Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 89 (2000)

Heft: 1: 40 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz = 40 ans de surveillance de la radioactivité en Suisse

Artikel: 40 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz Geschichte und Geschichten

Autor: Völkle, Hansruedi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308796

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.12.2025

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

40 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz Geschichte und Geschichten

Hansruedi VÖLKLE
Sektion Überwachung der Radioaktivität, BAG, Freiburg/Schweiz

1. Einleitung

In diesem Bericht werden Entstehung und Aufbau der Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz dargelegt. Er ist eher anektotisch, berichtet mehr über Geschichte und Geschichten: Für die wissenschaftlichen Ergebnisse und deren Interpretation sei daher auf die nachfolgenden Beiträge verwiesen.

Die Messung ionisierender Strahlung hat in Freiburg Tradition. Bereits 1909/10 stieg ALBERT GOCKEL (1860–1927), Professor und späterer Rektor der Universität sowie Leiter des *Institutes für kosmische Physik* mit einem Gasballon bis auf 4500 m, um mit einem Elektrometer die Ionisation der Luft zu messen. Aufgrund dieser Untersuchungen, die in der Höhe eine stärkere Ionisation der Luft zeigten als am Boden, postulierte er die Existenz einer aus dem Weltall kommenden, durchdringenden, sogenannten «kosmischen» Strahlung (Physik. Zs. **11** (1910) p.280). Er gehört damit zu deren Entdeckern. Den Nobelpreis hierfür erhielte der Österreicher VICTOR F. HESS im Jahr 1936. GOCKEL galt auch als Spezialist für die Messung der Radioaktivität von Boden und Quellen und hat hierzu 1914 ein Buch verfasst [1]. Einer seiner Doktoranden (JOSEPH VON SURY) verfasste 1906 eine Dissertation über die *Radioctivität einiger Schweizerischer Mineralquellen*. Auch FRIEDRICH DESSAUER

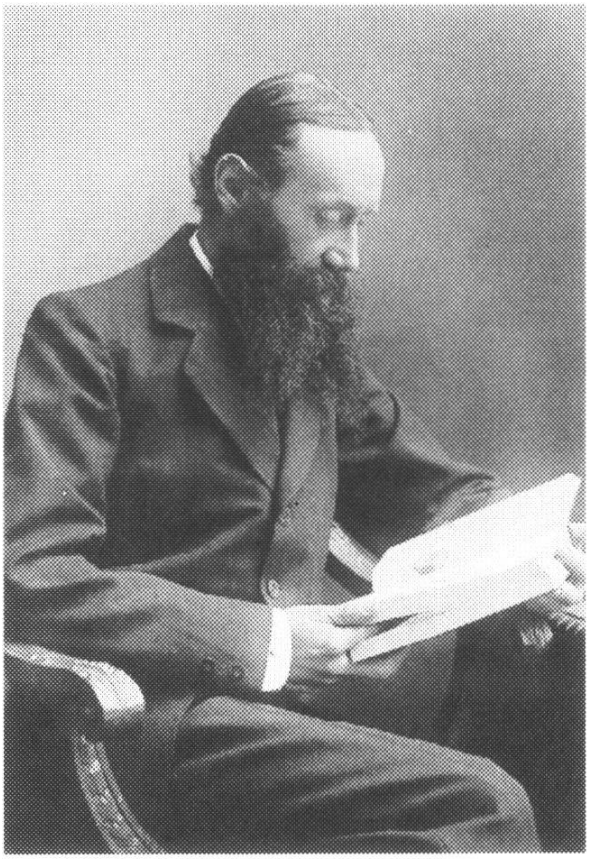


Abb. 1: Albert Gockel (1860–1927).

(1881– 1963), Physikprofessor in Freiburg von 1937 bis 1950, befasste sich mit ionisiernder Strahlung, in erster Linie mit derjenigen von Röntgenröhren und mit deren Wirkung auf lebende Zellen und hat entsprechende Publikationen veröffentlicht (siehe [2]).

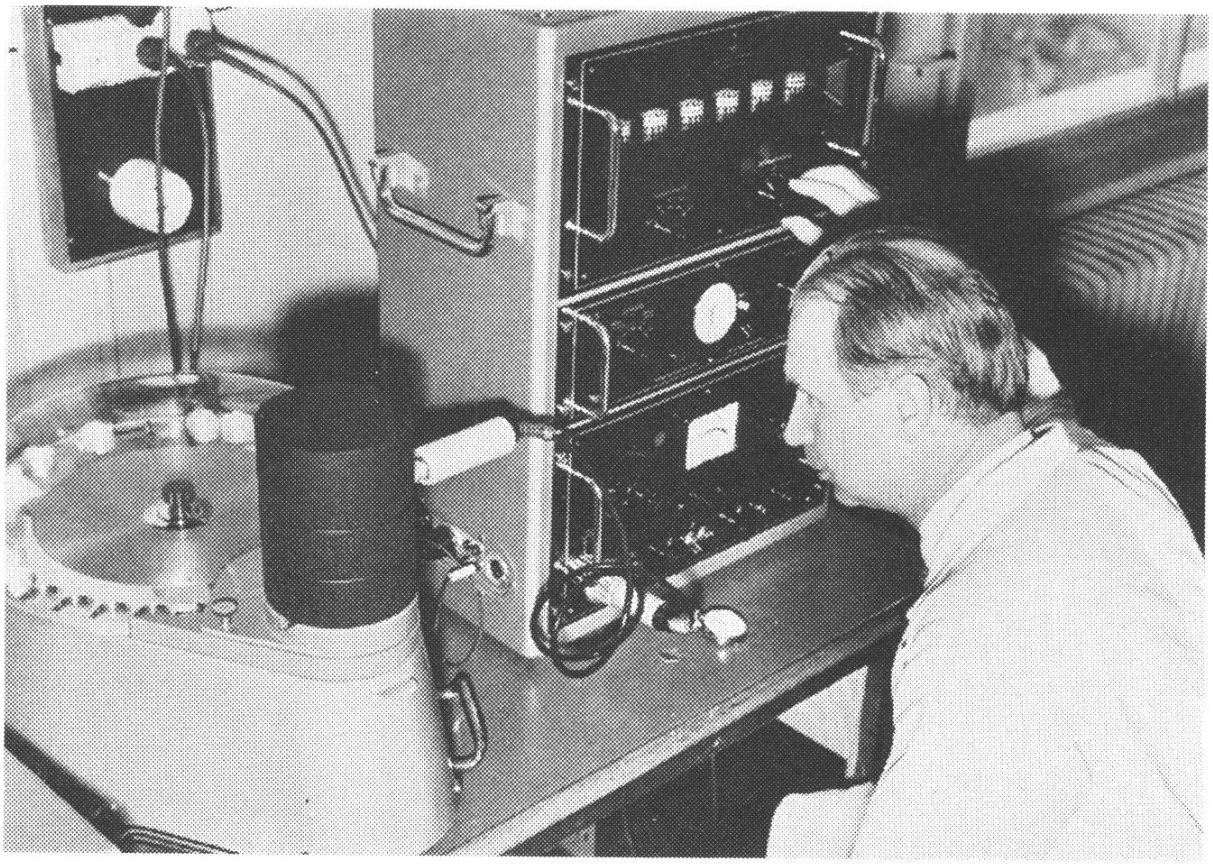
2. Beginn der Überwachung und Ernennung der KUER (s. Anhang)

Die regelmässige Überwachung der Umweltradioaktivität am physikalischen Institut der Universität begann aber erst 1957. Damals wurde unter der Leitung von Professor OTTO HUBER eine Messequipe aufgebaut, bestehend aus einem Physiker (JOSEF HALTER) einem Mechaniker (LINUS BAERISWYL) und einer Laborantin/Sekretärin (die Damen I. SCHMITT-STOLC, J. WEBER-MEIS bzw. M. GOBET-JONIN). Im Verlauf der Jahre wurde aus der kleinen Gruppe in Freiburg eine Sektion der Abteilung Strahlenschutz im Bundesamt für Gesundheit (BAG) mit heute zehn Mitarbeitern.

Ein Jahr zuvor, am 16. November 1956, ernannte der Bundesrat die *Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität* (KUER). Ihr erster Präsident war PAUL HUBER, Physikprofessor an der Universität Basel. Im selben Jahr noch begann PAUL ACKERMANN, Leiter der Aerologischen Station in Payerne, mit Radioaktivitätsmessungen in der Luft. Bereits am 17. August 1957 erschien der erste Bericht der *«Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität der Luft, der Niederschläge und der Gewässer zuhanden des Bundesrates»* als Sonderdruck des Bulletin des (damaligen) Eidgenössischen Gesundheitsamtes. Er berichtet über die ersten Gesamt-Beta-Messungen in Luft und Niederschlägen aus Payerne, sowie die Untersuchungen von Zisternen- und Flusswasser verschiedener Probenahmestellen. Nach dem viel zu frühen Tod von PAUL HUBER übernahm von 1971 bis 1986 OTTO HUBER, Physikprofessor in Freiburg das Präsidium der Kommission. Seit 1986 wird die Kommission von HUGO LOOSLI, Professor an der Universität Bern präsidiert.

3. Aufbau der Überwachung in der Schweiz

Mann der ersten Stunde war OTTO HUBER, der die landesweite Überwachung zusammen mit seinem Bruder PAUL HUBER, unter Einbezug weiterer Laboratorien des Bundes, der Hochschulen und der Kantone aufbaute. Ähnliche Überwachungsnetze zur Erfassung des Kernwaffenausfalls wurden damals in den meisten industrialisierten Ländern der Nordhalbkugel errichtet. Die Messungen umfassten Luft, Niederschläge, Gewässer, Boden, Gras und Lebensmittel und dienten der Ermittlung der Strahlendosen der Bevölkerung. Sie wurden bald ergänzt durch Radioaktivitätsmessungen im menschlichen



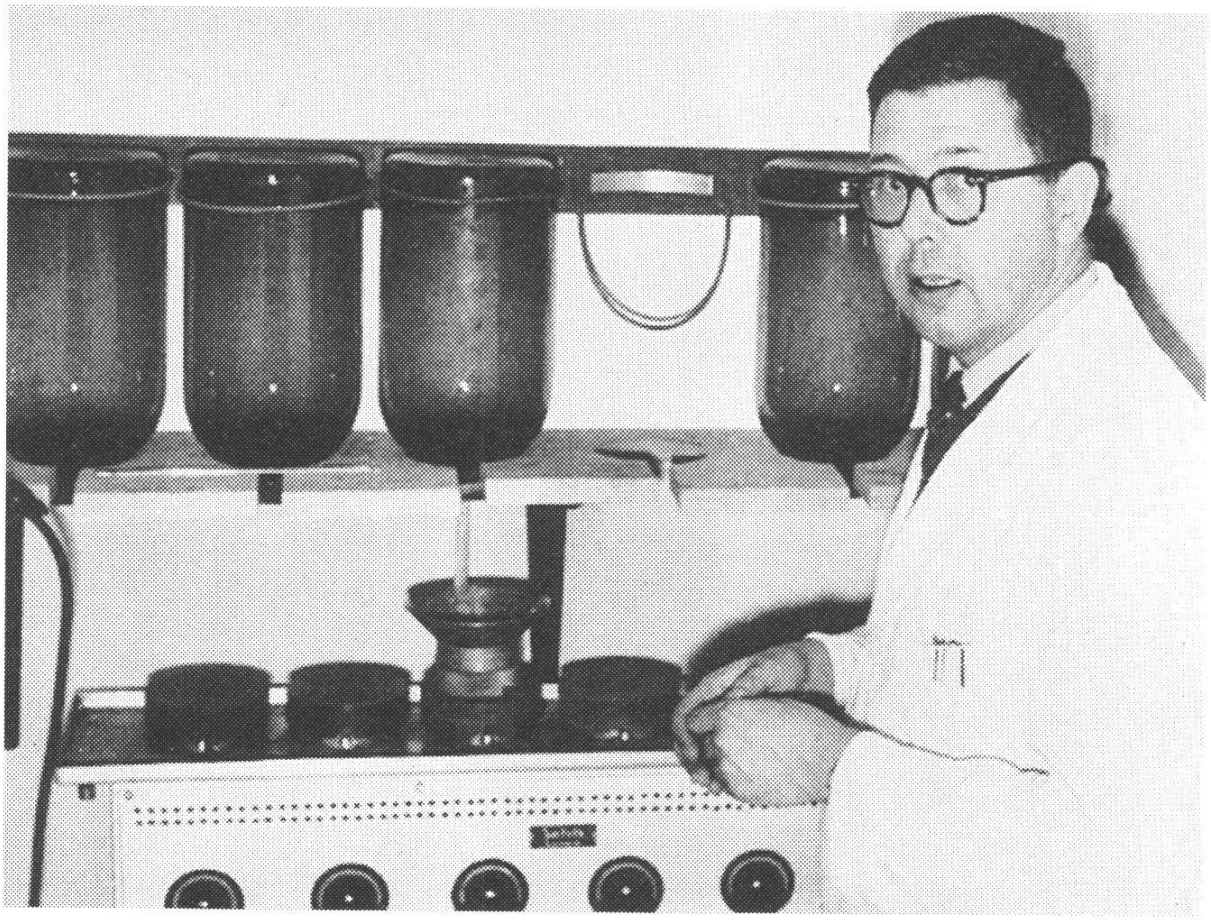


Abb. 2: Otto Huber (oben) und Joseph Halter (unten).

Körper. Probenahme- und Messgeräte mussten anfänglich von Grund auf entwickelt und selbst gebaut werden.

