

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

Band: 71 (1982)

Heft: 1-2

Artikel: Radioaktivitätsüberwachung und Schutz der Bevölkerung bei Kernkraftwerkunfällen in der Schweiz

Autor: Huber, O. / Völkle, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308607>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.10.2024

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

Radioaktivitätsüberwachung und Schutz der Bevölkerung bei Kernkraftwerkunfällen in der Schweiz

VON O. HUBER und H. VÖLKLE,
Physikalisches Institut der Universität Freiburg

Einleitung

Das Thema dieser Arbeit ist für Freiburg besonders aktuell, denn viele der diesbezüglichen Messungen werden im Labor Freiburg der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität, welches an unserem Physikinstitut beheimatet ist, durchgeführt. Es wird weiterhin aktuell bleiben, denn es hat mit Energieproduktion und Energieverbrauch, manchmal, besser ausgedrückt, mit Energieverschleiß zu tun. Heute werden ca. 72% unserer Energie durch Öl gedeckt, 20% durch elektrische Energie (davon 1/3 Atomenergie) und der Rest durch Erdgas, Kohle, Holz und andere Energieträger. Bevor das eigentliche Thema der Arbeit angegangen wird, seien einige wesentlich scheinende Vorbemerkungen angebracht.

Das Energieproblem unserer rohstoffarmen Schweiz bildet eine der Hauptaufgaben, die wir dringend lösen müssen. Man kann gegen KKW sein, aber nur unter folgender Bedingung:

Man ersetze die Kernenergie durch umweltfreundlichere und ökonomisch tragbare Alternativenergien. Hier steht die liebe Sonne im Mittelpunkt. Es ist sicher sinnvoll, die Sonnenenergieforschung und die entsprechende Technologie wirksam voranzutreiben. Die Probleme, die dabei auftreten, abgesehen vom Preis der Sonnen-kWh, sind sofort aus folgenden Überlegungen erkennbar: Um das KKW Gösgen mit seinen 1000 MW_{el} durch ein Heliostatenkraftwerk in den Schweizer Alpen mit einem großen angenommenen Wirkungsgrad von 20% zu ersetzen, braucht es eine Heliostatenfläche von rund 30 km². Wollte man Gösgen, das ca. 30 t Kernbrennstoff/Jahr (ca. 1,2 t U-235/a) verbraucht, durch ein ölthermisches Kraftwerk ersetzen, bliebe erstens der «häßliche Kühlturm» mit seiner Dampffahne, und zweitens wäre zur Versorgung 50 000 mal mehr Öl notwendig, was 1000 Eisenbahnzüge à 50 Wagons zu 30 t (Wagenlänge 10 m) ergäbe, also eine totale Länge von 500 km Eisenbahnwagen.

Eine sehr gute Form der Sonnenenergie ist Brennholz; die Kollektoren wachsen von selbst. Für jede in den Wald hineingesteckte kWh (Anpflanzen, Pflegen, Fällen, Transport) gewinnt man 40 kWh zurück, ein sensationeller Erntefaktor. Trotzdem können unsere Wälder das Energieproblem nicht lösen. Die «Sonnenkollektoren» Blätter sind ganz miserable Energieverwerter. Der Wirkungsgrad Holz zu Sonnenenergie beträgt nur einige 10-tel Prozent. Man müßte also die Natur um das Hundertfache verbessern. Auch hier spricht man von «Gen-Manipulation», um schnelle Bäume mit schwarzen Blättern zu züchten, vorläufig allerdings eine Zukunftsvision.

Als Endprodukt entsteht in Gösgen hochradioaktiver Abfall, den man zwischenlagern, aufbereiten, wiederverwenden, aber zum Teil endgültig lagern muß. Die NAGRA¹ hat den Auftrag, bis 1985 ein Projekt auszuarbeiten. Bei einem Ölkraftwerk geht der Abfall weitgehend in die Luft als CO₂, CO, SO₂ und viele andere Schadstoffe. Es bleibt abzuwarten, was die Studien ergeben werden, welche die Kantone BS und BL ausarbeiten, um in der Nähe von Basel ein Öl- oder kohlethermisches Kraftwerk von 300 MW_{el} zu bauen.

Auch wenn sanfte Alternativenenergien ernstlich studiert werden müssen, kann deren Einsatz für unsere Generation noch keinen nennenswerten Beitrag liefern. Deshalb bleibt als einzige Möglichkeit, um auch in Zukunft ohne KKW leben zu können, das Energiesparen.

Wir müßten aber alle bereit sein, den Energiekonsum drastisch zu senken. Prozentrechnungen, wie bei der Öl- und Benzinverbrauchsstatistik, helfen dabei nicht viel. Beim Sparen sei vor allem an den Privatverkehr erinnert, der das Zupflastern von Städten und Dörfern und unserer schönen Landschaft zur Folge hat, an die bessere Hausisolation, die allerdings Investitionen von Milliardenhöhe benötigt, an unsere Wegwerfgesellschaft und den übertriebenen Luxus, dem wir alle frönen. Aber jedermann weiß, was Sparappelle nützen. Hier halten wir uns gerne an den lieben Nächsten. Er soll sparen, er soll ja auch die Steuern bezahlen.

Nach diesen Vorbemerkungen sollen nun die Grundlagen erläutert werden, damit sich der Leser ein Bild vom Risiko von KKW machen kann. Von Atombomben, oder gar von einem atomaren Krieg mit seinen apokalyptischen Aussichten für die Menschheit, kann man nur betreten schweigen. Nur eine Tatsache sei dazu noch angefügt: Zum Bau von Atombomben, die heute schon in zu großer Zahl gelagert sind, braucht ein Staat keine kommerziellen Kernkraftwerke.

Das Thema der Arbeit wird in folgende drei Kapitel eingeteilt:

Im Teil A werden die *Grundlagen und Ziele des Strahlenschutzes* erörtert, damit eine Gefährdung durch Radioaktivität besser beurteilt werden kann und um darzulegen, was Richtwerte und Grenzwerte im Strahlenschutz bedeuten und wie Strahlendosen ermittelt werden.

Im Teil B wird auszugsweise beschrieben, wie die Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz überwacht wird. Typische Resultate und Messungen durch die *Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität* werden dargestellt und beurteilt.

Im Teil C soll schließlich über die Anstrengungen berichtet werden, die der *Alarmschuß Radioaktivität* in Zusammenarbeit mit Kantonen und Gemeinden unternimmt, um die Bevölkerung in der Umgebung eines Kernkraftwerkes wirkungsvoll zu schützen, wenn sich im Werk ein schwerer Unfall ereignen sollte.

A. Grundlagen und Ziele des Strahlenschutzes

1. Strahlenwirkung

Beim Durchgang durch irgendwelche Stoffe gibt die ionisierende Strahlung Energie an die bestrahlte Materie ab; u.a. trennt sie Elektronen aus Atomen bzw. Molekülen ab, was

¹ Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle

zur Bildung elektrischer Ladungsträger (Ionen), also zur Ionisation, führt. Direkte Folgen davon sind Erwärmung der Materie, Aufspaltung von Molekülen und chemische Reaktionen. In lebenden Zellen biologischer Systeme können dadurch Veränderungen ausgelöst werden, die zur Schädigung von Zellen, Organen und ganzen Organismen führen können. Zellen, die sich intensiv teilen (z.B. Krebszellen, Zellen in den blutbildenden Organen) und stark im Wachstum befindliche Organismen, wie Foeten, sind besonders strahlenempfindlich.

