominieren in der Milch heute noch die Folgen der oberirdischen Kernwaffenversuche. Die höheren Werte aus dem Freiburger Gebiet lassen sich durch die Tatsache erklären, daß im Schwarzwald die mittlere Jahresniederschlagsmenge 2 bis 3mal höher ist als im übrigen Baden-Württemberg. Folglich ist dort auch mehr Strontium im Laufe der Jahre durch den Kernwaffen-Fallout in den Boden gelangt und damit über den "Weide-Kuh-Milch-Pfad" in die Milch.

Eine Beurteilung der gefundenen Strontium- und Cäsiumkonzentrationen ist leicht möglich, wenn man diese mit dem natürlichen Gehalt an radioaktivem Kalium-40 vergleicht. Kalium-40 ist landesweit mit 40 - 50 Becquerel je Liter in der Milch vorhanden. Mit diesen Angaben kann man die effektiven Dosen ermitteln und einander gegenüberstellen. Hierzu wurde die Erzeugerregion Freiburg beispielhaft ausgewählt und angenommen, daß Erwachsene wie Kleinkinder täglich 1 Liter Milch trinken.

Radionuklid	Kleinkind (1 Jahr)	Erwachsener
Cäsium-137 (ca. 95 Bq)	ca. 1 µSv/a	ca. 1 µSv/a
Strontium-90 (ca. 58 Bq)	ca. 6 µSv/a	ca. 2 µSv/a
Kalium-40 (ca. 18 250 Bq)	ca. 700 µSv/a	ca. 90 µSv/a

Die Cäsium- und Strontiumwerte unterliegen von Jahr zu Jahr gewissen Schwankungen, wie dies zum Beispiel auch bei Farnen, Blättern oder Gras der Fall ist. Die Gründe liegen unter anderem in den Bodeneigenschaften und den schwankenden Witterungsverhältnissen. Es ist aber sehr deutlich zu sehen, daß der überwiegende Anteil der Strahlenbelastung durch Milchverzehr auf das natürliche Radionuklid Kalium-40 zurückzuführen ist.

Fleisch

Cäsium-137 in Fleisch 1995

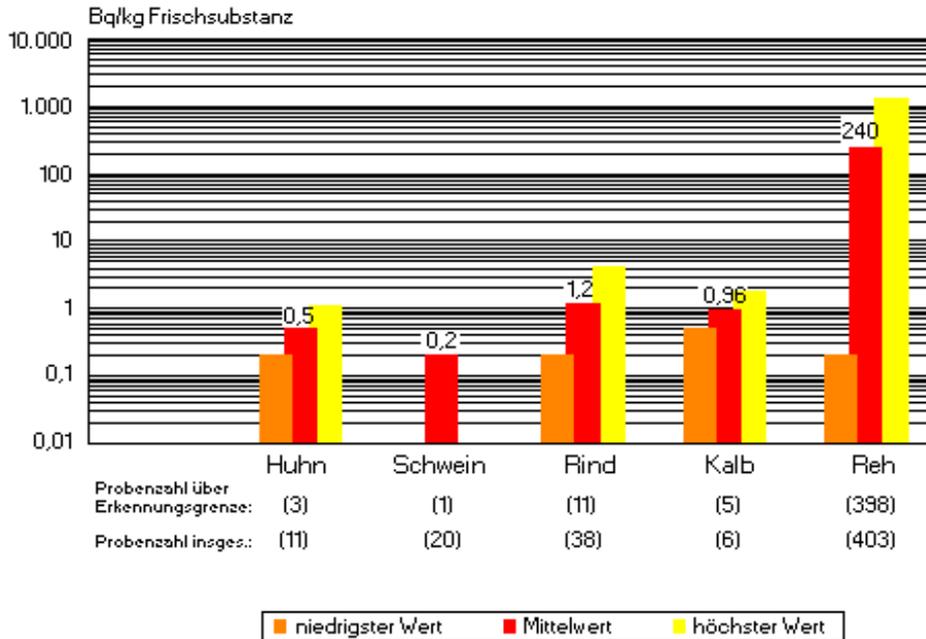


Abbildung 3.28

Fleisch aus der landwirtschaftlichen Produktion enthält Cäsium-137-Konzentrationen, die zumeist deutlich unter 1 Bq/kg (Abbildung 3.28) liegen. Nur vereinzelt wurden Gehalte von einigen Bq/kg gefunden. Dies gilt sowohl für Geflügel, Schweine, Rind- und Kalbfleisch, wobei die Konzentrationen in Rind- und Kalbfleisch etwas höher liegen als in Schweinefleisch. Man beachte dabei, daß in mehr als zwei Drittel der gemessenen Proben auch bei Rind und Kalb kein Cäsium nachgewiesen werden konnte. Der größte gemessene Wert wurde im Jahr 1995 bei Rindfleisch mit 42 Bq/kg gemessen.

Im Gegensatz dazu wurden im Fleisch wildlebender Tiere zum Teil sehr viel höhere Cäsium-137-Gehalte gemessen. Die höchsten Werte wurden mit mehreren Tausend Bq/kg in Rehwild aus den Wäldern der Region Bodensee-Oberschwaben gefunden. Diese hohen Werte haben ihre Ursache in der Nahrungsaufnahme von höher belasteten Äsungspflanzen, wie z. B. einigen Pilzarten, Farnen, Heidekraut und Torfmoos. Wild mit Cäsiumkonzentrationen über dem EG-Richtwert von 600 Bq/kg gelangt entsprechend einer Abmachung der Landesregierung mit dem Landesjagdverband nicht in den Handel. Im Jahr 1995 betraf dies 32 (etwa 8 %) der untersuchten 380 Rehproben aus der am stärksten betroffenen Region in Oberschwaben.

Cäsium-137 in Rehwild aus Oberschwaben 2 - Wochen - Mittelwerte

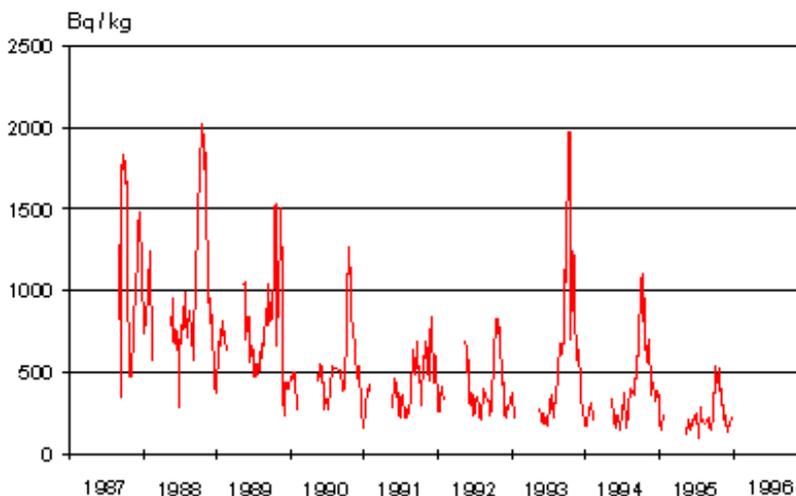


Abbildung 3.29

Den Zeitverlauf der Cäsium-137-Aktivität in Rehen aus diesem Gebiet zeigen die Abbildungen 3.29 und 3.30. Im Forstamtsbezirk Ochsenhausen wurde von der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten jährlich eine ungefähr konstante Anzahl von Proben untersucht. Sie bilden so eine repräsentative Auswahl für die zeitliche Entwicklung der Rehkontamination in dieser Gegend. In Abbildung 3.29 sieht man den zeitlichen Abfall im Laufe der Jahre, dem jährlich wiederkehrende Maxima im Herbst überlagert sind. Diese treten immer kurz nach Beginn der Pilzsaison im Herbst auf. Die Äsung von hochbelasteten Pilzen wird als Hauptgrund für den steilen Anstieg der Rehwildkontamination angenommen. Der starke Abfall der Kontamination rührt dementsprechend von dem Ende der Pilzsaison her. Von Jahr zu Jahr unterschiedliche Witterungsbedingungen beeinflussen direkt die Menge der Pilze und somit auch die Kontamination von Rehen. So fanden im Herbst 1993 die Rehe reichlich Pilze und dementsprechend erreichte die spezifische Cäsium-Aktivität des Rehfleisches ähnliche Werte wie in den ersten Jahren nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

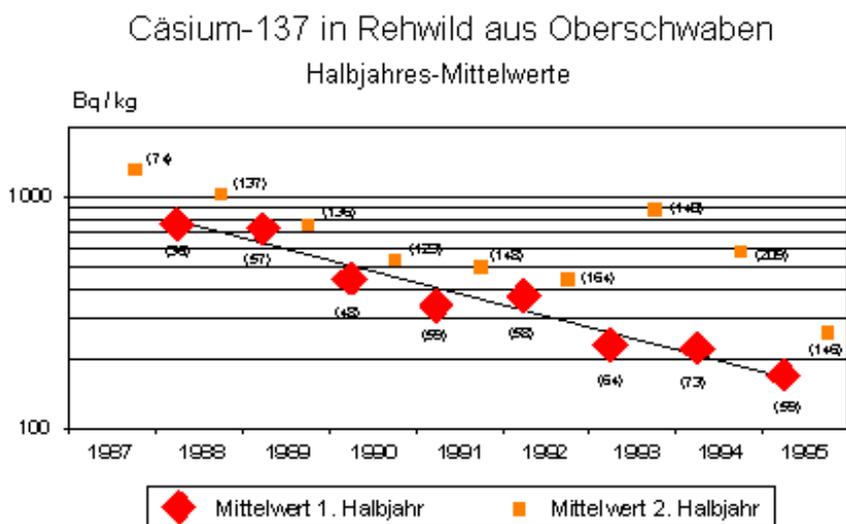


Abbildung 3.30

Eine etwas andere Darstellung des Zeitverlaufs derselben Rehproben zeigt die Abbildung 3.30. Hier sind alle Messungen des 1. Halbjahres und alle Messungen des 2. Halbjahres zu Halbjahres-Mittelwerten zusammengefaßt. Die Mittelwerte des 1. Halbjahres, die weniger von Witterungsbedingungen und dem Pilzaufkommen abhängen, zeigen einen kontinuierlichen Rückgang der Cäsium-Kontamination. Die effektive ökologische Halbwertszeit beträgt etwa 3 Jahre. Dies bedeutet, daß nach jeweils 3 Jahren die mittlere Kontamination der Rehe auf die Hälfte abgesunken ist. Im 2. Halbjahr ist die Cäsium-Aktivität der Rehe deutlich höher als im 1. Halbjahr und kann, wie oben erläutert, sehr stark schwanken.

Fische

Eine Sonderstellung nehmen ebenfalls die Süßwasserfische aus einigen flachen und nährstoffreichen Seen Oberschwabens ein, wie ein Forschungsvorhaben des Instituts für Angewandte Forschung der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten gezeigt hat. Die Ursache dafür liegt in der geringen Cäsium-Rückhaltefähigkeit der Moorböden dieser Gegend. Dies führt zu einem ständigen Eintrag von gelöstem Cäsium-137 über die Zuflüsse in diese Seen. So war z. B. das Wasser des Vorsees im Landkreis Ravensburg im Jahresmittel mit ca. 0,1 Bq/l gelöstem Cäsium-137 belastet. Dieser Wert liegt um einen Faktor von mindestens 100 über dem des Bodenseewassers.

Cäsium-137 in Fischen aus Oberschwaben

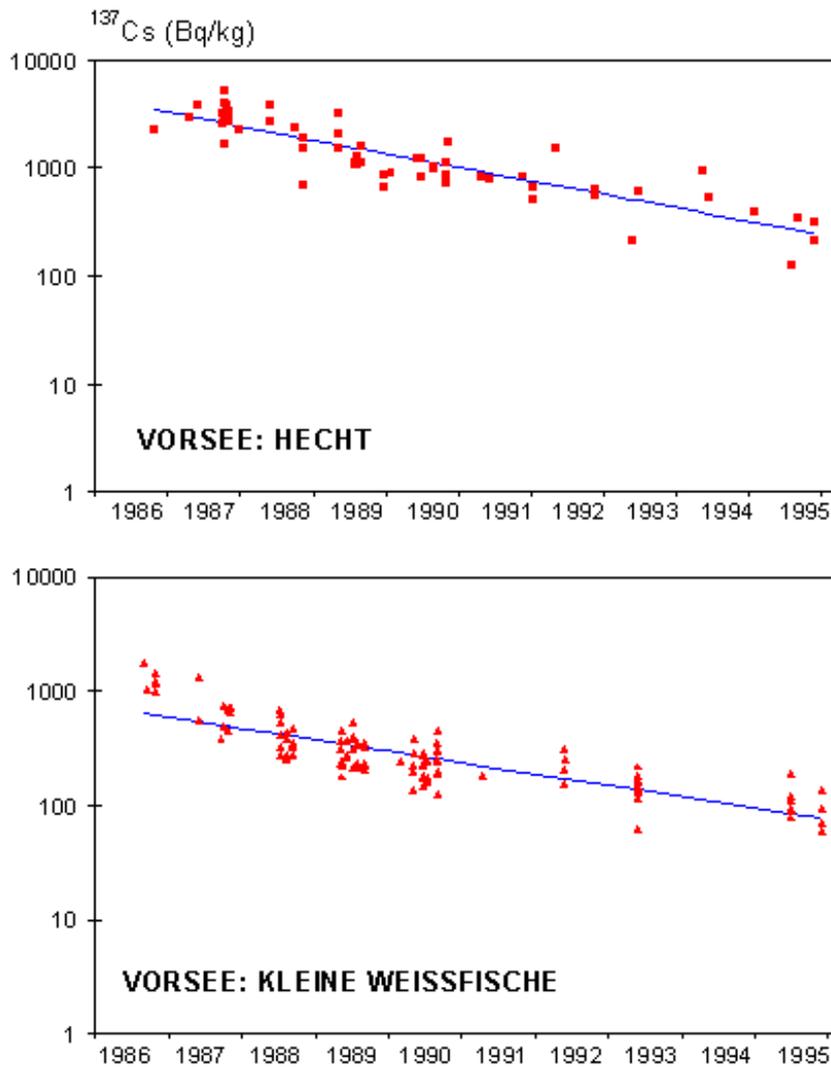


Abbildung 3.13

Bei Friedfischen ist die Cäsiumkontamination heute gering. Bei Felchen aus dem Bodensee liegt sie unterhalb der Nachweisgrenze von 0,5 Bq/kg. Durch den Anreicherungseffekt in der Nahrungskette sind dagegen Raubfische weiterhin belastet. Bei Raubfischen aus dem Bodensee (Hechte, Aale) ist die Cäsium-Aktivität zwar von etwa 100 Bq/kg im Jahr 1987 auf Werte zwischen 1 und 4 Bq/kg im Jahr 1995 gesunken. Hingegen weisen im Vorsees auch 1995 vor allem die Raubfische (Hechte) noch immer hohe Werte auf. Der höchste Wert des Jahres 1995 lag bei einer Hechtprobe bei 413 Bq/kg. Der zeitliche Verlauf der spezifischen Cäsium-137-Aktivität in Fischen aus dem Vorsees seit 1986 ist in der Abbildung 3.31 dargestellt.

Pflanzliche und sonstige Nahrungsmittel

Obst

Cäsium-137 in Obst 1995

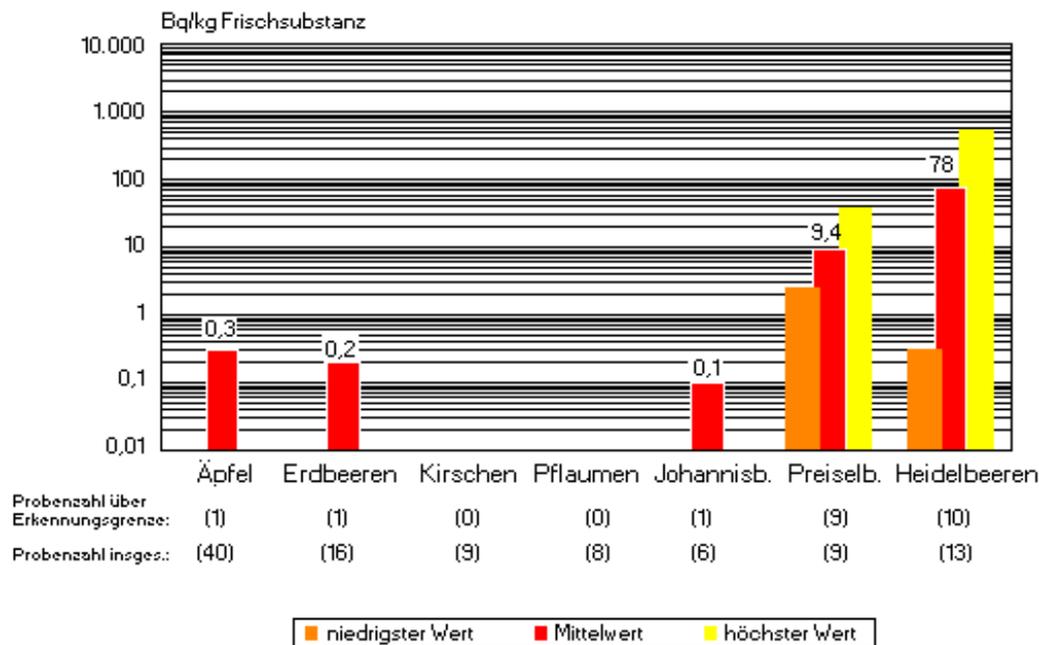
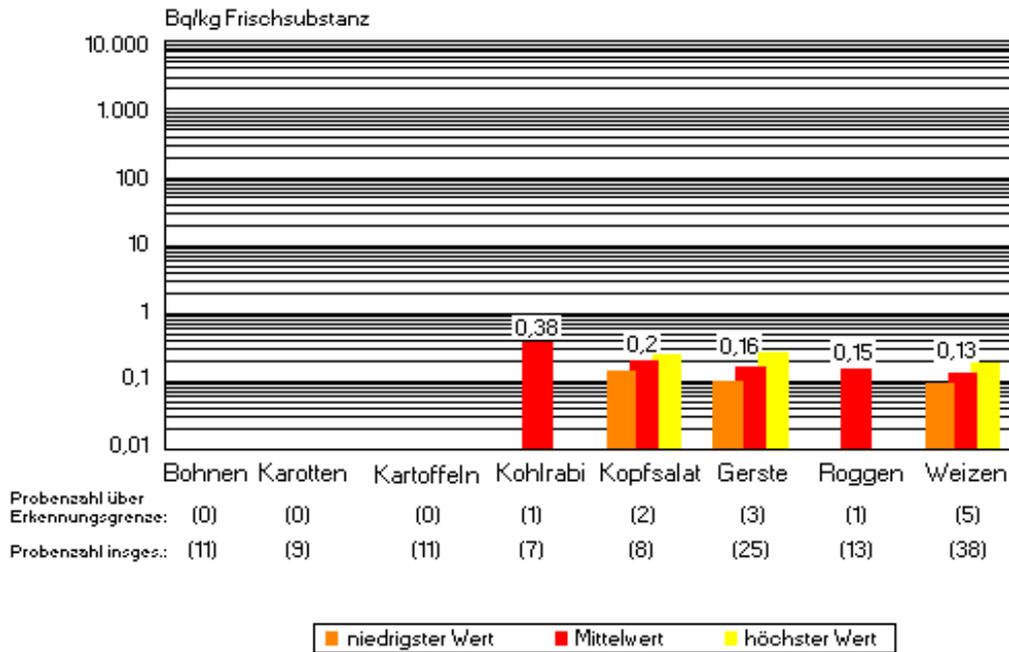


Abbildung 3.32

Auch beim Obst wird bei der überwiegenden Zahl der Arten aus dem gärtnerischen Anbau praktisch kein Cäsium-137 mehr nachgewiesen. Die meisten Proben lagen unterhalb der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Im Jahr 1995 wurden insgesamt 129 Proben von 18 Obstsorten untersucht. Außer bei Preiselbeeren und Heidelbeeren wurden überhaupt nur bei 3 Proben Cäsium-137 nachgewiesen. Die am häufigsten untersuchten Obstsorten sind in Abbildung 3.32 dargestellt. Neben Cäsium konnten auch nur geringe Spuren von Strontium-90 nachgewiesen werden, die alle unter 0,05 Bq/kg lagen.

Analog zum Wild können auch beim Obst die wildwachsenden Beeren deutlich höhere Werte aufweisen, wie das Beispiel der Heidelbeeren zeigt. Heidelbeeren wachsen auf unbearbeiteten Böden. Sie können daher die Radionuklide, die noch nicht in tiefere Bodenschichten eingedrungen sind, besonders gut über ihre Wurzeln aufnehmen. Auch bevorzugen sie Standorte, deren Böden die Cäsiumatome nicht sehr stark binden, so daß sie leichter für die Pflanzen verfügbar sind.

Cäsium-137 in Gemüse und Getreide 1995



Auch bei Gemüse und Getreide liegen die Ergebnisse bei der überwiegenden Mehrzahl der 102 untersuchten Proben unterhalb der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Nur in Einzelfällen konnte Cäsium-137 überhaupt nachgewiesen werden. Und auch diese Meßwerte liegen fast immer deutlich unterhalb 1 Bq/kg. Im Jahr 1995 lagen die höchsten Einzelmeßwerte bei einer Knoblauchprobe mit 0,92 Bq/kg und einer Zwiebelprobe mit 0,86 Bq/kg. Ähnlich verhält es sich mit dem Gehalt an Strontium-90. Die höchsten gefundenen Einzelwerte lagen hier bei einer Zwiebelprobe bei 1,1 Bq/kg und bei einer Gerstenprobe bei 0,62 Bq/kg. Alle übrigen Strontium-Werte waren geringer als 0,4 Bq/kg. Der Cäsium-137 Gehalt der am häufigsten untersuchten Gemüse- und Getreidearten ist in Abbildung 3.33 dargestellt.

Pilze

Cäsium-137 in Pilzen 1995

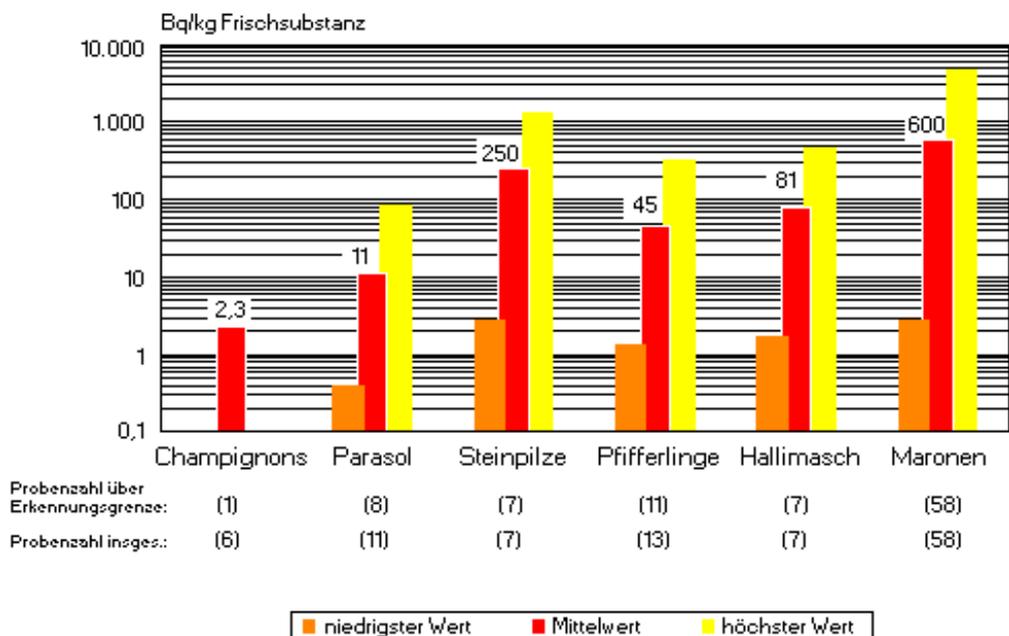


Abbildung 3.34

Wildwachsende eßbare Pilze stellen bei einem Teil der Bevölkerung einen, wenn auch geringen, Teil der Ernährung dar. Pilze entnehmen ihre Nährstoffe den obersten Bodenschichten. Wildwachsende Pilze sind deshalb dem Angebot von oberflächlich abgelagerten Radionukliden in erhöhtem Maße ausgesetzt. Bereits seit der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche ist bekannt, daß einige Pilzsorten Cäsium besonders gut anreichern. So haben Untersuchungen der Universität Bonn ergeben, daß bei Maronenpilzen die braune Huthaut Cäsium 3,4-fach und der Farbstoff selbst das Cäsium 87-fach höher anreichert als der Rest des Fruchtkörpers. Durch das Entfernen der Huthaut kann somit ein Teil der Cäsiumaktivität entfernt werden. Bei Steinpilzen fehlt dieser Farbstoff. Dies könnte mit ein Grund für die viel geringere Cäsiumanreicherung in diesem Pilz sein. Von den wildwachsenden zum Verzehr geeigneten Pilzen sind die Röhrenpilze und hier insbesondere die Maronenröhrlinge nach wie vor merklich belastet (Abbildung 3.34). Um eine Übersicht über die Cäsiumbelastung von wildwachsenden eßbaren Pilzen zu geben, wurden neben den Maronenröhrlingen auch für Champignons, Parasol-Pilze, Steinpilze, Pfifferlinge und Hallimasch die mittleren Aktivitätsgehalte sowie die jeweils niedrigsten und höchsten gefundenen Werte dargestellt. Es hat sich erwartungsgemäß gezeigt, daß die Cäsiumbelastung neben den sortenspezifischen Eigenschaften auch stark von der Höhe der örtlichen Bodenkontamination und der Bodenart abhängt. So wurden die höchsten Cäsiumbelastungen in Pilzen aus der Region Oberschwaben gefunden. Der höchste Wert an Cäsium-137 wurde an einer Probe des Maronenröhrlings aus Ochsenhausen mit 4600 Bq/kg gefunden. Ein ebenfalls ungewöhnlich hoher Wert von 1300 Bq/kg trat 1995 bei einer Steinpilz-Probe, ebenfalls aus Ochsenhausen, auf. Die anderen 6 untersuchten Steinpilzproben lagen zwischen 2,8 und 170 Bq/kg mit einem Mittelwert von 76 Bq/kg. Der recht hohe Mittelwert von 250 Bq/kg in der Graphik wird allein durch den hohen Einzelmeßwert verursacht. Die Abbildung zeigt die Untersuchungsergebnisse der inländischen Pilzproben.

Cäsium-137 in Pilzen aus Oberschwaben 1995

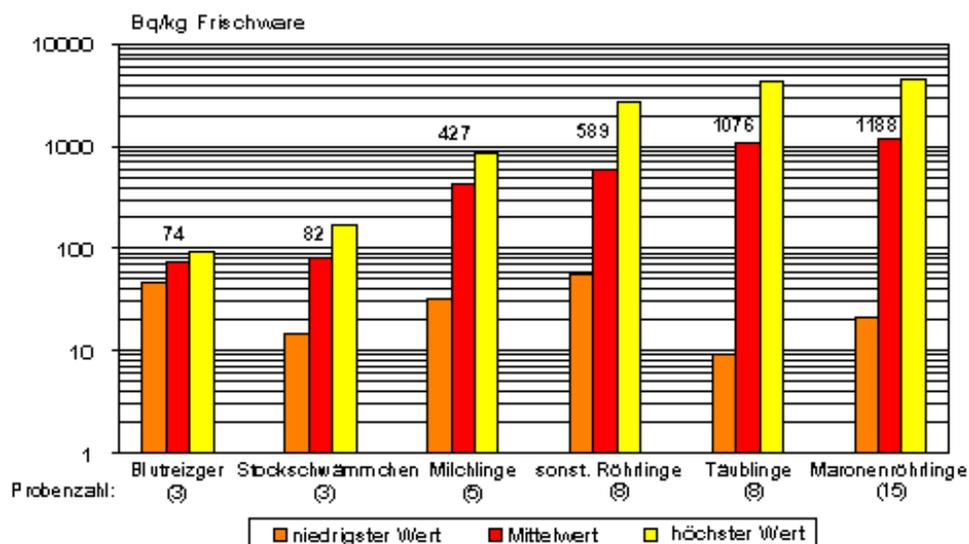


Abbildung 3.35

Einen Überblick speziell über Pilze aus Oberschwaben, die in einem Programm der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten untersucht werden, zeigt die Abbildung 3.35. Die höhere Belastung in diesem Gebiet wird an dem Mittelwert von etwa 1200 Bq/kg für Maronenröhrlinge deutlich. Er ist für die 15 untersuchten Proben aus Oberschwaben doppelt so hoch wie der Mittelwert für ganz Baden-Württemberg (Abbildung 3.34).

Es wurden zusätzlich zahlreiche **importierte Pilze** aus verschiedenen Ländern gemessen. Vorwiegend wurden hier Proben aus Ost-Europa untersucht, nämlich aus Polen, Bulgarien, Litauen und Rußland. Diese Proben unterschieden sich im Jahr 1995 nicht wesentlich von den heimischen Pilzen. So wurde z. B. bei den 7 polnischen Pfifferlingen - im Gegensatz zu den hohen Werten des Vorjahres - ein maximaler Wert von 79 Bq/kg gefunden, der Mittelwert lag bei 33 Bq/kg. Die höchste Cäsium-137-Konzentration bei den Importproben wurde mit 550 Bq/kg bei Pfifferlingen aus Litauen gefunden.