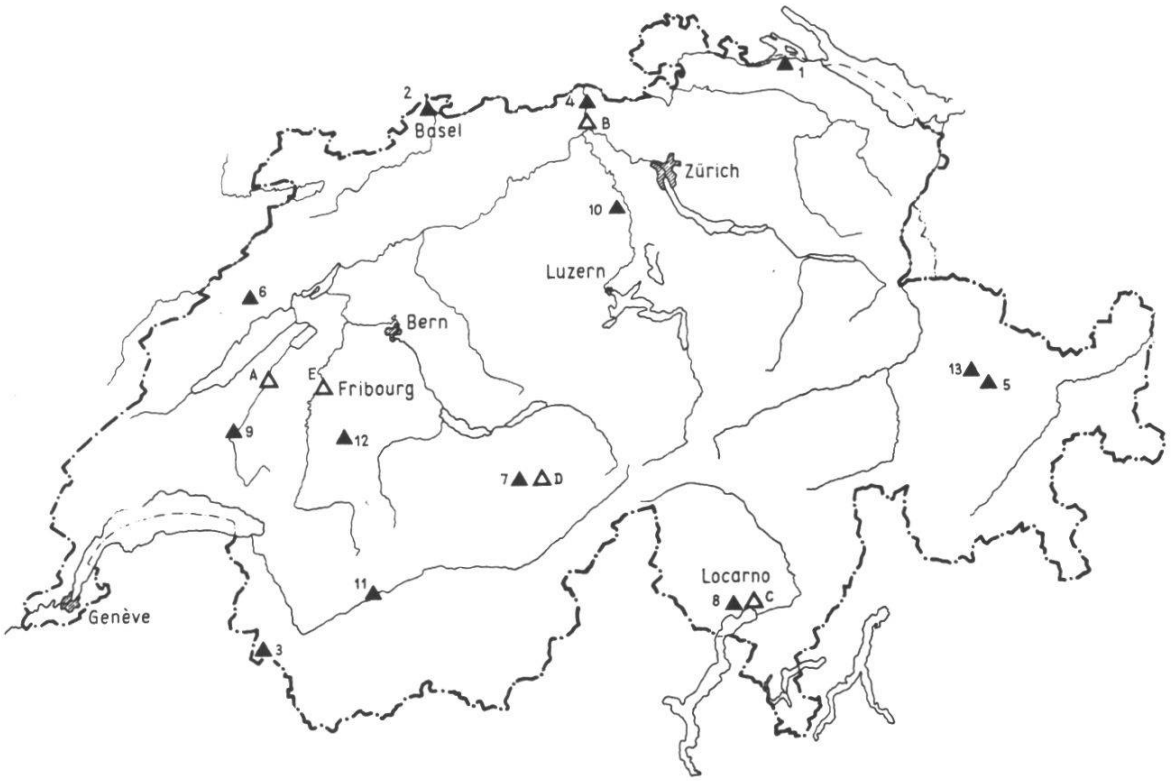


Abb. 3: Standorte der Regensammler (▲) und Luftüberwachungsanlagen (Δ) im Jahr 1960 (Faksimile aus dem 3. KUER-Bericht von 1959).

Ab Ende der 60er-Jahre trat dann vermehrt die Überwachung der Kernkraftwerke in den Vordergrund sowie von Betrieben und Spitälern, die radioaktive Stoffe verwenden. Wichtig wurde auch die Erfassung des natürlichen radioaktiven Edelgases Radon und seiner Folgeprodukte im Hausinnern. Ein markantes Ereignis war der schwere Reaktorunfall in Tschernobyl in der früheren Sowjetunion im April 1986, der auch in der Schweiz zu einem deutlichen Anstieg der Radioaktivität, jedoch noch nicht zu einer ernsthaften radiologischen Gefährdung der Bevölkerung führte. Glücklicherweise kam es bisher in unserem Lande nie zu einer gefährlichen Erhöhung der Radioaktivität. Damit auch in Zukunft der Schutz der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung sichergestellt ist, braucht es nebst einer entsprechenden Gesetzgebung auch weiterhin eine umfassende und dauernde Überwachung der Radioaktivität.

4. Entwicklung der Überwachungsverfahren (s. auch [14], [16] und [20])

Das erste Gerät zum quantitativen Nachweis ionisierender Strahlung war, nebst der photographischen Emulsion, die Ionisationskammer, anfänglich

gekoppelt mit einem Elektrometer, später mit einem Röhrenverstärker und heute mit hochempfindlicher Halbleiterelektronik. Ab Ende der 20er-Jahre wurde das Geiger-Müller-Zählrohr zum wichtigsten Messgerät, da es mit einfachen Ratemetern oder Zählelektronik auskam. Es eignet sich zum Nachweis verschiedener Arten von ionisierender Strahlung. Mit dem Proportionalzählrohr wurde erstmals eine Energiediskrimination und damit eine einfache Spektrometrie möglich. Das älteste Verfahren zum Nachweis ionisierender Strahlung ist jedoch die Szintillation bei der die absorbierte Energie ionisierender Strahlung in Licht umgewandelt wird. Bereits Rutherford verwendete Zinksulfid zum Nachweis von Alphastrahlen, bei der die Szintillationen von Auge mit Hilfe eines Mikroskopes gezählt wurden. Andere Szintillatorsubstanzen wie etwa NaI(Tl) in Verbindung mit Photokathoden und Sekundärelektronenvervielfachern (Photomultipliern) wurden für die Gammaspektrometrie, mit allerdings noch bescheidener Energieauflösung, verwendet. Für schwache Beta-Strahler wie Tritium eignen vor allem Szintillatoren in flüssiger Form.

Gegen Ende der 60er-Jahre kamen die ersten Ge(Li)- und später die Ge(HP)-Halbleiterdetektoren auf, die eine hochauflösende Gamma-Spektrometrie ermöglichen und die Analysetechnik stark verbesserten. Parallel dazu wurde auch die Messelektronik und die Computer-gesteuerte Auswertung

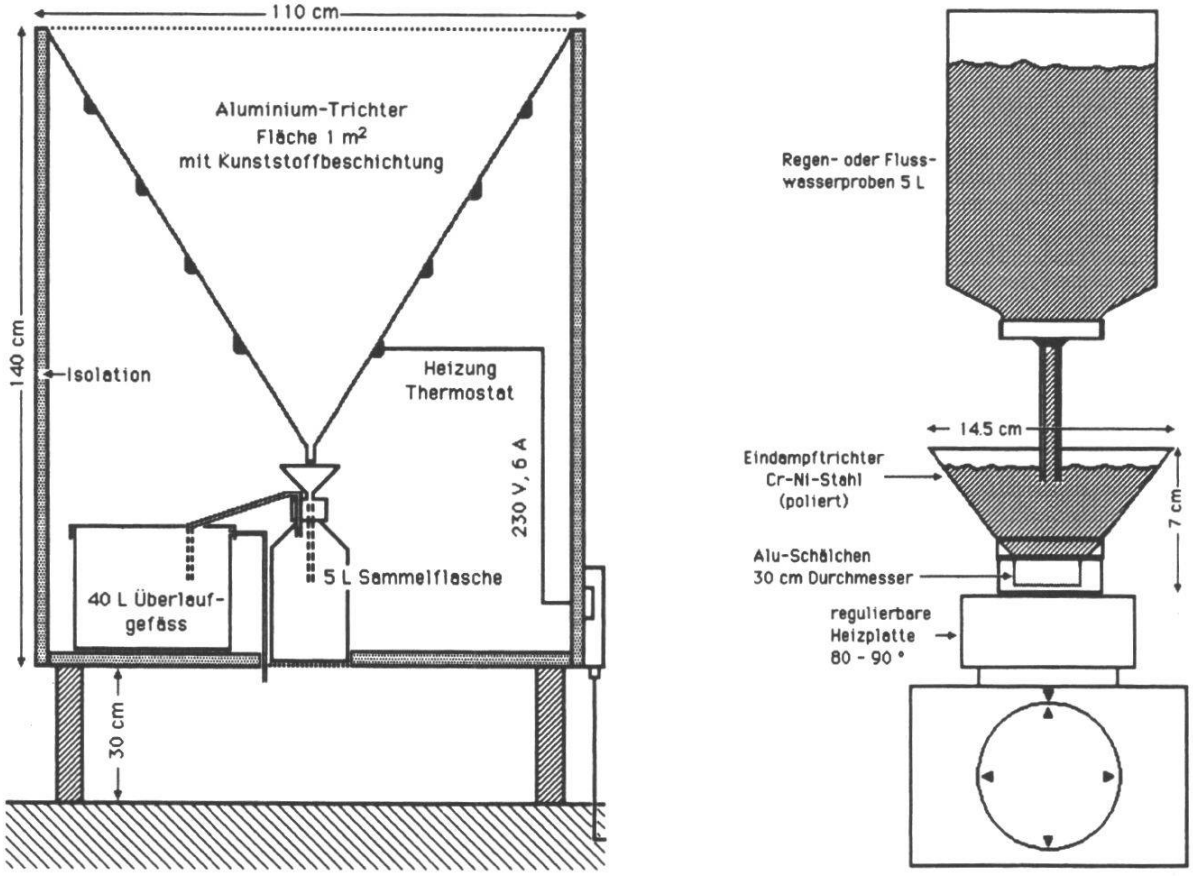
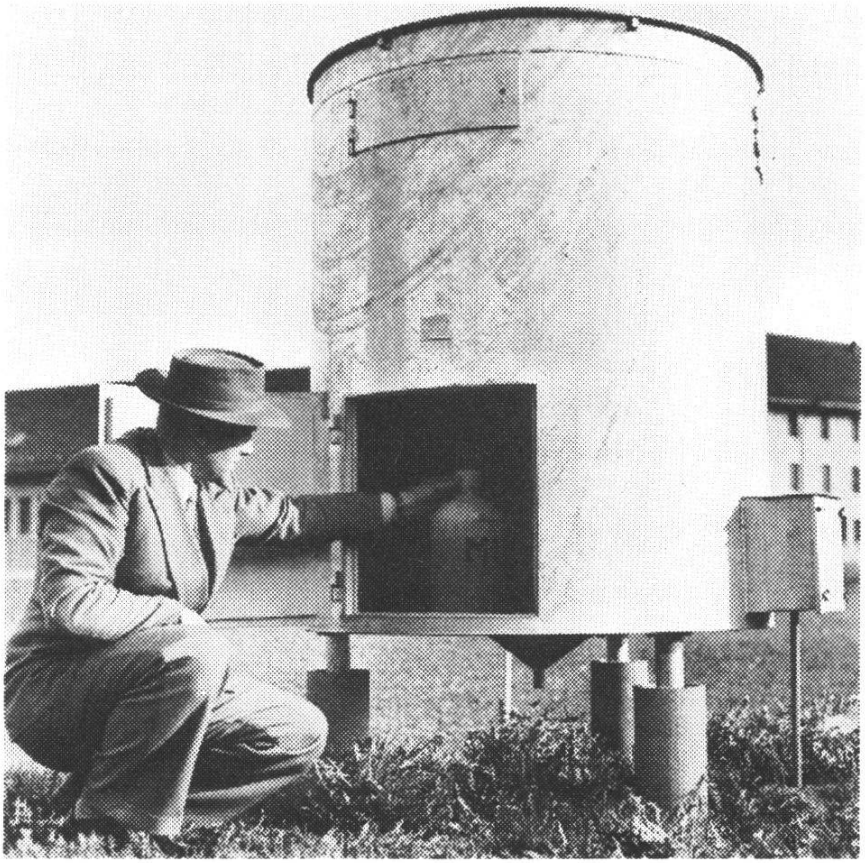


Abb. 4: Regensammler-Trichter (links) und Eindampf-Apparatur (rechts).