Strahlenwirkungen werden als *somatisch* bezeichnet, wenn sie sich in der strahlenexponierten Person selbst manifestieren, und als *vererbbar* oder beinahe gleichbedeutend mit *genetisch*, wenn sie deren Nachkommen betreffen. Als *stochastisch* werden diejenigen Wirkungen definiert, bei denen die Wahrscheinlichkeit, daß diese ausgelöst werden, jedoch nicht ihr Schweregrad, eine Funktion der Strahlendosis ist, ohne daß ein Schwellenwert besteht, unterhalb dem sich keine Wirkung zeigt. Vererbare Strahlenwirkungen werden als stochastisch angesehen; hierzu gehören z.B. Genmutationen oder Chromosomenveränderungen. Auch einige somatische Wirkungen sind stochastischer Natur; hierzu zählt die Entstehung von Krebs in verschiedenen Organen als eines der wichtigsten somatischen Strahlenrisiken. *Nichtstochastische* Strahlenwirkungen sind solche, bei denen der Schweregrad der Wirkung mit der Dosis variiert und für die daher wahrscheinlich ein Schwellenwert besteht, unterhalb welchem keine Wirkung zu beobachten ist. Beispiele von nichtstochastischen somatischen Wirkungen sind die Trübung der Augenlinsen, gutartige Veränderungen der Haut, Knochenmarkschädigungen oder solche an Blutgefäßen oder im Bindegewebe. Diese zeigen sich kurz nach einer starken Bestrahlung (höchstens Wochen); stochastische Strahlenwirkungen dagegen können noch nach Jahrzehnten manifest werden.

2. Ziel des Strahlenschutzes

Der Strahlenschutz befaßt sich mit dem Schutz von Einzelpersonen, deren Nachkommen und der gesamten Bevölkerung. Das Ziel des Strahlenschutzes ist es, schädliche nichtstochastische Wirkungen zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen auf Werte zu begrenzen, die als annehmbar betrachtet werden. Schon 1928 wurde am 2. Internationalen Radiologen-Kongreß in Stockholm eine Kommission ins Leben gerufen, die seit 1950 unter dem Namen *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) das internationale Gewissen des Strahlenschutzes darstellt. Alle nationalen Gesetze und Verordnungen über den Strahlenschutz gründen auf den Untersuchungen, Überlegungen und Empfehlungen dieser Kommission, so auch die *Schweiz. Verordnung über den Strahlenschutz* (SSVO), deren oberstes Gebot in Art. 28 folgendermaßen festgelegt ist:

Jedermann ist verpflichtet, unnötige Bestrahlungen von Personen zu vermeiden.

Bei Arbeiten unter unvermeidlicher Bestrahlung sind sowohl die Einzeldosen als auch die Summe der Einzeldosen aller beteiligten Personen so niedrig wie möglich zu halten.

3. Meßgrößen des Strahlenschutzes

Der menschliche (und tierische) Körper kann auf zwei Arten bestrahlt werden: Durch *externe* (äußere) Bestrahlung, wenn sich die Strahlenquellen außerhalb des Körpers befinden (z.B. Röntgenstrahlung oder Bestrahlung durch eine Geländeverstrahlung), oder

durch *interne* (innere) Bestrahlung, wenn radioaktive Stoffe, etwa durch *Inhalation* oder *Ingestion*, in den Körper gelangen. Je nach ihrer Halbwertszeit und ihrer chemischen Natur verbleiben radioaktive Substanzen mehr oder weniger lange im Körper. Sie können in bestimmte Organe (z.B. Schilddrüse, Knochen) bevorzugt eingelagert werden und diese bestrahlen, bis sie zerfallen oder biologisch ausgeschieden sind.

Zur quantitativen Beschreibung der Strahlenwirkung brauchen wir physikalische und biologische Meßgrößen, die in der Tab. 1 zusammengestellt sind.

Ein physikalisches Maß der Strahlengefährdung ist die vom Körper *absorbierte Dosis* in rad (Energiedosis), die angibt, wieviel Energie pro g bestrahlten Körpergewebes aufgenommen wurde (Tab. 1).

| Grösse | Einheit nach SSVO | SI-Einheit |
|---------------------|--|---|
| Aktivität A | CURIE (Ci) 1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ Zerf./s 1 pCi = 2.2 Zerf./min. | BECQUEREL (Bq) 1 Bq = 1 Zerf./s = $2.7 \cdot 10^{-11}$ Ci |
| Absorbierte Dosis D | RAD 1 rad = 100 erg/g | GRAY (Gy) 1 Gy = 1 Joule/kg = 100 rad |
| Aequivalentdosis H | REM $H = D \cdot Q \cdot M$ | SIEVERT (Sv) 1 Sv = 100 rem |

M = Modifikationsfaktor (z.B. lokale Verteilung)

Q = Qualitätsfaktor : 1 für β, γ und Röntgenstrahlen
10 für n,p und einfach geladene Ionen
20 für α und mehrfach geladene Ionen

Tab. 1: Aktivitäts- und Dosiseinheiten.

Entscheidend für die biologische Wirkung im Körper ist aber nicht die absorbierte Dosis D in rad, sondern die sogenannte *Äquivalentdosis* H (Tab. 1). Diese wird ermittelt, indem die Energiedosis D mit einem Qualitätsfaktor Q, der die Gefährlichkeit der betreffenden Strahlung angibt, multipliziert wird, sowie mit einem Modifikationsfaktor M, der bei im Körper eingebauten Isotopen eine eventuelle nichthomogene Verteilung berücksichtigt. M ist in den meisten Fällen ungefähr eins; die gebräuchlichen Werte von Q für die verschiedenen Strahlenarten können aus der Tab. 1 ersehen werden. Gleiche Äquivalentdosen ergeben, unabhängig von der Strahlenart, auch etwa die gleiche biologische Wirkung.

Einige Bemerkungen sind hier noch angebracht: Erhält ein Mensch eine gewisse Dosis innerhalb weniger Stunden oder Tage (*kurzzeitige Bestrahlung; akute Dosen*), so ist die Wirkung auf den Organismus schwerwiegender, als wenn die gleiche Dosis bei kleiner Dosisleistung über Monate oder Jahre verteilt (*chronische Bestrahlung*) aufgenommen wird. Auch ist die Strahlenschädigung schlimmer, wenn große Teile des Körpers bestrahlt werden, als wenn nur einzelne Körperteile lokal betroffen sind. Weil Krebszellen besonders strahlenempfindlich sind, ist es möglich in der Strahlentherapie diese mit lokal sehr hohen Dosen, die als Ganzkörperdosen tödlich wären, zu vernichten. Schließlich ist auch zu berücksichtigen, daß verschiedene Organe oder Teile unseres Körpers verschieden strahlenempfindlich sind.

4. *Natürliche und medizinische Bestrahlung*

Der Mensch war schon immer der Strahlung durch seine natürliche Umgebung ausgesetzt. Die Hauptquellen *natürlicher Strahlenexposition* sind kosmische Strahlung, Radioaktivität im Gestein und im Erdboden sowie radioaktive Isotope, die im menschlichen Gewebe inkorporiert sind. Die dadurch bedingte Äquivalentdosis hängt von vielen Faktoren ab, z.B. in welcher Höhe über Meer eine Person lebt (kosmische Strahlung), und von der Art und Größe der Aktivität der Radionuklide im Erdboden. Für die Schweizer Bevölkerung wurden folgende Werte ermittelt:

Die natürliche Ortsdosis (gleichbedeutend mit der Äquivalentdosis einer Person, die sich ständig im Freien aufhalten würde) liegt zwischen 50 (Jura) und 300 mrem/Jahr (Bergell). Im Mittel akkumulieren das rote Knochenmark rund 145 mrem/Jahr (davon 40 durch innere Bestrahlung, vor allem durch Kalium-40), die Gonaden rund 105 mrem/Jahr (davon 20 durch innere Bestrahlung).

Für bestimmte Gebiete der Welt (Kerala, Indien; Guarapari, Brasilien) sind diese Dosen wesentlich höher.

Die natürliche Strahlenbelastung wird als Vergleichsgröße bei der Beurteilung der aus künstlichen Quellen stammenden Dosen herangezogen.

Seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen – heute kommen noch andere Strahlenarten dazu – werden Patienten zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken einer *medizinischen Strahlenexposition* ausgesetzt. Dabei ist die bestrahlte Person selbst der direkte Empfänger des Nutzens, der sich aus dieser Bestrahlung ergibt. In der Schweiz ist die mittlere Äquivalentdosis aus diesen medizinischen Anwendungen etwa gleich groß wie die natürliche Strahlenbelastung.