Sonstige Nahrungsmittel

Neben den bisher aufgeführten Nahrungsmitteln wurden noch zahlreiche weitere untersucht. Die Messungen beschränkten sich nicht nur auf Waren aus Baden-Württemberg, sondern es wurden auch importierte Lebensmittel in das Untersuchungsprogramm einbezogen. Dabei bestätigten sich die bisherigen Ergebnisse, daß heute in den meisten Lebensmitteln Cäsium-137, wenn überhaupt, nur in Spuren nachgewiesen werden kann. In einzelnen Nahrungsmittelarten, wie z. B. in Gewürzen oder Teeblättern, kann es jedoch noch zu erhöhten Kontaminationen kommen. Auch in Haselnüssen wird meist noch Cäsium gefunden. Bei 2 Haselnußproben 1995 lag der Cäsiumgehalt bei 5,2 und 6,2 Bq/kg.

Gesamtnahrung

Tägliche Zufuhr von Radionukliden mit der Gesamtnahrung 1995

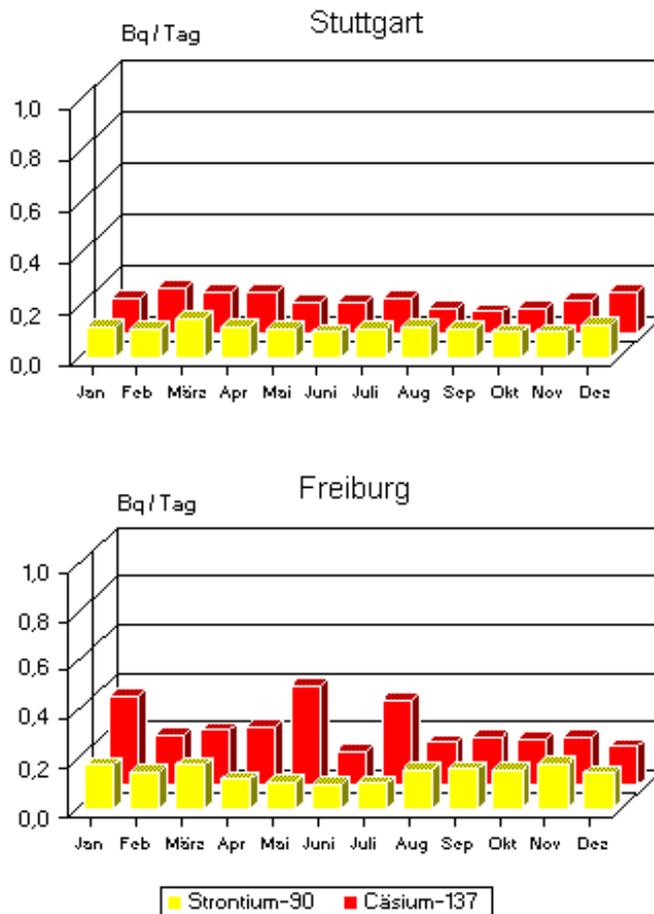


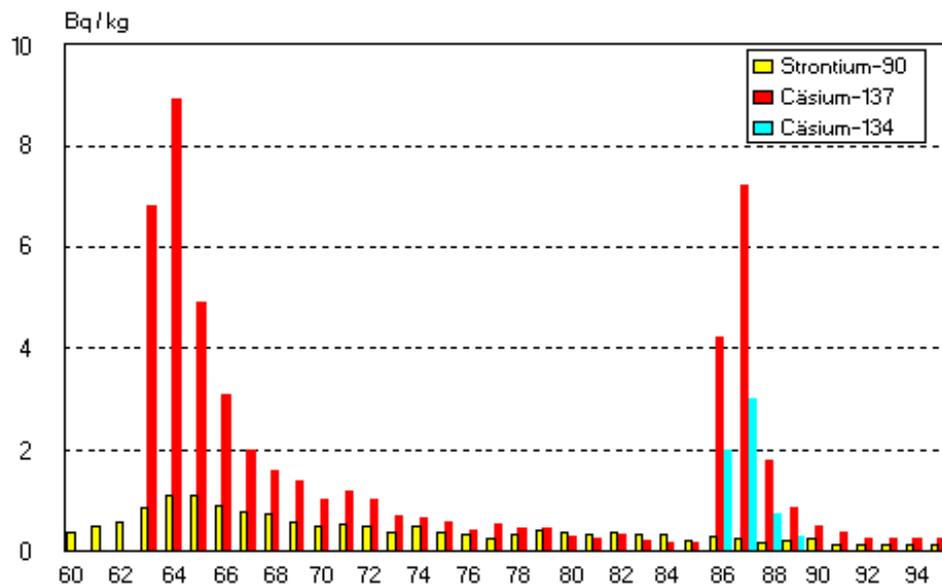
Abbildung 3.36

Um Informationen über die Menge der im Laufe eines Jahres mit der Nahrung aufgenommenen künstlichen Radionuklide zu erhalten, wird in Stuttgart und in Freiburg die Gesamtnahrung aus der Gemeinschaftsküche der Bediensteten jeweils eines Krankenhauses untersucht. Bei diesen Untersuchungen werden je eine Portion des Frühstücks, des Mittag- und des Abendessens einschließlich der Getränke zu Mischproben zusammengefaßt. Die so gewonnenen Ergebnisse für die Aktivitätszufuhr pro Tagesration sind als Monatsmittelwerte in der Abbildung 3.36 dargestellt. Im Vergleich zur täglichen Aufnahme des natürlichen Radionuklids Kalium-40, die bei ca. 100 Becquerel pro Tag liegt, findet man für Cäsium-137 und Strontium-90 in der Regel nur Werte unter 0,5 Becquerel pro Tag. Das Isotop Cäsium-134 ist - bei einer Erkennungsgrenze des Meßverfahrens von etwa 0,05 Becquerel pro Tag - im Jahr 1995 in keiner der untersuchten Einzelproben mehr nachweisbar.

Aus den vorliegenden Meßwerten läßt sich der Beitrag dieser Radionuklide zur Strahlenbelastung im Jahr 1995 für den betrachteten Personenkreis (Erwachsene) berechnen. Die effektive Äquivalentdosis ergibt sich danach sowohl für Cäsium-137 als auch für Strontium-90 zu jeweils etwa 1-2 μSv , der Beitrag des natürlichen Kalium-40 führt auf etwa 180 μSv . Hier ist deutlich erkennbar, daß die künstlichen Radionuklide nur mit einem geringen Anteil zur Strahlenbelastung über die Nahrungsaufnahme beitragen.

Zufuhr künstlicher Radionuklide mit der Gesamtnahrung in Deutschland

Jahresmittelwerte 1960 - 1995



Den langfristigen Verlauf der Cäsium-137-Konzentration in der Gesamtnahrung seit den 60er Jahren zeigen die Abbildung 3.37 für die Bundesrepublik

Zufuhr von Cäsium-137 mit der Gesamtnahrung für Stuttgart

Jahresmittelwerte 1963 - 1995

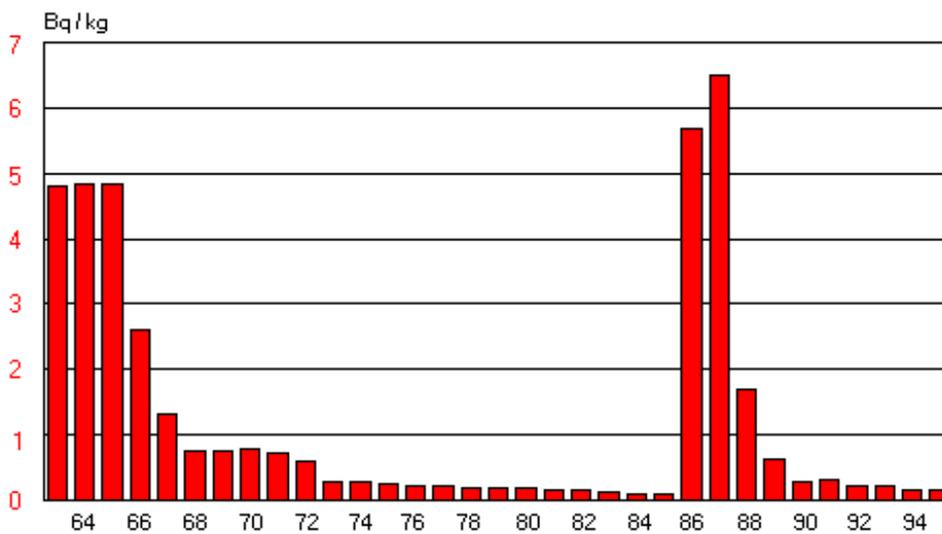


Abbildung 3.38

und die Abbildung 3.38 beispielhaft für Stuttgart. Sehr deutlich sind dabei die Erhöhungen durch den Kernwaffen-Fallout in den 60er Jahren und durch den Unfall in Tschernobyl zu sehen. Es ist außerdem erkenntlich, daß durch Tschernobyl die Strontium-Kontamination nur sehr geringfügig erhöht wurde. Der Gehalt an Cäsium-137 in unserer Nahrung ist seit 1986 stark zurückgegangen, hat aber noch nicht wieder das Niveau von 1985 erreicht.

Cäsium-137 Aktivität im menschlichen Körper 1961 - 1995 im Raum Karlsruhe

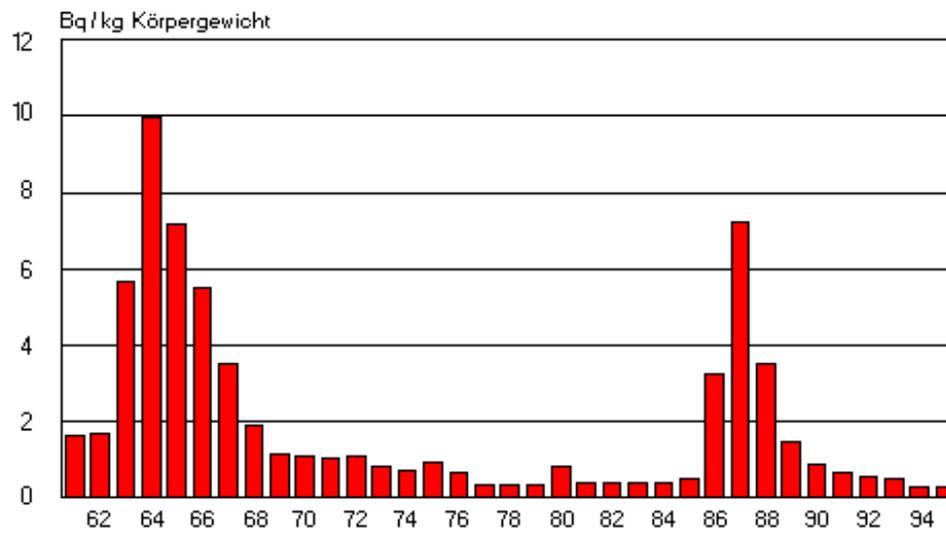


Abbildung 3.39

Die resultierende Körperaktivität zeigt 3.39 in einem langjährigen Verlauf.

Abfall

Alles, womit wir umgehen, wird irgendwann zu Abfall. Abfälle sind daher gute Indikatoren für das Auftreten von Radionukliden in unserer Umwelt oder in unserem Alltag. Sie werden daher nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz regelmäßig überwacht.

Kompost

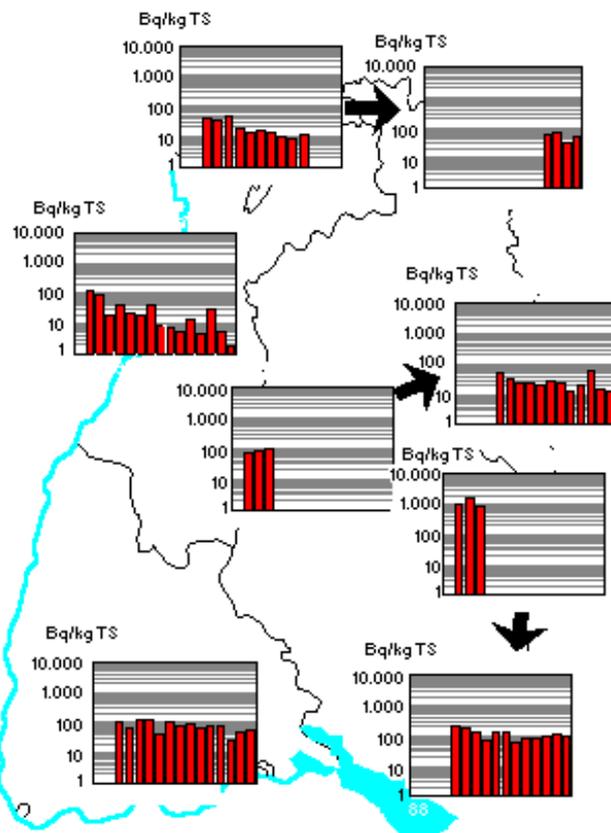


Abbildung 3.40

Aus den verschiedensten biologischen Abfällen kann Kompost entstehen. Hierzu gehören Küchen- und Gartenabfälle, aber auch Gras- und Baumschnitt. Die Radionuklide aus Pflanzen und aus unserer Nahrung finden so ihren direkten Weg in den Kompost. Im Kompost findet man daher auch die gleichen radioaktiven Stoffe wie in anderen Umweltmedien. Kompost wird in Baden-Württemberg an 5 Standorten überwacht. Wegen Aufgabe der Kompostierung mußten im Laufe der Jahre 3 der 5 Standorte verlegt werden, so daß nur für zwei Orte, Rastatt und Singen, durchgehende Zeitreihen seit 1989 verfügbar sind. Die Abbildung 3.40 zeigt den Cäsium-137-Gehalt in Kompost. Wegen des unterschiedlichen Feuchtegehaltes des Kompostes wird dieser vor der Messung getrocknet. Wie in anderen Umweltmedien ist auch beim Kompost die höhere Kontamination der südlichen Landesteile durch den Reaktorunfall in Tschernobyl deutlich zu sehen. Die Werte liegen dort mit 60 - 100 Bq/kg merkbar über den Werten von 2 - 40 Bq/kg im Norden Baden-Württembergs.

Klärschlamm

Cäsium-137 und I-131 in Klärschlamm

in Bq / kg TS

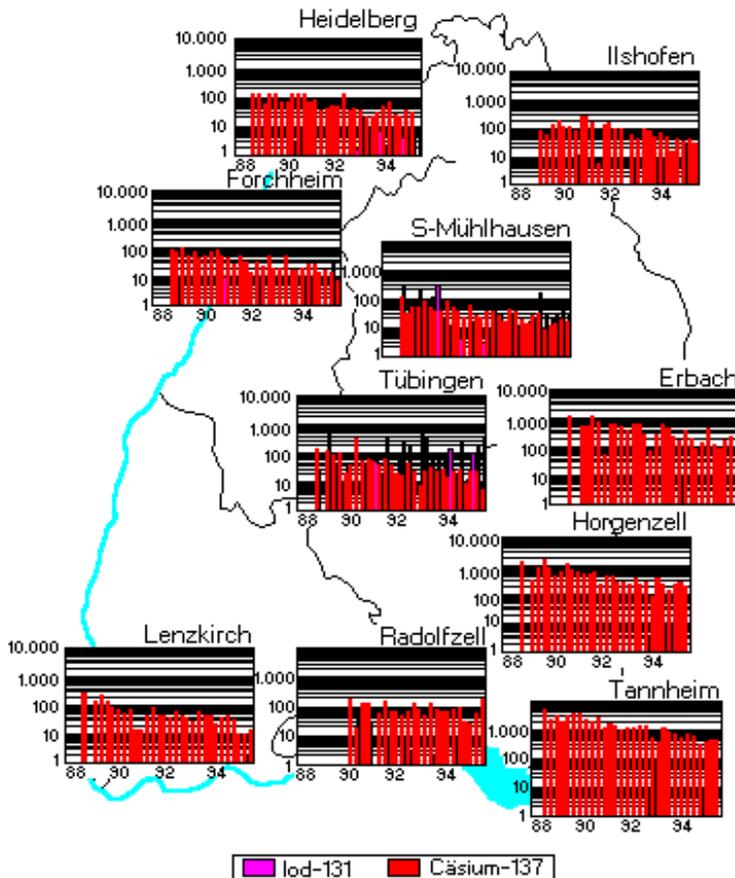


Abbildung 3.41

Im Abwasser von Kläranlagen und im Klärschlamm finden sich nicht nur die Inhaltsstoffe von häuslichen sondern auch von gewerblichen Abwässern. Radioaktiver Fallout, der sich auf Hausdächern und Straßen niederschlägt, wird durch den Regen abgewaschen und gelangt so in die Kläranlagen. Klärschlamm ist deshalb auch ein wichtiger Indikator für die großräumige Kontaminationen der Umwelt. Klärschlamm wurde daher auch in die Überwachung nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz aufgenommen. Klärschlamm enthält heute, wie alle anderen Umweltmedien auch, noch Cäsium-137, das vom Reaktorunfall in Tschernobyl stammt. Daneben kann man im Klärschlamm zuweilen auch Radionuklide aus der medizinischen Anwendung finden. Hierzu gehört insbesondere Iod-131, das heute noch gelegentlich in der Schilddrüsen-Therapie eingesetzt wird. Besonders häufig ist es in Städten mit mehreren oder größeren Kliniken, wie etwa in Stuttgart, Heidelberg oder Tübingen, nachzuweisen. Einen Überblick über den Cäsium-137-Gehalt und das Auftreten von Iod-131 in Klärschlamm gibt die Abbildung 3.41. Das radioaktive Iod kann sich allerdings aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von nur 8 Tagen nicht in unserer Umwelt anreichern.

Müllverbrennungs-Anlagen

Häufig werden Abfälle aus dem häuslichen und gewerblichen Bereich, aber auch Klärschlämme, zur Volumenreduzierung verbrannt. In Baden-Württemberg werden vier Müllverbrennungsanlagen überwacht. Hierbei werden in Stuttgart, Mannheim und Göppingen vor allem hausmüllähnliche Abfälle und in Karlsruhe auch Klärschlamm verbrannt. Technisch bedingt fallen bei der Müllverbrennungsanlage in Karlsruhe keine festen Rückstände und keine Schlacke an. Auch in den Rückständen aus der Müllverbrennung kann immer Cäsium-137 nachgewiesen werden. Die höchsten Werte treten in den Filteraschen auf, da hier die stärkste Konzentration stattfindet. Die geringsten Werte werden im Waschwasser der Rauchgaswäsche gefunden. Sie liegen oft nur geringfügig über der Nachweisgrenze von etwa 0,1 Bq/l. Auch in den Rückständen der Müllverbrennungsanlagen ist - wie beim Klärschlamm - häufig Iod-131 aus der medizinischen Anwendung zu finden.

Cäsium-137 und Iod-131 in Rückständen aus Verbrennungsanlagen

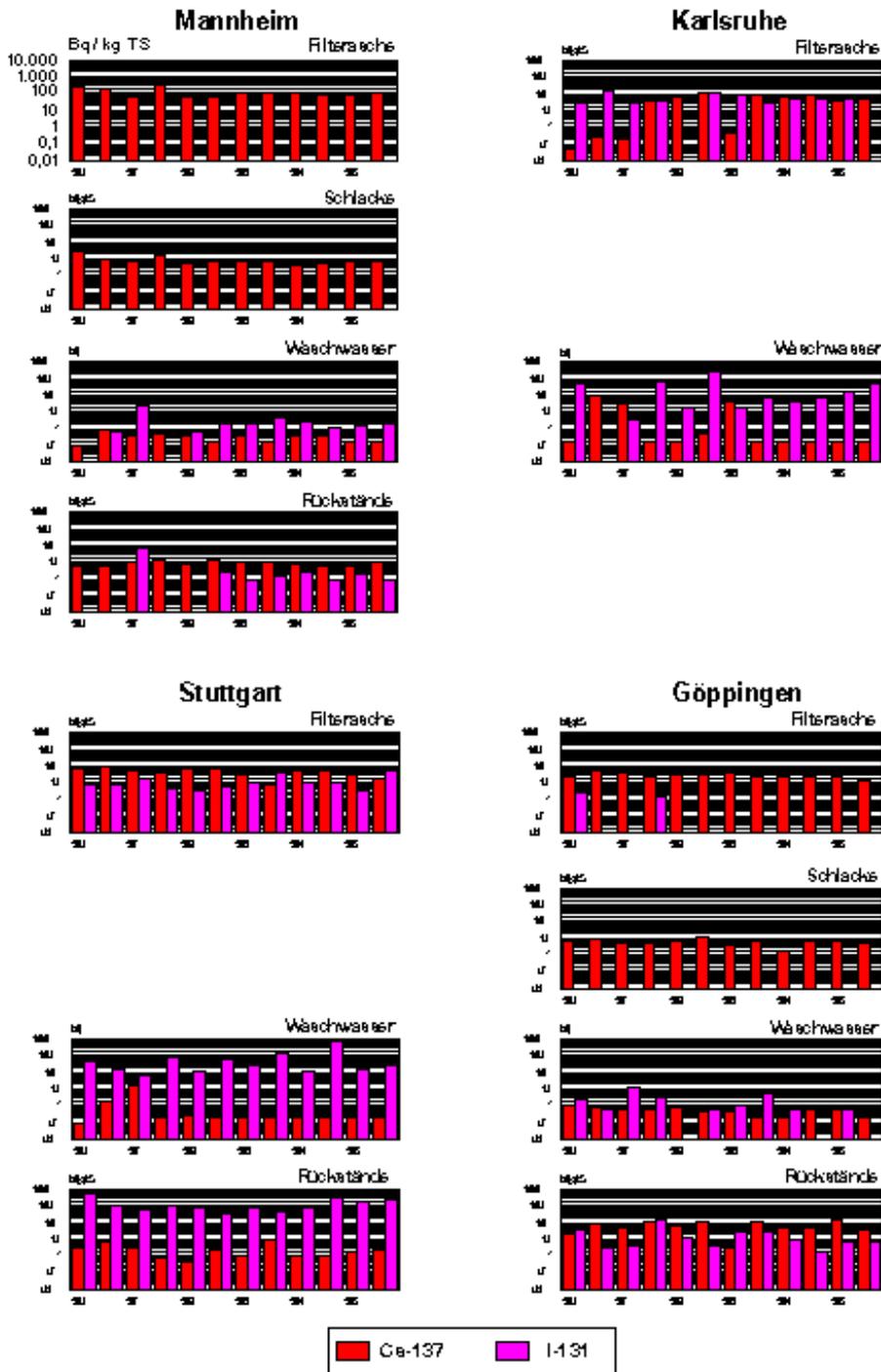


Abbildung 3.42

Sickerwasser von Hausmülldeponien

Abfälle, die nicht wiederverwertet werden können, die sich nicht kompostieren lassen und die auch nicht verbrannt werden, werden auf Hausmülldeponien gelagert. Diese Deponien sind nicht vollständig dicht abgeschlossen. Eindringendes Regenwasser löst Stoffe aus dem Deponiekörper aus, die dann mit dem Sickerwasser ausgetragen werden. Auf Hausmülldeponien lagern auch Gegenstände des allgemeinen Bedarfs, wie z.B. alte Uhren mit Zifferblättern, die radioaktive Stoffe enthalten können. Das Sickerwasser von Hausmülldeponien im Land wird deshalb radiologisch überwacht.

Durch gamma-spektrometrische Messungen wurde das überall in der Umwelt vorhandene Cäsium-137 auch im Deponiesickerwasser nachgewiesen. Der höchste Wert lag 1995 bei 2,1 Bq/l. In der Regel lagen die Werte deutlich unter 1 Bq/l.

Seit 1994 wurde auch die Überwachung auf Tritium in das Routinemeßprogramm des Strahlenschutzvorsorgegesetzes aufgenommen. Die Untersuchungen werden halbjährlich durchgeführt. Bei den acht im Rahmen von IMIS untersuchten Deponien wurden Tritiumwerte von unterhalb der Nachweisgrenze bis zu 72 Bq/l gemessen. In den meisten Fällen lagen die Tritiumkonzentrationen im Herbst - nach dem warmen und regenarmen Sommer 1995 - deutlich höher als im Frühjahr. Durch die geringen Niederschläge wurden die Schadstoffe im Sickerwasser stärker angereichert.

Ein Vergleich zeigt, daß diese Werte deutlich über den Tritiumkonzentrationen liegen, die im Oberflächenwasser oder im Niederschlag gemessen werden. Ihre Ursache liegt demnach nicht in den früheren Kernwaffenversuchen, wie dies für das allgemein in der Umwelt vorhandene Tritium der Fall ist. Die erhöhten Tritiumgehalte in Deponiesickerwässern sind auf örtliche Quellen zurückzuführen. Sie haben ihre Ursache in der Verwendung des Radioisotops Tritium bei der Leuchtfarbenherstellung. Tritium löste in den 70er Jahren das früher hierfür verwendete Radium ab. Tritiumhaltige Leuchtfarben wurden bis vor kurzem nicht nur für eine Reihe von Instrumentenanzeigen, sondern auch für Zifferblätter und Zeiger von handelsüblichen Uhren verwendet. Zumindest bei Uhren wird zwischenzeitlich auf Tritium zugunsten nichtradioaktiver Leuchtfarben verzichtet. Es ist deshalb zu erwarten, daß die Tritiumkonzentrationen in den Sickerwässern von Hausmülldeponien zukünftig rückläufig sein werden.

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995

Kapitel 4

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

4. Ergebnisse der anlagenbezogenen Überwachung der Radioaktivität

Während die allgemeine Überwachung der Radioaktivität auf die Immissionsüberwachung beschränkt bleibt, spielt in der anlagenbezogenen Überwachung der Radioaktivität die Emissionserfassung einer Anlage eine entscheidende Rolle, da jede Abgabe (Emission) radioaktiver Stoffe zwangsläufig mit einem Eintrag (Immission) dieser Stoffe in die Umwelt verbunden ist. Der Zusammenhang zwischen Emission und Immission kann sehr komplex sein. Im wesentlichen sind die folgenden Vorgänge und Gesichtspunkte für den Eintrag in die Umwelt und damit auch die Pfade zum Menschen von Bedeutung:

- Art, Höhe, Menge und Zeitpunkt der Freisetzung,
- Verteilung und Verfrachtung mit der Luft,
- Transport und Verteilung mit dem Wasser,
- Verhalten und Verbleiben von Radionukliden in der Umwelt
- Anreicherung in der Nahrungskette und Aufnahme über die Atemluft

Obwohl die Emissionen kerntechnischer Anlagen sehr zuverlässig erfaßt und kontrolliert werden, findet dennoch eine umfangreiche Immissionsüberwachung statt. Diese Immissionsüberwachung erlaubt es, Radioaktivitätsgehalte in den für den Menschen wichtigsten Umweltmedien festzustellen und die Strahlenbelastung abzuschätzen.

Emissionsüberwachung

Die beim Umgang mit radioaktiven Substanzen in vielen Fällen unvermeidlichen Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt werden bei kerntechnischen Anlagen kontrolliert und bilanziert. Die Messung und Bilanzierung der Emissionen erfolgen hierbei für die beiden Abgabepfade Abluft und Abwasser.

Sowohl von Frankreich als auch von der Schweiz wurden dankenswerterweise die Emissionsmeßergebnisse der an der Grenze zu Baden-Württemberg gelegenen kerntechnischen Anlagen zur Verfügung gestellt. Insgesamt lagen auch 1995 bei allen Anlagen die Abgaben an radioaktiven Stoffen unter den genehmigten Abgabehöchstwerten.

Anlagen in Baden-Württemberg

Abgaben mit der Abluft

Bei kerntechnischen Anlagen wird grundsätzlich die gesamte Fortluft über den Kamin abgeleitet und überwacht. Die Abgaben radioaktiver Stoffe werden dabei getrennt nach Nuklidgruppen überwacht und bilanziert. Artverwandte Nuklide werden dabei zu Nuklidgruppen zusammengefaßt. Die Nuklide einer Nuklidgruppe werden mit dem jeweils gleichen Meßverfahren ermittelt. Folgende Nuklidgruppen und Einzelnuclide werden bei deutschen Kernanlagen überwacht und bilanziert:

Radioaktive Gase

Bei Kernkraftwerken handelt es sich vorwiegend um kurzlebige radioaktive Isotope der Edelgase Xenon und Krypton. Bei der Wiederaufarbeitungsanlage für bestrahlte Kernbrennstoffe auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe war während ihres Betriebs (bis Ende 1990) Krypton-85 bestimmend. Bei Isotopenproduktionsanlagen oder Forschungsanlagen waren bzw. sind es vorwiegend Argon-41 oder kurzlebige Gase, die durch Aktivierung von Luftbestandteilen entstanden sind. Auch Anlagen, die derzeit stillgelegt werden, können noch Edelgase abgeben, solange nicht alle Brennelemente entladen und abtransportiert sind.

Radioaktive Aerosole

Hier unterscheidet man zwischen Aerosolen, die bei ihrer Kernumwandlung Alpha-Teilchen emittieren (Alphastrahler wie z. B. Americium oder Plutonium) und solchen, die Beta-Teilchen abgeben. Die meisten Kernumwandlungen werden zusätzlich von Gammastrahlung begleitet. Die Beta-/Gamma-Aerosole können die unterschiedlichsten Spaltprodukte enthalten, wie z. B. Cäsium-134 oder Strontium-90. Sie können aber auch durch Aktivierung entstanden sein, wie z. B. Kobalt-60. Man spricht deshalb auch von Spalt- und Aktivierungsprodukten.

Radioiod

Beim bestimmungsgemäßen Betrieb von Kernkraftwerken haben die Isotope Iod-131 und bei der Behandlung bestrahlter Kernbrennstoffe in einer Wiederaufarbeitungsanlage oder Forschungseinrichtung Iod-129 die größte Bedeutung. Für die medizinische Diagnostik und Therapie werden zudem die kurzlebigen Nuklide Iod-123 und Iod-125 hergestellt, die sowohl bei der Produktion als auch bei der Anwendung abgaberelevant werden können.