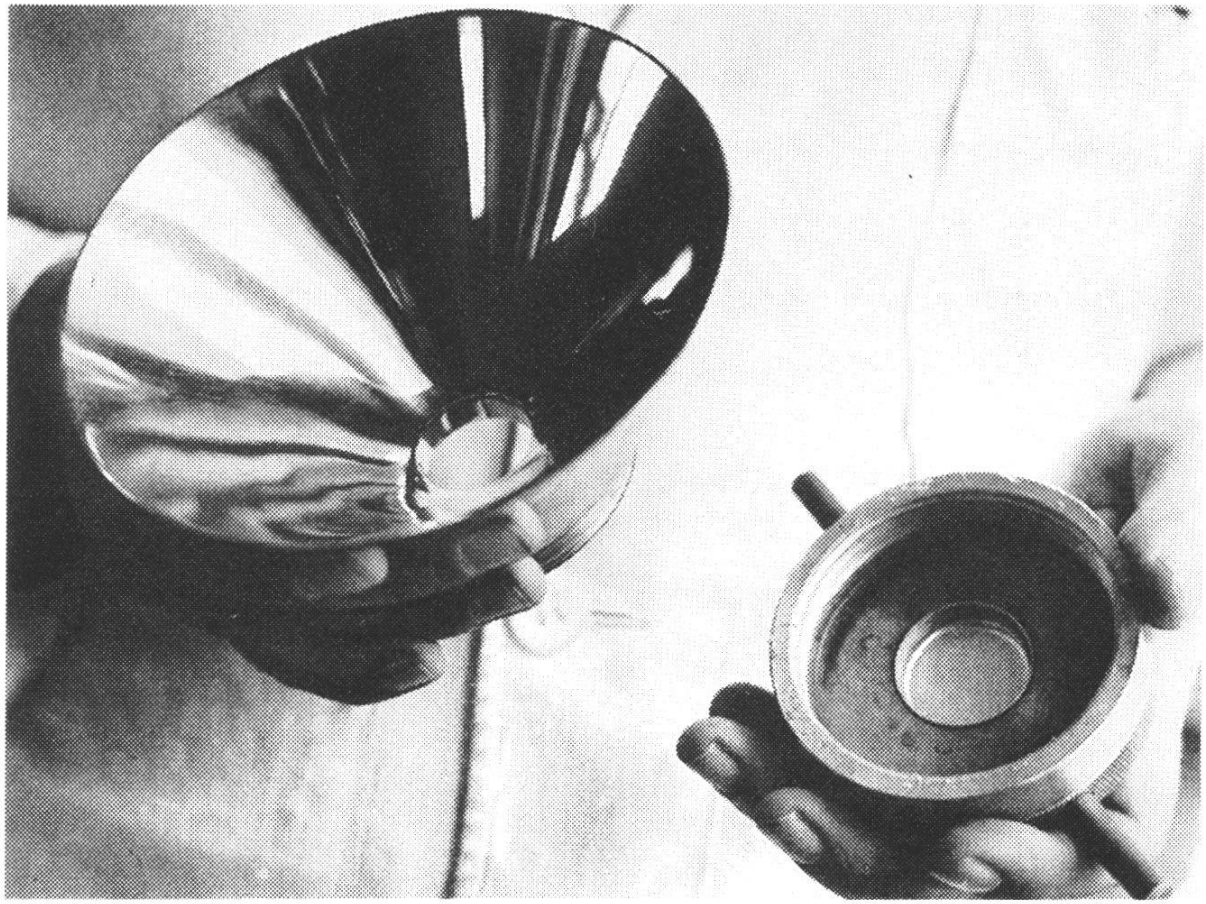


Abb. 5: Regensammler (oben) und Eindampftrichter (unten).

entwickelt. Die ersten Ge-Detektoren waren noch sehr klein, sie hatten eine Zählausbeute die nur wenigen Prozent eines 3x3"-NaI-Kristalles entsprach. Heute sind wesentlich grössere Ge-Kristalle erhältlich, im weiteren auch solche mit Bohrloch (Well Type), bei denen der Raumwinkel für kleine Probenmengen nahezu 4π beträgt. Eine interessante Anwendung der Gammaspektrometrie mit Ge-Detektoren ist die in-situ-Messung. Diese ermöglicht, ohne den Umweg über Probenahme und Labormessung rasch die nuklidspezifische Aktivitätsflächenbelegung des Bodens durch natürliche oder künstliche Radionuklide zu bestimmen. Dies ist sowohl für eine rasche Bestandesaufnahme der Radionuklide im Erdboden als auch für die Messungen nach einer störfallbedingten Freisetzung nützlich.

Für die Erfassung des Kernwaffen-Ausfalles mussten zuerst im Eigenbau Probenahmegeräte für die Luft, Niederschläge und Gewässer hergestellt werden. Für die Sammlung der Niederschläge wurden Regensammeltrichter mit einer Sammelfläche von 1 m^2 gebaut (siehe Abbildungen 4, 5). Die wöchentlich gesammelten Niederschläge wurden im Labor in einem Aluminiumschälchen von 30 mm Durchmesser zur Trockne eingedampft und hernach die Gesamt-Beta-Aktivität (später das Gamma-Spektrum) der Rückstände gemessen. Ebenso wurde mit Flusswasserproben verfahren, die als Stichproben oder kontinuierlich als Wochenproben gesammelt wurden.

Für die Überwachung der Aerosole wurden einerseits Schrittfiltergeräte (z.B. von Landis & Gyr) sowie Eigenbau-Standfiltergeräte eingesetzt (Abbildungen 6, 7). Bei den letzeren wurden die wöchentlich gewechselten Filter nach Veraschung ebenfalls auf Gesamt-Beta-Aktivität und später mittels Gammaspektrometrie untersucht. Bei einem Teil dieser Proben wurden auch Gesamt-Alpha-Messungen und später auch Alpha-Spektrometrie durchgeführt.

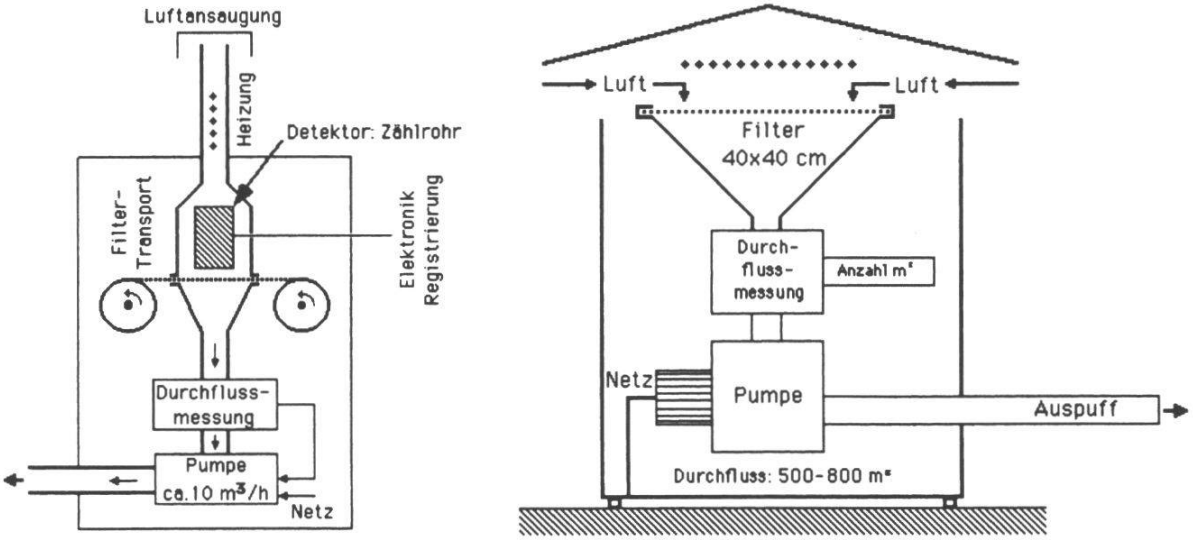


Abb. 6: Schrittfiltergerät für die Aerosolüberwachung (links) und Hochvolumenaerosolsammler (rechts).

Nach einer Kernwaffenexplosion in der Atmosphäre werden die Spaltprodukte in der Nordhemisphäre, hauptsächlich in der Stratosphäre, in West-Ost-Richtung um den Globus transportiert. Die Wolke einer russischen oder chinesischen Atombombe erreichte Europa nach etwa zehn Tagen über den Pazifik, Nordamerika und den Nordatlantik. Um in diesen Höhen Aerosolproben zu sammeln, wurde zusammen mit dem Eidgenössischen Flugzeugwerk in Emmen ein Luftfilteraggregat entwickelt, das am Flügel eines Militärflugzeuges befestigt werden kann (Abbildung 8, links). Die Gammaspektrometrie dieser Filter ermöglichte bei Kernwaffenexplosionen bereits ein bis zwei Wochen später den quantitativen Nachweis von jungen Spaltprodukten in der Atmosphäre.

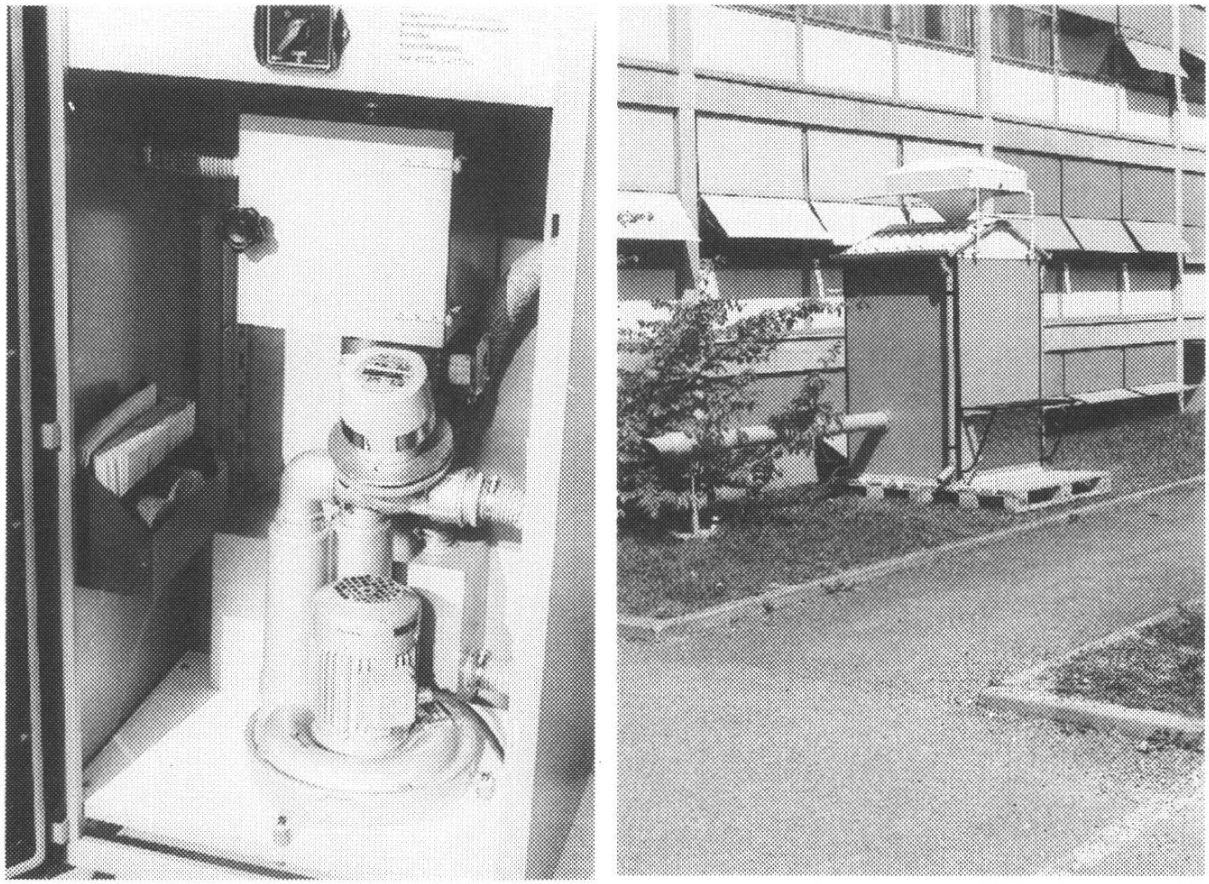
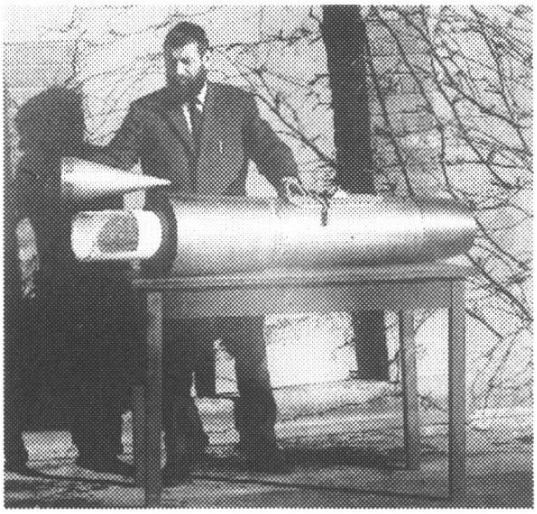


Abb. 7: Aerosolsammler (Wochen-Standfilter, 30 – 50 m^3/h, Eigenbau, links) und Hochvolumen-Sammler (ca. 500 m^3/h, rechts).

Viele der in der Natur vorkommenden künstlichen und natürlichen Radionuklide lassen sich mittels der Gammaspektrometrie nachweisen. Einige weitere, wie etwa ^{3}H (Tritium), ^{14}C, ^{90}Sr, die Edelgase ^{37}Ar und ^{85}Kr sowie die natürlichen Alpha-Strahler der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen, ^{222}Rn und seine Folgeprodukte und schliesslich auch die Transurane ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Am etc. verlangen allerdings spezielle Messverfahren, die neu entwickelt und erprobt werden mussten. Je nach dem zu bestimmenden Nuklid stehen heute verschiedene chemische Extraktionsverfahren oder adsorbierende Substan-



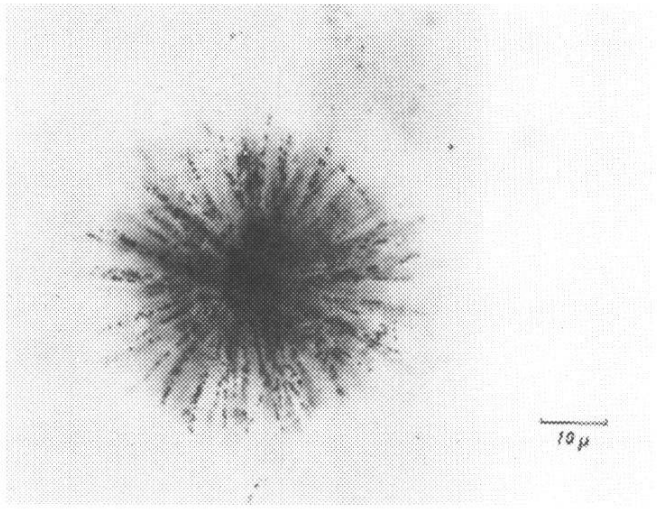


Abb. 8: Paul Winiger mit dem Höhluftfiteraggregat (links), Autoradiographie eines Alpha-strahlenden heissen Teilchens auf eine solchen Filter (rechts).

zen zu Verfügung. Zur Steigerung der Messempfindlichkeit werden nebst der Low-Level-Messtechnik auch physikalische Anreicherungsverfahren benutzt.