5. *Richtwerte und Grenzwerte*

Die Ziele des Strahlenschutzes basieren auf dem *ALARA-Prinzip* (*so tief wie vernünftig erreichbar*) und weiter auf der Einhaltung von Äquivalentdosisgrenzwerten. Entsprechend den Empfehlungen der ICRP sind in der SSVO diese Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen und rund 10 mal kleinere Werte für Einzelpersonen der Bevölkerung festgesetzt. Diese Limite (Tab. 2) sind so angesetzt, daß keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten sind.

Wie können nun diese Dosisgrenzwerte kontrolliert werden? Die externe Dosisbelastung beruflich strahlenexponierter Personen kann mit Dosimetern (Film- oder Thermolumineszenzdosimetern, sog. TLD) ermittelt werden. Es kann auch die Ortsdosisleistung in mrem/h, z.B. am Arbeitsplatz, mit einem Spürgerät gemessen werden. Ist die Aufenthaltsdauer bekannt, kann auf die an diesem Ort zu erwartende Ganzkörperäquivalentdosis geschlossen werden. Weniger einfach ist die Ermittlung der Strahlenbelastung durch interne Bestrahlung, verursacht durch die Aufnahme von Radionukliden über Atemluft, Trinkwasser oder Nahrung. Ist das Verhalten der aufgenommenen Radionuklide im Körper bekannt (physikalisch, chemisch, biologisch), kann unter Zugrundelegung des sog. Standardmenschen ausgerechnet werden, wie groß die Aktivitätskonzentration in der Atemluft, dem Trinkwasser oder der Nahrung sein darf, damit bei Dauerkonsum eine bestimmte Äquivalentdosis im Körper nicht überschritten wird. Man spricht dann von abgeleiteten oder sekundären Richtwerten C_a für Atemluft und C_w für Trinkwasser für einzelne Radionuklide, die über Inhalation und Ingestion zu den höchstzulässigen Äquivalentdosen führen. Dieser Sachverhalt ist in Tab. 3 übersichtlich dargestellt.

Tab. 2: Äquivalentdosisgrenzwerte nach SSVO.

| Bestrahlter Körperteil | Beruflich strahlenexponierte Personen | Einzelpersonen der Bevölkerung |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|
| Ganzer Körper, Keimdrüsen rotes Knochenmark | 5 rem/Jahr 3 rem/Quartal | 0.5 rem/Jahr |
| Hände, Unterarme, Füsse, Unterschenkel | 75 rem/Jahr 40 rem/Quartal | 7.5 rem/Jahr |
| Knochen, Schilddrüse, Haut | 30 rem/Jahr 15 rem/Quartal | 3 rem/Jahr ¹⁾ |
| alle übrigen Organe | 15 rem/Jahr 8 rem/Quartal | 1.5 rem/Jahr |

¹⁾ Für die Schilddrüsenbelastung von Kindern unter 16 Jahren gilt 1.5 rem/Jahr.

Werden alle Vorkehrungen getroffen, daß diese jährlichen Grenzwerte eingehalten sind, so führt dies in der Praxis dazu, daß die mittlere Ganzkörperäquivalentdosis für beruflich strahlenexponierte Personen bei etwa 0.5 rem/Jahr liegt.

| | |
|------------------------|--|
| Externe Bestrahlung | Messung { Ortsdosisleistung Spürgerät, Film, TLD } R/h } { Aufenthalts- dauer } → rem |
| Interne Bestrahlung | Messung { kont. Atemluft → Ci/m ³ kont. Wasser → Ci/l kont. Nahrung → Ci/kg } Aufnahme { 20 m ³ /d 2.2 l/d ...kg/d } → rem |
| Standard- mensch | Gewicht: 70 kg (60% H ₂ O); Muskeln: 30 kg; Knochenmark: 3 kg; Blut: 5.4 kg; Hirn: 1.5 kg; Schilddrüse: 20 g. |
| Radioaktive Nuklide | Physik: Strahlenart, Energie, physikalische Halbwertszeit Chemie/Biologie: Stoffwechsel, biol. Halbwertszeit im Körper |

Mit diesen Grundlagen erfolgt die Berechnung der Richtwerte für Atemluft C_a (Ci/m³) und für Trinkwasser C_w (Ci/l) für einzelne Nuklide, deren Konzentration über Inhalation und Ingestion zu den höchstzulässigen Dosen führen.

Tab. 3: Ermittlung von Strahlendosen (Äquivalentdosen) nach SSVO.

Entscheidend sind immer die festgelegten Äquivalentdosisrichtwerte. Diese und selbstverständlich auch alle abgeleiteten Dosisrichtwerte werden in Empfehlungen der ICRP neuen Erkenntnissen angepaßt. Die ICRP hat in ihrer Veröffentlichung ICRP-26 erneut festgestellt, daß der Äquivalentdosisgrenzwert für eine Ganzkörperbestrahlung beruflich strahlenexponierter Personen von 5 rem/Jahr und von 0,5 rem/Jahr für Einzelpersonen der Bevölkerung eine strenge obere Limite darstellt. In derselben Publikation ICRP-26 wurden nun allerdings für Teilkörperbestrahlung etwas andere Akzente gesetzt als früher. Jedes Organ (z.B. Keimdrüsen, Brustdrüse, rotes Knochenmark, Lunge, Schilddrüse etc.) wird mit einem Gewichtsfaktor w_T behaftet, der den Anteil des stochastischen Risikos durch die Bestrahlung des betreffenden Organs am Gesamtrisiko darstellt, wenn der Ganzkörper gleichförmig bestrahlt wird. In der Schweiz gelten aber rechtlich die in der SSVO angegebenen Grenzwerte (Tab. 2). Wegen der neuen radiobiologischen Gewichtung einzelner Körperorgane durch die ICRP führt auch die Berechnung der abgeleiteten Grenzwerte C_a für Atemluft und C_w für Trinkwasser gegenüber der SSVO bei einzelnen

Radionukliden auf etwas andere, teils höhere, teils tiefere Werte. Auch neue radiobiologische Erkenntnisse bewirken bei gewissen Isotopen Änderungen der sekundären Richtwerte.

B. Die Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz

Die Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER) überwacht die Biosphäre seit 1956. Dazu hat sie ein Probenahmenetz aufgebaut und einen entsprechenden Meßplan erarbeitet. Dabei ist es das Ziel ihrer Bestrebungen, mit einer einfachen *Überwachungsphilosophie* ein möglichst lückenloses Bild der allgemeinen Verstrahlungslage in der Schweiz zu erhalten; dies in Zusammenarbeit mit allen Stellen, die für den Strahlenschutz verantwortlich sind. Die Hauptflüsse werden vor dem Verlassen der Schweiz durch kontinuierliche Probenerhebung erfaßt, ebenso werden Proben von Oberflächengewässern, Trink- und Grundwasser entnommen. Auch erheben wir kontinuierlich Proben aus den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Zürich-Werdhölzli, Bern-Stuckishaus und Lausanne. Mit über die Schweiz verteilten Luft- und Regensammellagregaten überwachen wir die Radioaktivität von Luft und Niederschlägen.

Schließlich wird das Hauptnahrungsmittel Milch kontrolliert, dessen Vorläufer Erdboden und Gras, und als Endkontrolle wird durch Stichproben der menschliche Körper überwacht. Durch die *Arbeitsgemeinschaft zur Überwachung der Radioaktivität der Lebensmittel* werden weitere Nahrungsmittel untersucht. Gezielt werden die Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM), das Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) und zur Beweissicherung die Umgebung des sich im Bau befindenden Kernkraftwerkes Leibstadt (KKL) überwacht, ebenso Betriebe, die Radioisotope verwenden.