Tritium in Form von HTO

Dieses ist ein spezielles Wassermolekül, bei dem ein "normales", inaktives Wasserstoffatom durch ein überschweres Wasserstoffatom, das radioaktive Tritiumatom, ersetzt ist. Wegen der physikalisch/chemischen Eigenschaften des Wassers und der Strahlungseigenschaften des Tritiums wird dieses Nuklid separat überwacht.

Strontium-90 und Strontium-89

Diese Radionuklide nehmen bei der Überwachung eine besondere Stellung ein, da sie bei der Kernspaltung mit hoher Ausbeute entstehen, teilweise sehr lange physikalische und biologische Halbwertszeiten haben bzw. hohe Radiotoxizität aufweisen und als reine Beta-Strahler nur mit besonderem Aufwand identifiziert werden können.

Alpha-Strahler

Außer den über Brutprozesse gebildeten Transuranen treten bei Kernspaltungsvorgängen kaum langlebige Alphastrahler auf. - Wegen ihrer hohen Radiotoxizität werden künstlich erzeugte Alphastrahler getrennt erfaßt.

Kohlenstoff-14 vor allem in Form von Kohlendioxid.

Beim Forschungszentrum Karlsruhe werden die Nuklidgruppen "radioaktive Gase", "Aerosole" und "Radioiod" nochmals aufgespalten, so daß dort neben den Edelgasen auch kurzlebige radioaktive Aktivierungsgase und verschiedene Iodisotope bilanziert werden müssen. Sowohl alpha- als auch betastrahlende Aerosole werden in eine kurzlebige (Halbwertszeit bis zu 8 Tagen) und in eine langlebige Fraktion (Halbwertszeit mehr als 8 Tage) aufgeteilt.

Die Abbildungen 4.1 bis 4.6 zeigen für die Jahre 1980 - 1995 die für die baden-württembergischen kerntechnischen Großanlagen ermittelten Emissionen mit der Fortluft. Für einzelne Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe werden für das Jahr 1995 die Emissionen gesondert in der [Abbildung 4.7](#) dargestellt.

Radioaktive Gase

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 1980 - 1995

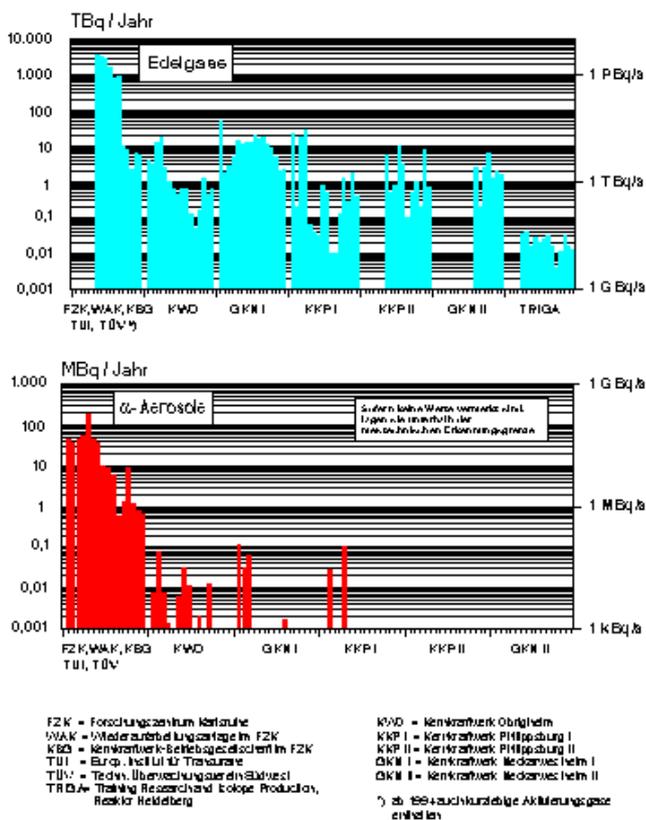


Abbildung 4.1

Die aus Abbildung 4.1 ersichtlichen Edelgasemissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Produktionsrate von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken wider. Bei Forschungseinrichtungen wird bestrahlter Brennstoff z. T. in offener Form gehandhabt, weshalb auch hier Emissionen auftreten. Bei den niedrigen Emissionsraten fallen die Schwankungsbreiten innerhalb der einzelnen Jahre und unter den einzelnen Anlagen groß aus.

In die Emissionen des Forschungszentrums Karlsruhe sind in Abbildung 4.1 die Abgaben aus den zwischenzeitlich stillgelegten Anlagen zur Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe, dem "Mehrzweckforschungsreaktor", der "Kompakten Natriumgekühlten

Kernreaktoranlage" und dem "Europäischen Institut für Transurane" sowie dem auf dem Gelände befindlichen TÜV-Labor einbezogen. Die Reaktoren wurden von der Kernreaktor-Betriebsgesellschaft mbH (KBG) betrieben. Ihre Edelgasemissionen setzten sich vorwiegend aus Xenonisotopen zusammen.

Die bei der Isotopenproduktion des Forschungszentrums Karlsruhe emittierten kurzlebigen radioaktiven Edelgase und Aktivierungsgase wurden 1995 zu 4,4 TBq bilanziert und stellten den überwiegenden Beitrag innerhalb der Edelgasemissionen dar. Man erkennt aus Abbildung 4.1, daß mit der Einstellung der Wiederaufarbeitung zum Jahresende 1990 die Emissionsraten der Edelgase deutlich zurückgingen. Die Emissionen bei der Wiederaufarbeitungsanlage, wo in der Vergangenheit die Brennelementhüllen geplant zerstört worden waren, bestanden hauptsächlich aus dem Nuklid Krypton-85, das in seiner Menge unmittelbar proportional zum durchgesetzten, abgebrannten Brennstoff war.

Das Krypton-85 aus der Gruppe der radioaktiven Edelgase nahm bis zum Ende der 80er Jahre langfristig in seiner Konzentration in der Atmosphäre der Nordhalbkugel zu, stagnierte dann und ist in jüngster Vergangenheit wieder im Ansteigen begriffen (siehe [Abbildung 3.6](#)). Da mit Beendigung des Versuchsbetriebs der deutschen Wiederaufarbeitungsanlage von dort keine Abgaben mehr erfolgen, muß der Konzentrationsanstieg des Krypton-85 in der Luft auf ausländische Wiederaufarbeitungstätigkeiten zurückgeführt werden.

Alle anderen künstlich erzeugten radioaktiven Edelgase (vorwiegend Xenon-133) sind wegen ihrer geringen Halbwertszeiten allenfalls noch in der unmittelbaren Nähe kerntechnischer Anlagen in Spuren nachweisbar. So liegt der rechnerische Wert der Xenon-133-Konzentration für das Immissionsmaximum bei realistischen Standortannahmen langfristig im Bereich von 1 Bq/m³.

Die durch diese künstlich erzeugten radioaktiven Edelgase verursachte durchschnittliche effektive Strahlenbelastung ist gering. Sie liegt selbst im Nahfeld eines Kernkraftwerks um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlenbelastung, die durch die natürlichen radioaktiven Edelgase Radon (Radon-222) und Thoron (Radon-220) bedingt ist (siehe [Kapitel 3](#)).

Radioaktive Aerosole

Alphastrahlende Aerosole

Beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken treten wegen der Dichtigkeit der Brennstabhüllen erfahrungsgemäß in der Abluft kaum alphastrahlende Radionuklide wie z.B. Plutonium oder Americium auf. So liegen hier die meisten Meßergebnisse bei oder unterhalb der meßtechnisch möglichen Erkennungsgrenze ([Abbildung 4.2](#)).

Anders liegen die Verhältnisse im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe. Durch den Umgang mit radioaktiven Abfällen und bestrahlten Kernbrennstoffen in offener Form sowie durch die Demontage von Kernanlagen und Kontrollbereichen sind hier mit empfindlichen Meßverfahren alphastrahlende Aerosole in der Abluft nachweisbar. Die Anlagen zur Behandlung radioaktiver Reststoffe und die Wiederaufarbeitungsanlage tragen etwa zu gleichen Anteilen bei.

Beta-/gammastrahlende Aerosole

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 1980 - 1995

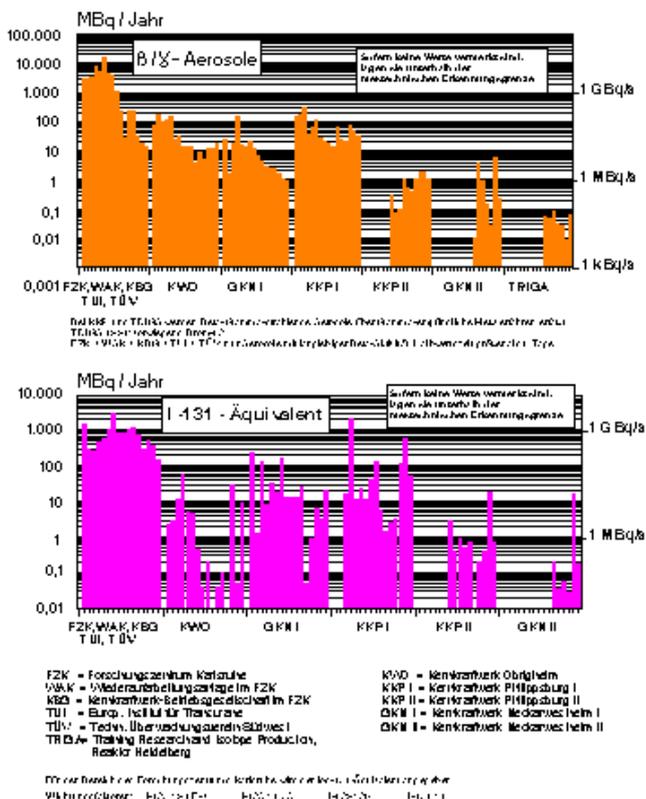


Abbildung 4.3

Im Gegensatz zu den alphastrahlenden Aerosolen waren bei allen im Betrieb stehenden kerntechnischen Anlagen beta-/gammastrahlende Radionuklide in der Abluft nachweisbar (Abbildung 4.3). Bei Kernkraftwerken treten sie vorwiegend während der Revision auf. Beim Forschungszentrum Karlsruhe entstehen sie abhängig vom Betrieb der Abfallbehandlungsanlagen sowie bei der Stilllegung von Kontrollbereichen und Anlagen aus der Wiederaufarbeitung (Abbildung 4.7). Kurzlebige Aerosole sind in ihren Emissionsraten durchweg gegenüber den längerlebigen Aerosolen vernachlässigbar.

Radioiod

Die menschliche Schilddrüse nimmt das dem Körper über die Atemluft und die Nahrung angebotene Iod und damit auch das radiologisch bedeutsame kurzlebige radioaktive Iod-131 fast vollständig auf. Bei Kernkraftwerken ist deshalb dem flüchtigen Iod-131 wegen seiner radiologischen Wirksamkeit besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Bei der Wiederaufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff spielte wegen der langen Abklingzeit Iod-131 radiologisch keine Rolle. Demgegenüber ist hier - auch nach Beendigung des Betriebs - das langlebige Iod-129 (Halbwertszeit 15,7 Mio Jahre) von Bedeutung. Der Vergleichbarkeit wegen wurden in der Abbildung 4.4 alle Iodisotope berücksichtigt. Bei den Emittenten auf dem Gelände des Forschungszentrums wurden alle Iodisotope mit einem auf Iod-131 bezogenen Umrechnungsfaktor versehen (Iod-131-Äquivalent) und als Iod-131-Emissionswert dargestellt. - Die nuklidspezifischen Emissionen für die einzelnen Emittenten sind im Detail wieder der Abbildung 4.7 zu entnehmen. Dort ist auch ersichtlich, daß für mehrere Anlagen gewisse Iodisotope nicht relevant sind.

Während die Abgaben der Forschungs- und Versuchsanlagen über lange Jahre hinweg gegenüber den Kernkraftwerken dominierten, sind die Emissionen in den vergangenen Jahren hier deutlich zurückgegangen. Dies wird darauf zurückgeführt, daß sie hauptsächlich durch die Wiederaufarbeitungsanlage und die Abfallbehandlung bestimmt worden waren.

In den Emissionen der Kernkraftwerke ist keine Systematik zu erkennen. Teilweise lagen die durch Messung ermittelten Werte bei oder unterhalb der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Dies deutet auf gute und dichte Brennstabhüllrohre hin. Die Emissionsraten einiger Anlagen haben dagegen gegenüber 1994 um mehr als eine Größenordnung zugenommen. Dies wird auf vermehrte Aerosolbildung in den Anlagen infolge von Hüllrohrschäden der Brennelemente zurückgeführt. Andererseits führten auch Materialverbesserungen und Qualitätskontrollen zur Verbesserung der Brennstabhüllen und zur Verminderung der Abgabebilanz um mehr als eine Größenordnung.

Tritium

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft

1980 - 1995

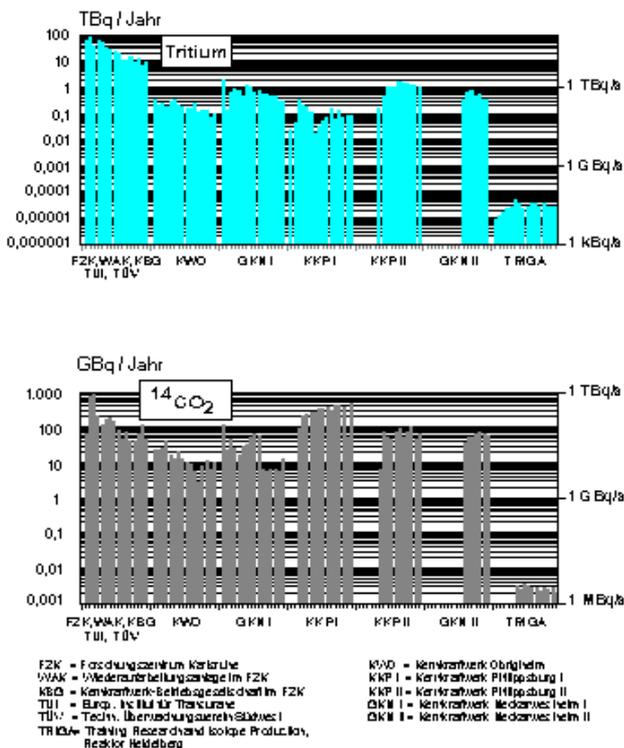


Abbildung 4.5

Tritium entsteht bei Kernreaktoren im Brennstoff und im Kühlwasser. Die hauptsächliche Abgabe erfolgt mit dem Abwasser. Die Tritiumabgaben mit der Fortluft unterscheiden sich zwischen den einzelnen Anlagen (Abbildung 4.5) stark. Dies hängt mit der Verschiedenartigkeit der Anlagen zusammen; offenbar schneiden Siedewasserreaktoren i. a. günstiger ab als Druckwasserreaktoren. Ferner spielen die Leistung, die Betriebsfahrweise und das Anlagenverhalten sowie der Inbetriebnahmezeitpunkt und die Betriebsdauer eine wichtige Rolle.

Die Emissionen der Kernkraftwerke korrelieren in etwa mit den jeweiligen jährlichen Betriebsdauern und erreichen bei vergleichbarer Fahrweise schon nach wenigen Jahren einen Sättigungswert. Die Emissionen bei Anlagen im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe hingegen nahmen wegen der Stilllegung bzw. Außerbetriebnahme von Anlagen und bedeutsamen Tritiumquellen bis Anfang der 90er Jahre ständig ab. Im Jahr 1995 dominierten bei den Tritiumabgaben Anlagen der Abfallbehandlung und der stillgelegte Mehrzweckforschungsreaktor. Demgegenüber wird die verschwindend geringe Tritiumemission beim TRIGA fast ausschließlich durch die Verdunstungswassermenge bestimmt.

Der bei der Kernenergieerzeugung gebildete und freigesetzte Kohlenstoff-14 in Form von Kohlendioxid ist im wesentlichen proportional der erzeugten Energie (Abbildung 4.6). Ein Teil des erzeugten Kohlenstoff-14 wurde während der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe auch dort freigesetzt. Heute beherrschen beim Forschungszentrum Karlsruhe die bei der Abfallbehandlung auftretenden Abgaben die Emissionssituation praktisch vollständig. Anders als bei den Tritiumemissionen weist beim Kohlenstoff-14 der Siedewassertyp des Kernkraftwerks Philippsburg I höhere Emissionsraten auf als der Druckwasserreaktor des benachbarten Kernkraftwerks Philippsburg II.

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft

bei Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 1995

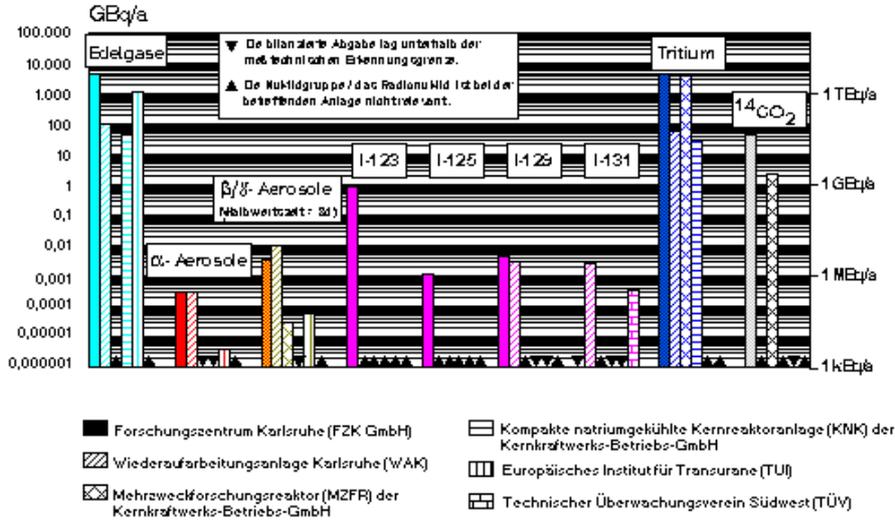


Abbildung 4.7

Zur Verdeutlichung der Verhältnisse im Forschungszentrum Karlsruhe sind in Abbildung 4.7 die radioaktiven Ableitungen an Kohlenstoff-14 mit der Fortluft für 1995 getrennt für die verschiedenen Anlagen bzw. Betreibergesellschaften dargestellt.

Abgaben mit dem Abwasser

Bei kerntechnischen Anlagen wird auch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser überwacht und bilanziert. Man unterscheidet entsprechend den vorgeschriebenen Überwachungsmethoden nach Ableitungen von alpha- bzw. beta-/gammastrahlenden Radionukliden und Tritium.

Die beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide im Abwasser kommen hauptsächlich aus zwei Quellen. Sie entstehen einerseits bei den Spaltvorgängen im Kernbrennstoff, und andererseits durch Neutronenaufnahme (Aktivierung) von vorher nicht aktiven Substanzen. Durch kleinste Leckagen in den Brennelementhüllrohren sowie durch überwiegend korrosionsbedingten Materialabtrag kommen diese sogenannten Spalt- und Korrosionsprodukte in das Wasser des Primärkreislaufes und von dort in Spuren nach außen.

Alphastrahler

Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

1980 - 1995

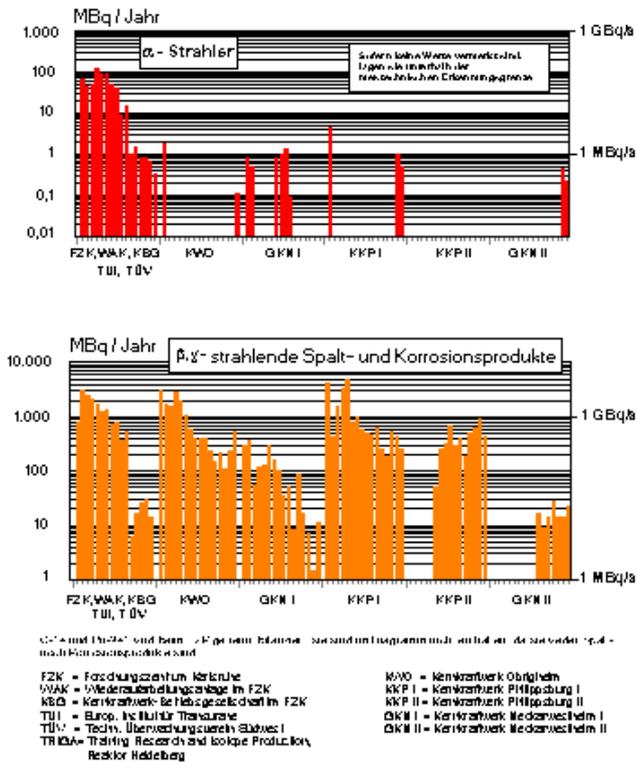


Abbildung 4.8

Erhöhte Gehalte von Alphastrahlern im Wasser weisen bei Kernkraftwerken auf Brennstabschäden hin. Die Meßergebnisse des Jahres 1995 zeigen, daß die Emissionsraten von Alphastrahlern in die Vorfluter bei Kernkraftwerken bei niedrigen Werten oder gar unterhalb der meßtechnischen Erkennungsgrenzen liegen.

Beim Forschungszentrum Karlsruhe hält der langfristige Trend zu immer niedrigeren Abgaben von künstlichen Alphastrahlern mit den Abwässern an. Die Gründe liegen hauptsächlich beim abnehmenden Kernforschungsanteil des Forschungszentrums. Die Abgaberraten sind heute in ihrer Höhe mit denen eines Kernkraftwerks trotz der langjährigen Wiederaufarbeitungstätigkeit vergleichbar. Als bestimmende Nuklide für Alpha-Strahler, die bei der Abwasserabgabe zu bilanzieren sind, werden die Transurane Plutonium-238 bis Plutonium-240 zugrunde gelegt.

Beta-/Gammastrahler

Die Erzeugung von beta-/gammastrahlenden Spaltprodukten ist abhängig von der erzeugten Energie. Das Auftreten künstlicher Radionuklide im Abwasser hängt von der Dichtigkeit der Umhüllung des Brennstoffs und der Leistungsfähigkeit der Wasserreinigungsanlagen ab. Früher wurden bei der Wiederaufarbeitung sowie bei einigen Untersuchungsaufgaben im Forschungszentrum Karlsruhe die Brennstoffumhüllungen entfernt und der abgebrannte Kernbrennstoff mit den darin enthaltenen Spaltprodukten bearbeitet. Diese Arbeiten sind seit einigen Jahren eingestellt, was sich auch in den Abgabebilanzen niederschlägt. Auch wurde die Zahl der Kontrollbereiche deutlich verringert.

Beim Forschungszentrum Karlsruhe werden auch die Abgaben von Kohlenstoff-14 und Plutonium-241 bilanziert. Dies sind weder Spalt- noch Korrosionsprodukte. Im Jahr 1995 betrug ihre Ableitungen mit dem Wasser 73 MBq beim Kohlenstoff und 33 MBq bei Plutonium.

Die Abgaberraten der Kernkraftwerke schwankte über die Jahre stark, so daß eine allgemeine Tendenz nicht feststellbar ist. Die Kernkraftwerke sind mit dem Forschungszentrum Karlsruhe nicht vergleichbar (siehe [Abbildung 4.8](#)).

Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 1980 - 1995

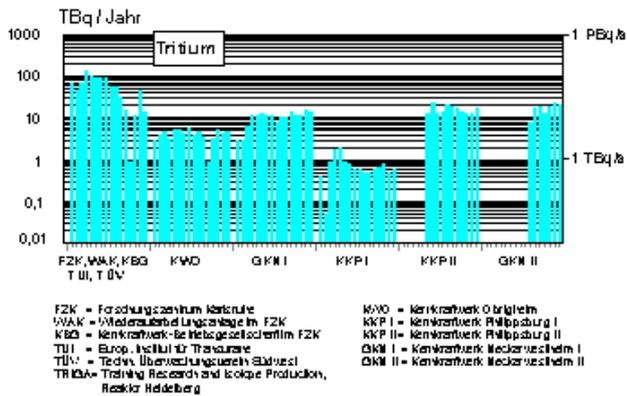


Abbildung 4.10

Aus der Abbildung 4.10 ist erkennbar, daß die Druckwasserreaktoren jeweils mehr Tritium abgeben als der Siedewasserreaktor Philippsburg I. Auch gingen die Abgaben des Forschungszentrums in Einklang mit der Stilllegung von Tritium erzeugenden Anlagen, z. B. des Mehrzweckforschungsreaktors, in der Tendenz zurück. Die geringere Emission des Kernkraftwerks Obrigheim im Jahr 1991 wurde durch eine längere, gerichtsverfügte Stillstandsphase bewirkt. Tritium ist - langfristig betrachtet - im Abwasserpfad das häufigste, nachzuweisende künstliche Radionuklid.

Grenznahe ausländische Anlagen

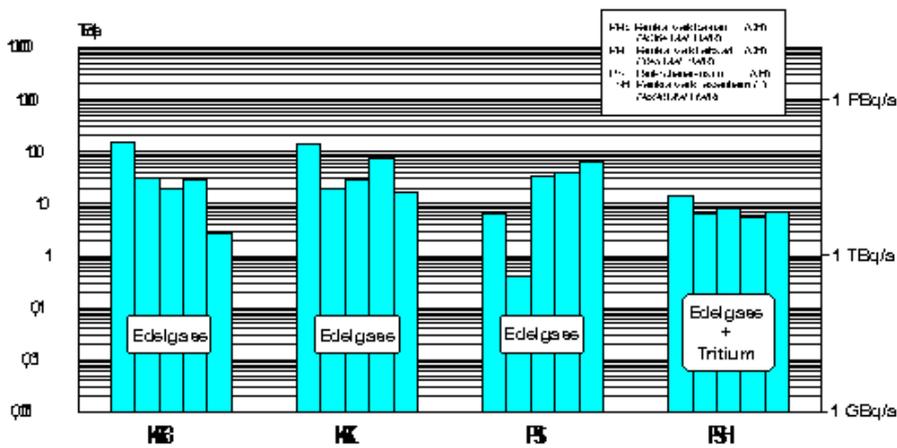
An der Grenze zu Baden-Württemberg befinden sich verschiedene größere kerntechnische Anlagen. In der Nordschweiz sind es die beiden Kernkraftwerke Beznau (2 Blöcke) und Leibstadt sowie die Anlagen des Paul-Scherrer-Instituts, eines Kernforschungszentrums an der Aare, südlich von Waldshut. Im südlichen Elsaß sind es die beiden französischen Kernkraftwerke in Fessenheim westlich von Bad Krozingen sowie ein Unterrichtsreaktor bei Straßburg.

Diese Anlagen sind reaktorphysikalisch und verfahrenstechnisch mit den in Baden-Württemberg befindlichen vergleichbar. Die Überwachung der Emissionen nach Radionuklidgruppen erfolgt aufgrund nationaler Vorschriften. Die Angaben können deshalb nicht in jedem Fall mit den zuvor genannten Nuklidgruppen und Emissionswerten baden-württembergischer Anlagen verglichen werden. Auch bedingen andere nationale Dosisgrenzwertvorgaben z. B. in der Schweiz oder die orographische Lage z. B. des Kernkraftwerks Fessenheim am Grand Canal d'Alsace andere Emissionsgrenzwerte als bei baden-württembergischen Anlagen.

Abgaben mit der Abluft

In den nachfolgenden Abbildungen 4.11, 4.12 und 4.13 sind für die Jahre 1991 - 1995 die für den jeweiligen ausländischen Standort zusammengefaßten Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft dargestellt. Im Gegensatz zur deutschen Überwachungspraxis werden bei schweizerischen Anlagen auf Argon-41 bzw. Xenon-133 bezogene delgasäquivalente angegeben. In der Schweiz sind nach den neuesten Reglements bilanzierte Abgaben unterhalb von 1 ‰ des Genehmigungswerts mit der Bezeichnung "unter der Nachweisgrenze" anzugeben. Die Kernkraftwerke Beznau lagen im Jahr 1995 bei Aerosolen unterhalb dieses Limits. Die anderen schweizerischen Anlagen bilanzierten dagegen Emissionsraten oberhalb der Erkennungsgrenze. Die französischen Vorschriften gestatteten bisher die zusammenfassende Messung und Angabe einerseits der im Abluftpfad emittierten Edelgase mit dem Tritium und andererseits aller Aerosole zusammen mit den Radioiodisotopen. Gelegentlich sind auch Einzelwerte getrennt verfügbar, wie z.B. Tritium im Jahr 1992 und neuerdings I-131. Deshalb kann auch für Fessenheim erstmals ab 1995 die Aerosolemission getrennt dargestellt werden.