Eine weitere Verbesserung der Messempfindlichkeit wird mittels grossvolumiger Ge-Detektoren (z.T. als Borlochdetektor) und Bleiabschirmung aus aktivitätsarmem Material erreicht. Auch auf der Seite der Probenahme kann durch Anreicherungsverfahren eine sehr tiefe Nachweisgrenze erreicht werden. Beispielsweise wird bei Wasserproben mittels Fällung oder Ionenaustauscher aufkonzentriert, für die Luft werden Hochvolumen-Aerosolsammler mit einem Luftdurchsatz von 500 bis 800 m^3/Stunden eingesetzt (Abbildung 7, rechts). In Wasserproben werden so Nachweisgrenzen von 0.1 mBq/Liter, in der Luft von 0.3 $\mu Bq/m^3$ erreicht, entsprechend einem ^{137}Cs-Zerfall pro m^3 in einem Vierteljahr.

Die Entwicklung der verschiedenen Überwachungsverfahren in der Schweiz ist auf der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Die Probenahme- und Messmethoden wurden laufend verbessert und dem Stand der Technik angepasst. Dazu stehen die Laboratorien im Kontakt mit Fachstellen im In- und Ausland und pflegen der Erfahrungsaustausch an Tagungen und Kongressen.

Tabelle 1a: Entwicklung der Überwachungsverfahren (in Klammer: Beginn)

- **β-Aktivität:** Luft (1956),Niederschläge (1957), Fluss- (1957) und Zisternenwasser (1958)
- **α-Aktivität:** Luftfilter und Niederschläge (1958)
- **Luftproben** aus Strato- und Troposphäre (1959); heisse Teilchen auf Luftfiltern (1962)
- **^{90}Sr**: in Milch (1958), Knochen (1960), Erde und Gras (1961), Getreide (1962)

- **γ-Spektrometrie** mit 3x3" NaI-Kristall (1960); erster Vielkanal RCL-512 (1963)
- **Ganzkörpermessungen** (1963)
- **^{137}Cs** in Erde, Gras und Milch (1964)
- **Umgebungsüberwachung** CNE Lucens (1964), RCT Teufen (1965), KKW (1969)
- Tritium in Niederschlägen und Flüssen (1966)
- **γ-Spektrometrie** mit Ge-Detektor und Rechnerauswertung (1968)
- **^{37}Ar** (1969), **^{210}Pb** (1973) und **^{85}Kr** (1984) in der Luft; **^{14}C** in Baumblätter (1976)
- Registrierung der **Ortsdosisleistung** mit R&St-Ionisationskammer (1973)
- **in-situ-γ-Spektrometrie** (1978)
- Beginn der systematischen **Radon**-Messungen in der Schweiz (1981)
- **Aeroradiometrie** mit NaI-Gamma-Spektrometer (1984)

Bei den klassischen Überwachungsverfahren werden Proben in der Umwelt entnommen und dann im Labor aufbereitet und untersucht. Das Messergebnis ist somit nicht sofort verfügbar. Im Fall unvorhersehbarer Ereignisse und Unfälle ist jedoch eine raschere Warnung nötig.

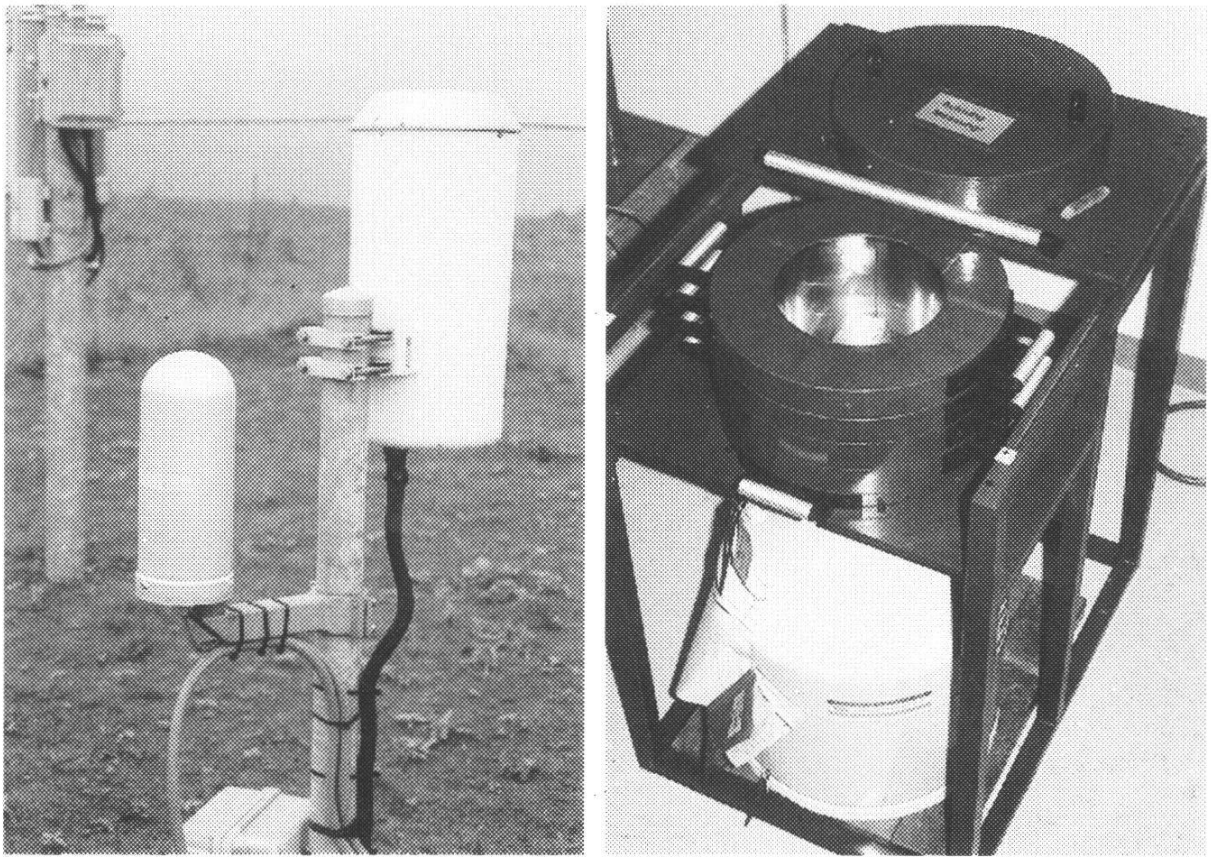


Abb. 9: NADAM-Sonde (links) und Ge-Gammaspektrometer (rechts).

Dies ist nur mit automatischen Überwachungs- und Warnnetzen möglich. Bis heute wurden in der Schweiz drei solcher Netze aufgebaut, einerseit für die landesweite Erfassung der Ortsdosen (NADAM, Betreiber NAZ, Abbildung 9 links), für Ortsdosen in der Umgebung der Kernanlagen (MADUK, Betreiber HSK) sowie für die Radioaktivität der Luft (RADAIR, Betreiber SUER). Solche Fernmessungen sind zwar weniger empfindlich, als klassische Labormessungen, aber sie sind wesentlich rascher und dauernd im Einsatz.

Tabelle 1b: Automatische Überwachungs- und Warnnetze mit Datenfernübertragung

- **NADAM:** Ortsdosisleistung in der ganzen Schweiz: Warnnetz mit 58 Stationen (1985)
- **MADUK:** Ortsdosisleistung Umgebung KKW: Warnnetz mit je 12–18 Stationen (1993)
- **RADAIR:** β_{tot}– und ^{131}Jod-Aktivität der Luft: Warnnetz mit 10 Stationen + 1 im FL (1995)

5. Die Auswirkungen der Kernwaffenversuche (s. [4], [7], [10], [13] und [14])

Eine dauernde Überwachung der Radioaktivität wurde ab den 50er-Jahren notwendig, da die Kernwaffenversuche der Grossmächte USA, ehemalige UdSSR und Grossbritannien zu einem deutlichen Anstieg der Radioaktivität in der Nordhemisphäre geführt hatten. Die USA zündeten ihre erste Atombombe in der Wüste Nevada am 16. Juli 1945 und im selben Jahr fand auch der Abwurf der Atombomben auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki statt mit seinen apokalyptischen Auswirkungen. Die erste russische Atombombe explodierte 1945 auf dem Testgelände in Semipalatinsk; die späteren Versuche wurden auf der Halbinsel Nowaja Semlja durchgeführt. Die rasante Entwicklung dieser Massenvernichtungswaffen zur Zeit des kalten Krieges führte zu immer grösseren Kalibern von rund 20 kt TNT-Äquivalent in Hiroshima und Nagasaki bis zu weit über 100 kt bei den A-Bomben und schliesslich zur Wasserstoffbombe mit bis zu 60 Mt. Die erste H-Bombe der USA explodierte 1951, jene Russland's 1953. Andere Länder zogen rasch nach, England zündete seine erste A-Bombe 1952, Frankreich 1960 in der Sahara (später in der Südsee auf den Atolls Fangataufa und Mururoa), China 1964 in Lop Nor, Indien 1974 in Pokharan, Südafrika vermutlich auch in den 70er-Jahren und schliesslich Pakistan 1989 in Chagai Hills. Insgesamt wurden

von 1945 bis heute knapp über 2000 Kernwaffentests durchgeführt; davon rund die Hälfte von den USA, ein Drittel von Russland und rund zehn Prozent von Frankreich, der Rest von China, Indien und Pakistan.

Da diese Versuche anfänglich alle in der Atmosphäre durchgeführt wurden (insgesamt rund ein Viertel aller Explosionen), stieg die Radioaktivität der Luft in der Nordhemisphäre deutlich an wie aus Abbildung 10 ersichtlich ist. Erkennbar sind die Maxima Ende der 50er- und Anfang der 60er-Jahre und der Rückgang nach dem Teststoppabkommen von 1963. Es kam in der Folge auch zu einer Zunahme der Radioaktivität in den Niederschlägen, Gewässern, Erdboden, Pflanzen und damit auch in der menschlichen Nahrung. Diese Aktivität war schliesslich auch im menschlichen Körper gut messbar etwa als ^{137}Cs im Muskelgewebe oder als ^{90}Sr in Knochen und (Milch-)Zähnen.

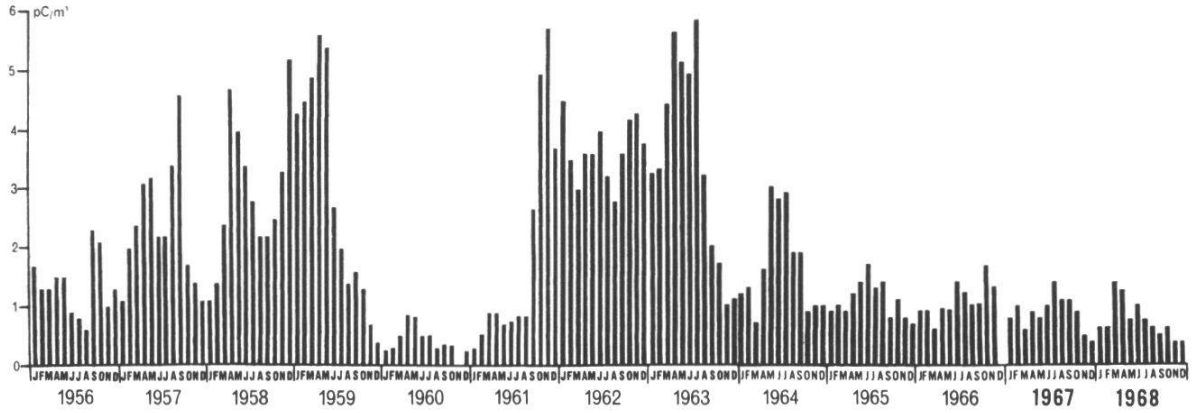


Abb. 10: Montatsmittelwerte der Gesamt-Beta-Aktivität der Luft in Payerne/VD (Faksimile aus dem 10. KUER-Bericht von 1966; 1p Ci = 0,037 Bq).

In der Luft war jeweils nach einem Test ein Anstieg bei den kurzlebigen Spaltprodukte gut erkennbar, wie auf der Abbildung 11 anhand der nuklidspezifischen Messungen der Luftfilter ersichtlich ist. Bei den kurzlebigen Nukliden ^{103}Ru und ^{141}Ce ist der Anstieg markanter als bei denjenigen mit längerer Halbwertszeit wie ^{144}Ce und ^{137}Cs. Unterirdische Explosionen liessen sich durch den Nachweis des radioaktiven Edelgases ^{37}Ar feststellen. In der Milch war nebst ^{90}Sr und ^{137}Cs auch ^{131}I nachweisbar. ^{137}Cs und ^{90}Sr bleiben auch Jahrzehnte später im Erdboden, in Pflanzen, der Nahrung und im menschlichen Körper noch messbar, obwohl die Umweltradioaktivität mit der Abnahme der Versuche in der Atmosphäre stark zurückgegangen ist. Auch bei natürlich produzierten Nukliden wie ^{14}C und Tritium (^{3}H) führten die Kernwaffenversuche zu einem Anstieg auf das Doppelte bzw. auf mehr als das Tausendfache. Heute liegt der ^{14}C-Gehalt noch 7 Promille über dem natürlichen Pegel, jener des Tritium in den Niederschlägen noch bei zwei- bis dreifachen des Vorbomben-Wertes.