Da der Zusammenhang zwischen der Radioaktivität in der Luft, im Niederschlag, im Boden und Gras, in der Milch, im Getreide, in den Lebensmitteln und im menschlichen Körper weitgehend bekannt ist, ergeben die diesbezüglichen Messungen eine gegenseitige Kontrollmöglichkeit. Diese Zusammenhänge werden durch sogenannte Übergangsfaktoren ausgedrückt. Für die Messungen stehen der KUER eigene Laboratorien zur Verfügung, daneben hat sie sich die Mitarbeit von Experten und deren spezialisierter Laboratorien gesichert. In dieser Arbeit werden bevorzugt jene Resultate aufgezeigt, die vom *Labor Freiburg der KUER* stammen. Ist die Radioaktivität in der Biosphäre bekannt, so kann auf die Strahlenbelastung der Bevölkerung geschlossen werden, worauf die KUER immer ein besonderes Gewicht gelegt hat (die Bestrahlung beruflich strahlenexponierter Personen wird hier ausgeklammert).

Stellvertretend für das Überwachungsnetz der KUER ist das Probenahme- und Meßprogramm des Kernkraftwerkes Gösgen in Fig. 1 dargestellt. Man überwacht alle wesentlichen *Medien* in der Umgebung, speziell auch die Ortsdosen mit Thermolumineszenzdosimetern und die Aerosol-Radioaktivität mit Vaselineplatten. Boden, Gras und Getreide akkumulieren die Radioaktivität und sind deshalb besonders empfindliche Fühler. Mit dieser Umgebungsüberwachung soll festgestellt werden, ob die von der zuständigen Behörde den Kernkraftwerken auferlegten Radioaktivitätsabgabelimits auch eingehalten werden. Vergleicht man diese Meßwerte mit jenen anderer Gegenden, so kann ein ev. Einfluß des Werkes bezüglich Radioaktivität in der Umgebung festgestellt werden.

Zur Ermittlung der *Gefährlichkeit* der Radioaktivität in einem Medium der Biosphäre muß die Aktivität der einzelnen Radionuklide, die darin vorkommen, bestimmt werden.

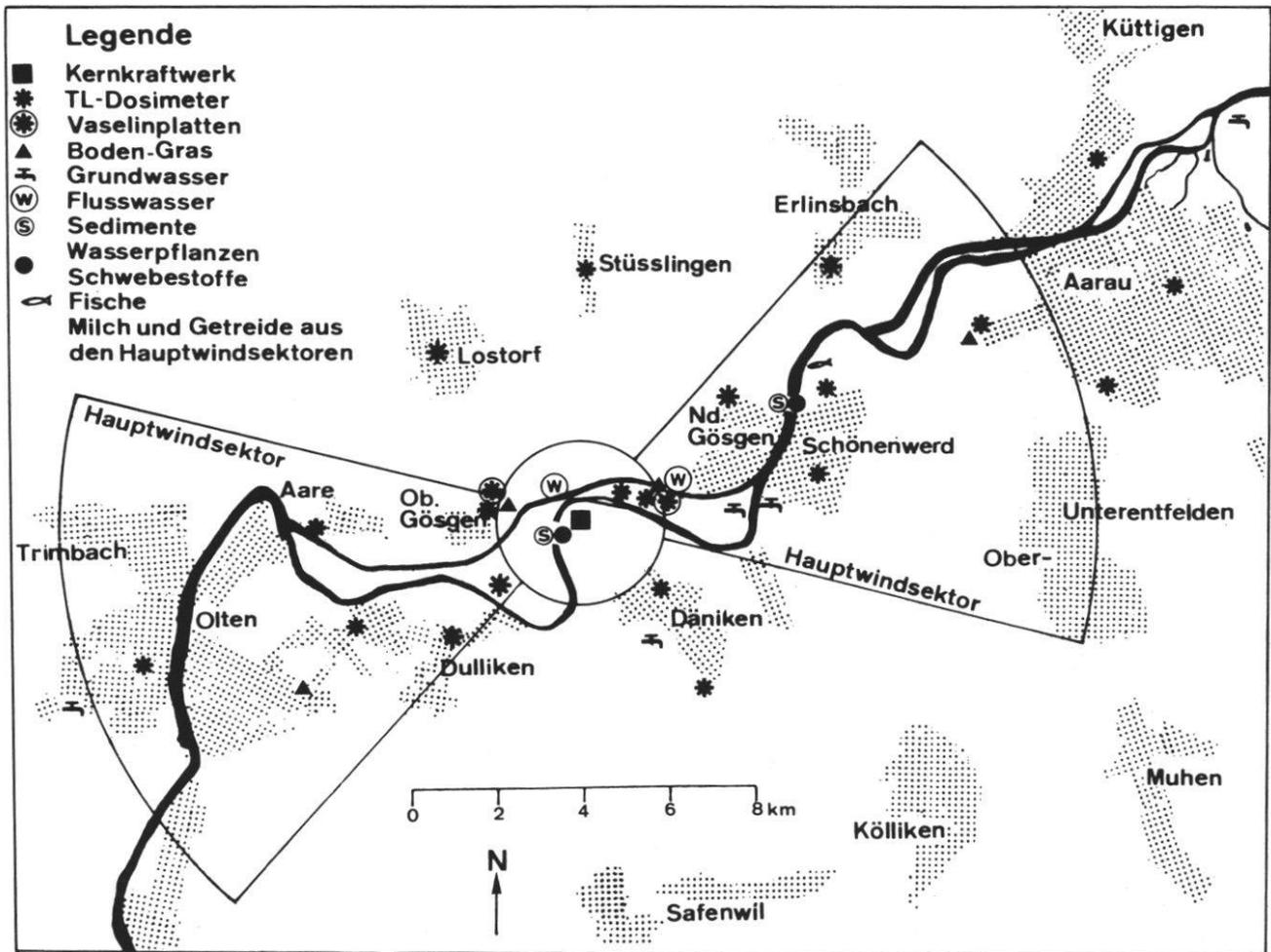


Fig. 1: Umgebungsüberwachung KKW Gösgen-Däniken.

Konnten anfänglich nur Gesamt-Beta- und später auch Gesamt-Alpha-Messungen durchgeführt werden, bekam bald die Gamma-Spektroskopie – anfänglich mit NaJ-Kristallen und später mit hochauflösenden Ge(Li)-Detektoren – eine überragende Bedeutung beim quantitativen Nachweis der verschiedenen künstlichen Radioisotope in der Umwelt; dies für jene Isotope, die für sie charakteristische Gammastrahlen aussenden. In Fig. 2 ist ein Ge(Li)-Detektor mit Bleiabschirmung zur Reduzierung des Untergrundes dargestellt. Der 30–40 cm³ große Ge(Li)-Kristall, der mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden muß, ist ein beinahe vollkommener Detektor mit guter Ansprechwahrscheinlichkeit und einer hohen Auflösung für γ -Spektren. Durch die Aufnahme eines Energiespektrums mit einem Vielkanalanalysator können in einer Messung (in der Fig. 2 besteht das Meßgut aus einer 1 l-Probe, z.B. Milch) die einzelnen Radionuklide des Meßgutes einwandfrei bestimmt werden. Für die Datenverarbeitung wurden Computerprogramme entwickelt, die es erlauben, nach entsprechenden Eichmessungen, auch komplexe Gamma-Spektren automatisch zu verarbeiten und die einzelnen Nuklide quantitativ zu bestimmen.