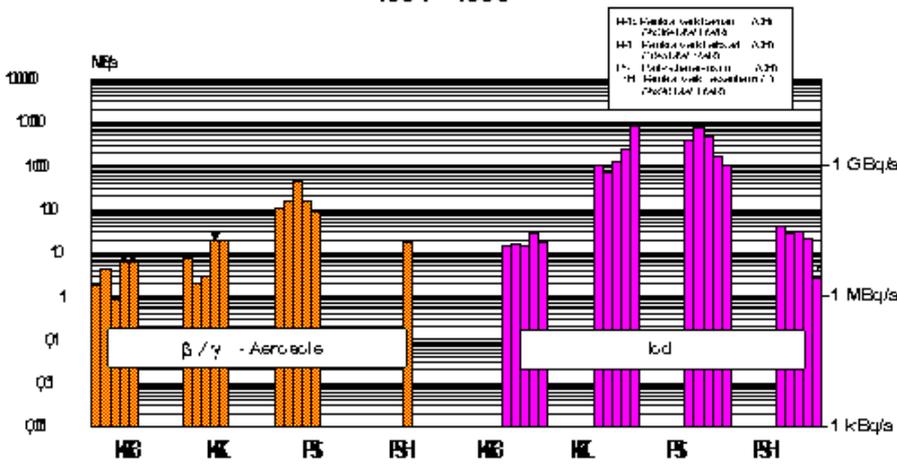
Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft bei kerntechnischen Anlagen des grenznahen Auslandes 1991 - 1995



134 - Mittelwert der gemessenen Emissionen der Edelgasarten
135 - Mittelwert der gemessenen Emissionen

Abbildung 4.11

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft bei kerntechnischen Anlagen des grenznahen Auslandes 1991 - 1995

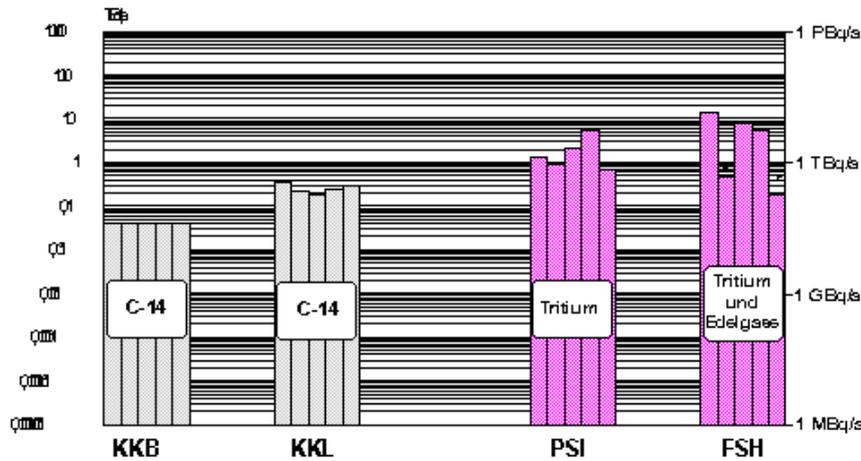


134 - Mittelwert der gemessenen Emissionen der β/γ -Aerosole
135 - Mittelwert der gemessenen Emissionen der Iodine

136 - Mittelwert der gemessenen Emissionen der β/γ -Aerosole
137 - Mittelwert der gemessenen Emissionen

Abbildung 4.12

Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft bei kerntechnischen Anlagen des grenznahen Auslandes 1991 - 1995



Quelle: Bundesamt für Umwelt, Länderspezifische Umweltschutzberichte, 1996, S. 104. <http://www.bafu.admin.ch>

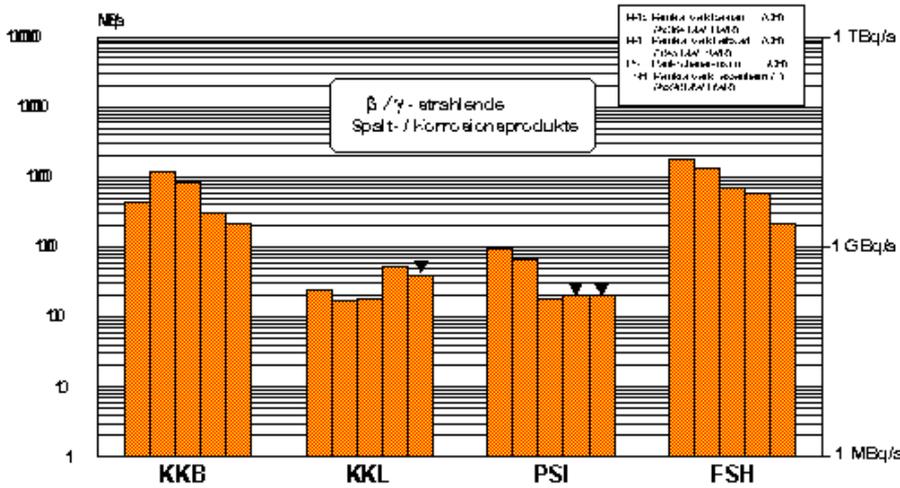
Abbildung 4.13

Ein Erfordernis zur Tritiumbestimmung in der Abluft besteht bei schweizerischen Kernkraftwerken nicht, demgegenüber verzichten die französischen Kontrollbehörden auf die Ermittlung der Radiokohlenstoffemission, da diese sich aus den Leistungs- und Betriebsdaten auch errechnen lässt.

Obleich bei allen Anlagen die Abluft auf Alphastrahler hin untersucht wird, war lediglich bei einer Verfahrensanlage des schweizerischen Paul-Scherrer-Instituts eine Emission von 0,51 MBq Alpha-Aerosolen im Jahr 1995 zu verzeichnen.

Abgaben mit dem Abwasser

Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser bei kerntechnischen Anlagen des grenznahen Auslandes 1991 - 1995



Quelle: Bundesamt für Umwelt, Länderspezifische Umweltschutzberichte, 1996, S. 104. <http://www.bafu.admin.ch>

Abbildung 4.14

Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser bei kerntechnischen Anlagen des grenznahen Auslandes 1991 - 1995

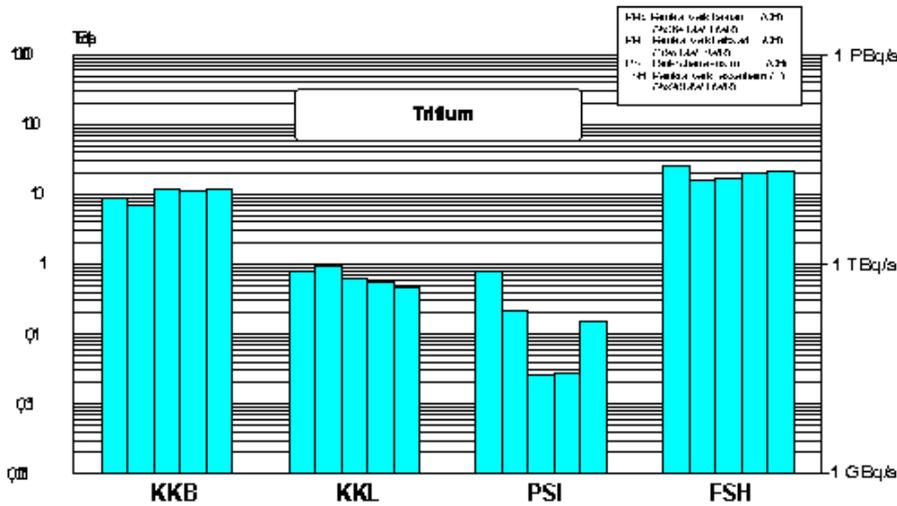


Abbildung 4.15

In den Abbildungen 4.14 und 4.15 sind die für den jeweiligen ausländischen Standort zusammengefaßten Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser über mehrere Jahre dargestellt. Die Aufteilung erfolgte nach den üblichen Nuklidgruppen der beta-/gammastrahlenden Spalt- und Korrosionsprodukte und dem Tritium.

Die Ableitungen von radioaktiven Spalt- und Korrosionsprodukten (insbesondere Kobaltisotope) mit dem Abwasser in den auf französischem Hoheitsgebiet befindlichen Grand Canal d'Alsace weisen langfristig fallende Tendenz auf. Sie lassen sich für das Jahr 1995 beim Kernkraftwerk Fessenheim zu 2,2 GBq angeben. Demgegenüber lagen die Alpha-Strahler im Abwasser unter der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Auch bei den schweizerischen Anlagen waren die Emissionen von Alpha-Strahlern mit dem Abwasser meßtechnisch nicht mehr nachweisbar.

Die ermittelten Tritiumemissionen waren demgegenüber zwar deutlich meßbar, die genehmigten Abgaben wurden aber nicht ausgeschöpft. Erwartungsgemäß liegt der Siedewasserreaktor des Kernkraftwerks Leibstadt günstiger in der Abgabebilanz als die Druckwasserreaktoren.

Immissionsüberwachung

Die Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen untergliedert sich in die radiologische Umgebungsüberwachung und in das Kernreaktorfernüberwachungssystem (KFÜ) mit seinen 114 Immissionsmeßstationen. Dieses System ermittelt rund um die Uhr vollautomatisch aktuelle Dosisleistungsmeßwerte und leitet sie an die Landesanstalt für Umweltschutz weiter. Die radiologische Umgebungsüberwachung beinhaltet das Ausmessen einer Vielzahl von Einzelproben aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen sowie das Training für eventuell erforderliche Störfallmessungen. Die hierbei gewonnenen Meßwerte müssen zu den entsprechenden Meßwerten der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität (siehe [Kapitel 3](#)) in Beziehung gesetzt werden, um unzulässige Einwirkungen einer kerntechnischen Anlage auf die Umgebung feststellen zu können.

Die aktuell in die Umwelt gelangten künstlichen Radionuklide können aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen. Die mit Abstand größten Abgaben stammen von den Kernkraftwerken. Radionuklide werden aber auch in der Nuklearmedizin, bei der Abfallbehandlung und in geringem Umfang bei Anwendungen in Industrie und Gewerbe freigesetzt. Die Zusammensetzungen der freigesetzten Radionuklidgemische sind abhängig von der Entstehungsgeschichte und dem Verwendungszweck der Radionuklide. Sie sind sehr unterschiedlich und meist charakteristisch für die Quelle. So setzt z. B. die Nuklearmedizin möglichst kurzlebige und reine Substanzen wie Iod-125, Iod-131 oder Technetium/Molybdän-99 ein. Diese Radionuklide können, da sie am Patienten angewendet werden, nach Ausscheidung aus dem Körper über Stuhl und Urin dann noch gelegentlich in Kläranlagen und Müllbehandlungsanlagen nachgewiesen werden.

Abgaben kerntechnischer Anlagen enthalten praktisch immer ein Gemisch von mehreren langlebigen Radionukliden. Die Zusammensetzung dieses Gemischs ist für die hier interessierenden Nuklide hinreichend bekannt. Durch die langjährige Überwachung aller wichtigen Medien kennt man die Vorbelastungen durch künstliche Radionuklide gut. Sie bestehen im wesentlichen aus Spuren von Strontium-90 und Cäsium-137. Die einzelnen Radionuklide zerfallen unterschiedlich schnell. Das heute anzutreffende Nuklidmuster der Vorbelastung unterscheidet sich deshalb erheblich von dem einer akuten Freisetzung aus einer kerntechnischen Anlage, wo auch kurzlebige Radionuklide zu erwarten sind. Durch die Betrachtung mehrerer Nuklide in einer Probe und durch Vergleich mehrerer Proben aus unterschiedlichen Gebieten läßt sich zuverlässig ermitteln, ob ein frischer Nuklideintrag stattgefunden hat oder nicht.

Meß- und Probenentnahmeorte in der Umgebung des KKP

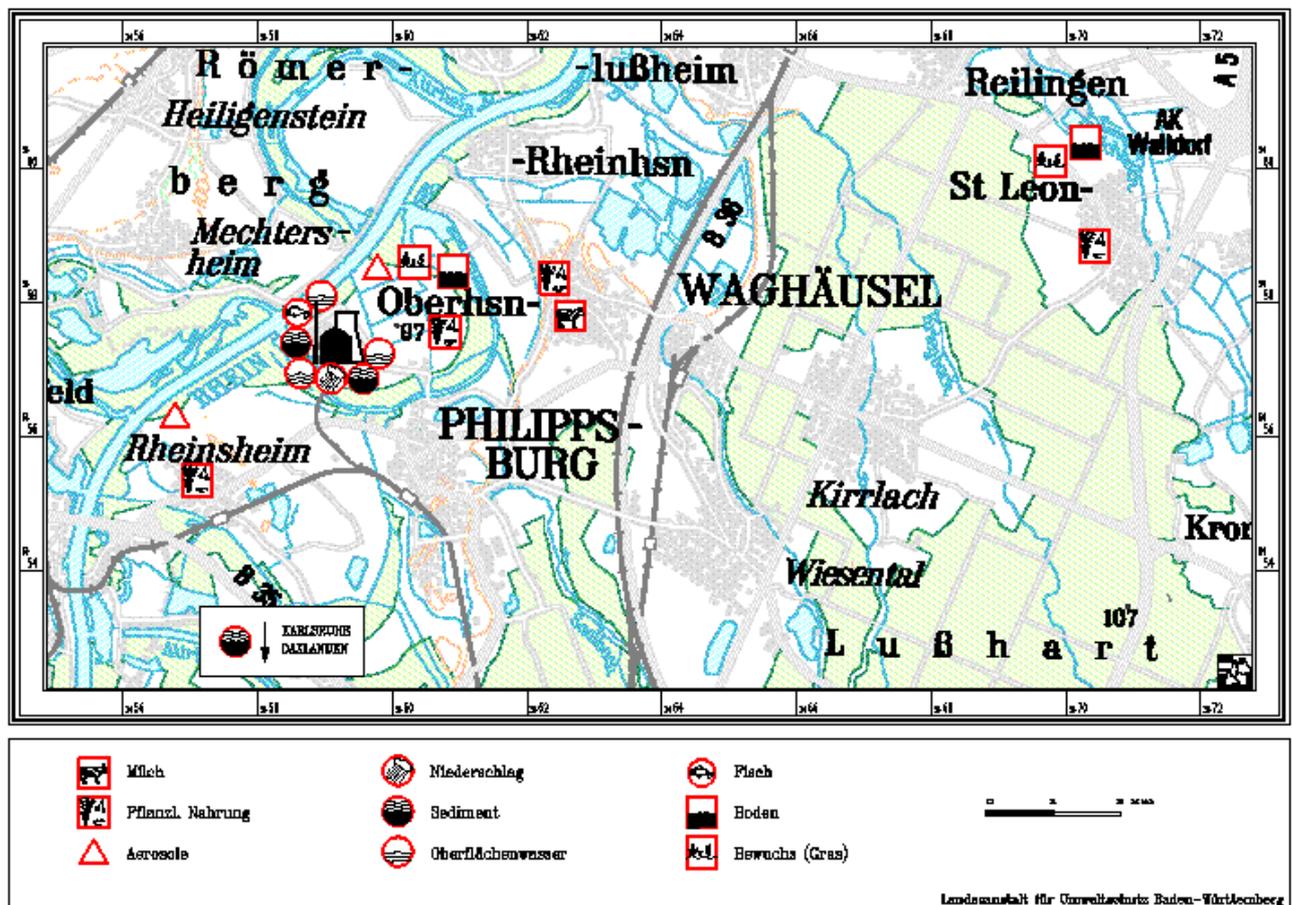


Abbildung 4.16

Auslegungsorte von Dosimetern in der Umgebung des KKP

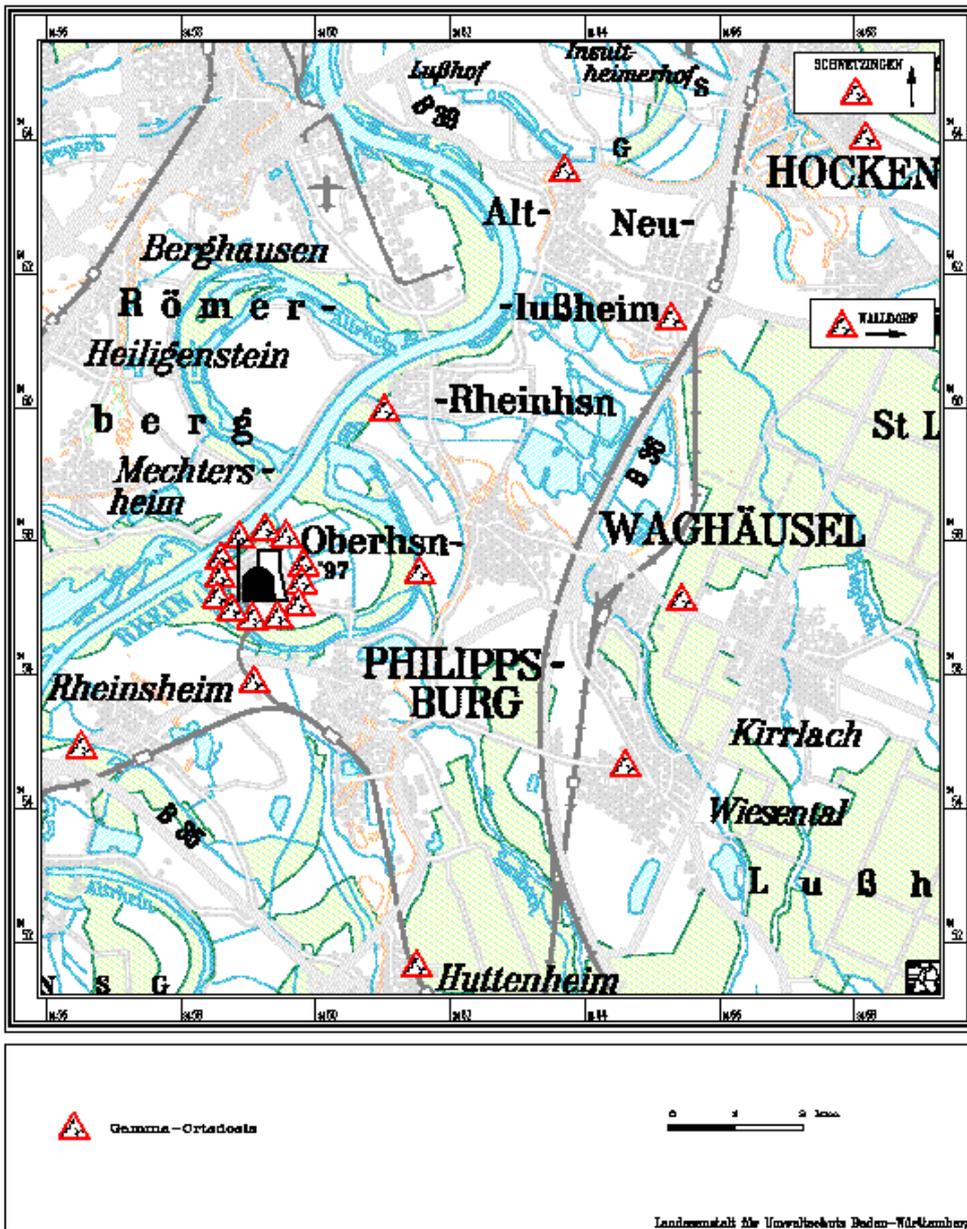


Abbildung 4.17

Mit der ab 1.1.1994 neu geregelten radiologischen Immissionsüberwachung werden alle Umweltmedien sowie alle wichtigen erzeugten Nahrungs- und Futtermittel aus der Umgebung einer kerntechnischen Anlage überwacht. So wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung 1995 allein von der Landesanstalt für Umweltschutz etwa 900 Proben gezogen, an denen ca. 2000 Einzelbestimmungen durchgeführt wurden. In den Überwachungsbereichen waren ferner an insgesamt 200 Stellen je zwei strahlungsempfindliche Flachglasdosimeter zur Ermittlung der Ortsdosis ausgelegt. Die überwachten Gebiete sind aus den Übersichtskarten (Abbildungen 4.16 und 4.17) ersichtlich. Die Detailkarten für das überwachte Gebiet beim Kernkraftwerk Philippsburg zeigen als Beispiele die Meß- und Probenentnahmeorte sowie die Auslegungsorte von Doppeldosimetern auf baden-württembergischem Gebiet.

Neben den Meßprogrammen der Umgebungsüberwachung, mit denen die Auswirkungen der kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb beobachtet werden, müssen auch organisatorische und meßtechnische Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, um im Falle eines Störfalls oder Unfalls Strahlenschutzmessungen vornehmen zu können. Hierfür sind Meßgeräteausstattungen mit erweitertem Meßbereich nötig. Zudem müssen entsprechende Messungen und Probenentnahmen an festgelegten Orten vorher eingeübt werden.

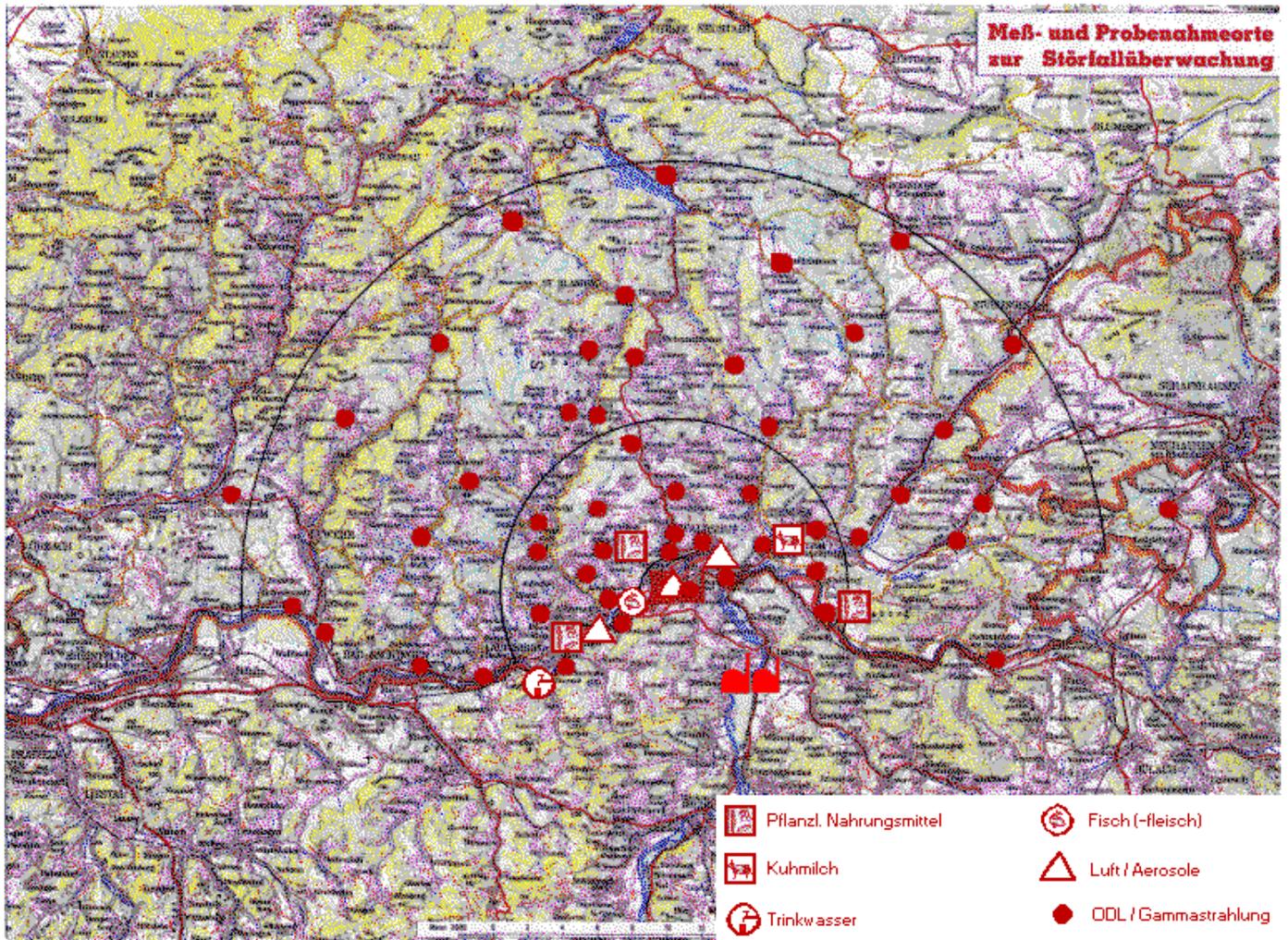


Abbildung 4.18

Abbildung 4.18 zeigt die Probenentnahme- und Meßorte aus dem Bereich Waldshut. Die Trainingsmessungen erstrecken sich vorwiegend auf die systematische Bestimmung abgelagerter künstlicher Bodenaktivität an einem Teil der ausgesuchten Orte sowie auf die Luftüberwachung und die Ortsdosisermittlung.

Ortsdosis (Äußere Strahlung)

Die durch die äußere Strahlung verursachte Ortsdosis in der Umgebung der Kernkraftwerke wird sowohl von den Meßstationen des Kernreaktorfernüberwachungssystems als auch unabhängig davon mit ausgelegten strahlungsempfindlichen Flachglasdosimetern ermittelt.

Fernüberwachung bei Kernreaktoren

Die Strahlenpegelmeßstationen des Kernreaktorfernüberwachungssystems ermitteln die Ortsdosisleistung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Im Normalfall trägt nur die natürliche ionisierende Strahlung (z.B. Höhenstrahlung, Kalium-40, Radium- und Thoriumfolgeprodukte) zum Meßeffect bei. Bei einem schweren Störfall mit größerer Radioaktivitätsfreisetzung wird bei einer Grenzwertüberschreitung des Strahlenpegels von den Meßstationen Alarm ausgelöst. Insgesamt geben die Strahlenmeßstationen dann auch einen Überblick über die radiologische Situation in der Umgebung des Kernkraftwerkes und erlauben eine erste Beurteilung einer möglichen Gefährdung.

Dosisleistung bei KFÜ-Meßstationen 1986-1995

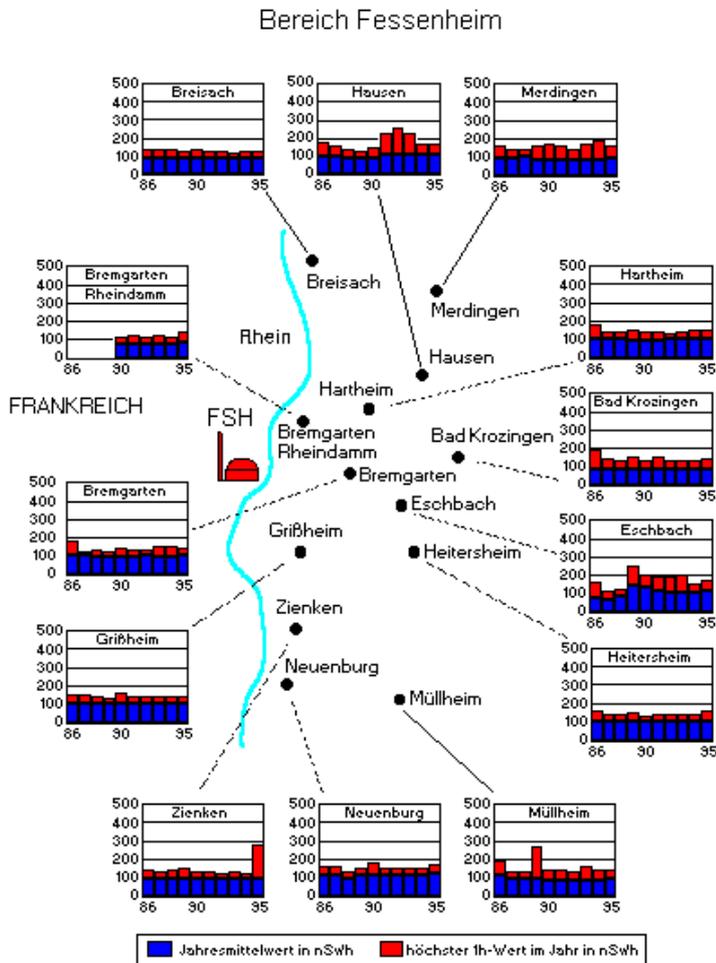


Abbildung 4.19

Dosisleistung bei KFÜ-Meßstationen 1986-1995

Bereich Leibstadt

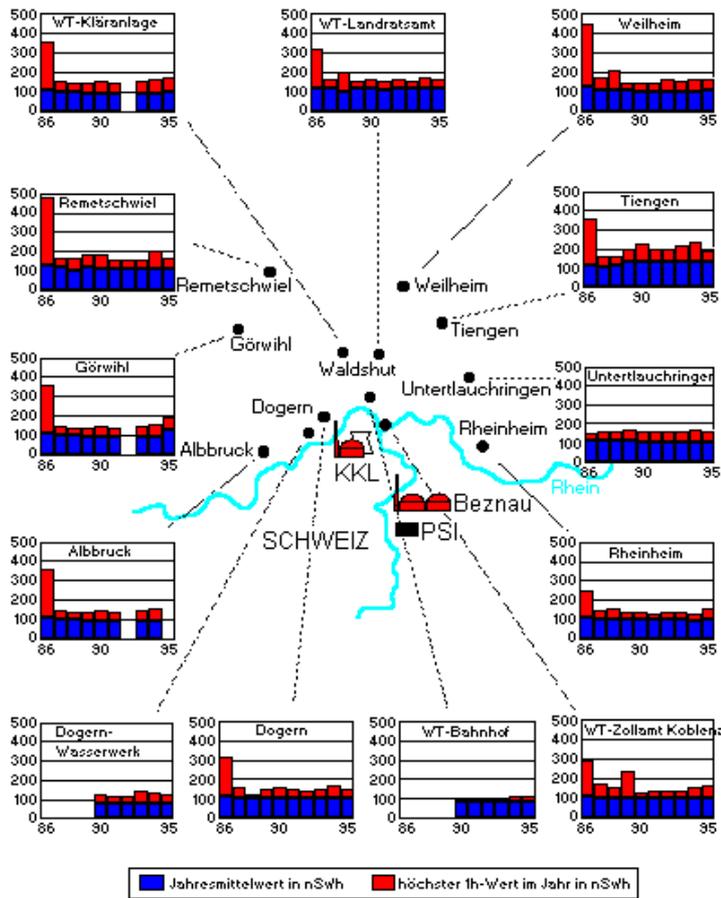


Abbildung 4.20

In den Übersichtskarten Abbildung 4.19 bis 4.23 sind sowohl die Jahresmittelwerte als auch die jeweils höchsten Stundenwerte der Gamma-Ortsdosisleistung aller 1995 verfügbaren Immissionsmeßstationen des KFÜ eingetragen. Die Abbildungen 4.19 und 4.20 zeigen die mit den Meßstationen des Kernreaktorfernüberwachungssystems in der baden-württembergischen Umgebung der ausländischen Kernkraftwerke Fessenheim (Frankreich) und Leibstadt (Schweiz) ab dem Jahre 1986 ermittelten Ortsdosisleistungen. Dargestellt sind der jeweilige Jahresmittelwert und der jeweils aufgetretene Stundenmaximalwert der Gamma-Ortsdosisleistung. Man erkennt, daß im Raum Fessenheim die Spitzenwerte aus dem Jahre 1986 trotz des Unfalls von Tschernobyl zum Teil kleiner waren als in den Folgejahren. Dies liegt daran, daß es in diesem Gebiet zum Zeitpunkt der Unfalleinwirkung keinen Niederschlag gegeben hat und somit wenig abgelagert wurde.