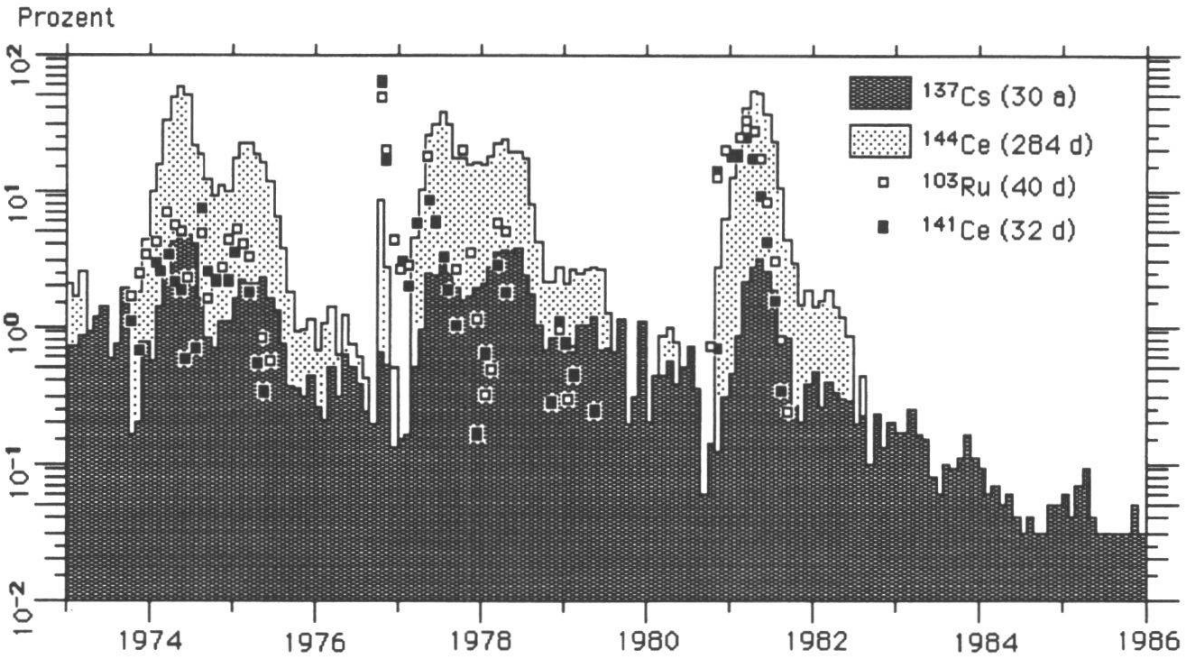


Abb. 11: Spaltprodukte in der Luft von Freiburg: Aktivität in Prozent von ^{137}Cs, ^{144}Ce, ^{103}Ru und ^{131}Ce relativ zum natürlichen ^{7}Be.

Dass ionisierende Strahlung für lebende Zellen gefährlich sein kann, wusste man schon seit 1927 durch die Versuche von Hermann-Joseph Muller mit Röntgenstrahlen an Fliegen (Drosophila). Es wurden kritische Stimmen laut, die längerfristig vor einer Gefährdung von Mensch und Umwelt durch die Kernwaffenversuche warnten. 1963 einigten sich die USA, die UdSSR und Grossbritannien auf einen Verzicht auf oberirdische Kernwaffenversuche (PTBT = Partial Test Ban Treaty). Am 5. März 1970 wurde der Atomsperrvertrag (NPT = Non Proliferation Treaty) abgeschlossen. Ab 1974 wurde zusätzlich die Sprengkraft der unterirdischen Versuche auf 150 kt TNT-Äquivalent begrenzt (TTBT = Threshold Test Ban Treaty) und schliesslich wurde 1996 ein umfassendes Teststoppabkommen (CTBT = Comprehensive Test Ban Treaty) beschlossen, das mit wenigen Ausnahmen von den meisten Ländern der Erde unterzeichnet wurde. Eine entsprechende globale Überwachung, sie umfasst Seismik, Hydroakustik, Infraschall und Radioaktivität, soll inskünftig permanent überprüfen, ob dieses Abkommen eingehalten wird.

Diese Anstieg der Umweltradioaktivität durch die Kernwaffenversuche hat die Entwicklung in den folgenden Bereichen des Strahlenschutzes nachhaltig beeinflusst:

- *Intensivierung der Forschung über Strahlenwirkung und Strahlenrisiko*
- *Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP*
- *Strahlenschutzgesetze und Immissionsgrenzwerte in den meisten Ländern*
- *Beginnn der systematischen Überwachung der Radioaktivität in vielen Ländern*
- *Entwicklung der Probenahme- und Strahlenmesstechnik*

Aus den Messreihen der letzten Jahrzehnte und gewissen zusätzlichen Annahmen lässt sich abschätzen, welche Strahlenexposition integriert bis zum Jahr 2000 die Schweizer Bevölkerung durch den Kernwaffenausfall, erhalten hat. In der folgenden Tabelle ist das Ergebnis dieser Rechnung zusammengestellt. Die Maximalwerte dürften etwa einen Faktor 5 höher liegen als die Mittelwerte.

Tabelle 2: Strahlendosen in der Schweiz durch den Kernwaffen-Fallout in mSv

Einmalige Dosis in mSv integriert bis zum Jahr 2000			
• Externe Strahlendosen			0.50
davon:	– *^{137}Caesium*	*0.28*	
	– *übrige Nuklide*	*0.22*	
• Inhalation			0.08
davon:	– *radioaktive Aerosole*	*0.04*	
	– *übrige Nuklide*	*0.04*	
• Aufnahme über Nahrung			0.57
davon:	– *^{3}H (Tritium)*	*0.02*	
	– *^{14}Kohlenstoff*	*0.22*	
	– *^{90}Strontium*	*0.14*	
	– *^{137}Caesium*	*0.14*	
	– *übrige Nuklide*	*0.05*	
Summe			**1.20**

6. Kernenergie in der Schweiz

Die Kernenergie in der Schweiz begann 1955 mit der Genfer UNO-Konferenz ATOMS FOR PEACE an der 1400 Delegierte aus 73 Ländern teilnahmen. Hier wurde ein Forschungs- (Swimmingpool-) Reaktor ausgestellt. Dies war der erste Kernreaktor weltweit, der öffentlich ausgestellt wurde. Auf Initiative von Prof. PAUL SCHERRER von der ETH Zürich, einem Promotor der Kernenergie in der Schweiz, wurde er im folgenden Jahr als Reaktor SAPHIR in der 1955 gegründeten Reaktor-AG in Würenlingen (Später EIR, dann PSI) installiert und in Betrieb genommen wurde. Er wurde 1993 stillgelegt. Parallel dazu wurde von 1960 bis 1997 ein weiterer Forschungsreaktor DIORTH betrieben. PAUL SCHERRER präsidierte auch bis 1958 die Schweizerische Studienkommission für Atomenergie (SKA).

Das Versuchsatomkraftwerke Lucens, eine schweizerische Eigenentwicklung, nahm 1968 seinen Betrieb auf. Es handelte sich um einen schwerwassermoderierten Druckröhrenreaktor mit CO_2-Kühlung und einer elektrischen Leistung von rund 28 MW in Kavernenbauweise. Der Betrieb dauerte allerdings nicht lange: am 21. Januar 1969 ereignete sich ein schwerer Störfall – glücklicherweise ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Umwelt – der den Reaktor so schwer beschädigte, dass er stillgelegt und demontiert werden musste. Durch Korrosionsschäden, die während des Stillstandes aufgetreten waren, wurde die Kühlung einzelner Brennelemente behindert, sodass sich diese überhitzten und barsten. Die freigesetzte Aktivität bestand fast ausschliesslich aus den kurzlebigen ^{88}Rb (17.8 min.) und ^{88}Kr (2.8 h). Die Anlage wurde nach vollständiger Demontage 1996 aus der nuklearen Gesetzgebung entlassen. Das BAG wurde beauftragt, die aus der Kaverne evakuierten Sickerwässer noch während 30 Jahren zu überwachen.

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie begann mit der Inbetriebnahme von Beznau I im Jahr 1969, der 1972 Beznau II folgte. Im selben Jahr nahm auch Mühleberg seinen Betrieb auf, 1979 folgte Gösgen und 1984 Leibstadt. Bei Gösgen (ab 1975) und dann auch bei Leibstadt (ab 1980) wurden im Rahmen der Beweissicherung vor Betriebsaufnahme sogenannte Nullpegelmessungen in der Umgebung durchgeführt.

Die routinemässige Überwachung der Umgebung der Kernanlagen in Zusammenarbeit mit der HSK und weiteren Stellen des Bundes und der Kantone umfasst Ortsdosen, Niederschläge, Aerosole, Gewässer, Boden, Pflanzen, Milch, Getreide etc., teilweise durch kontinuierliche Sammlung, teilweise durch Stichproben. Es wurde bisher keine Überschreitungen von Immissions- oder Dosisgrenzwerten in der Umbebung dieser Anlagen festgestellt. Die Emissionen der Anlagen sind meist nur in Spuren nachweisbar. Die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung beträgt auch unter konservativen Annahmen weniger als 10 micro-Sv pro Jahr, liegt also weit unter dem Richtwert von 0.2 mSv pro Jahr, der von der HSK den Abga-

belimiten zugrundegelegt wurde. Der grösste Dosisbeitrag kommt vom ^{14}C. Die radiologischen Auswirkungen sind somit unter der de-minimis-Dosis der ICRP-Empfehlungen; das ist jene Dosisschwelle, unterhalb der die ICRP keine weiteren Optimierungen fordert.

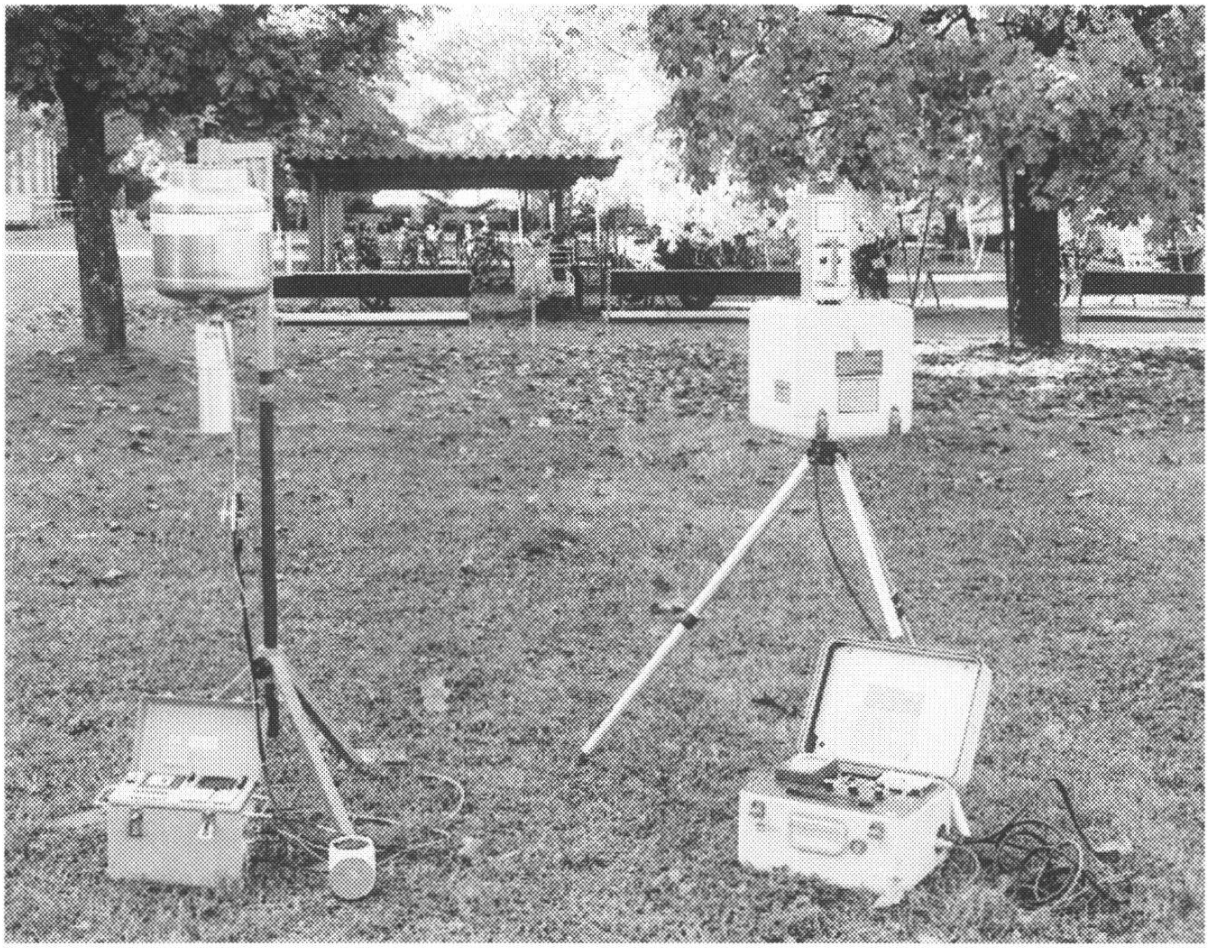


Abb. 12: Umgebungsüberwachung der Kernanlagen: links ein tragbares Ge-Gammaspektrometer, rechts eine Reuter & Stokes-Hochdruck-Ionisationskammer für die Messung der Ortsdosisleistung.