Fig. 3 soll aufzeigen, wie man die Radioaktivität in Umweltproben, hier Luft, bestimmt. Man saugt Luft durch einen Zellulose-Filter, wobei die an Aerosole gebundene Aktivität zurückbleibt, mißt das γ -Spektrum und identifiziert die Radionuklide. Im Spektrum der Fig. 3 erkennt man außer Cs-137, das noch vom Atombombenfallout stammt, nur natürliche Radionuklide. Beim radioaktiven Zerfall der im Boden vorhandenen U-238 zu

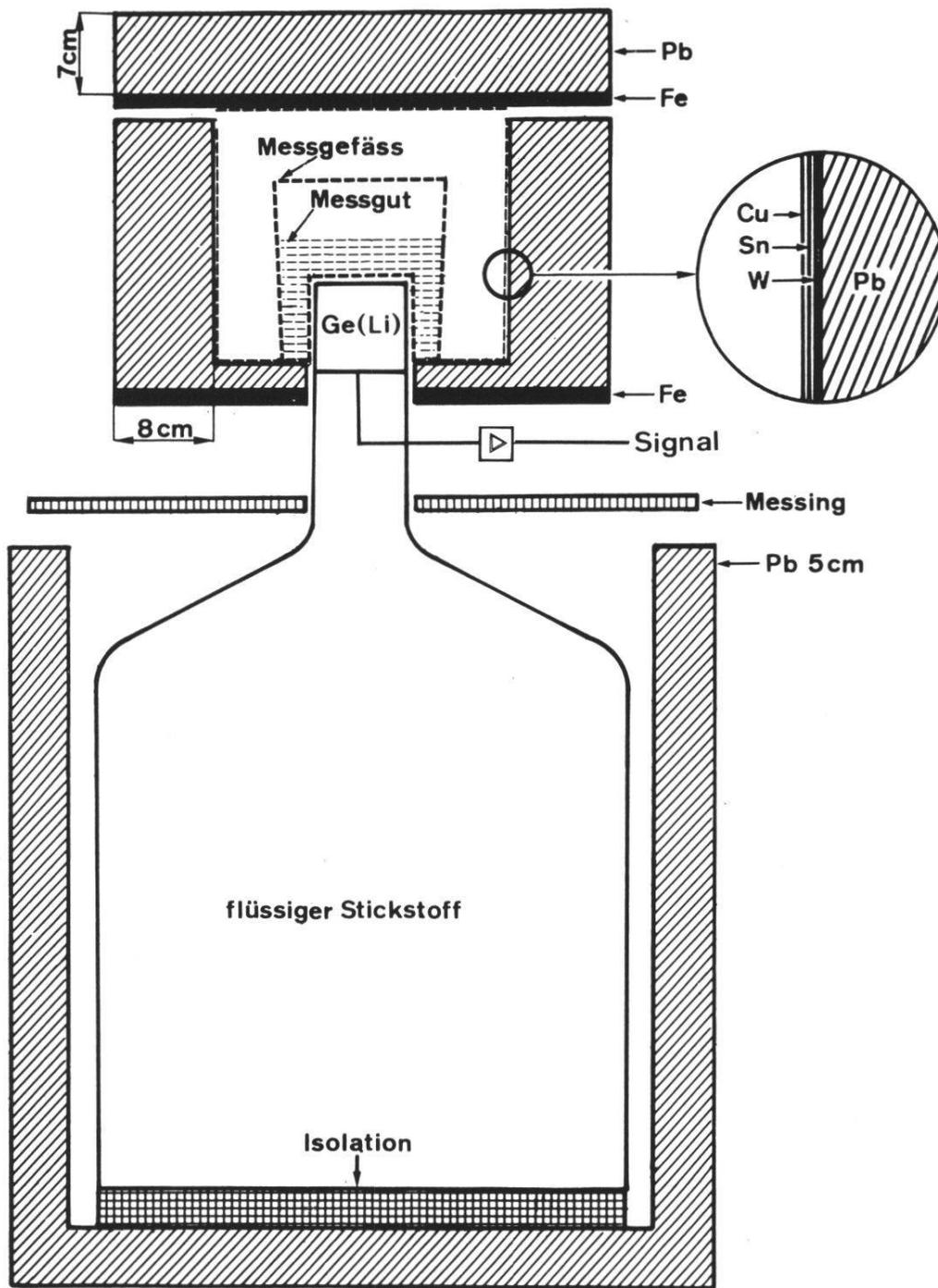


Fig. 2: Ge (Li)-Detektor in Bleiabschirmung.

Pb-206 und Th-232 zu Pb-208 entstehen auch die Tochterprodukte Rn-222 (Halbwertszeit: 3.8d) und Rn-220 (55s). Als Edelgase entweichen diese Nuklide aus der Erdkruste und zerfallen in der Atmosphäre weiter; ihre Tochterprodukte lagern sich an Aerosole an und werden auf dem Filter gesammelt. Außer Nukliden der U-238- und Th-232-Zerfallsreihe erkennt man im Gammaspectrum (Fig. 3) auch Be-7 als Spallationsprodukt der Höhenstrahlung. Links in der Fig. sind auch die Röntgenstrahlen der Pb- und Bi-Isotope ersichtlich. Als Mutterisotop von Rn-222 verbleibt das Ra-226 im Erdboden. Im γ -Spektrum des Luftfilters kann daher kein Ra-226 nachgewiesen werden. Heute kann man mit der γ -Spektroskopie sehr kleine und noch völlig ungefährliche Aktivitäten in der Umwelt bestimmen.

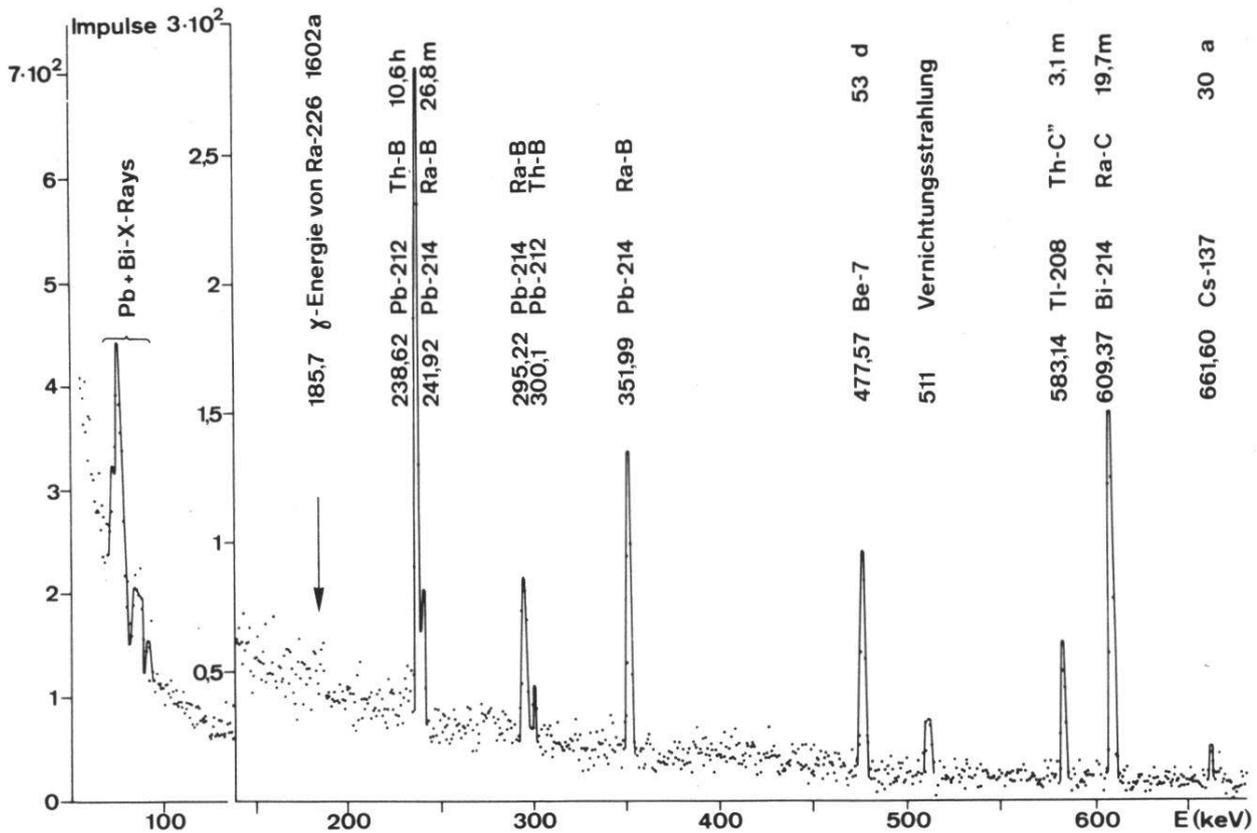


Fig. 3: γ -Spektrum eines Luftfilters (Sammlung 2.-9.3.1973, Durchfluß 6250 m³) mit γ -Linien der Zerfallsprodukte von Rn-222 (3,8 d) und Rn-220 (55 s), gemessen mit Ge(Li)-Koaxialdiode (ca. 30 cm³) während 10 000 s.