Im Bereich Leibstadt sind die Stundenmaxima im Jahre 1986 am höchsten. Hier hatte es Ende April/Anfang Mai 1986 geregnet. Die Nuklide wurden aus der radioaktiven Wolke ausgewaschen und auf der Erdoberfläche abgelagert. Der höchste Wert mit 480 nSv/h trat bei der Ortschaft Remetschwil auf. Der dazugehörige Jahresmittelwert betrug 130 nSv/h. Im Laufe der folgenden Jahre ging dieser Jahresmittelwert auf 110 nSv/h zurück, was hauptsächlich eine Folge des Zerfalls der kürzerlebigen Nuklide aus dem Tschernobylunfall war.

Die Meßstationen Bremgarten-Rheindamm, Dogern-Wasserwerk und Waldshut-Bahnhof arbeiten erst seit 1990 im automatischen Meßnetz. Die Meßstationen Waldshut-Kläranlage, Görwihl und Albruck waren 1992 wegen Umbaumaßnahmen vorübergehend außer Betrieb.

Dosisleistung bei KFÜ-Meßstationen 1995

Bereich Neckarwestheim

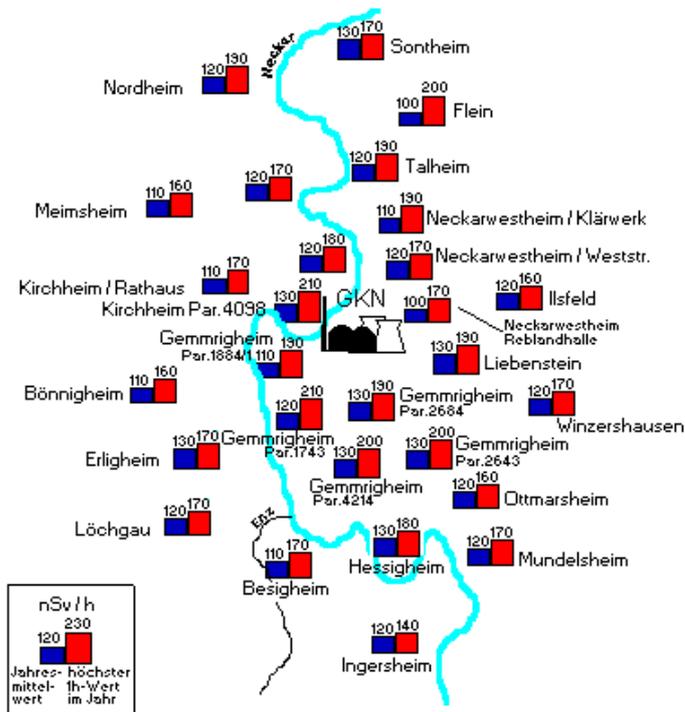


Abbildung 4.23

An den Standorten der Kernkraftwerke in Baden-Württemberg traten 1986 folgende Stundenmaxima auf:

Philippsburg : 260 nSv/h (Abbildung 4.21)

Obrigheim : 210 nSv/h (Abbildung 4.22)

Neckarwestheim : 240 nSv/h (Abbildung 4.23)

Derartige Erhöhungen auf etwa das Doppelte des üblichen Werts können auch aufgrund natürlicher Effekte auftreten. Insgesamt waren die Erhöhungen an diesen Standorten niedriger als im Bereich Leibstadt. Da es dort in der Zeit des Unfalls von Tschernobyl nicht geregnet hat, sind die Effekte deutlich kleiner als im Süden von Baden-Württemberg.

Mittlere Ortsdosis an überwachten Standorten

Jahresmittelwerte 1986 - 1995

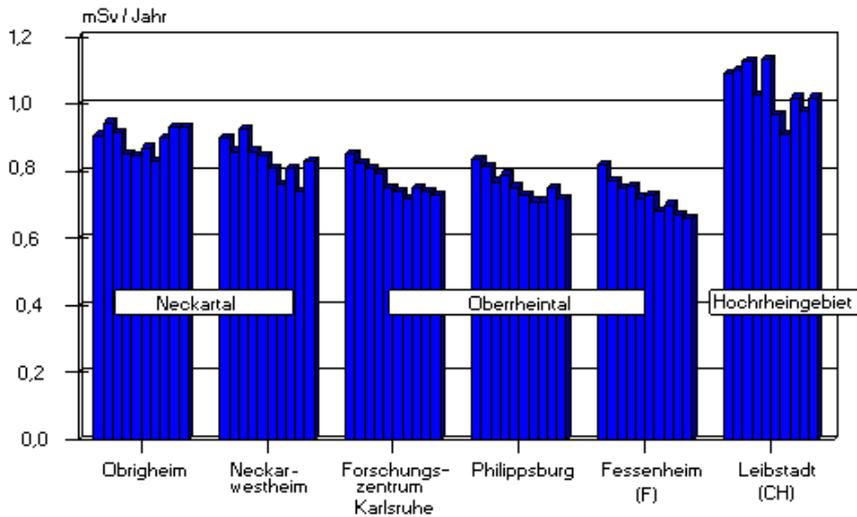


Abbildung 4.24

In Abhängigkeit von der Größe des zu überwachenden Gebiets um eine kerntechnische Anlage wurden an mindestens 20 Meßorten (Überwachungsgebiet Leibstadt) und bis zu 44 Meßorten (Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe) strahlungsempfindliche Flachglasdosimeter eingesetzt. Um gut abgesicherte Meßwerte zu erhalten, werden pro Meßort jeweils zwei Dosimeter ausgelegt. Die Ergebnisse der Ortsdosismessungen sind für die überwachten Gebiete der Kernkraftwerksstandorte für die Zeit von 1986 - 1995 in Abbildung 4.24 dargestellt. Die jeweiligen Jahresmittelwerte setzen sich dabei aus den Meßergebnissen aller im Überwachungsgebiet ausgelegten, auswertbaren Dosimeter zusammen.

Man erkennt, daß die einzelnen Standorte im Rahmen stets auftretender Schwankungen charakteristische Mittelwerte aufweisen. Dies ist dadurch erklärbar, daß für die ermittelte Strahlensituation am Meßort hauptsächlich der geologische Untergrund und die nähere Umgebung des Auslegungsorts bestimmend sind. So bewirken hohe natürliche Radiumgehalte des Untergrunds deutlich höhere Ortsdosen. Auch aktivitätshaltige Baustoffe oder das Ausbringen kaliumhaltiger Dünger am Auslegungsort können den Dosimetermeßwert nennenswert beeinflussen. Für die genannten Gebiete wurden folgende Schwankungsbereiche der Werte in Millisievert pro Jahr (mSv/a) ermittelt:

Bereich	KWO	GKN	FZK	KKP	FSH	TRIGA	KKL
	Neckarraum		Oberrheintal			Hochrhein	
Maxima	1.27	1.11	0,99	1,14	1,04	1,02	1,50
Gebietsmittelwert	0,93	0,83	0,73	0,72	0,66	0,89	1,02
Minima	0.63	0.64	0,56	0,59	0,45	0,80	0,68

Im Oberrheintal mit seinen sandigen Böden liegen die Ortsdosen am niedrigsten. Die Werte im Hochrheingebiet und Hotzenwald sind am höchsten. Ein Vergleich mit kernkraftwerksfernen Gebieten zeigt, daß die ermittelten Ortsdosen praktisch keine betriebsbedingten Komponenten enthalten. Diese Immissionsergebnisse entsprechen insoweit den Erwartungen, da im Berichtszeitraum auch keine bedeutsamen Zwischenfälle mit radiologischen Auswirkungen aufgetreten sind.

Luft

In der Umgebung von Kernkraftwerken wird auch die Luft als lebenswichtiges Primärmedium auf Beimengungen von künstlichen Radionukliden untersucht. Dabei konnten in 1995 nur selten und dann unbedeutende Mengen künstlicher Radionuklide in der Luft festgestellt werden, die aber nicht auf Abgaben aus den überwachten kerntechnischen Anlagen schließen lassen.

Es handelte sich ausschließlich um Cäsium-137 bis zu einem Maximalwert von $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Daß auch heute noch gelegentlich schwache Konzentrationen dieses aus dem Tschernobyl-Unfall stammenden Nuklids bei den Aerosolen auftreten, wird auf die Aufwirbelung von Straßenstaub, Abtragung von Oberflächenpartikeln durch Windverwehung und Resuspensionseffekte zurückgeführt.

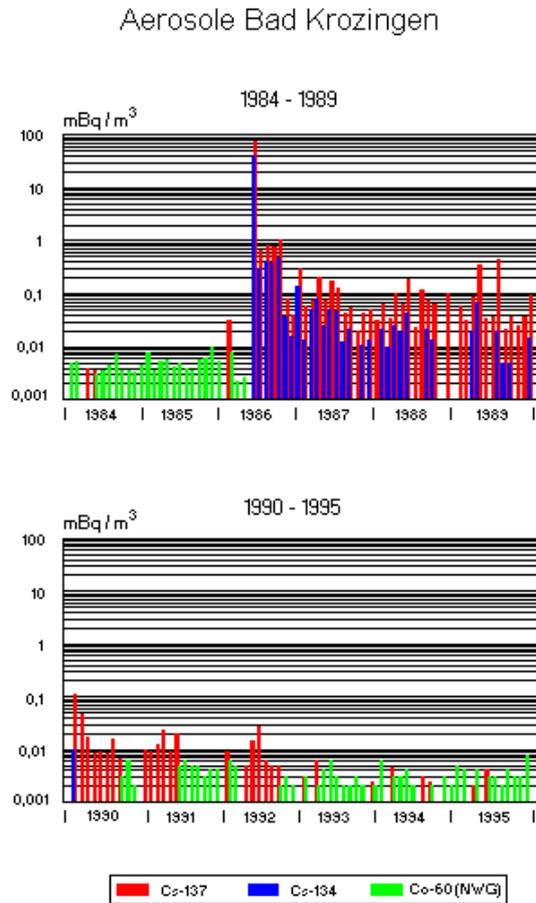


Abbildung 4.25

Als Beispiel für den langfristigen Verlauf von künstlichen Radionuklidkonzentrationen in Aerosolen der bodennahen Luft zeigt Abbildung 4.25 die Monatswerte der Aerosolsammelstelle Bad Krozingen. Die Meßwerte sind nicht auf den Betrieb des nahegelegenen französischen Kernkraftwerks Fessenheim zurückzuführen, sondern auf den Eintrag von Tschernobyl. Dies läßt sich am jeweiligen zeitabhängigen Verhältnis der beiden dargestellten Nuklide Cäsium-134 und Cäsium-137 erkennen. Bei den als Kobalt-60 dargestellten Werten handelt es sich nicht um tatsächliche, gemessene Luftkonzentrationen, sondern um Vergleichskennwerte für die meßtechnische Nachweisgrenze. Diese Größe wird angegeben, wenn anhand der Messung keine künstlichen Radionuklidgehalte erkannt werden. Die dabei eingesetzten gammaspektrometrischen Meßverfahren sind im Mittel so empfindlich, daß sie eine Kobaltaktivität von 1 Becquerel (entsprechend $25 \times 10^{-15}\text{g}$, also 25 Milliardstel Mikrogramm Kobalt-60) in etwa $200\,000 \text{ m}^3$ Luft zuverlässig erfassen.

Niederschlag

Tritium und Cäsium-137 in Niederschlägen Monatsmittelwerte

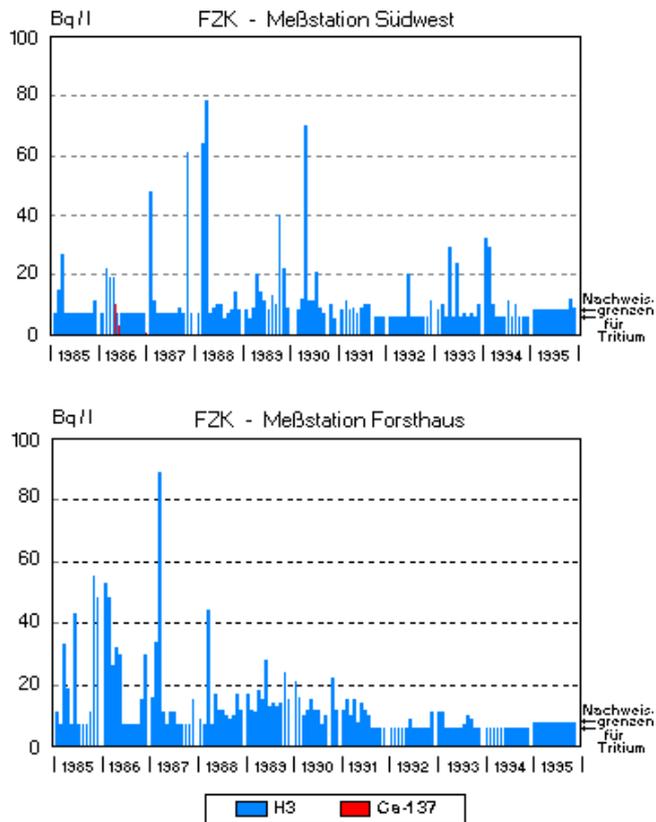


Abbildung 4.26

Parallel zur Luftüberwachung erfolgt auch die ständige Sammlung von Niederschlägen und deren Überwachung an allen Standorten kerntechnischer Anlagen. Die jeweils über die Dauer eines Monats gesammelten Niederschlagswässer werden gammaspektrometrisch untersucht. In den Monatsproben waren im Frühsommer 1986 wegen des Tschernobylunfalls zwar deutlich, ansonsten nur noch äußerst selten Spuren von Cäsium-137 im Bereich einiger Millibecquerel je Liter zu messen.

Betrachtet man für das Radionuklid Tritium mehrere Probenentnahmeorte beim Forschungszentrum Karlsruhe im Vergleich (Abbildung 4.26), so fällt hier auf, daß in jüngster Vergangenheit nur noch wenige Werte überhaupt über den Nachweisgrenzen von 6 Bq/l bzw. 8 Bq/l liegen. Die positiven Befunde von Tritium mit derart niedrigen Konzentrationen haben radiologisch keine Bedeutung.

Wasser

Oberflächenwasser

Oberflächenwässer werden vor dem Eintritt in eine kerntechnische Anlage und nach dem Verlassen der Anlage auf ihren Gehalt an künstlichen Gammastrahlern sowie Tritium untersucht. Für den Berichtszeitraum waren in den untersuchten Wasserproben aus Rhein und Neckar nur in wenigen Fällen Spuren künstlicher Gammastrahler enthalten. Die wenigen positiven Befunde beim Nuklid Cäsium-137 lagen in der Größenordnung der Erkennungsgrenze, also bei 0,05 Bq/l. Dabei ist die Messung durchweg so empfindlich, daß man in 20 l Oberflächenwasser noch 1 Becquerel Kobalt-60 erkennen würde (dies entspricht $25 \times 10^{-15} \text{g}$ Kobalt-60, also 25 Milliardstel Mikrogramm) und sich dabei nur in einem von hundert Fällen irrtümlich auf ein falsches Ergebnis festlegen würde.

Das Radionuklid Tritium läßt sich hingegen bei den Messungen im Auslaufkanal für Kühl- oder Abwässer oft in deutlich höheren Konzentrationen (bis zu 400 Bq/l im Monatsmittel) nachweisen als vor der Kühlwasserentnahme. Unterhalb findet bei größeren Vorflutern eine merkliche Verdünnung statt. Die Höhe der Konzentration im Flußwasser hängt außerdem stark von der Wasserführung des Vorfluters und der Lage der Probenahmestelle ab. Deshalb fallen die Konzentrationswerte bei den am Rhein liegenden Anlagen infolge der großen Verdünnungseffekte mit dem Rheinwasser niedriger aus als bei den anderen Anlagen.

Tritium in Oberflächenwasser 1995

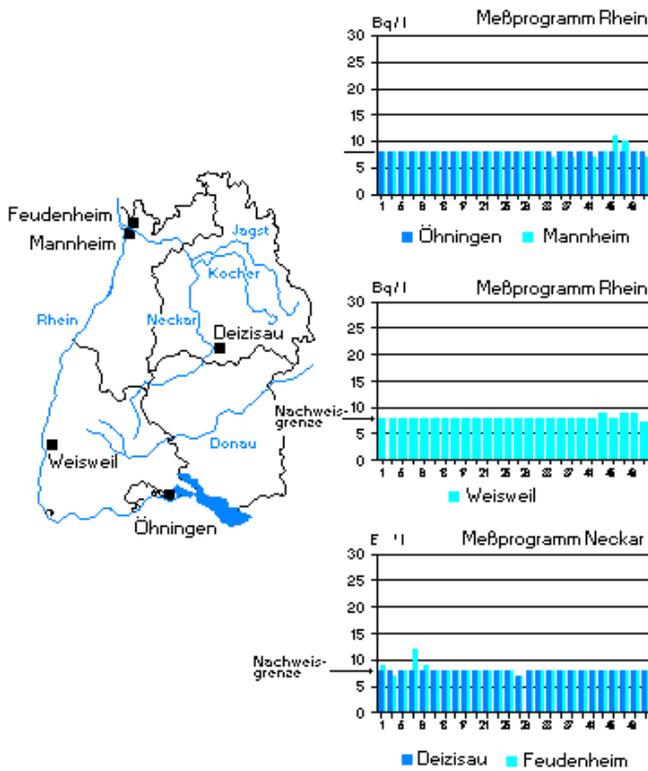


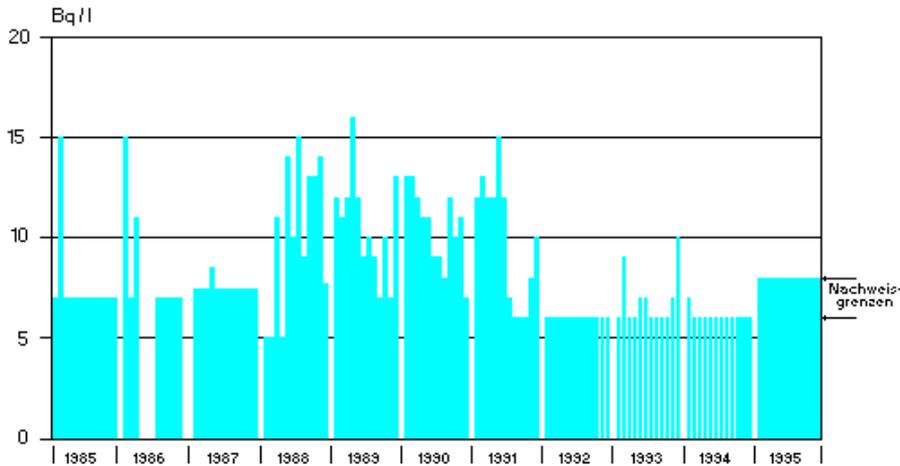
Abbildung 4.28

Dies wird auch in die Abbildung 4.28 deutlich, in der der Jahresverlauf für Tritiumgehalte an zweiwöchigen Sammelproben wiedergegeben wird. Die Probenahmeorte sind weit genug von kerntechnischen Anlagen entfernt, um lokale oder systematisch ortsbedingte Meßeffekte auszuschließen.

Mit den Informationen aus der Emissionsüberwachung kann man auch heute noch erkennen, daß kerntechnische Anlagen den Tritiumgehalt des Oberflächenwassers im Mittel beeinflussen. Wegen der geringeren Wasserführung fällt der Zusatzbeitrag im Neckar regelmäßig höher aus als im Rhein, hat aber radiologisch keine Bedeutung, zumal Tritium ein niederenergetischer Betastrahler und nur gering radiotoxisch ist.

Tritium im Oberflächenwasser 1985 - 1995

Monatsmittelwerte bei Meßstation Weisweil



*) Seit 1995 hat sich aufgrund einer DIN-Norm die Berechnung von Nachweisgrenzen geändert.

Abbildung 4.31

Die wirkungsvolle Verdünnung im Rhein, aber auch deutlich verminderte industrielle Einträge in jüngster Zeit, sind auch Abbildung 4.31 zu entnehmen. So lagen die langjährigen Monatsmittelwerte am Überwachungsort Weisweil mit einer einzigen Ausnahme bisher stets unter 15 Bq/l. Seit 1994 lagen mit einer Ausnahme sogar alle Werte unter der meßtechnischen Erkennungsgrenze. Auch hier spiegelt sich die allgemein feststellbare Tendenz fallender Tritiumeinträge in die Umwelt sowie das Absinken des noch von den oberirdischen Kernwaffentests stammenden Tritiuminventars in der Atmosphäre durch Auswaschung und radioaktiven Zerfall wider.

Einen Vorfluter mit meist deutlich höheren Werten stellt der Rheinniederungskanal beim Forschungszentrum Karlsruhe dar. Hier treten wegen der geringen Wasserführung stets die höchsten Tritiumkonzentrationen auf. Die Konzentrationen dieses kleinen Oberflächengewässers korrelieren gut mit den jährlichen Emissionsraten (siehe [Abbildung 4.10](#)) des Forschungszentrums. Auch hier ist langfristig eine fallende Tendenz festzustellen. Selbst der dauernde Genuß von Wasser mit den höchsten mitgeteilten Konzentrationswerten würde aber noch zu keinen Überschreitungen von Dosisgrenzwerten bei der Bevölkerung führen.

Tritium im Rheinniederungskanal bei Leopoldshafen und im oberflächennahen Grundwasser bei Philippsburg-Huttenheim

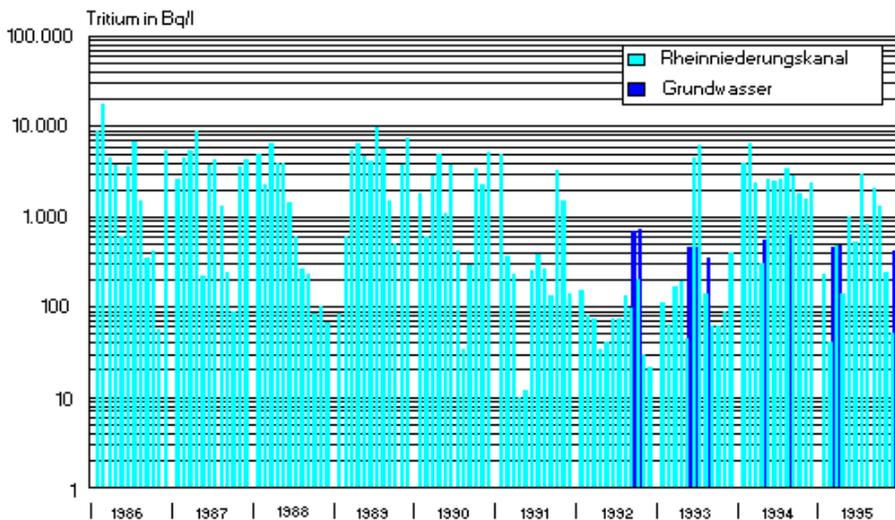


Abbildung 4.32

Das Wasser des Rheinniederungskanals wird monatlich auf Tritium untersucht. Abbildung 4.32 zeigt die Ergebnisse der letzten 10 Jahre. In der Abbildung sind zudem die Ergebnisse von oberflächennahem Grundwasser aus der Nähe des Rheinniederungskanals angegeben. Die Werte korrelieren nicht miteinander. Dies ist auf Langzeitspeichereffekte des Grundwasserleiters zurückzuführen.

Sedimente, Wasserpflanzen

Sedimente, Wasserpflanzen und Schwebstoffe in Oberflächengewässern sind als Akkumulatoren von radioaktiven Stoffen empfindliche Nachweismedien. Die ermittelten Werte erlauben allerdings keine quantifizierbare Zuordnung der Aktivitäten, die in geringen Mengen mit dem Abwasser abgeleitet worden sind. Sie lassen jedoch gewisse Rückschlüsse auf den Emittenten bzw. die Herkunft der Radioaktivität zu.

Cäsium-137 im Sediment

Rhein bei Philippsburg

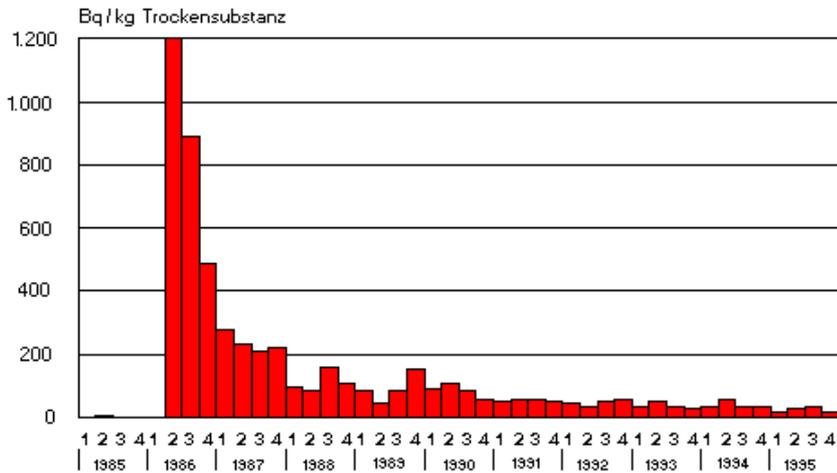


Abbildung 4.33

In den stromabwärts gelegenen Flußabschnitten aller kerntechnischen Anlagen wurden in den Sedimenten künstliche Radionuklide gefunden. Den Hauptanteil hatte das Nuklid Cäsium-137, das vorwiegend aus Tschernobyl stammt. In Abbildung 4.33 wird der Konzentrationsverlauf des Cäsium-137 in feinkörnigem Rheinsediment aus dem überwachten Gebiet beim Kernkraftwerk Philippsburg dargestellt. Die Entnahme erfolgte in einer Station, wo die im fließenden Rheinwasser enthaltenen Schwebstoffe über die Dauer eines Monats abgeschieden werden. Wegen Schwierigkeiten bei der ufernahen Entnahme von Stichproben und den unterschiedlichen limnologischen Verhältnissen der beprobten Gewässer schwanken diese Werte sehr stark, so daß ein Vergleich der einzelnen Gebiete nicht ohne weiteres möglich ist. So liegen die Konzentrationswerte für feinkörnige Sedimente aus Staustufenbereichen höher als aus Gewässerabschnitten mit höheren Fließgeschwindigkeiten.

Schwankungsbereiche für Radionuklide in Sedimenten der Umgebung kerntechnischer Anlagen im Überwachungszeitraum 1995

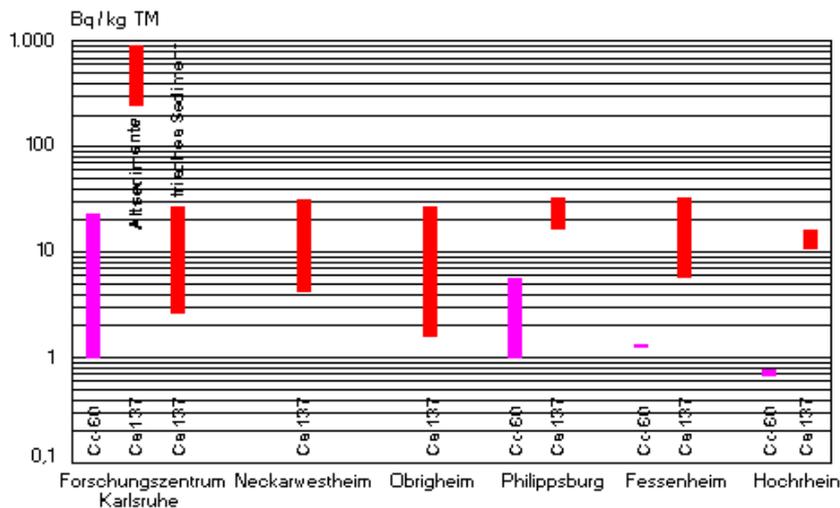


Abbildung 4.34

Die Cäsium-137-Konzentrationen in Sedimenten aus Rhein und Neckar (siehe Abbildung 4.34) schwankten im Berichtszeitraum zwischen einigen Zehnteln und etwa 30 Bq/kg Trockensubstanz, ebenso die Werte von anderen Spalt- und Aktivierungsprodukten (Kobalt-60 oder Cäsium-134). Cäsium-137 erreicht in alten Sedimenten des Hirschkanals beim Forschungszentrum Karlsruhe im Mittel etwa das 30-fache des obigen Maximalwerts, was auf frühere Ableitungen über den Luftpfad aus den dortigen Experimentieranlagen zurückzuführen ist.

Bei allen am Rhein gelegenen kerntechnischen Anlagen waren im Berichtszeitraum für kerntechnische Anlagen typische Aktivierungsprodukte in den stromabwärts liegenden Sedimenten zu messen. Dies zeigt, daß sowohl die nordostschweizerischen und die elsässischen als auch die deutschen kerntechnischen Anlagen im Forschungszentrum sowie die Kernkraftwerke bei Philippsburg geringe

Mengen radioaktiver Stoffe über den Abwasserpfad abgegeben haben.

Das vorwiegend aus der medizinisch-therapeutischen Anwendung stammende Iod-131 konnte in keiner Sedimentprobe aus der Nähe von Kernkraftwerken nachgewiesen werden.

Trinkwasser

Das in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen gewonnene Trinkwasser stammt ausschließlich aus Grundwasser. 1995 waren in diesen Wässern keine künstlichen alpha- oder gammastrahlenden Radionuklide nachweisbar.