7. Weitere Anwendungen von radioaktiven Stoffen (S. [17])

Die weiteren Anwendungen von radioaktiven Strahlenquellen in Medizin, Industrie und Forschung sind zahlreich. Bis in die 60er-Jahre wurde ^{226}Ra in der Medizin für die Therapie und in der Industrie für Leuchtfarben bei Uhren verwendet. Bei den letzteren wurde es seither hauptsächlich durch Tritium, z.T. auch durch ^{147}Pm, ersetzt. Der heutige Trend führt allerdings weg vom Tritium, da heute Phosphore mit wesentlich längerer Nachleuchtzeit hergestellt werden können. Gewisse Uhrenhersteller verzichten bereits seit einigen Jahren ganz auf die Verwendung von Tritium bei den Uhren. Immissionsmessungen von Tritium in verschiedenen Proben in der Umgebung eines Betrie-

bes der Tritium verarbeitet und über die Abluft in die Umgebung abgibt, sind auf der Abbildung 13 zusammengestellt. Sie zeigen, dass die Konzentration etwa mit einer Potenzfunktion mit den Abstand zur Quelle abnimmt.

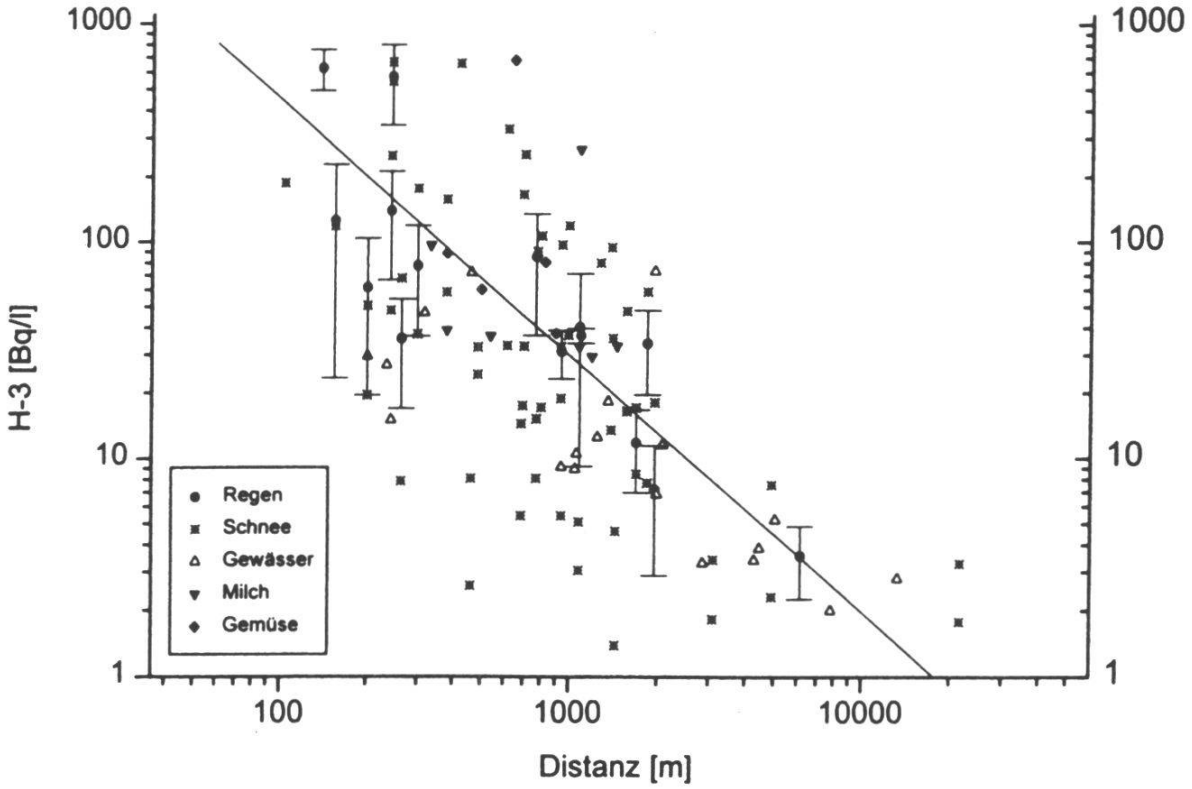


Abb. 13: Tritium in verschiedenen Proben aus der Umgebung eines Tritium-verarbeitenden Betriebes in der Region Bern.

In zwei Fällen mussten Firmengelände saniert werden, auf denen früher mit Radium gearbeitet wurde, bevor sie für andere Verwendungen freigegeben werden konnten. In der Medizin wird für Schilddrüsentherapien vor allem ^{131}I verwendet. Dieses wird von den Patienten über den Urin relativ rasch wieder ausgeschieden. Spitäler, die solche Therapien durchführen, haben für ihre Nuklearmedizin Abwasserekontroll- und Rückhalteanlagen, was eine Bilanzierung und Kontrolle der Jod-Abgabe an das Abwasser ermöglicht. Die Überwachung erfolgt durch die Messung von wöchentlichen Wassersammelproben vom Ausfluss der Kläranlagen der grösseren Agglomerationen der Schweiz.

Bei einem Zwischenfall 1983 in einem Betrieb in der Region Zürich wurde rund 20 TBq Tritium in die Kanalisation abgegeben, was für wenige Wochen zu einem deutlichen Anstieg des Tritiumgehaltes in der Glatt bis einige Tausend Bq/l führte. Bei einigen Grundwasserbrunnen der Region stieg der Tritiumgehalt während einigen Monaten bis gegen 100 Bq/l. Die radiologischen Auswirkungen dieses Ereignissen waren jedoch unbedeutend.

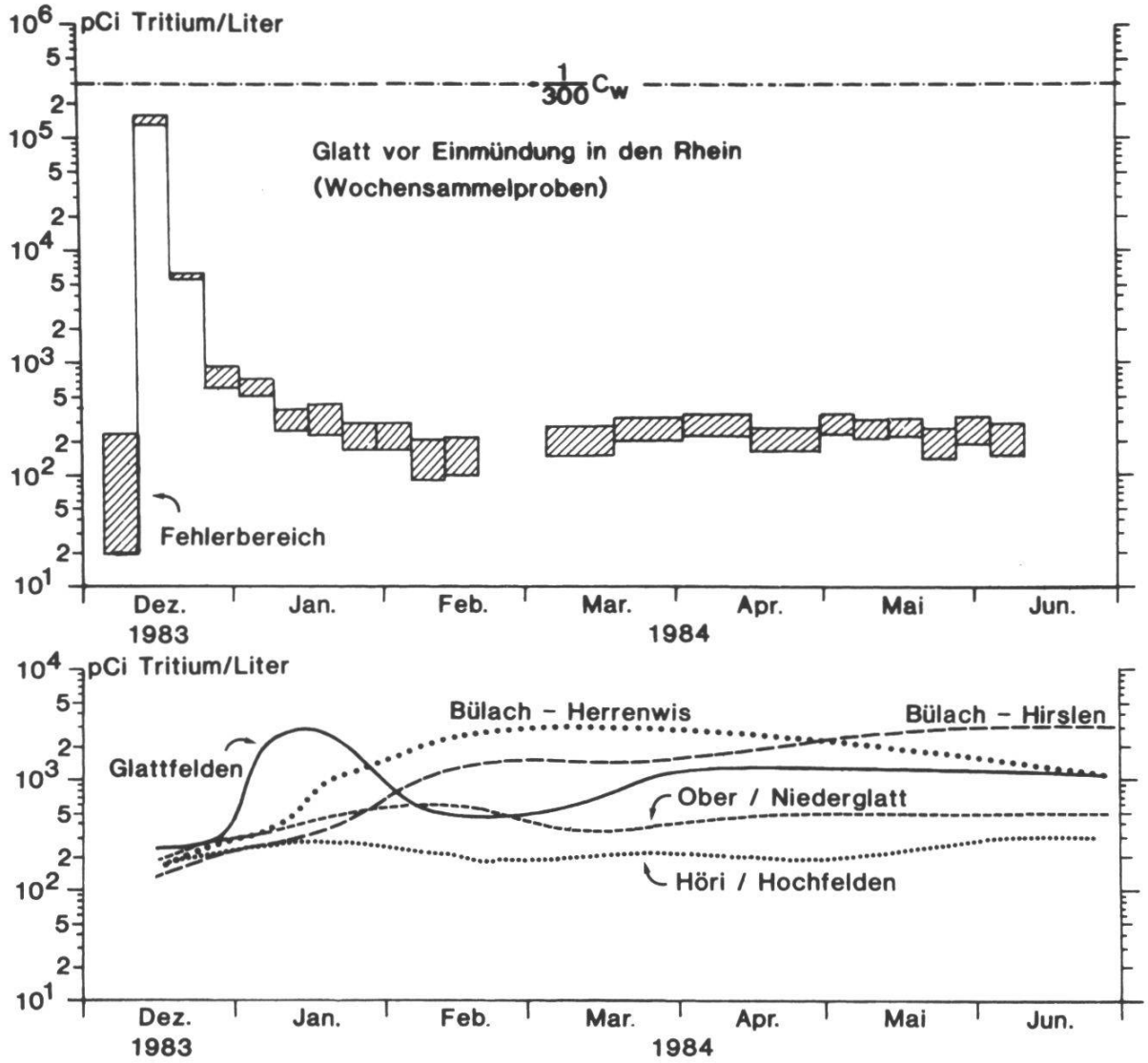


Abb. 14: Tritiummessungen in Gewässern (oben: Glatt, unten: Grundwasser) nach einer ungeplanten Tritium-Emission aus einem Betrieb in der Region Zürich. (1 pCi = 0,037 Bq)

8. Unfälle und Ereignisse

Im Laufe der Jahre sind hie und da auch Ereignisse eingetreten, die zeigen, dass sowohl die Technik wie auch der Mensch nicht unfehlbar sind. Wieweit der Zufall oder technisches Versagen die Ursache waren, oder wieweit es menschliches Versagen oder Unvermögen waren, lässt sich im Nachhinein nicht immer klar festlegen. Eine Liste solcher Ereignisse (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) ist auf der folgenden Tabelle zusammengestellt. Diejenigen, bei denen die Schweiz direkt oder indirekt betroffen war, sind grau eingefärbt. Es handelt es sich um militärische Aktivitäten (milit.), um Unfälle mit medizinischen Bestrahlungsquellen (med.), um Unfälle in Industrieanlagen (ind.), Wiederaufarbeitung (WAA), Unfälle in Kernkraftwerken (KKW). Ereignisse, die zu einer lokalen oder grossräumigen Kontamination führten,

sind mit ein bis drei * gekennzeichnet, falls sie einer Gefährundung von Menschen geführt haben, sind mit ein bis drei # gekennzeichnet.

Tabelle 3: Unfälle und Ereignisse mit Radioaktivität

Jahr	Ereignis	Art	Gefährdung	
1950/51	Majak/Tscheljabinsk/UdSSR: Abgabe in den Techa-Fluss	milit.	***	###
1957	Explosion in Kysthym/UdSSR	milit.	***	###
1957	Zwischenfall in Windscale/UK	WAA	**	---
1964	Absturz Satellit mit SNAP-9A ^{238}Pu-Isotopenbatterie	milit.	**	---
1966	Pu-Unfall in Palomares/Spanien	milit.	**	---
1967	Kontamination des Karatschai-See/UdSSR	milit.	***	###
1968	Pu-Unfall in Thule/Grönland	milit.	**	---
1969	Unfall in der CNE Lucens/VD am 29. Januar	KKW	---	---
1978	Absturz Cosmos 954-Satellit mit Reaktor über Kanada	milit.	**	---
1979	Unfall KKW TMI in Harrisburg/USA	KKW	*	---
1979	Sanierung Gelände RCT Teufen/AR	Ind.	*	---
1982/83	Sanierung Gelände M&B Bümliz/BE	Ind.	*	---
1983	Unfall mit Strahlenquelle Cuidad Juarez/Mexiko	Med.	**	##
1983	T-Abgabe bei Fa. CERBERUS Volketswil/ZH	Ind.	*	---
1984	Unfall mit Strahlenquelle Mohammedia/Marokko	Med.	**	##
1986	schwerer Reaktorunfall Tschernobyl/Ukraine	KKW	***	###
1986	Harzzwischenfall KKW Mühleberg/BE	KKW	*	---
1987	Unfall mit Strahlenquelle Goîania/Brasilien	Med.	**	###
1992	Zwischenfall KKW Sosnovyy Bor/Leningrad	KKW	*	---
1994	Absturz Cessna mit Quelle (?) in den Bodensee	---	---	---
1998	Zwischenfall mit ^{137}Cs-Quelle in Algeciras/Spanien	Ind.	*	---
1998	^{65}Zn-Emission beim PSI in Villigen/AG	Forsch.	*	---

9. Der Reaktorunfall Tschernobyl (s. [8], [9] und [15])

Am 26. April 1986 um 01h24 Lokalzeit explodierte im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl der Block Nr. 4. Es handelte sich um einen graphitmoderierten Druckröhrenreaktor vom Typ «RBMK» mit 1000 MW elektrischer Leistung. Im Zusammenhang mit Experimenten kam es zu einer Leistungsexkursion und als Folge davon zu einem Brand und einer massiven Freisetzung von Radioaktivität während rund 10 Tagen. Diese betraf nicht nur auf die nähere Umgebung und die Länder Ukraine, Weissrussland und die russische Foederation sondern auch weite Gebiete Ost-, Nord- und Mitteleuropa und war auch in der Schweiz als deutliche Erhöhung der Radioaktivität in der Umwelt feststellbar. Der zerstörte Reaktor wurde mit Sand, Ton, Dolomit, Kalkstein, einer Borverbindung und Blei überschüttet und später

einbetoniert (Sarkophag). Ursache dieses bisher schwersten Unfalles in einem Kernkraftwerk waren einerseits menschliches Fehlverhalten und andererseits konstruktive Auslegungsmängel.