Auch für Isotope, die mit der Gammaspektroskopie nicht nachgewiesen werden können, wurden – parallel zu den Neuentwicklungen der Nachweisverfahren – nuklidspezifische Analysen möglich. Beispiele sind: Radiochemische Methoden zur Bestimmung von Sr-90 und Transuranen wie Pu-239 – bei letzteren in Verbindung mit der Alpha-Spektroskopie –, die Flüssigszintillatormethode zur Tritium-Bestimmung sowie Meßverfahren zum Nachweis von C-14, Ar-37, Pb-210 und schließlich Anreicherungsverfahren zur Bestimmung geringster Mengen von Tritium und Xe-133.

Bei der Radioaktivitätsüberwachung spielen langlebige Fissionsprodukte wie Sr-90 (28a) oder Cs-137 (30a) eine wesentliche Rolle. Aus der Luft lagern sie sich auf den Erdboden ab und gelangen über die Nahrungskette in den menschlichen Körper. Sr wird dabei in die Knochen eingebaut, Cs bevorzugt im Muskelgewebe, wobei dieses allerdings durch den Metabolismus mit einer Halbwertszeit von ungefähr 70 Tagen wieder ausgeschieden wird. Von früheren Atombomben stammendes, auf dem Boden abgelagertes Cs-137 und über die Nahrung in die Knochen eingebautes Sr-90 ergeben immer noch Äquivalentdosen von je ca. 2 mrem/Jahr. Die KUER überwacht deshalb seit vielen Jahren das Hauptnahrungsmittel Milch auf den Gehalt an Sr-90 und Cs-137. Die Ergebnisse für Sr-90 sind in Fig. 4 aufgetragen. Das zweite Atombombentestbannabkommen wurde für Ende 1962 abgeschlossen. Die größte Radioaktivität in der Bodenluft trat nach dem Frühlingsaustausch Stratosphäre-Troposphäre im Mai/Juni 1963 auf. Das Maximum der Sr-90-Aktivität in der Milch ist dagegen um 1 Jahr verschoben. Auch heute ist der größte Teil des damals abgelagerten Sr-90 immer noch in den obersten 15 cm Erde enthalten und

wird von den Pflanzen (Gras) aufgenommen. Die Gründe sind bekannt, warum der Sr-90-Gehalt der Milch aus dem Berggebiet (Mürren/BE) 3–4 mal höher ist als in der Milch aus dem Unterland (Bern). Bemerkenswert ist ferner, wie aus Fig. 4 hervorgeht, daß auch seit Inbetriebnahme der KKW Beznau I und II im Jahre 1970 resp. 1972 kein signifikanter Unterschied der Aktivität in der Milch aus der Umgebung des KKW Beznau, des EIR und der übrigen Mittellandstationen besteht; d.h. alles Sr-90 stammt noch vom Fallout der Kernwaffenversuche und nicht von Abgaben der Kernreaktoren KKB oder des EIR.

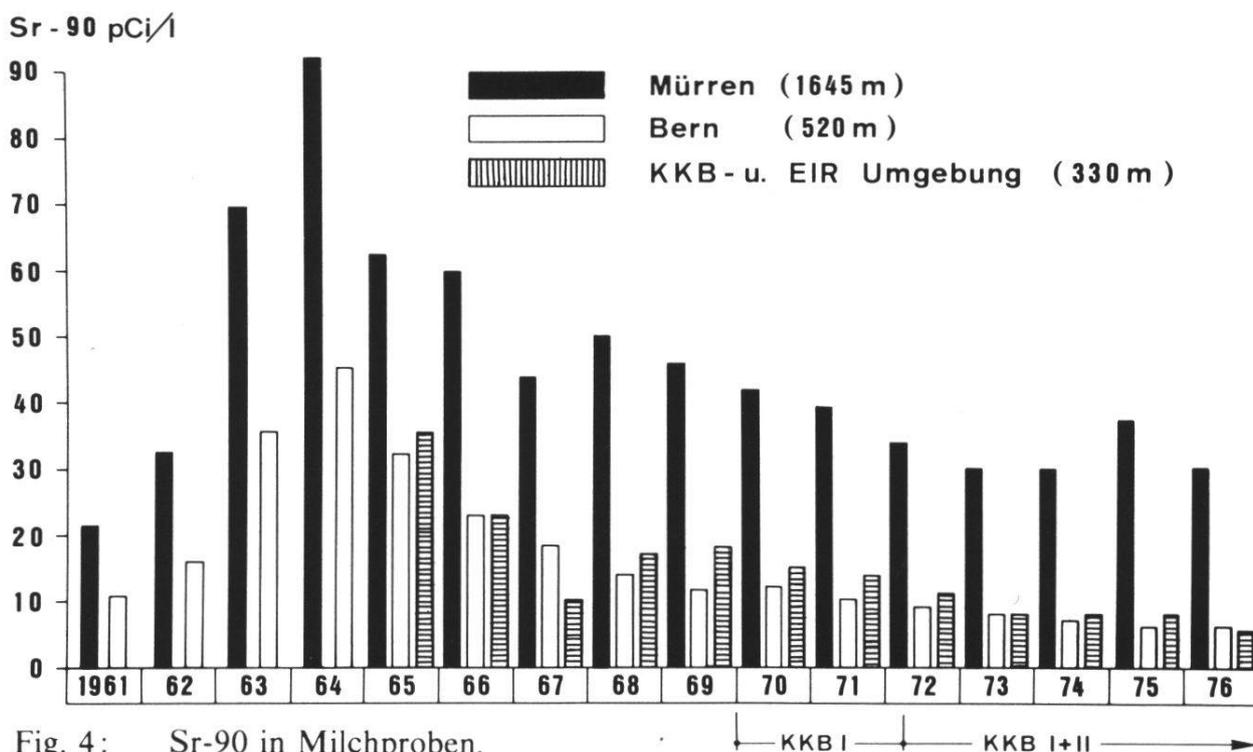


Fig. 4: Sr-90 in Milchproben.

In Fig. 5 ist der Cs-137-Gehalt in der Milch für die Jahre 1966–1976 aufgetragen. Auch hier ist der Unterschied Berggebiet/Unterland frappant. Dabei ist kein Unterschied zwischen dem Cs-Gehalt der Milch der Umgebung KKB/EIR und Arenenberg feststellbar. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, daß zwischen 1966 und 1976 der Cs-137-Gehalt in der Milch stärker zurückgegangen ist als der Sr-90-Gehalt in derselben Zeitperiode, obwohl die Halbwertszeiten beider Isotope ähnlich sind. Der Grund liegt darin, daß im Gegensatz zu Sr das Cs im Boden gebunden bleibt und nur wenig von den Pflanzen aufgenommen wird. Die Cs-137-Aktivität des Grases stammt vorwiegend aus der Ablagerung durch Niederschläge, deren Cs-Gehalt in der betrachteten Zeitspanne stark zurückgegangen ist.

Mit Fig. 6 soll aufgezeigt werden, wie durch empfindliche Messungen (Korrelationsmessungen) Radioaktivitätsabgaben über den Kamin eines Kernkraftwerkes in der Umgebung eindeutig nachgewiesen werden können. Gemäß Abgabereglement darf das KKW Mühleberg 300 000 Ci Xe-133-Äquivalent pro Jahr über den Kamin an die Atmosphäre abgeben. In der Umgebungsluft wird die Aktivität durch Verwedelung und sich ändernde Windrichtungen stark verdünnt, außerdem zerfällt das Xe-133 mit einer Halbwertszeit von 5.3 d. In einer Entfernung von 500 m vom KKW Mühleberg ist eine hochempfindliche Reuter-Stokes-Ionisationskammer aufgestellt, die gestattet, die natürliche Untergrundstrahlung von ungefähr 11 micro-Röntgen/h, entsprechend einem Jahreswert von ca. 90