Die stichprobenweise ermittelten Strontium-90-Gehalte bewegten sich je Liter Wasser im Bereich von einigen MilliBecquerel und sind langfristige Auswirkungen der früheren oberirdischen Kernwaffentestexplosionen. Erfasst werden hier Gehalte von einigen Picogramm in einem m³ Trinkwasser. Dies ist der millionste Teil eines Millionstel Gramms je m³. Dies entspricht vergleichsweise etwa einer Messerspitze Strontium-90, gleichmäßig verteilt auf das gesamte Wasser des Bodensees.

Die Tritiumgehalte schwankten durchweg zwischen der meßtechnischen Nachweisgrenze, die unter 10 Bq/l liegt, und dem Doppelten dieses Werts. Lediglich im Einflußbereich des Forschungszentrums Karlsruhe liegt ein signifikanter, anlagenbedingter Beitrag zum Tritiumgehalt des dortigen Grundwassers vor. So lagen in Fließrichtung der Grund- und Oberflächenwässer in einem Rheinniederungsgebiet die Tritiumkonzentrationen des Grundwassers einiger Einzelentnehmer teilweise beim fünfzigfachen Wert der Nachweisgrenze (siehe [Abbildung 4.32](#)). Dennoch wird bei Genuß eines solchen Wassers kein Strahlendosisgrenzwert für die Bevölkerung erreicht oder gar überschritten, da Tritium einen kleinen Dosisfaktor und eine geringe Verweilzeit im menschlichen Organismus hat. Ansonsten sind keine spezifischen Unterschiede im Radioaktivitätsgehalt von Trinkwässern aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen gegenüber den in sonstigen Gebieten gewonnenen Trinkwässern festzustellen.

Boden

Die Kulturböden haben großen Einfluß auf unsere Nahrung. Sie sind deshalb besonders zu schützen. Böden stellen zudem auch langfristige Sammler für alle Stoffe dar, auch für Radionuklide, die über die Luft herangeführt und sowohl durch trockene Sedimentation als auch durch Auswaschen zunächst oberflächlich abgelagert werden. Bodenuntersuchungen haben deshalb große Bedeutung für die radiologische Überwachung.

Cäsium-137 in Böden aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Jahresmittelwerte in Bq/kg TS

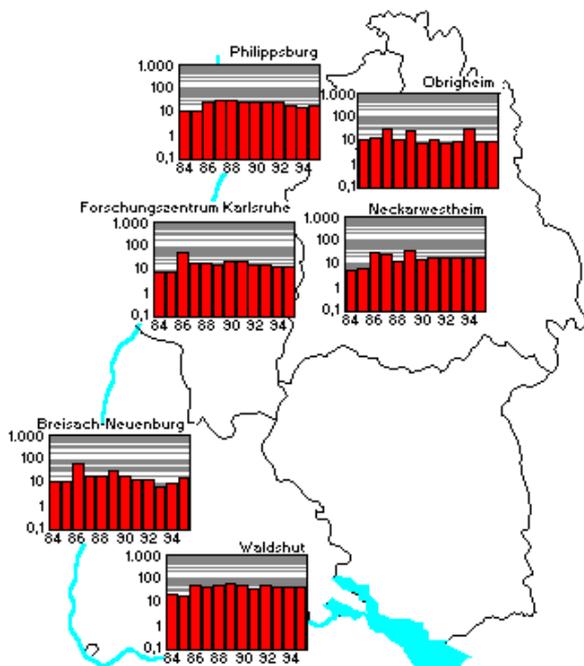


Abbildung 4.35

Programmgemäß werden Böden auf ihren Gehalt an künstlichen gammastrahlenden Einzelnucliden überwacht, beim Forschungszentrum Karlsruhe auch auf Plutoniumisotope. In den 1995 untersuchten Böden (Abbildung 4.35, 4.36, 4.37) wurde nahezu immer Cäsium-137 gefunden. Es stammt jedoch nicht von den überwachten kerntechnischen Anlagen, sondern spiegelt die früher erfolgten Einträge aus den Kernwaffentestexplosionen und dem Reaktorunfall von Tschernobyl wider.

Cäsium-137 in Böden

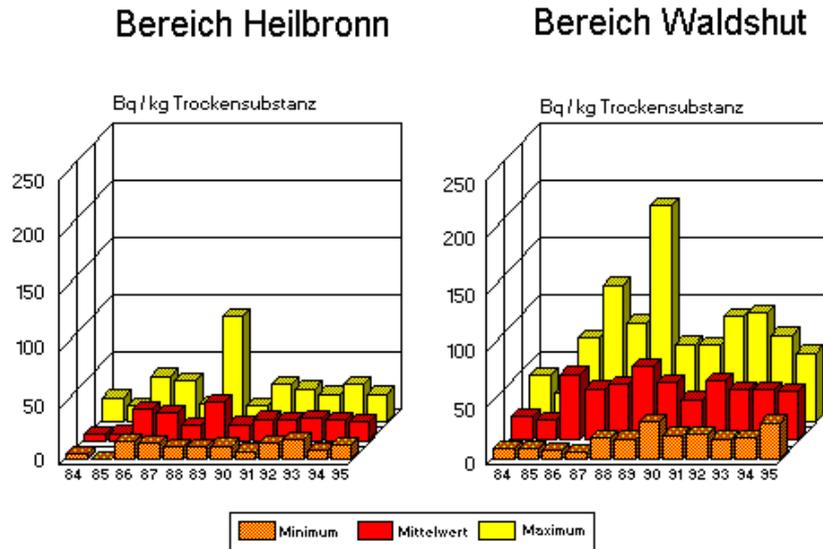


Abbildung 4.36

Vergleicht man die längerfristig ermittelten Konzentrationswerte aus dem südlichsten überwachten Gebiet um Waldshut mit solchen aus dem nördlichen Landesteil, z. B. bei Heilbronn (siehe Abbildung 4.36), so erkennt man, daß die Cäsium-137-Konzentrationen innerhalb eines Überwachungsgebiets großen Schwankungen unterworfen sind. Die Werte bei Waldshut liegen stets höher als im Bereich Heilbronn. Das mit einer physikalischen Halbwertszeit von 2,06 Jahren relativ kurzlebige Cäsium-134 hat deutlich abgenommen und ist heute nur noch selten im südlichen Teil von Baden-Württemberg nachzuweisen. Dennoch konnte bisher stets über das Verhältnis dieser beiden Radionuklide und über den Vergleich mit Referenzorten nachgewiesen werden, daß die gefundenen Cäsiumnuklide nicht aus den überwachten Anlagen der Nordostschweiz bzw. Neckarwestheim, sondern aus Tschernobyl stammen.

Cäsium-137 im Boden in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe 1985 - 1995

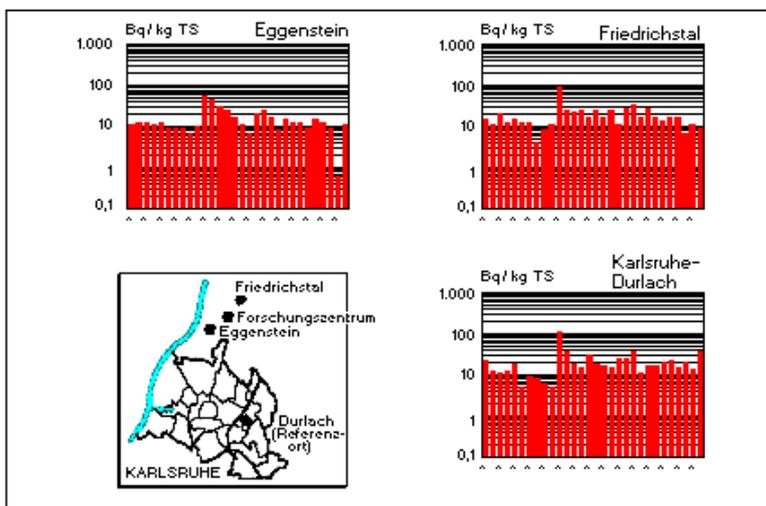


Abbildung 4.37

In Abbildung 4.37 ist am Beispiel des Überwachungsgebietes beim Forschungszentrum Karlsruhe im Detail für mehrere Probenahmeorte der längerfristige Verlauf der Cäsium-137-Gehalte in halbjährlich entnommenen Bodenproben dargestellt. Man erkennt einerseits an allen Probenahmeorten den sprunghaften Anstieg der Werte im Jahr des Reaktorunfalls von Tschernobyl und andererseits auch den schon vor 1986 durch die Kernwaffentestexplosionen verursachten Cäsium-137-Pegel. Nicht selten liegen die Werte aus den Referenzorten, die sich fernab der überwachten Anlagen in unbeeinflusstem Gebiet befinden, höher als die Werte aus der Nähe einer kerntechnischen Anlage.

Radioaktivität in Böden 1995

Alle Überwachungsgebiete in Baden-Württemberg

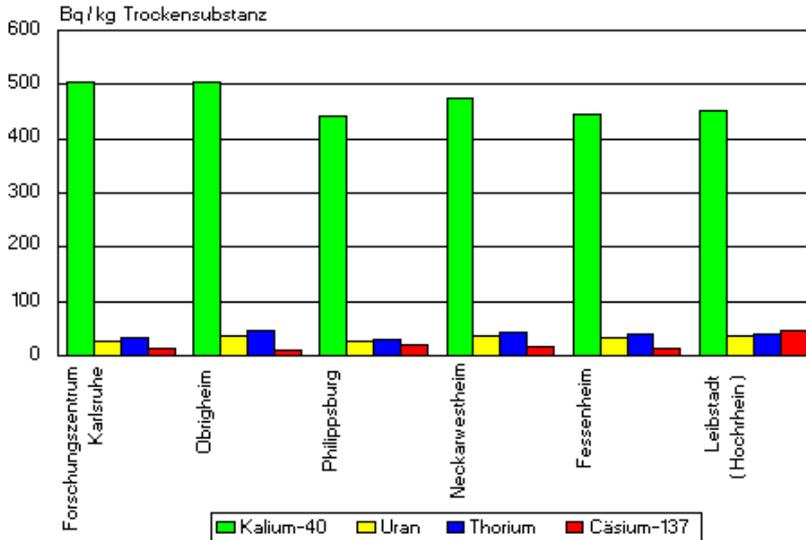


Abbildung 4.38

Die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen ist nur auf künstlich erzeugte Radionuklide ausgerichtet. Dennoch werden bei der Untersuchung von Bodenproben stets auch die darin enthaltenen natürlichen Radionuklide miterfaßt. Dies sind radioaktive Stoffe von Elementen, die aus der Entstehungszeit der Erde stammen. Im wesentlichen sind es die in der Natur vorkommenden Zerfallsreihen des Urans und Thoriums sowie Kalium-40. In Abbildung 4.38 sind für die Böden der Überwachungsgebiete der Kernkraftwerke die natürlichen Aktivitätsgehalte den Cäsium-137-Gehalten gegenüber gestellt. Man erkennt, daß nur im Hochrheingebiet die Aktivitätskonzentrationen von Cäsium-137 im oberflächennahen Boden höher liegen als die des Urans und Thoriums. Während das künstliche Cäsium-137 auf eine Bodenschicht von maximal 30 bis 40 cm (Pflugschartiefe) beschränkt bleibt, sind die natürlichen Radionuklide in der gesamten Erdrinde enthalten. Sie bewirken dadurch eine entsprechend höhere, natürlich bedingte Strahlendosis.

Aus Bodenproben des Jahres 1995 abgeschätzte Gamma-Ortsdosis

(einschließlich Höhenstrahlung)

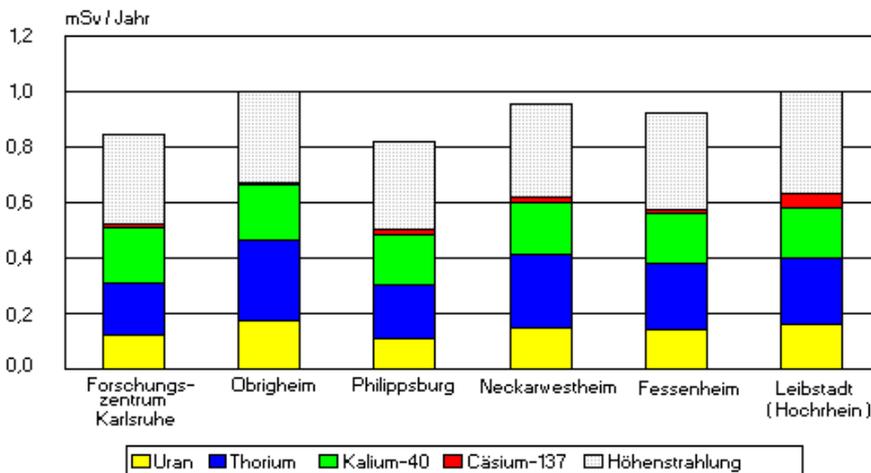


Abbildung 4.39

In Abbildung 4.39 sind für die verschiedenen Überwachungsgebiete des Landes die anteiligen Strahlendosen abgeschätzt, die sich aus den gemessenen Radionuklidgehalten der Böden ergeben. Der Vollständigkeit halber wurde noch die von der natürlichen Höhenstrahlung ausgehende Strahlendosis mit angegeben. Damit ergeben sich gebietsabhängige Mittelwerte für die Gamma-Ortsdosen durch äußere Strahlung natürlichen und künstlichen Ursprungs zwischen etwa 0,8 und 1 mSv/a. Die Ergebnisse schwanken von Gebiet zu Gebiet hauptsächlich wegen der unterschiedlichen Gehalte der Böden an natürlichen Radionukliden recht stark. Die Ergebnisse liegen gut im Bereich der mit Dosimetern gemessenen Dosiswerte (Abbildung 4.24). Sie zeigen auch, daß im Vergleich zur natürlichen, äußeren Strahlung die von künstlichen Radionukliden in der Umgebung ausgehende Strahlenbelastung von untergeordneter Bedeutung ist. Die von künstlichen Radionukliden verursachte Dosis liegt im Überwachungsgebiet Hochrhein im Mittel bei ca. 3 %, in den übrigen Überwachungsgebieten zwischen 1 und 2 % der durch die äußere Strahlung insgesamt bedingten Dosis. Sie ist in allen Überwachungsgebieten hauptsächlich vom Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und von den Einträgen als Folge der ehemaligen oberirdischen Kernwaffenversuche verursacht. Das Überwachungsgebiet Hochrhein war stärker als die übrigen Überwachungsgebiete vom Unfall von Tschernobyl betroffen. Dies spiegelt sich auch in diesen Ergebnissen wider. Vom Betrieb der Kernkraftwerke stammt nur ein geringer Teil.

Bewuchs

Futtermittel/Gras

Gras als stets verfügbares Meßmedium ist als Zwischenglied in der Nahrungskette ein wichtiger Indikator, um Veränderungen der oberflächennahen Radioaktivitätssituation zu erkennen. Im Jahr 1995 wurde in Grasproben aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen nur noch das künstliche Radionuklid Cäsium-137 in Bereichen zwischen einigen Zehnteln und 10 Bq/kg Trockensubstanz ermittelt, das Nuklid Cäsium-134 dagegen nicht mehr. Künstliche Alphastrahler oder andere gammastrahlende Radionuklide, insbesondere Aktivierungsprodukte, wurden in Grasproben in Baden-Württemberg im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen nicht nachgewiesen.

Cäsium-137 in Bewuchs (Gras) aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen

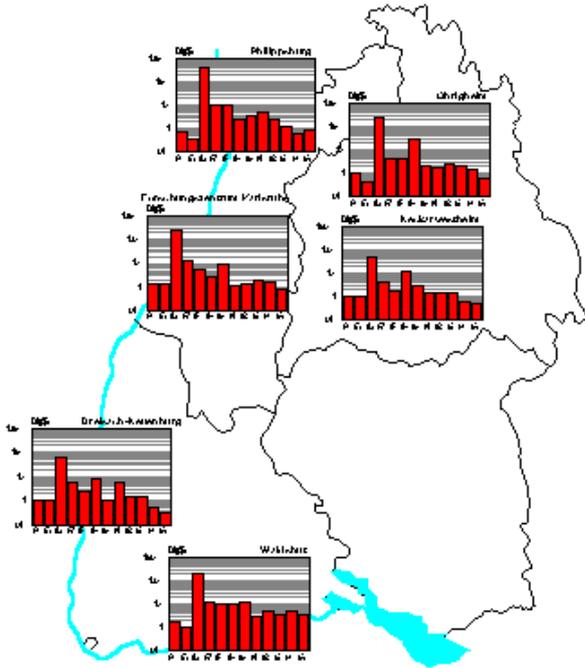


Abbildung 4.40

Tendenziell sind die Pflanzenkontaminationen im südlichen Bereich von Baden-Württemberg höher als im nördlichen (siehe Abbildung 4.40). Aber auch innerhalb eines Überwachungsgebietes kann es zwischen den einzelnen Probenahmeorten große Schwankungen geben, wie das Beispiel des Forschungszentrums Karlsruhe (Abbildung 4.41) zeigt.

Cäsium-137 in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe 1985 - 1995

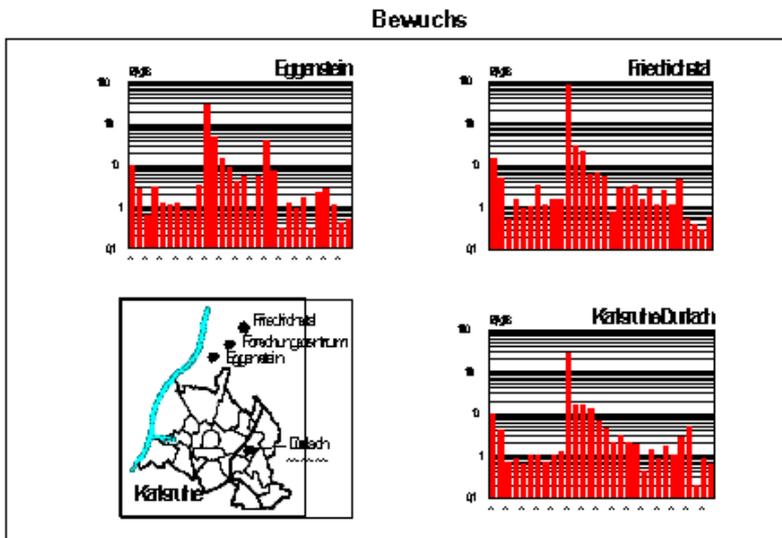


Abbildung 4.41

Maßgebend hierfür ist der jeweilige Aktivitätspegel des Bodens, der Vegetationsstand zum Zeitpunkt der Probenahme, durchgeführte

Bodenbearbeitungsmaßnahmen usw. Alle Zeitverläufe zeigen jedoch einen deutlichen Konzentrationsanstieg infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl. Dieser Beitrag überlagert sich den Werten, die von den früheren oberirdischen Kernwaffentestexplosionen verursacht worden sind. Heute liegen in Baden-Württemberg (Ausnahme ist der Südosten des Landes) die Cäsium-137-Gehalte der meisten Pflanzen bei ähnlichen Werten wie zu Beginn der 80er Jahre.

Nahrungsmittel

Die meisten der zahlreichen untersuchten Nahrungsmittel sind heute frei von künstlichen gammastrahlenden Radionukliden. Gelegentlich wurden in den in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen erzeugten Lebensmitteln noch Spuren von Cäsium-137 im Bereich der meßtechnischen Nachweisgrenzen gefunden, die sortenabhängig zwischen einigen 10^{-2} und einigen 10^{-1} Bq/kg schwanken.

Strontium-90 in Nahrungsmitteln 1995

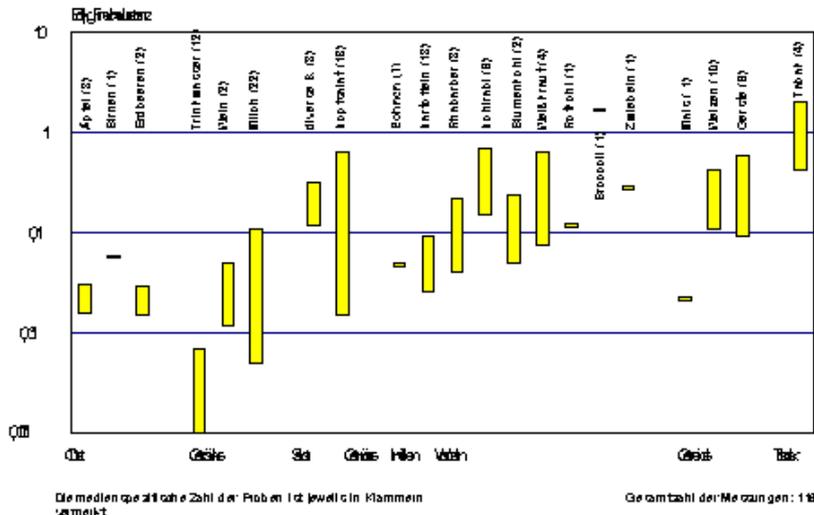


Abbildung 4.42

Einen Überblick über das in Nahrungsmitteln gefundene künstliche Radionuklid Strontium-90 gibt die Abbildung 4.42. Die untersuchten Proben waren in der Umgebung der Kernkraftwerke nicht signifikant höher belastet als solche, die fernab kerntechnischer Anlagen gesammelt wurden. Die Einträge des genannten Radionuklids sind vorwiegend auf die früher stattgefundenen oberirdischen Kernwaffentests zurückzuführen. Dies zeigt auch ein Vergleich der Ergebnisse der Referenzorte mit den im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität ermittelten Meßwerten (siehe Kapitel 3).

Im folgenden wird auf die überwachten Nahrungsmittel näher eingegangen.

Milch

Wegen der hohen Anreicherungs-faktoren der Iodisotope über den Weide-Kuh-Milch-Pfad, der hohen Strahlenwirksamkeit des Iods und des hohen Anteils von Milch und Milchprodukten an der Ernährung von Kleinkindern wird dieses Medium besonders aufmerksam überwacht. In Kuhmilch war 1995 kein radioaktives Iod nachzuweisen, so daß ein Einfluß der überwachten Anlagen auf dieses Nahrungsmittel ausgeschlossen werden kann.

Das an Stichproben ermittelte Strontium-90 weist, ähnlich wie Cäsium-137, mittlere Konzentrationen von jetzt deutlich unter 0,1 Bq/l auf. Im Vergleich zu dem in der Milch vorhandenen und gleichartig wirkenden natürlichen Kalium-40 mit Konzentrationen von 40 - 50 Bq/l spielt das Radiocäsium keine Rolle (vgl. auch das [Kapitel 3](#)).

Pflanzliche Nahrungsmittel

An pflanzlichen Nahrungsmitteln gibt es eine große Sortenzahl, aus denen im Rahmen der radiologischen Umgebungsüberwachung gebietstypische Stichproben überwacht werden. Der Schwerpunkt liegt auf oberirdisch wachsenden, eßbaren Pflanzenteilen und Früchten. So liegen Einzelergebnisse für den Gehalt an den künstlichen Radionukliden Tritium, Strontium-90, Cäsium-137 für folgende Sorten vor:

- Salate: vorwiegend Kopfsalat,
- Gemüse: Rhabarber, Kartoffeln, Bohnen,
- Kraut: Weißkraut, Rotkohl, Kohlrabi,
- Getreide: Gerste, Weizen, Mais,
- Obst: Äpfel, Birnen, Erdbeeren,
- Wein: weiß und rot.

Da in vielen Proben die Gehalte von Tritium und Cäsium unter der meßtechnischen Erkennungsgrenze liegen, werden in [Abbildung 4.42](#) lediglich die Schwankungsbereiche der Konzentrationen für das radiologisch bedeutsame Strontium-90 dargestellt. Soweit in wässrigen Proben (z. B. Wein) Tritium ermittelt wurde, lagen die Ergebnisse im Rahmen des heutzutage im Wasserkreislauf üblichen Schwankungsbereichs, d. h. sie schwanken um die meßtechnische Erkennungsgrenze von etwa 6 Bq/l oder lagen darunter. Die Strontium-

90-Werte bewegten sich - stark sortenabhängig - durchweg unterhalb von 0,1 bis 0,5 Bq/kg. Über diesem Wert lagen neben einem Wert von Broccoli deutlich alle Proben des Genußmittels Tabak. Die Ergebnisse wurden zum besseren Vergleich alle auf Frischsubstanz bezogen. Die Trockensubstanzwerte liegen um einen Faktor 10 höher.

Sofern in den untersuchten Pflanzenproben überhaupt noch das gammastrahlende Cäsium-137 nachweisbar war, lagen die Aktivitätsgehalte ausnahmslos unterhalb von 1 Bq/kg und damit in einem Konzentrationsbereich, der meßtechnisch gerade noch erfaßbar, radiologisch aber bedeutungslos ist.

Fische

In Fischen, deren Filet gammaspektrometrisch untersucht worden ist, waren die Ergebnisse in 1995 recht einheitlich. So waren in etwa der Hälfte der Proben aus dem Neckar keine künstlichen Radionuklide nachzuweisen, in manchen Fischen aus dem Rhein fand sich in Spuren unterhalb von 1 Bq/kg (Frischware) das aus Tschernobyl herrührende Cäsium-137. Aktivierungsprodukte aus kerntechnischen Anlagen konnten im Fischfleisch nicht nachgewiesen werden. Der Verzehr von Fisch trägt zur gesamten Strahlenexposition nur untergeordnet bei.

Cäsium-137 in Fischfleisch 1985 - 1995

Rheinniederungskanal / Philippsburg Altrhein

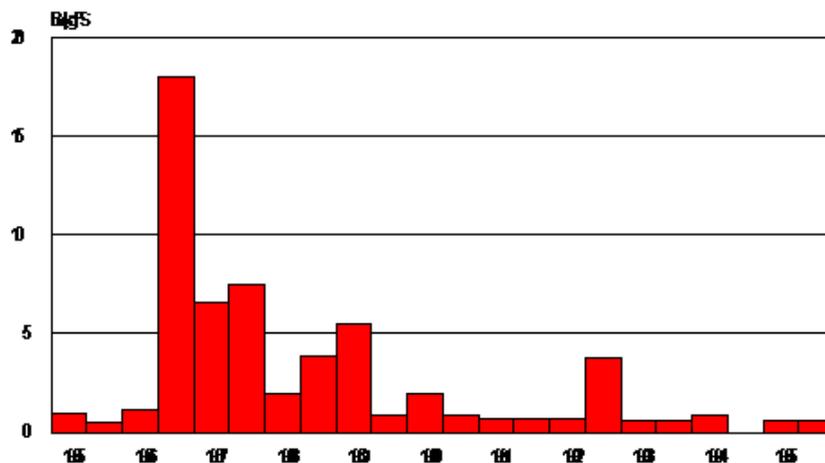


Abbildung 4.43

Den längerfristigen Konzentrationsverlauf des Cäsium-137 in Fischen aus einem langsam fließenden Gewässer zwischen Karlsruhe und Philippsburg (Rheinniederungskanal und Philippsburger Altrhein) kann man in Abbildung 4.43 verfolgen. Man erkennt deutlich die Auswirkungen des Cäsiumeintrages in das Gewässer und damit in das Fischfleisch infolge des Reaktorunglücks in Tschernobyl.

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995
Kapitel 5

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#)
[\[Anhang\]](#)

5. Ergebnisse aus dem ehemaligen Uranexplorationsgebiet Menzenschwand

Seit den 70er Jahren wurden in Baden-Württemberg in mehreren uranhöflichen Gebieten unter Tage bergmännische Erkundungen vorgenommen, um über Abbauwürdigkeit, Lage, Ausdehnung und Vorkommen sowie die Beschaffenheit von heimischen Uranerzen mehr Kenntnisse zu erhalten. Die aussichtsreichste Stelle, an der dann die Exploration am intensivsten betrieben wurde, lag am Fuß des Feldbergs, im Menzenschwander Tal.

Die Landesanstalt für Umweltschutz war während des Explorationsbetriebs der Uranerzgrube Menzenschwand von der zuständigen Bergbehörde für die Radioaktivitätsüberwachung des Wassers eingeschaltet worden. Nach der Einstellung der Exploration wurde die Grube im Oktober 1992 wieder aus dem Bergrecht entlassen, wozu auch Strahlenschutz- und Radioaktivitätsmessungen angeordnet worden waren. Diese Messungen schlossen an die Überwachungsmaßnahmen während der Exploration an. Sie sollten die Auswirkungen auf die Umwelt während der Stilllegungs- und Rekultivierungsphase erbringen. Sie werden in reduziertem Umfang auch heute noch durchgeführt.

Das Meßprogramm beschränkt sich auf die Überwachung des sogenannten Wasserpfads und konzentriert sich auf die Bestimmung der radiologisch bedeutsamen natürlichen Radionuklide des Urans, Radiums und Bleis in Wässern.

Während der Phase des planmäßigen Absaufens der Grube wurden zwischen Juni 1991 und April 1992 zahlreiche Proben aus dem ansteigenden Wasser des Hauptschachtes entnommen, der ehemals das gesamte untertägige Grubensystem bis in eine Teufe von ca. 250 m erschlossen hatte. Nach diesem Zeitpunkt wurde das Stollenmundloch abgedeckt, die Entnahme von austretenden Bergwässern erfolgt seitdem über vorsorglich verlegte Rohre. Diese fassen das im ehemaligen Stollenmundloch ankommende Bergwasser und führen es über eine Ableitungsrinne dem Krunkelbach zu.