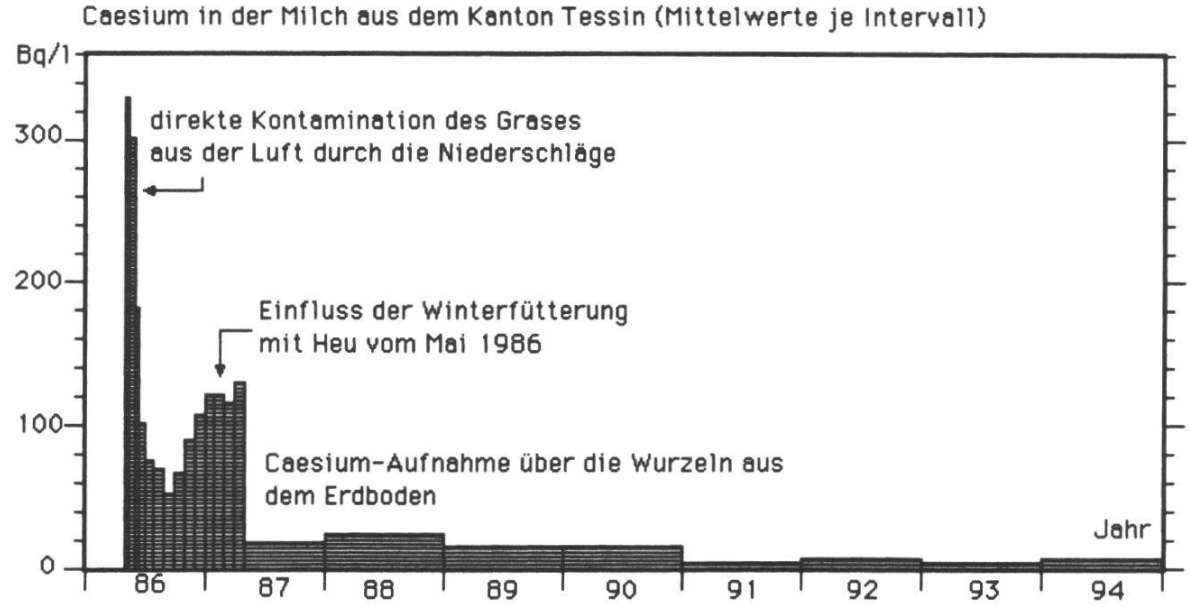


Abb. 15: ^{137}Cs-Konzentration in der Milch aus dem Tessin nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl vom April 1986.

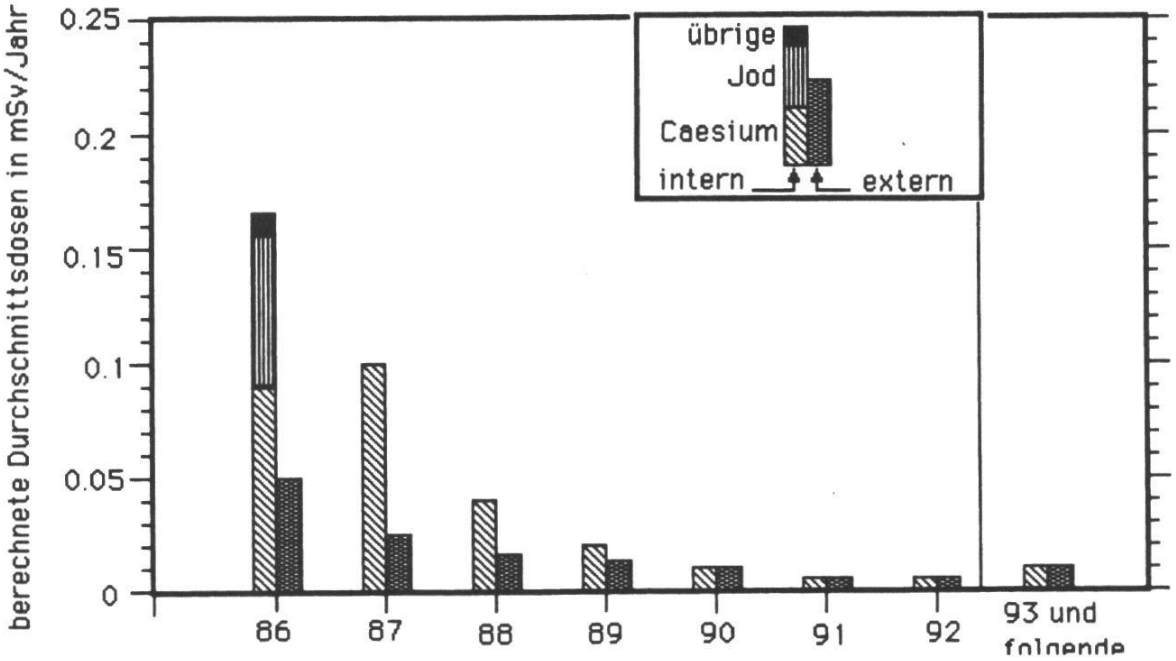


Abb. 16: Mittlere Strahlendosen in der Schweiz durch den Unfall Tschernobyl.

Der radioaktive Ausfall dieser Reaktorkatastrophe erreichte die Schweiz in der Nacht vom 29. auf den 30. April 1986. Die vorbereitete Einsatzorganisation trat rasch in Aktion um 1) Informationen zu sammeln und auszuwerten,

2) die Probenahme- und Messorganisation zu leiten, 3) Dosisprognosen zu erstellen und 4) die Bevölkerung über die Lage zu informieren und Empfehlungen abzugeben. In guter Zusammenarbeit der zahlreichen Laboratorien des Bundes und der Kantone wurde gegen 20'000 Proben aller Art auf Radioaktivität untersucht. Dabei kamen die Erfahrungen aus der Überwachung des Bombenfallout bei Probenahme und Messung zum Zuge.

Aus den zahlreichen Messwerten wurde die Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung, integriert bis zum Jahr 2000 berechnet. In der Tabelle 4 sind die Durchschnittswerte sowohl für das erste Jahr, als auch für die Summe bis Ende Jahrhundert aufgelistet. Bei den meistbetroffenen Personen (z.B. Selbstversorger im Tessin oder Personen mit vom Durchschnitt abweichendem Konsumverhalten) dürften die Dosen in den ersten drei Jahren bis zum zehnfachen des Durchschnittes betragen.

Tabelle 4: Strahlendosen in der Schweiz durch den Unfall Tschernobyl in mSv

Einmalige Dosis in mSv			**im 1. Jahr (1986)**	**Summe bis 2000**
• Externe Strahlendosen			0.05	0.17
• Inhalation			0.01	0.01
• Aufnahme über Nahrung			0.16	0.36
davon:	*– ^{131}Jod*	*0.065*	*0.065*	
	– $^{134+137}$Caesium)*	*0.09*	*0.28*	
	– übrige	*0.01*	*0.01*	
Summe			**0.22**	**0.53**

**) Aufteilung der Ingestionsdosis durch Caesium in Prozent:*

Jahr	**1986**	**1887**	**1988**	**1989**
• Milch & -produkte	36	20	17	21
• Gemüse, Früchte	33	18	21	18
• Getreide	0.3	18	7	11
• Fleisch (ohne Wild)	22	28	27	17
• Rest, incl. Wild, Pilze	9	16	28	33

Zum Vergleich sind in der folgenden Tabelle die Dosen der Bevölkerung in den direkt betroffenen Regionen zusammengestellt (Quelle: IAEA-Konferenz in Wien vom 9.–12.4.96 **[19]**).

Tabelle 5: Strahlendosen durch den Unfall Tschernobyl in den betroffenen Gebieten

- 200'000 **Liquidatoren** der ersten Wochen (Aufräumequipen):
  10 Prozent davon > 250 mSv, einige Prozent > 500 mSv; mittlere Dosis ≈100 mSv
  einige Dutzend Personen erhielten Lethaldosen, d.h. einige Tausend mSv
- 116'000 Personen der **evakuierten Bevölkerung** der 30km-Zone mit >1480 kBq/m^2:
  10 Prozent erhielten mehr als 50 mSv, 5 Prozent mehr als 100 mSv
- Folgedosis **meistbetroffene Bevölkerung**: 160 mSv
- Folgedosis ab 1996 in den **betroffenen Gebieten** ausserhalb der evakuierten Zone:
  im Gebiet 185 – 555 kBq/m^2: 5 – 20 mSv; im Gebiet 555 – 1480 kBq/m^2 20 – 50 mSv
- Folgedosis in den Länder **ausserhalb der ehemaligen Sowjetunion**:
  höchstes Landesmittel 0.8 mSv; höchstes regionales Mittel: 1.2 mSv

10. ^{137}Cs-Freisetzung in einem spanischen Stahlwerk im Mai 1997

Am 30. Mai 1997 wurde im süd-spanischen Stahlwerk ACERINOX bei Algeciras eine (medizinische ?) ^{137}Cs-Quelle mit angeliefertem Metallschrott eingeschmolzen. Da der Portalmonitor am Eingang des Werkes defekt war, wurde die Quelle nicht entdeckt. Das Caesium verdampfte und wurde teilweise mit der Abluft in die Atmosphäre abgegeben. Die Aktivität wurde auf 1000 bis 2000 GBq abgeschätzt. Diese Cs-Wolke, es handelte sich um weniger als 1 g Caesium, wurde mit dem Wind richtung NE über ganz Europa hinweg verfrachtet. Die Filter des High-Volume-Samplers auf Monte Ceneri im Tessin vom 9. Juni ergab während weniger Tage eine maximale Konzentration von 150 µBq/m^3. Interessanterweise wurde die höchsten Werte nicht in Spanien selbst, sondern in Südfrankreich, rund 1100 km nordöstlich des Emissionspunktes mit 2400 µBq/m^3 registriert. Der höchste Werte in Spanien wurde in Almería bei Palomares mit 890 µBq/m^3 gemessen. Dies deutet darauf hin, dass die Wolke mehrheitlich über das Mittelmeer Richtung Südfrankreich und Korsika hinwegstrich. Sie zog dann weiter über Norditalien Richtung Österreich, Ungarn und Polen und streifte dabei auch die Schweiz. Rund 2000 km nordöstlich von Algeciras im Sektor 40° bis 55° lagen die Messwerte bereits um zwei Grössenordnungen tiefer als das Maximum in Südfrankreich. Ausserhalb dieses Sektors waren die Werte unter 10 µBq/m^3. Obwohl diese ^{137}Cs-Konzentration mit dem hochempfindlichen Messerver-

fahren heute gut nachweisbar war, ist sie radiologisch völlig unbedeutend: Das Maximum im der Schweiz war rund 10'000 mal tiefer als die nach dem Unfall Tschernobyl bei uns registrierten Messwerte. Bemerkenswert war die rasche und direkte Kommunikation der Laboratorien aus ganz Europa über das Internet.

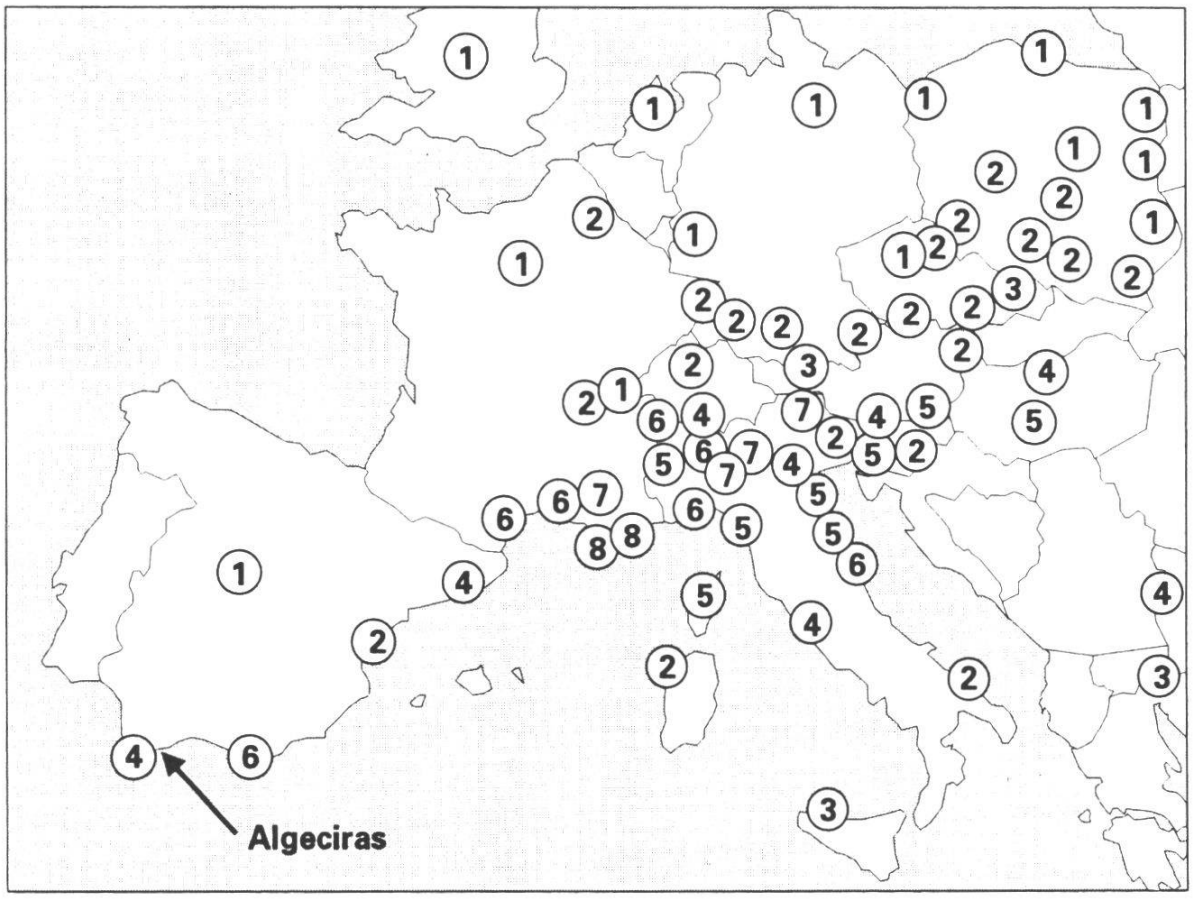


Abb. 17: Ausbreitung der ^{137}Cs-Wolke über Europa Anfang Juni 1997 (Maximalwerte). Legende: 1 = < 10; 2 = 10–50; 3 = 50–100; 4 = 100–200; 5 = 200–500; 6 = 500–1000; 7 = 1000–2000; 8 = > 2000 µBq ^{137}Cs/m^3. (Sammlung der Daten per Internet).

11. Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung aus weiteren Quellen

Nebst der bereits erwähnten (einmaligen) Strahlenbelastung durch den Kernwaffenausfall und den Reaktorunfall in Tschernobyl ist die Bevölkerung einer dauernden Strahlenexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen ausgesetzt. Davon entfällt rund die Hälfte auf Radon und seine Folgeprodukte im Hausinnern und der Rest auf terrestrische und kosmische Strahlung sowie die natürlichen Radionuklide im Körper. Beim Radon, auf das im Beitrag von W. Zeller detailiert eingegangen wird, sei auf den grossen Variationsbereich von mehr als zwei Grössenordnungen hingewiesen (s. auch [11]).

Tabelle 6: Jährliche Strahlendosen in der Schweiz aus natürlichen Quellen in mSv

Dosis in mSv pro Jahr	Bereich	Mittel
• Radon und -Folgeprodukte im Hausinnern	0.3 – 100	1.6
• Radionuklide im Körper	0.2 – 0.5	0.38
• terrestrische Strahlendosis	0.2 – 1.5	0.45
• kosmische Strahlung	0.3 – 0.6	0.35
Summe		**2.8**

Bei den Dosen aus künstlichen Quellen dominiert der Beitrag aus medizinischen Anwendungen, wobei die Erhebung für die Röntgendiagnostik bereits weit zurückliegt und die Zahlen sicher veraltet sind. Eine neue Untersuchung ist im Gang. Die übrigen Beiträge lassen sich nur sehr grob abschätzen und weisen im Einzelfall sehr grosse Unterschiede auf.

Tabelle 7: Jährliche Strahlendosen in der Schweiz aus künstlichen Quellen in mSv

Dosis in mSv pro Jahr	Bereich	Mittel
• Medizinische Anwendungen:		
– Röntgendiagnostik (1978)	0 – 30	≈1
– Nuklearmedizin (1989/90)	0 – 80	0.04
• Kernanlagen (Nahumgebung)	< 0.015	---
• Industrien (Nahumgebung)	< 0.03	---
• Kleinquellen (z.B. Uhren etc.)	0 – 5	≈ 0.1
• Fliegen:Flugpersonal/Vielflieger	0 – 5	---
• berufliche Strahlenexposition (1997)	0 – 20	0.13 *)

*) *bezogen auf beruflich strahlenexponierte Personen im Jahr 1997.*

12. Gesetzgebung

Das erste Gesetz im Bereich ionisierender Strahlung und Atomenergie datiert vom 23. Dezember 1959: Das *Gesetz über die friedlich Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz*. Die erste *Strahlenschutzverordnung* (SSVO) datiert vom 19. April 1963, sie wurde am 30. Juni 1976 revidiert. Später wurden Atomenergie und Strahlenschutz gesetzmässig getrennt; das neue *Strahlenschutzgesetz* (StSG) trat am 22. März 1991 in Kraft. Als

Ausführungsbestimmung dazu gilt seit dem 22. Juni 1994 die neue *Strahlenschutzverordnung* (StSV). Sie basiert im Wesentlichen auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP von 1990 (ICRP Publikation Nr. 60). Im Bezug auf Radionuklide in den Lebensmitteln gilt weiter die *Verodnung über Fremd- und Inhaltsstoffe* FIV vom 26. Juni 1995.

13. Berichterstattung und Öffentlichkeitsarbeit

Die Ergebnisse der Überwachung wurden von der KUER in den (in der Regel jährlichen) Berichten zusammen mit der Interpretation und den sich daraus ergebenden Strahlendosen veröffentlicht. Die Jahre 1985 – 86 und 1987 – 88 nach dem Reaktorunfall Tschernobyl wurden zu je einem Bericht zusammengefasst. Seit 1989 – 90 werden diese Berichte durch das Bundesamt für Gesundheit BAG in Zusammenarbeit mit den beteiligten Laboratorien zusammengestellt und herausgegeben. (s. [3], [5] und [6]).

Die Erfahrungen bei der Überwachung der Kernanlagen führten zu einem gemeinsam mit dem FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ (FS) und der SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RADIOPROTECTION (SFSN) durchgeführten Seminar über die Umweltauswirkungen kerntechnischer Anlagen im September 1992 in Fribourg [12] und zu einem Rückblick auf zehn Jahre Überwachung der Kernanlagen vom November 1994 [13]. Weitere Arbeiten und Aufsätze von mehr wissenschaftlichen Charakter wurden in Fachzeitschriften veröffentlich.

14. Schlussfolgerungen

Aus dem Rückblick auf die 40-jährige Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz lassen sich folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- *In der Schweiz wurde in den letzten 40 Jahren eine umfassende Überwachung der Umweltradioaktivität aufgebaut. Trotz bescheidener Mittel weist diese keine wesentlichen Lücken auf und ermöglicht eine umfassende Information der Bevölkerung über Strahlung und Radioaktivität sowie über die daraus resultierenden Risiken.*
- *Weder der Kernwaffenausfall, noch Unfälle wie Tscheronbyl oder Lucens, noch die Anwendungen radioaktiver Stoffe in Industrie und Medizin haben bisher in der Schweiz zur einer Gefährdung der Bevölkerung geführt. Die Strahlenrisiken aus diesen Quellen sind unbedeutend und dies insbesonder im Vergleich mit andern zivilisationsbedingten Risiken des modernen Lebens.*

- *Radon im Hausinnern als grösste Dosiskomponente wird seit bald 20 Jahren überwacht. Es ist nach heutigen Kenntnissen für einige Prozent der in unserem Lande auftretenden Lungekrebsfälle verantwortlich. In der Schweiz wurde ein effizientes Programm aufgebaut, das insbesondere darauf zielt, die Extremwerte zu finden und durch geeignete Haussanierungen zu eliminieren.*
- *Auch wenn in Zukunft die Mittel für die Überwachung möglicherweise knapper werden, muss die Überwachung im bisherigen Ausmass weitergeführt werden. Dies ist mit einem optimale Einsatz der Mittel auch möglich.*

15. Literaturhinweise

[1] A. GOCKEL: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*,(1914) Vieweg, Braunschweig

[2] F. DESSAUER: *Lehrbuch der Strahlentherapie* (1925) und *Quantenbiologie* (1954).

[3] *Jahresberichte der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität*: Nr. **1** (1956) bis Nr. **30** (1987–88) BAG, Bern

[4] J. HALTER, B. MICHAUD und H. VÖLKLE: *Cs-137 in Milch und im menschlichen Körper*, Bull. Soc. Fri. Sc. Nat. **65/1** (1976) pp. 6–17, Editions Universitaires Fribourg

[5] *25 Jahre Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz*, November 1982, BAG, Bern

[6] *Jahresberichte des BAG zur Umweltradioaktivität* (ab 1989), BAG, Bern

[7] H. VÖLKLE: *Zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den radioaktiven Ausfall der Kernwaffenversuche der 50er- und 60er-Jahre*. 18. Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz an Bord der FINNJET 8.–10. Oktober 1985, Proceedings pp. 617–632

[8] *Radioaktivitätsmessungen in der Schweiz nach Tschernobyl und ihre Wissenschaftliche Interpretation* (Band I und II), Tagung vom 20.–22. Oktober 1986 in Bern, BAG

[9] *Verstrahlungslage in der Schweiz nach dem Unfall in Tschernobyl*, September 1986, BAG, Bern

[10] H. VÖLKLE, C. MURITH und H. SURBECK: *Fallout from Atmospheric Bomb Tests and Releases from Nuclear Installations*. Radiat. Phys. Chem. **34/2** (1989) pp. 261–277

[11] H. VÖLKLE und D. BORCHARDT (Herausgeber): *Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten*, Kolloquium vom 6.–7. Mai 1991 in Berlin, Fachverband für Strahlenschutz **FS-91-56-T**, ISSN 1013–4506, Verlag TÜV-Rheinland, Köln

[12] H. VÖLKLE and S. PRÊTRE (Editors): *Environmental Impact of Nuclear Installations*, Joint Seminary September 15th–18th, Fribourg, RADIOPROTECTION, Special Issue, Februry 1993

[13] Ch. Murith et A. Gurtner: Radioactivité, Environnement et centrale nucléaires: Bilan décennal de surveillance (1984 – 1994). OFSP, Berne, 1994. (auch Deutsch)
[14] H. VÖLKLE und W. WEISS: *Trends bei den Umweltmessungen*, 26. Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz, 24.–26. Mai 1994, Proceedings
[15] O. HUBER, W. JESCHKI, S. PRÊTRE und H. VÖLKLE: *Auswirkungen der Reraktorkatastrophe von Tschernobyl in der Schweiz und Schutz der Bevölkerung vor Radioaktivität*, Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. **84(1/2),** 1995, pp. 23–69
[16] *Seminar über Umweltbelastung durch langlebige künstlich erzeugte Radionuklide*, Luzern und Vitznau 29.–30. Juni 1995, IRA, Lausanne (1995), ISBN 2-88444-005-4
[17] A. NEU, H. VÖLKLE und S. WEIMER: *Altlast Tritium?* StrahlenschutzPRAXIS **3/95**, pp. 30–35
[18] H. VÖLKLE: *Die Dosis-Relevanz einzelner Expositionspfade*. StrahlenschutzPRAXIS **2/95**, pp. 32–39
[19] H. VÖLKLE: *One Decade after Chernobyl: Summing up the Radiological Consequences*: Tagungsbericht Internationale Tschernobyl-Konferenz von EU/WHO/IAEA am 9.–12. April 1996 in Wien; StrahlenschutzPRAXIS **3/96**, pp. 69–74.
[20] H. VÖLKLE: *40 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz*. StrahlenschutzPRAXIS **4/98**, pp. 8–16

Anhang

Mitglieder der KUER 1956 – 1998: in alphabetischer Reihenfolge

PAUL ACKERMANN, Payerne	JÜRG BEER, Dübendorf
Frau RENATA BEHRA, Dübendorf	CLAUDE BOVET, Genf
WERNER BURKART, Villigen	ALFRED DONATH, Genf
RICHARD EXTERMANN, Genf	HEINZ GÄGGELER, Bern
ANDRÉ HERRMANN, Basel	PAUL HUBER, Basel
OTTO HUBER, Fribourg	OTTO JAAG, Zürich
DIETER IMBODEN, Dübendorf	JEAN KERN, Fribourg
HEINZ HUGO LOOSLI, Kehrsatz	JEAN-LOUIS MAURON, Vevey
Frau JUDITH MCKENZIE, Zürich	GUELFO PORETTI, Bern
JEAN ROSSEL, Neuenburg	MEINRAD SCHÄR, Zürich
GERHARD SIMMEN, Zürich	ERWIN STOLL, Villigen
WERNER STUMM, Zürich	JEAN-FRANÇOIS VALLEY, Lausanne
Frau MARINA VISANI, Rivaz	JOSEF WELLAUER, Zürich

An den Messungen und Probenahmen beteiligte Stellen:

- AC-Laboratorium, Gruppe Rüstung, VBS, Spiez
- BVET = Bundesamt für Veterinärwesen, Bern
- EAWAG = Eidgenössiche Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf
- ETHZ, Institut für Geophysik, Zürich
- HSK = Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Villigen
- Inselspital, Bern
- Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld-Bern
- IRA = Institut de Radiophysique Appliquée (früher IER = Institut d'Electrochimie et de Radiochimie de l'EPFL), Lausanne
- Kantonale Laboratorien (früher ARL = Arbeitsgemeinschaft zur Überwachung der Radioaktivität der Lebensmittel,c/o Abteilung Lebensmittelwissenschaft, BAG, Bern)
- Kantonsspital Genf (früher: SCCI = Service Cantonal de Contrôle des Irradiations)
- Kantonsspital Basel-Stadt
- Landeshydrologie und -geologie, BUWAL, Bern
- Station Aérologique, ISM, Payerne
- SUER = Sektion Überwachung der Radioaktivität, Fribourg (früher Labor Freiburg der KUER)
- SUVA = Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
- PSI Paul Scherrer Institut (früher: EIR = Eidg. Institut für Reaktorforschung), Villigen
- Universität Bern, Physikalisches Institut und Institut für anorganische, analytische und physikalische Chemie