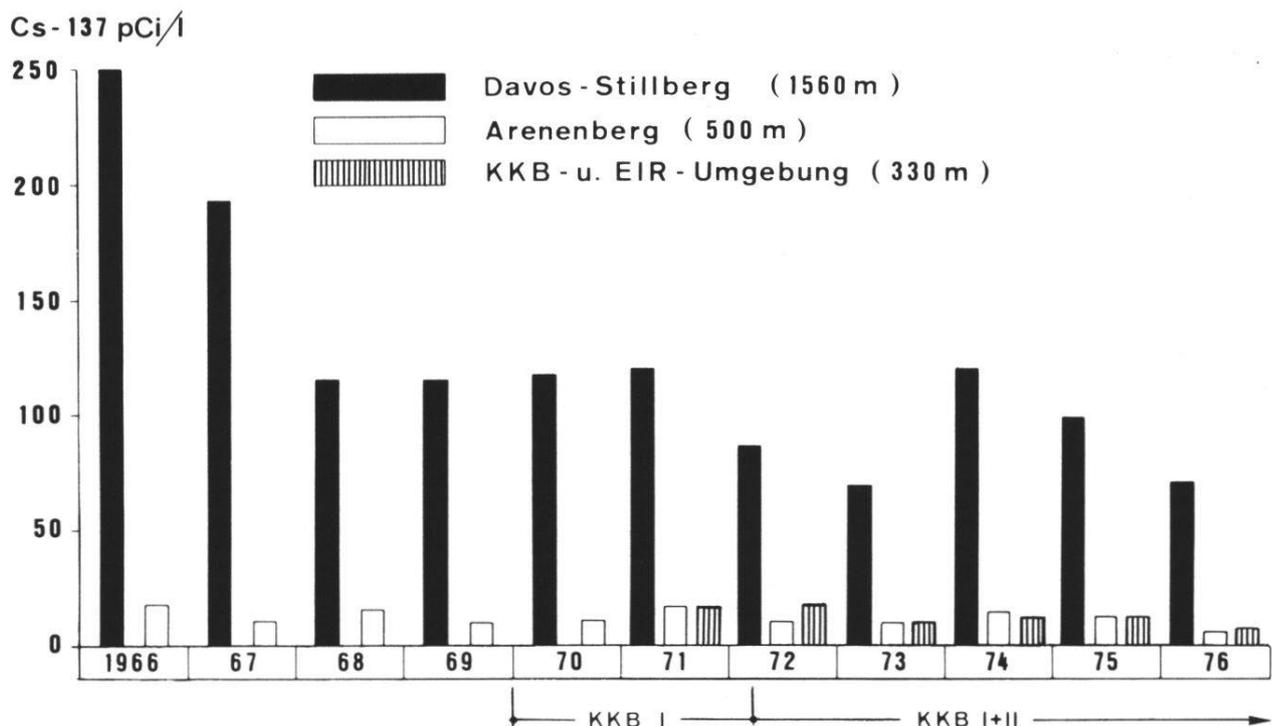


Fig. 5: Cs-137 in Milchproben.

mrem, laufend zu registrieren. Im Kamin sind ebenfalls Messapparaturen zur laufenden Messung der Abgaben aufgestellt. Diese Abgaben können leicht bilanziert werden, weil im Kamin die Aktivität noch «unverdünnt» ist. Am 22.4.76 (Fig. 6) fanden im KKW Mühleberg zwei Schnellabschaltungen statt. Dann wird für kurze Zeit die Aktivkohlestrecke überbrückt und die Radioaktivitätsabgaben werden kurzfristig höher. Die Windrichtung lag zu dieser Zeit gerade in Richtung der Ionisationskammer, in welcher der Aktivitätsausstoß sehr schön – mit der Aktivität im Kamin korreliert – registriert werden konnte. Aus solchen Messungen kann auf die Ortsdosis in der Umgebung eines Werkes geschlossen werden. Ebenso gestattet die heutige Technik mit Thermolumineszenzdosimetern, welche in der Umgebung von Kernkraftwerken ausgelegt sind, Erhöhungen der Ortsdosen von einigen mrem/Jahr über dem natürlichen Untergrund festzustellen. Dies ist ja die Aufgabe der Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken. Wenn wir deshalb im KUER-Bericht schreiben: *Die Immissionen über die Abluft von Kernanlagen (Beznau I und II, Mühleberg, Gösgen) ergaben in der bewohnten Umgebung kaum meßbare Dosen von höchstens 3 mrem/Jahr*, dann sind diese Angaben nicht nur durch Rechnungen aus den Abgaben bestimmte Werte, sondern auch durch Messungen erhärtet.

Im Folgenden soll nun auf die Überwachung von Betrieben eingegangen werden, die radioaktive Stoffe in die Umgebung abgeben. Als erstes Beispiel sei die *Radium-Chemie AG Teufen (RCT)* erwähnt, die radioaktive Stoffe zu Leuchtfarben verarbeitet hat, lange bevor in der Schweiz eine Strahlenschutzverordnung (1963) existierte. Aus dieser Zeit stammen auch noch Kontaminationen, vorwiegend auf dem Areal der Firma. Das Fabrikgelände wird gegenwärtig unter der Aufsicht der Kontrollbehörden saniert. Die Firma hat während ca. 30 Jahren bis 1967 Ra-226 verarbeitet, kurze Zeit Sr-90 (1955–1960) und nachher für die Leuchtfarbenherstellung diese radiotoxischen Nuklide durch Tritium ersetzt. Bei der Fabrikation und Lagerung von Tritiumleuchtfarbe entweicht ein Anteil der verarbeiteten Tritiummenge in die Umgebungsluft und in das