Während beim Fluten der Grube die Probenahmefrequenz auch bei Wasserproben von außerhalb des ehemaligen Betriebsgeländes höher als heute war, wird seit 1993/1994 folgendes nachbetriebliche Meßprogramm durchgeführt:

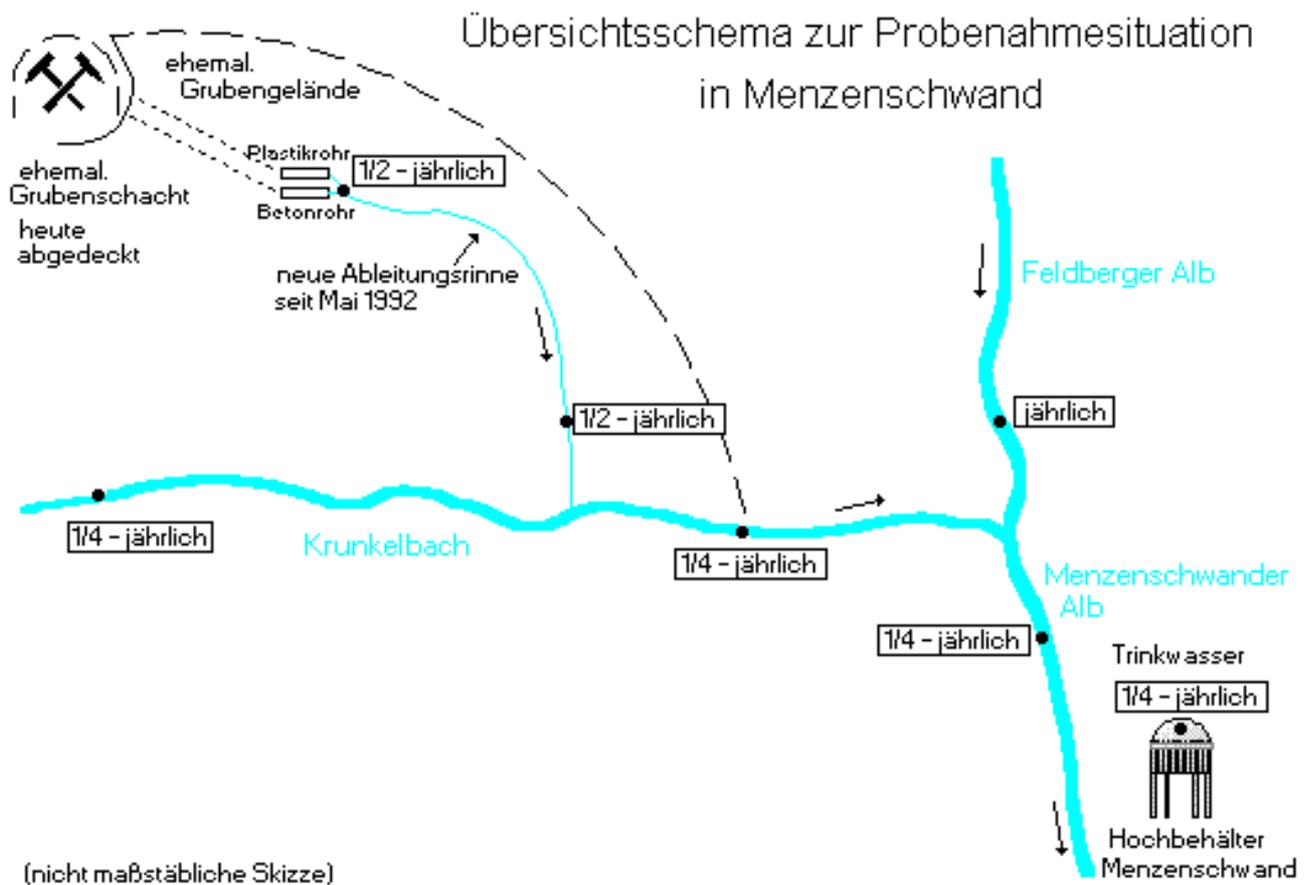


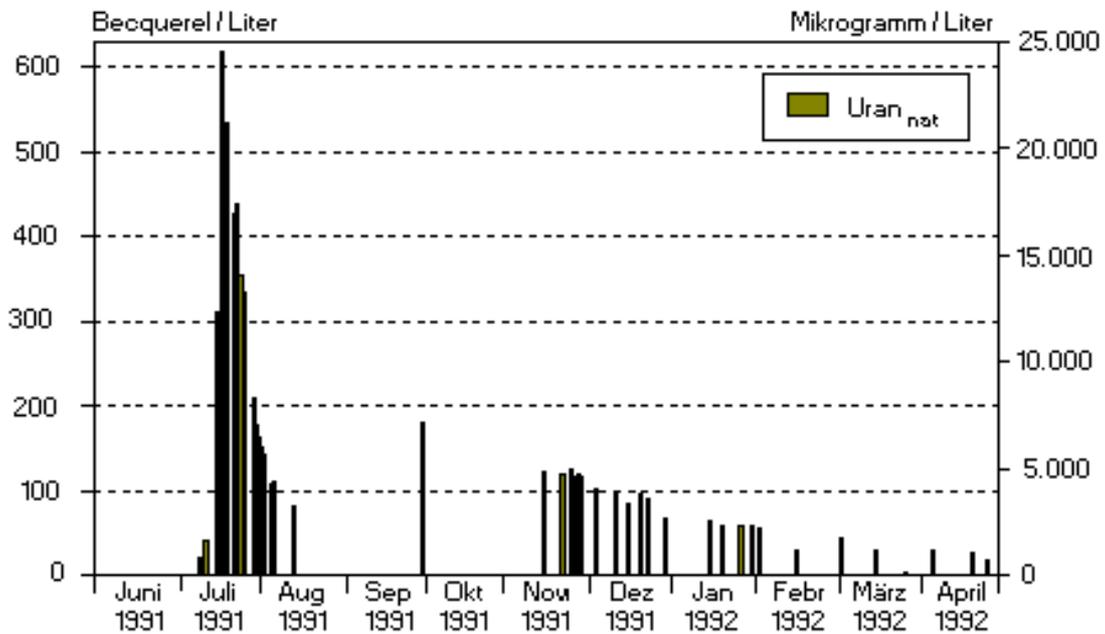
Abbildung 5.1

Halbjährlich werden die aus dem ehemaligen Stollenmund austretenden Wässer an zwei Entnahmestellen überprüft. Eine weitere Kontrollprobe wird nach deren Vereinigung aus der Ableitungsrinne kurz vor dem Zufluß in den Krunkelbach genommen. Vierteljährlich wird Wasser aus dem Krunkelbach vor dem ehemaligen Grubengelände und nach dem Grubengelände entnommen. Das Wasser der Menzenschwander Alb (ca. 100 m nach Einmündung des Krunkelbaches) wird vierteljährlich, das Wasser aus der Feldberger Alb (ungefähr 50 m vor Einmündung des Krunkelbaches) wird jährlich untersucht. Des weiteren wird noch vierteljährlich Trinkwasser aus dem Hochbehälter Menzenschwand entnommen und auf Radioaktivität untersucht. Die Probenentnahme in den Fließgewässern erfolgt als Schöpfprobe diskontinuierlich. Das Trinkwasser wird kontinuierlich entnommen und intensiv überwacht. Die Probenentnahmeorte und die derzeitige Probenahmefrequenz ist in Abbildung 5.1 schematisch dargestellt.

Die Meßergebnisse werden, beginnend mit dem Zeitpunkt des geplanten Absaufens der Grube, als Zeitreihen nachfolgend geschlossen dargestellt.

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Urangehalt des Schachtwassers

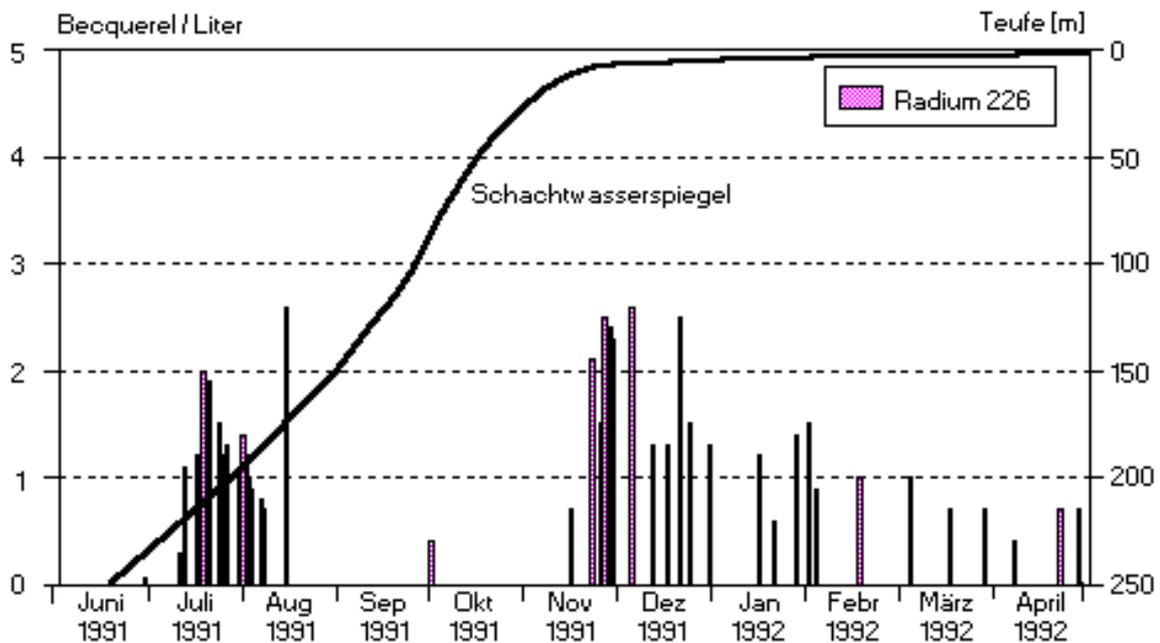


ab 27.04.1992 keine Probenahme mehr möglich

Die Abbildung 5.2 zeigt die Konzentrationsverläufe des natürlichen Urans im **Schachtwasser** während des Flutungsvorganges.

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Radium-226 - Gehalt des Schachtwassers



ab 27.04.1992 keine Probenahme mehr möglich

Abbildung 5.3

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Blei-210 - Gehalt des Schachtwassers

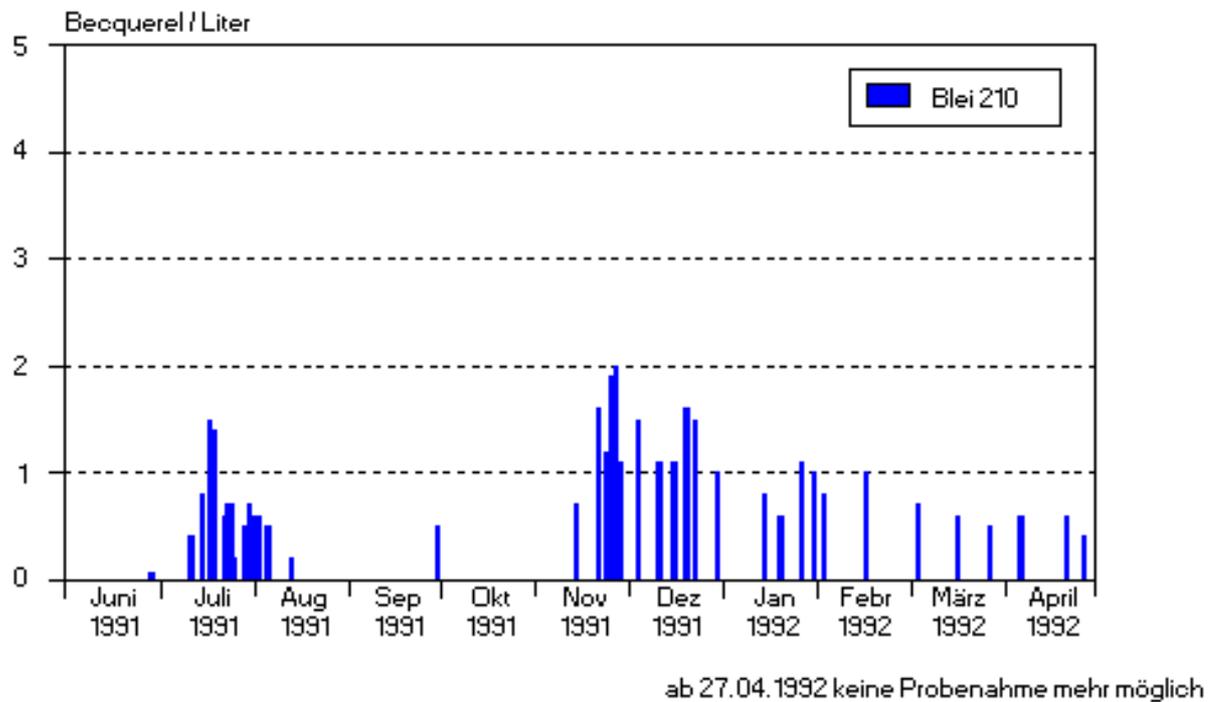


Abbildung 5.4

In den Abbildungen 5.3 und 5.4 sind die entsprechenden Werte für Radium-226 und Blei-210 im ansteigenden Schachtwasser dargestellt. Die Tiefe des Schachtwasserspiegels ist der Vollständigkeit halber in Abbildung 5.3 mit aufgenommen. Obgleich die drei genannten Radionuklide innerhalb der natürlichen Uran-Radium-Zerfallsreihe miteinander verknüpft sind, haben ihre Konzentrationen keine gleichartigen Zeitverläufe. Dies ist teilweise damit zu erklären, daß sie sich chemisch anders verhalten, unterschiedliche Löslichkeit aufweisen und zwischen dem Radium- und dem Bleinuklid das gasförmige Radon liegt. Dies kann zu deutlichen Anreicherungen des Bleigehalts führen.

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Urangehalt des austretenden Grubenwassers nach Auflassung der Grube

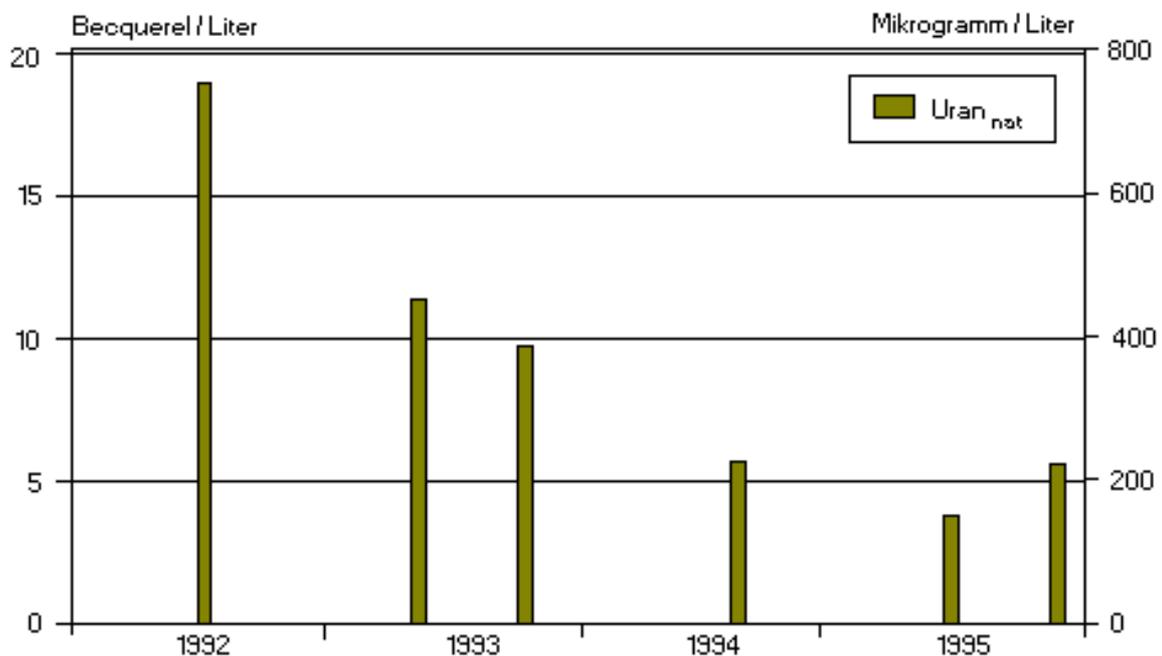


Abbildung 5.5

Das den Grubenbereich verlassende **Bergwasser** weist den in Abbildung 5.5 dargestellten Zeitverlauf für Urangehalte auf. Es hat Kontakt mit dem bis 1992 zugänglichen Schachtwasser und fließt über eine bei der Rekultivierung 1992 angelegte Ableitungsrinne dem Krunkelbach zu. Seither haben die Uran-Werte deutlich abgenommen. Die Gehalte dieser Bergwässer an Blei-210 und Radium-226 schwanken dort zwischen 0,2 und 1 Bq/l, zeigen jedoch kein charakteristisches Zeitverhalten.

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Urangehalt des Krunkelbachs nach dem Zufluß von Wasser aus dem Grubenbereich

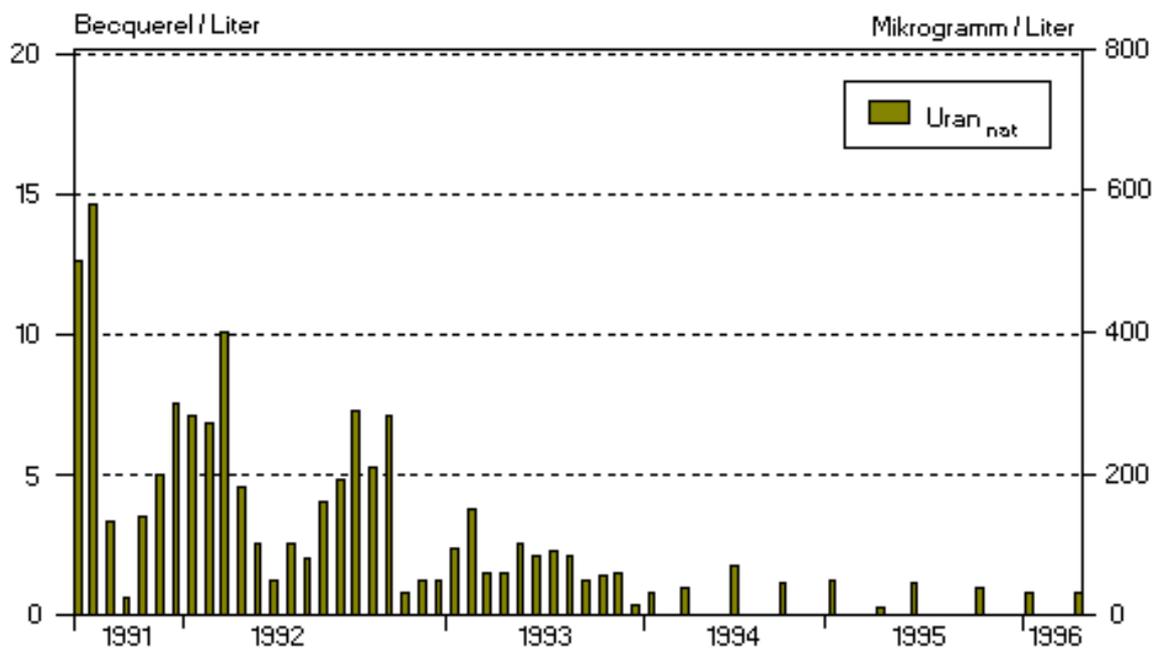


Abbildung 5.6

Die Abbildung 5.6 zeigt den Verlauf für Uran im **Krunkelbach**wasser, nachdem dieser den ehemaligen Grubenbereich passiert hat.

Radioaktivitätsüberwachung ehem. Uranexploration Menzenschwand

Blei-210 - und Radium-226 - Gehalt des Krunkelbachs nach dem Zufluß von Wasser aus dem Grubenbereich

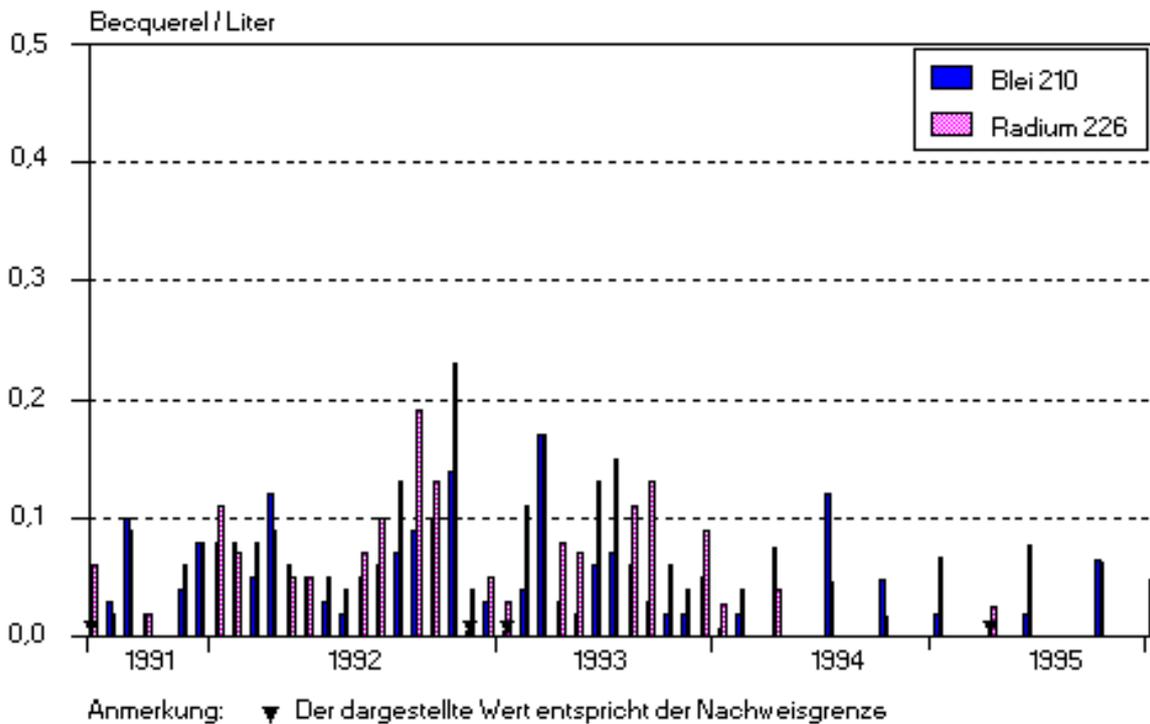


Abbildung 5.7

Abbildung 5.7 stellt die Situation für die Radionuklide Blei-210 und Radium-226 dar. Die Vorbelastung des Krunkelbachs mit dem jeweiligen Radionuklid ist im Vergleich hierzu gering. Sie beträgt für Uran 0,25 - 0,6 Bq/l. Für Blei-210 und Radium-226 liegt sie überwiegend unter 0,005 Bq/l und maximal bei 0,035 Bq/l.

Die Konzentrationen aller Radionuklide zeigen eine jahreszeitliche Abhängigkeit. Auch ist deutlich zu erkennen, daß die Werte in den letzten Jahren insgesamt um über eine Größenordnung gesunken sind, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß das Reservoir von löslichen oder partikelförmigen Substanzen im ehemaligen Stollensystem abgebaut wird.

Die **Feldberger Alb** ist vom ehemaligen Grubenbereich unbeeinflusst und wies bei den stichprobenartigen Beprobungen folgende Konzentrationen auf:

Tabelle 5.1: Radionuklidgehalte im Wasser der Feldberger Alb

Datum	Uran _{nat} [µg/l]	Blei-210 [Bq/l]	Radium-226 [Bq/l]
27.02.92	< 5	< 0,005	< 0,005
01.06.92	< 5	< 0,005	0,008
16.10.92	< 5	< 0,005	0,008
31.03.93	< 5	0,01	0,01
06.10.95	< 5	< 0,005	0,006

genannten Radionuklide hin untersucht. Trinkwässer enthalten stets auch natürliche Radionuklide, deren Konzentrationen über mehrere Größenordnungen variieren können. Das Trinkwasser aus dem Hochbehälter Menzenschwand, lag mit seinen Urangelhalten stets unter 10 µg/l, entsprechend 0,25 Bq/l. Die Meßreihe für die Radionuklide Blei-210 und Radium-226 in den vergangenen Jahren zeigt Abbildung 5.9.

Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide im Trinkwasser

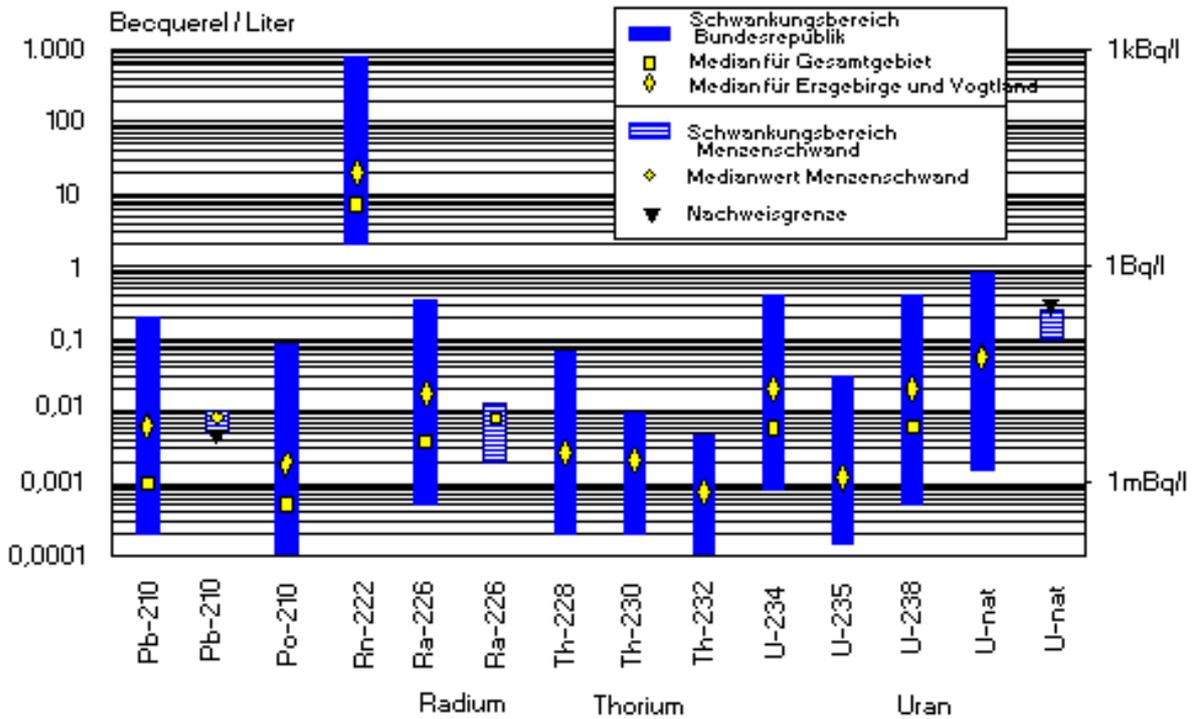


Abbildung 5.10

Zum Vergleich werden in Abbildung 5.10 Radionuklidkonzentrationen von Trinkwässern aus der gesamten Bundesrepublik dargestellt. Dort sind auch die im Menzenschwander Trinkwasser vorgefundenen Wertebereiche zum Vergleich ausgewiesen. Sie fügen sich gut in den Schwankungsbereich ein.

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995
Kapitel 6

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#) [\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

6. Strahlenexposition

Radioaktivität und ionisierende Strahlungen sind natürliche Bestandteile unserer Umwelt. Bedingt durch die kosmische Strahlung und durch die immer und überall vorhandenen Uran- und Thoriumbestandteile und deren Folgeprodukte in der Erde, den Gesteinen und den vom Menschen genutzten Baumaterialien ergibt sich in Deutschland eine mittlere effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition von ca. 2,4 mSv im Jahr.

Neben der von außen wirkenden Gammastrahlung (kosmische Strahlung, terrestrische Strahlung) tragen besonders die mit der Atemluft und der Nahrung in den Körper gelangenden Radionuklide zur Strahlenexposition bei.

Über die Hälfte des natürlichen Beitrags zur menschlichen Strahlenbelastung ist dabei auf das radioaktive Edelgas Radon zurückzuführen. Dieses bildet sich aus dem Radium und gelangt im wesentlichen aus dem Erdboden und den Baumaterialien in die Luft. Dort entstehen weitere radioaktive Folgeprodukte, die dann über die Atmung in die Lunge gelangen und dort den Hauptanteil der natürlichen Strahlenbelastung mit einer erheblichen Variationsbreite bewirken.

Nach der Entdeckung der Kernspaltung vor fast sechs Jahrzehnten wurden der Radioaktivität in Wissenschaft, Medizin und Industrie durch Gewinnung künstlicher Radionuklide viele Anwendungsbereiche eröffnet. Neben diesen zivilisationsbedingten Anwendungen der Radioaktivität muß zusätzlich der Einsatz von Röntgenstrahlen in der Medizin beachtet werden, wenn Aussagen über die zivilisatorische Belastung durch ionisierende Strahlung gemacht werden sollen. Insgesamt beträgt das Mittel dieser zivilisatorischen Strahlenexpositionen zusammen ca. 1,9 Millisievert im Jahr (Informationen des Bundesumweltministeriums in "Umwelt" Nr. 6/1995). Nahezu 100 % kommt dabei aus dem medizinischen Bereich - nicht zuletzt deshalb, weil sich im Durchschnitt jeder Bürger jährlich mehr als einmal einer Röntgenuntersuchung unterzieht. Die medizinisch bedingte Strahlenexposition verteilt sich allerdings sehr ungleichmäßig über die Bevölkerung.

Alle anderen zivilisationsbedingten Beiträge sind wesentlich kleiner als die regionalen Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition. Auch die mittlere Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl ist heute mit weniger als 0,02 mSv im Vergleich mit der natürlichen und der medizinischen Belastung nur sehr gering. Er ist jedoch neben dem Kernwaffen-Fallout der einzige durch Menschen verursachte Beitrag, der in der Umwelt nachzuweisen ist.

Von der deutschen Strahlenschutzkommission wurden die Mittelwerte der sich aus dem Unfall in Tschernobyl ergebenden zusätzlichen Effektivdosen für verschiedene Gebiete in Deutschland ermittelt. Sie sind in der Tabelle 6.1 zusammengestellt. Unterschieden wird dabei zwischen der effektiven Dosis im ersten Jahr nach dem Unfall und der Lebenszeitdosis. Das ist die gesamte zusätzliche effektive Dosis für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre. Die Daten entstammen dem Bericht der deutschen Strahlenschutzkommission, Heft 4 von 1996.

Tabelle 6.1: Zusätzliche effektive Dosen durch den Unfall von Tschernobyl für verschiedene Gebiete

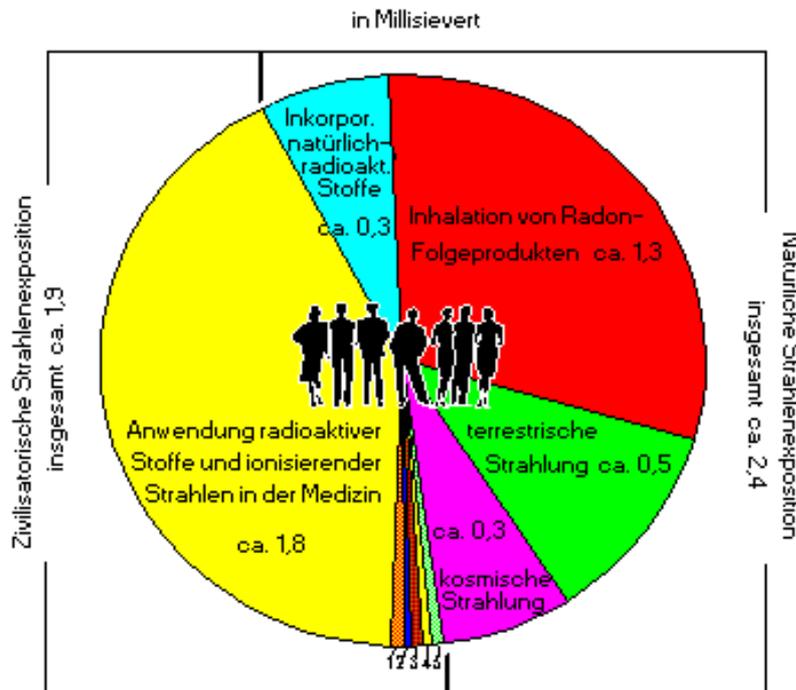
Gebiet	Effektive Dosis (mSv) im 1. Jahr nach den Unfall	Gesamte effektive Dosis (mSv) für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre
Voralpengebiet	0,65	2,2
Südliche Donau	0,35	1,3
Nördliche Donau	0,17	0,55

Für einzelne Personen, deren Lebens- und Ernährungsgewohnheiten stark von den bei diesen Abschätzungen angenommenen Durchschnittswerten abweichen, können sich Dosiswerte ergeben, die etwa um den Faktor 2-3 über oder unter den angegebenen Mittelwerten liegen können.

Als Mittelwerte für Baden-Württemberg lassen sich, mit den gleichen Einschränkungen, für die effektive Dosis im 1. Jahr nach dem Tschernobyl-Unfall etwa 0,2 mSv und für die gesamte effektive Dosis in den nach dem Unfall folgenden 50 Jahren etwa 0,7 mSv abschätzen.

Die zusätzliche Strahlenbelastung für die Bewohner des Landes durch den Reaktorunfall war somit im 1. Jahr nach dem Unfall kleiner als die Schwankungsbreite der jährlichen natürlichen Strahlenexposition durch unterschiedliche Aufenthaltsorte (bis zu 3 mSv pro Jahr). Die Zusatzbelastung wird auch für die gesamte Lebenszeit selbst in den stärker belasteten Regionen nicht höher sein als die natürliche Strahlenexposition in einem Jahr (einige mSv, bis zu 4 mSv pro Jahr).

Mittlere effektive Jahresdosis der Bevölkerung in Deutschland 1995



- | | |
|--|--------|
| 1 Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt | < 0,02 |
| 2 berufliche Strahlenexposition | < 0,01 |
| 3 Fallout von Kernwaffenversuchen | < 0,01 |
| 4 kerntechnische Anlagen | < 0,01 |
| 5 Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl | < 0,02 |
| - besondere Vorkommnisse in kerntechnischen Einrichtungen | 0 |

In Abbildung 6.1 sind die unterschiedlichen Beiträge zur jährlichen Strahlenexposition in Deutschland zusammengestellt. Die dargestellten Werte sind Durchschnittswerte. Sie geben keine Auskunft über die Strahlenbelastung in speziellen Fällen wie z. B. bei einer strahlentherapeutischen Behandlung. Mit ihnen ist es jedoch möglich, die zivilisatorisch bedingte Strahlenbelastung eines Menschen in normalen Lebensverhältnissen mit seiner natürlichen Strahlenbelastung zu vergleichen.

Strahlenexposition im Jahr 1994 in der Umgebung kerntechnischer Anlagen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft

berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkstellen

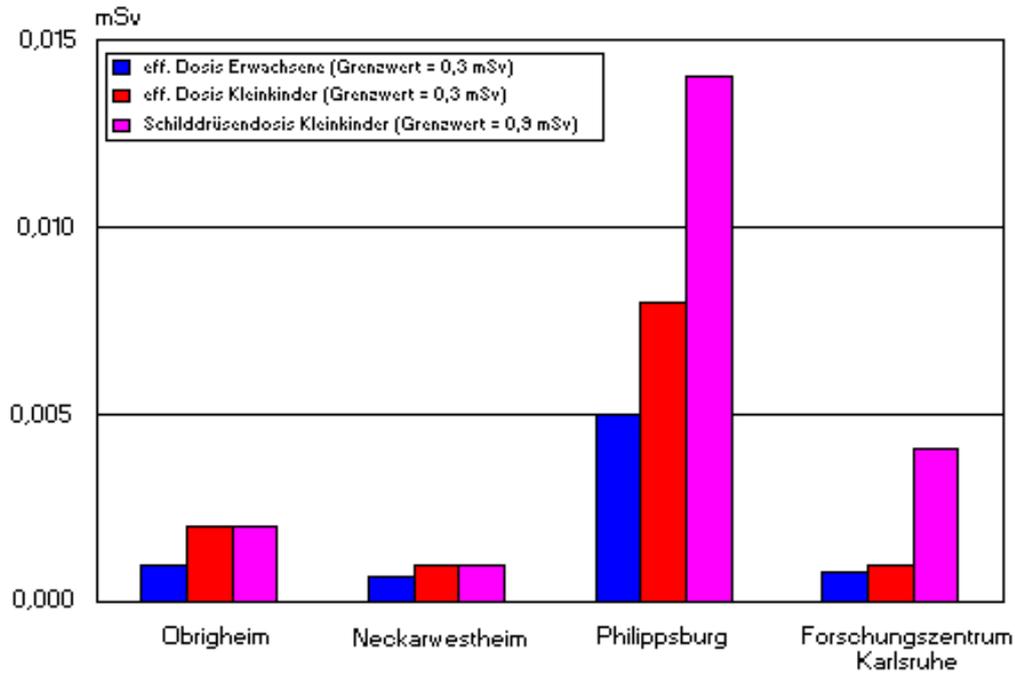


Abbildung 6.2

Strahlenexposition im Jahr 1994 in der Umgebung kerntechnischer Anlagen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

obere Abschätzung

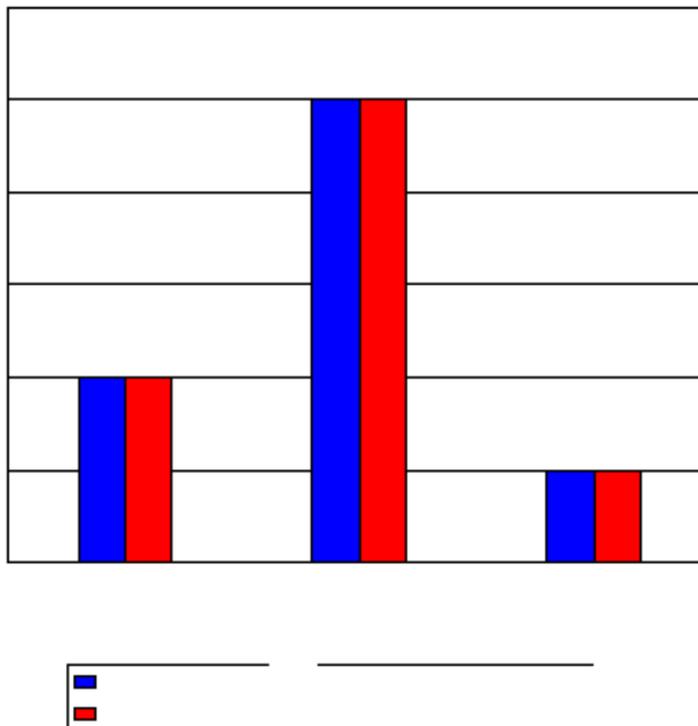
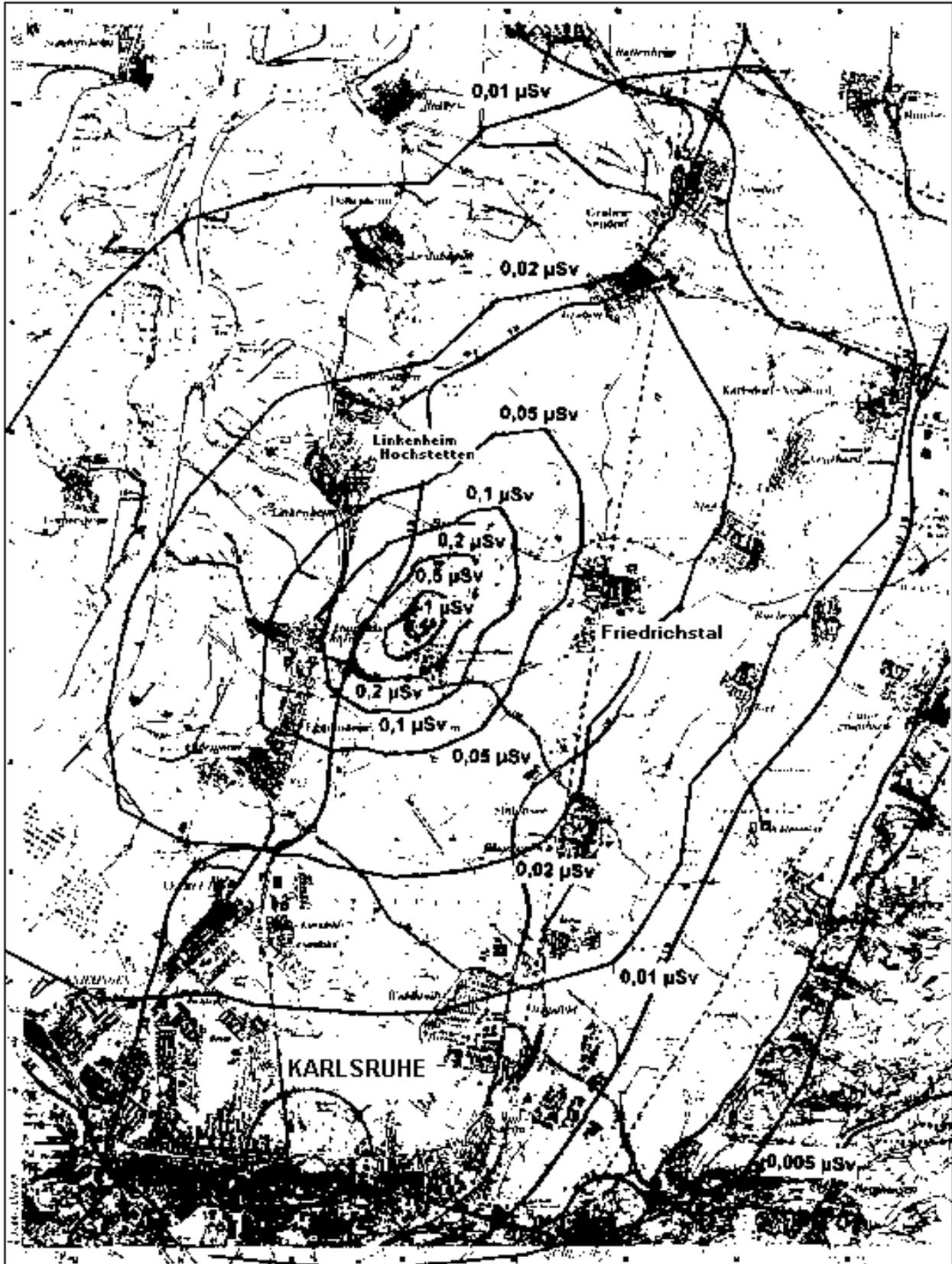


Abbildung 6.3

In den Abbildungen 6.2 und 6.3 sind unter ungünstigsten Annahmen berechnete Strahlenexpositionen im Jahr 1994 für Personen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen im Land Baden-Württemberg dargestellt, jeweils für die Pfade Luft und Wasser.

Effektive Dosis in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe 1995



aus: Jahresbericht 1995 der Hauptabteilung Sicherheit des FZK

Die Abbildung 6.4 zeigt für die Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe (ehemals Kernforschungszentrum Karlsruhe) sogenannte Isodosiskurven, also Kurven gleicher Dosis, die aus den tatsächlichen genehmigten Ableitungen mit der Abluft und dem Abwasser als effektive Dosen für das Jahr 1995 errechnet wurden.

Gerundete Mittelwerte der effektiven Dosis bei Röntgenuntersuchungen aus Messungen an Patienten

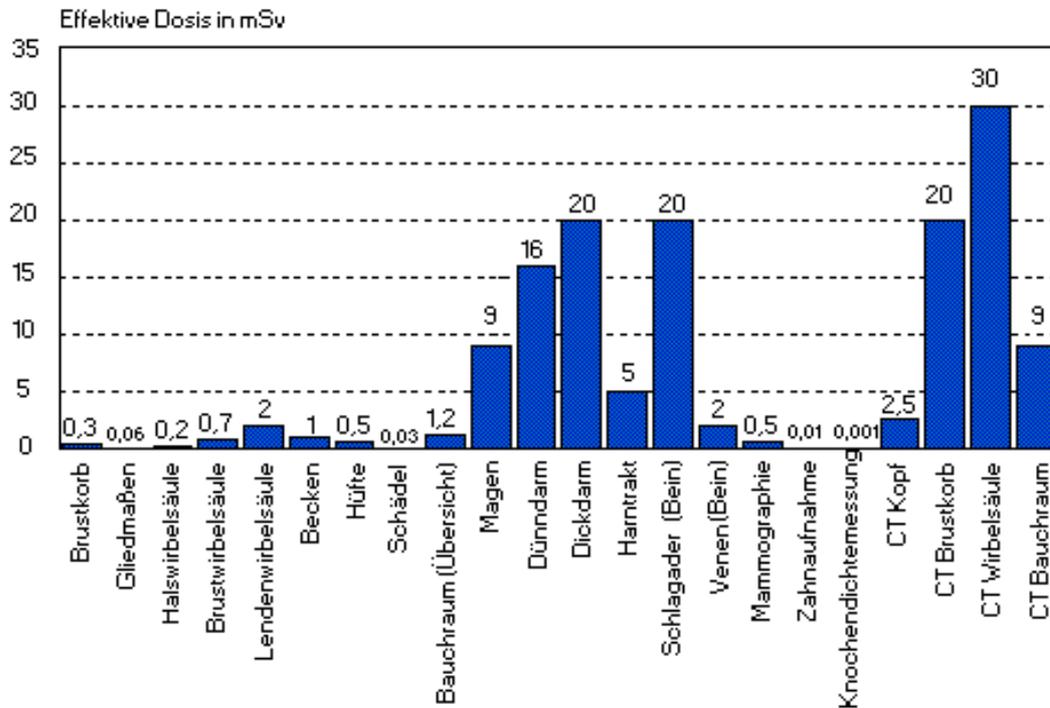


Abbildung 6.5

In Abbildung 6.5 schließlich sind Mittelwerte der effektiven Dosen durch diagnostische Röntgenuntersuchungen aus Messungen an Patienten angegeben, die dem Bericht der Bundesregierung an den Bundestag über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1994 entnommen wurden.

Radioaktivität in Baden-Württemberg 1995
Anhang

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#)
[\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)

Anhang

Informationen, Größen und Einheiten, Erläuterungen

Informationen

Videotext

Im Videotext des Fernsehprogramms des Südwestfunks (Südwest-Text) werden auf Tafel 196 aktuelle mit dem Kernreaktorfernüberwachungssystem ermittelte Meßwerte der Ortsdosisleistung bekanntgegeben. Tafel 198 enthält ergänzende Informationen zur Radioaktivitätsüberwachung.

World Wide Web

Dieser Bericht, die KFÜ Strahlenpegelmeßwerte und weitere interessante Hinweise zum Bereich Strahlenschutz sind auch im World Wide Web unter der Adresse

<http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/akt32.htm>

zu finden.

Jahresbericht der Umgebungsüberwachung

Alle Meßergebnisse aus der Überwachung der baden-württembergischen Umgebung kerntechnischer Anlagen auf Radioaktivität werden regelmäßig in Jahresberichten veröffentlicht. Sie sind somit allgemein zugänglich.

Größen und Einheiten

Tabelle 1: Radiologische Größen und Maßeinheiten

Physikalische Größe	Einheiten		gebräuchliche Untereinheiten und Bezug zu alten Einheiten
	Bezeichnung	Kurzzeichen	
Aktivität	Becquerel	Bq	$1Bq = \frac{1}{37 \cdot 10^9} Ci(Curie)$
Energiedosis	Gray	Gy	1 µGy = 100 µrad 1 mGy = 100 mrad
Energiedosisleistung	Gray pro Stunde Gray je Jahr	Gy/h Gy/a	1 µGy/h = 100 µrad/h 1 mGy/a = 100 mrad/a
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	1 µSv = 100 µrem 1 mSv = 100 mrem
Äquivalentdosisleistung	Sievert pro Stunde Sievert je Jahr	Sv/h Sv/a	1 µSv/h = 100 µrem/h 1 mSv/a = 100 mrem/a

Tabelle 2: Vorsatzzeichen für Einheiten

Da die Werte der Meßgrößen sich über viele Größenordnungen erstrecken können, werden anstelle der Faktoren für Teile oder Vielfache eindeutige Vorsatzzeichen an den Einheiten(-zeichen) angebracht.

Multiplikationsfaktor			Vorsatz	Vorsatzzeichen
10 ⁻¹⁸	0,000 000 000 000 000 001	Trillionstel	Atto	a
10 ⁻¹⁵	0,000 000 000 000 001	Billiardstel	Femto	f
10 ⁻¹²	0,000 000 000 001	Billionstel	Pico	p
10 ⁻⁹	0,000 000 001	Milliardstel	Nano	n
10 ⁻⁶	0,000 001	Millionstel	Mikro	µ
10 ⁻³	0,001	Tausendstel	Milli	m

10 ⁺³	1 000	Tausendfach	Kilo	k
10 ⁺⁶	1 000 000	Millionenfach	Mega	M
10 ⁺⁹	1 000 000 000	Milliardenfach	Giga	G
10 ⁺¹²	1 000 000 000 000	Billionenfach	Tera	T
10 ⁺¹⁵	1 000 000 000 000 000	Billiardenfach	Peta	P
10 ⁺¹⁸	1 000 000 000 000 000 000	Trillionenfach	Exa	E

Erläuterungen von Begriffen

Aerosol

feste oder flüssige Schwebeteilchen in Luft

Aktivierung

Vorgang, durch den ein Material beim Beschuß mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen durch Kernumwandlungen radioaktiv wird

Aktivierungsprodukte

Radionuklide, die durch Aktivierung entstehen

Aktivität

quantitatives Maß für die Radioaktivität; auch: Zerfallsrate, Zahl der je Sekunde zerfallenden bzw. sich umwandelnden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes. Einheit ist das Becquerel (Bq). Die alte Einheit war das Curie (Ci); die Umrechnung ist $1 \text{ Ci} = 3710^9 \text{ Bq}$.

Alphastrahler

Radionuklide hoher Massenzahl, deren Atomkerne beim Zerfall Alphastrahlen (Heliumatomkerne mit Massenzahl 4) emittieren

Äquivalentdosis

im Strahlenschutz benutzte Größe für die biologisch bewertete Dosis; Produkt aus Energiedosis und Bewertungsfaktor; Einheit ist das Sievert (Sv).

Äquivalentdosis, effektive -

körpergemittelte und organsgewichtete Äquivalentdosis, die die jeweilige Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe berücksichtigt. Einheit ist das Sievert (Sv).

Becquerel

Einheit der (Radio-)Aktivität; 1 Becquerel bedeutet, daß im statistischen Mittel 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. Einheitenzeichen ist Bq.

Betastrahler

Radionuklide, deren Atomkerne bei Umwandlung eines Kernbausteins negativ oder positiv geladene Elektronen emittieren

Bewertungsfaktor

Faktor für die Beurteilung der biologischen Wirkung einer bestimmten Energiedosis von Strahlung. Er setzt sich zusammen aus dem Qualitätsfaktor für die Strahlenart und einem Faktor, der die räumliche und zeitliche Verteilung der Strahlung berücksichtigt.

Brutprozeß

Vorgang zur Umwandlung von nichtspaltbarem Material in spaltbares Material.

Deposition

Ablagerung, Einlagerung; im weiteren Sinne Eintrag in eine oberflächennahe Schicht

Dosis

Maß für die Wirkung absorbierter ionisierender Strahlung

Dosisleistung

Quotient aus der Dosis und dem zugrundegelegten Zeitraum (in der Regel: je Stunde).

Effektivdosis

Kurzbezeichnung für effektive Äquivalentdosis.

Elektronvolt

in der Atom- und Kernphysik gebräuchliche Energieeinheit. Sie ist die von einem Elektron beim Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von 1 Volt gewonnene kinetische Energie und entspricht $0,16 \cdot 10^{-18}$ Joule. Einheitenzeichen ist eV. Abgeleitete größere Einheiten sind das Kiloelektronvolt ($10^3\text{eV} = 1 \text{ keV}$) und das Megaelektronvolt ($10^6\text{eV} = 1 \text{ MeV}$).

Emission

Abgabe, Ausstoß, Freisetzung von Stoffen in die Atmosphäre oder ein Gewässer; hier auch Aussendung von ionisierenden Strahlen

Energiedosis

ist die durch ionisierende Strahlung auf eine Masseneinheit der bestrahlten Materie übertragene Energie. Einheit ist das Gray (Gy).

Erkennungsgrenze

Wert, oberhalb dessen ein Meßeffect mit hoher Wahrscheinlichkeit einem realen Beitrag der untersuchten Größe entspricht.

Fallout

Ablagerung von kleinsten radioaktiven Teilchen aus der Atmosphäre, die z. B. aus Kernwaffenversuchen entstanden sind

FM

Abkürzung für Feuchtmasse

Gammastrahlung

energiereiche elektromagnetische Strahlung von deutlich quantenhafter Natur, die bei einer radioaktiven Kernumwandlung auftreten kann und aus dem Atomkern stammt.

Gammaspektrum

Gesamtheit aller emittierten und als Linien nachgewiesenen Gammaenergien. Eine mit aufwendigen Meß- und Auswertemethoden gewonnene Analyse der Energieverteilung eines Gammastrahlenfelds. Aus den Lagen und Höhen der Gammalinien (als "Fingerabdrücken") kann unter Berücksichtigung mehrerer Randbedingungen auf die Arten und Mengen der vorliegenden gammaemittierenden Radionuklide geschlossen werden.

Gray

Einheit der Energiedosis. Einheitenzeichen ist Gy.

1 Gray entspricht 1 Joule/Kilogramm. Die alte Einheit war 1 rad = 0,01 Gy.

Halbwertszeit

Zeitspanne, nach der die Hälfte der Atome einer ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist bzw. sich umgewandelt hat.

Immission

lokale Einwirkung von Luftfremdstoffen z. B. Radionukliden u.a. auf Mensch, Tier und Vegetation; auch Einfall von ionisierenden Strahlen.

Ingestion

Nahrungsaufnahme, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung.

Inhalation

Einatmung von Gasen, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft.

Inkorporation

Aufnahme in den Körper, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Körper.

Ionisation

Abspaltung oder Aufnahme von Elektronen bei Atomen oder Molekülen

Ionisierende Strahlung

Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z.B. Alpha-, Beta-, Gammastrahlung

Isotope

Atomarten eines Elementes mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedenen Massenzahlen

Kontamination

hier: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen

Korrosionsprodukte

hier: durch Aktivierung radioaktiv gewordene Inhaltsstoffe in Kreisläufen von kerntechnischen Anlagen

Nachweisgrenze

gibt an, ob ein Meßverfahren bestimmten Anforderungen genügt und für den vorgesehenen Meßzweck geeignet ist (Nachweisbarkeitsgrenze).

Nuklid

durch Protonenzahl und Neutronenzahl charakterisierte Atomart

Nulleffekt

auch Nullrate; Anzahl der Impulse je Zeiteinheit, die in einem Strahlungsdetektor durch andere Ursachen als die zu messende Strahlung ausgelöst werden. Zur Erzielung niedriger Nachweisgrenzen ist der Nulleffekt als statistisches Rauschen so gering wie möglich zu halten.

Ortsdosis

an einem bestimmten Ort gemessene Äquivalentdosis für Weichteilgewebe

Parameter

veränderbare Einflußgröße

Radioaktive Stoffe

Stoffe, die aus Radionukliden bestehen oder solche enthalten (Kernbrennstoffe und sonstige Stoffe, die ionisierende Strahlen aussenden).

Radioaktivität

Eigenschaft instabiler Nuklide, sich ohne erkennbare äußere Einwirkung spontan umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlen auszusenden

Radionuklide

instabile Nuklide, die sich unter Emission von Strahlung in andere Nuklide umwandeln (zerfallen)

Radionuklide, künstliche

nichtnatürliche, durch menschliche Tätigkeit geschaffene Radionuklide

Radionuklide, natürliche

nicht durch menschliche Tätigkeit geschaffene, in der Natur vorhandene Radionuklide

Röntgenstrahlung

wie Gammastrahlung elektromagnetischer Natur; stammt aber aus der Atomhülle oder kommt durch Abbremsung von beschleunigten Elektronen zustande.

Sievert

Einheit der Äquivalent- bzw. Effektivdosis; Einheitenzeichen ist Sv. Die alte Einheit war 1 rem = 0,01 Sv.

Spaltprodukte

Radionuklide, die bei der Spaltung von Atomkernen entstehen

Strahlenexposition

Einwirkung ionisierender Strahlen

Strahlenexposition, natürliche

die durch natürlich vorkommende Radionuklide und Strahlenfelder verursachte Einwirkung auf den Menschen

TM

Abkürzung für Trockenmasse

Datennachweis

1. **Bundesamt für Energiewirtschaft, Schweiz**,
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen; Electricité de France, Centrale Nucléaire de Fessenheim
Abbildung [4.11](#) bis [4.15](#)
3. **Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz, Berlin**
Abbildung [5.10](#)
5. **Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für atmosphärische Radioaktivität**
Abbildung [3.6](#)
7. **Bundesanstalt für Gewässerkunde**
Abbildung [3.10 \(Rhein\)](#)
9. **Bundesforschungsanstalt für Ernährung**
Abbildung [3.37](#)
11. **Chemische Landesuntersuchungsanstalten Freiburg und Stuttgart**
Abbildung [3.25](#) bis [3.28](#), [3.32](#) bis [3.34](#), [3.36](#), [3.38](#)
13. **Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**
Abbildung [6.1](#) bis [6.3](#), [6.5](#)
15. **Deutscher Wetterdienst**
Abbildung [3.8](#) und [3.9](#)
17. **Fachhochschule Ravensburg - Weingarten**
Abbildung [3.17](#), [3.23](#), [3.28](#) bis [3.31](#), [3.34](#), [3.35](#)

Abbildung [3.13](#) und [3.14](#):
Kaminski, S., Klenk, T. u. Schroeder, H.G.: *Cesium inventories from Chernobyl and nuclear weapons testing fallout in the sediments of Lake Constance - a record of different transport processes*. In: International Symposium on Ionizing Radiation, Stockholm, Schweden, May 20-24 1996.
20. **Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt**
Abbildung [3.39](#), [4.7](#), [6.4](#)
22. **Global Network of Isotopes in Precipitation**, World Wide Web: <http://www>.

iaea.or.at/programs/ri/gnip/gnipmain.htm
Abbildung [3.7](#)

24. **Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (ehem. Bundesgesundheitsamt)**

Abbildung [3.15](#)

26. **Jeweilige kerntechnische Anlage des Landes**
einschließlich Deutsches Krebsforschungszentrum
und Forschungszentrum Karlsruhe

Abbildung [4.1](#) bis [4.10](#)

28. **Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg**

Abbildung [1.1](#) und [1.2](#), [2.1](#), [3.1](#) bis [3.5](#), [3.10](#), [3.11](#), [3.18](#) bis [3.22](#), [3.40](#) bis [3.42](#), [4.16](#) bis [4.43](#), [5.1](#) bis [5.10](#)

30. **Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg**

Abbildung [3.16](#)

[\[Inhalt\]](#) [\[Zusammenfassung\]](#) [\[Kapitel 1\]](#) [\[Kapitel 2\]](#) [\[Kapitel 3\]](#) [\[Kapitel 4\]](#) [\[Kapitel 5\]](#)
[\[Kapitel 6\]](#) [\[Anhang\]](#)