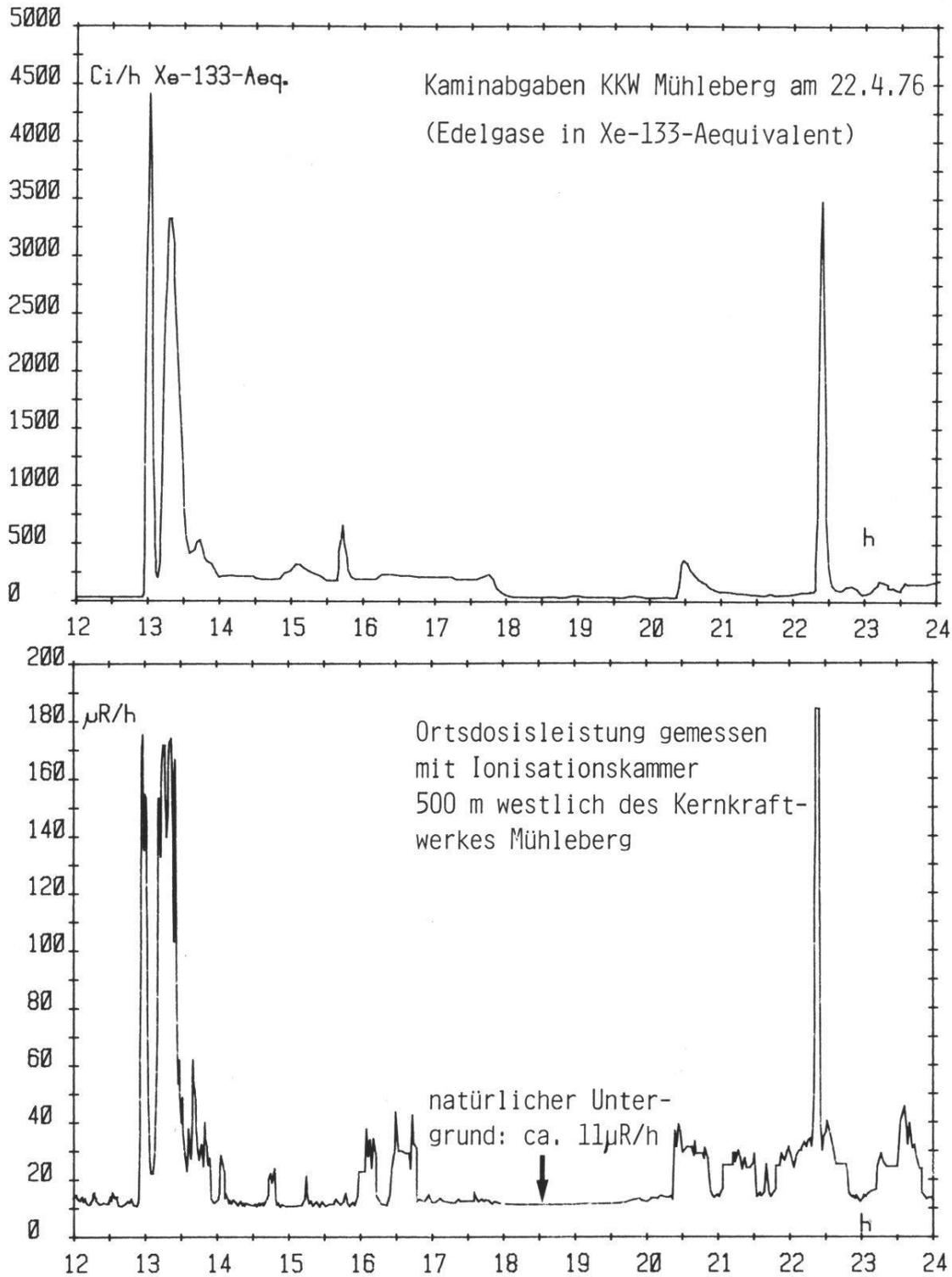


Fig. 6: Kaminabgaben und Ortsdosisleistung beim KKW Mühleberg.

Abwasser. Das in der Luftfeuchtigkeit enthaltene Tritium gelangt durch Einatmen in den Körper, wobei sich wegen der kurzen biologischen Halbwertszeit von ca. 10 Tagen im Körperwasser und damit im Urin bei gleichbleibender Exposition rasch eine Gleichgewichtskonzentration einstellt. Da die Tritium-Konzentration im Trinkwasser der Gemeinde Teufen gegenüber anderen Regionen nicht nennenswert erhöht ist, wird das über die Atemluft aufgenommene Tritium durch die übrige Wasseraufnahme des Körpers verdünnt. Die KUER überwacht die Umgebung der RCT eingehend auf Tritium. Laut

Strahlenschutzverordnung darf niemand durch die Radioaktivitätsabgaben über die Abluft eine Äquivalentdosis über 50 mrem/Jahr erhalten. Um diesen Grenzwert kontrollieren zu können, eignen sich Tritium-Messungen von Urinproben von Anwohnern der RCT sehr gut. Die KUER hat deshalb mehrmals zahlreiche Urinproben aus der Umgebung (50–400 m) untersucht. In Fig. 7 ist das Resultat einer Meßserie dargestellt. Auf der Ordinate ist die Anzahl Personen aufgetragen, auf der Abszisse die festgestellte Tritiumkonzentration im Urin. Eine konstante Konzentration von 10 nCi Tritium/l Urin ergibt eine Ganzkörperäquivalentdosis von 1,8 mrem/Jahr. Da die Histogramme der übrigen Meßserien ähnlich aussehen und die Umrechnung auf Jahresdosen nie Werte über 10 mrem/Jahr ergeben hat, darf der Schluß gezogen werden, daß die Firma die Abgabelimite in den letzten Jahren stets eingehalten hat.

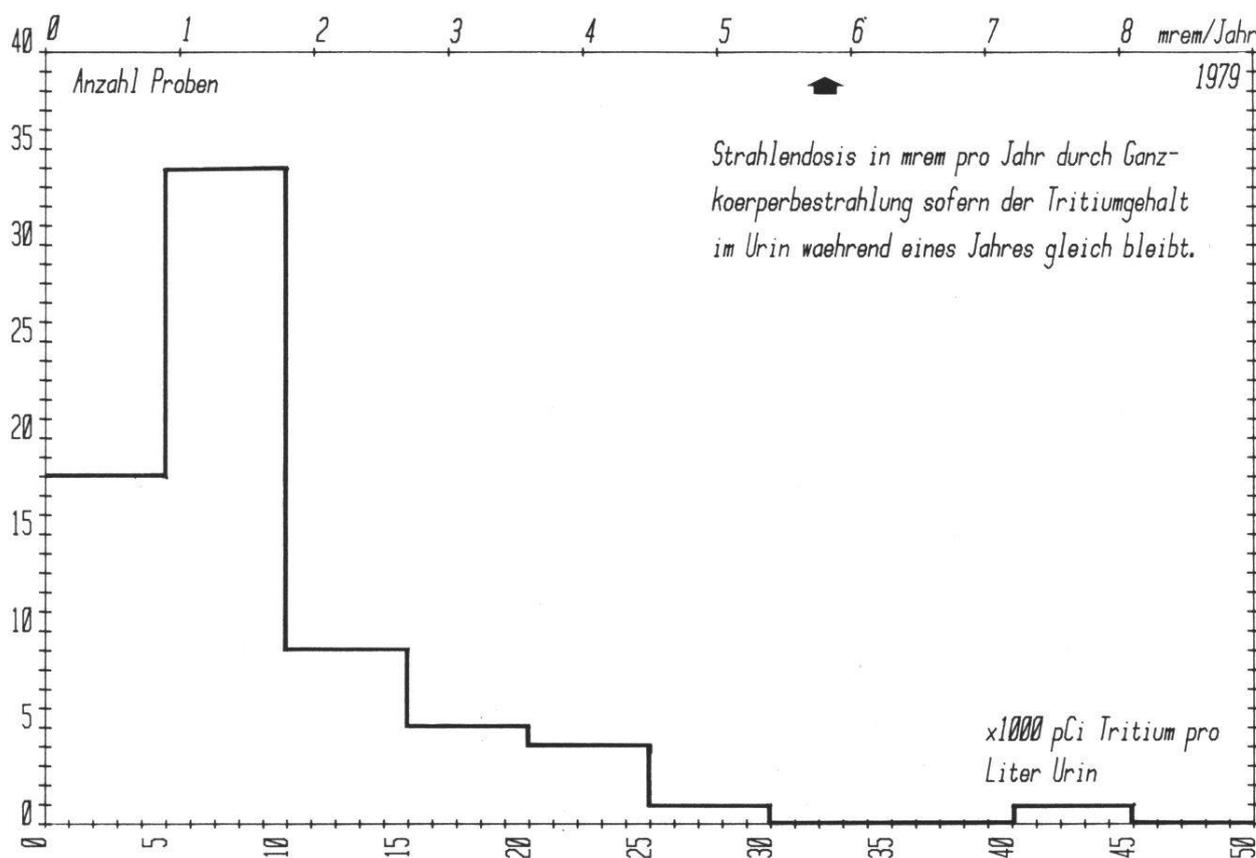


Fig. 7: Tritiumbestimmungen in Urinproben von Anwohnern der Firma Radium-Chemie AG in Teufen/AR.

Seit 1974 überwacht die KUER kontinuierlich das Wasser der ARA Zürich-Werdhölzli durch Total-Beta-Messungen und γ -Spektroskopie. Wir entdeckten bald Kontaminationen im Abwasser; die Analyse ergab, daß es sich dabei hauptsächlich um J-131 handelte, das aus Spitälern stammt. In Fig. 8 sind die wöchentlichen J-131-Konzentrationsmittelwerte für das Jahr 1978 aufgetragen. Die Jahresfracht entspricht 11 Ci J-131. Bezeichnet man die ARA Zürich-Werdhölzli als Vorfluter für die Spitäler, dann dürfte der wöchentliche Konzentrationsmittelwert in der ARA 200 pCi J-131/l nicht überschreiten. Während 14 Wochen war im Wasser der ARA 1978 dieses Limit überschritten. Daß diese Richtwerte streng angesetzt sind, erhellt folgende Überlegung: In der Limmat verursachte das Wasser

aus der ARA eine mittlere Jod-131-Konzentration von 3–4 pCi/Liter. Der ständige Gebrauch dieses Wassers als Trinkwasser würde zu einer Schilddrüsendosis von rund 6 mrem/Jahr führen (für Personen der Bevölkerung unter 16 Jahren erlaubter Höchstwert 1500 mrem/Jahr). Seit Februar 1981 sind im Universitätsspital Zürich Rückhaltebecken für radioaktives Jod installiert, welche die J-131-Abgaben stark reduzieren werden.

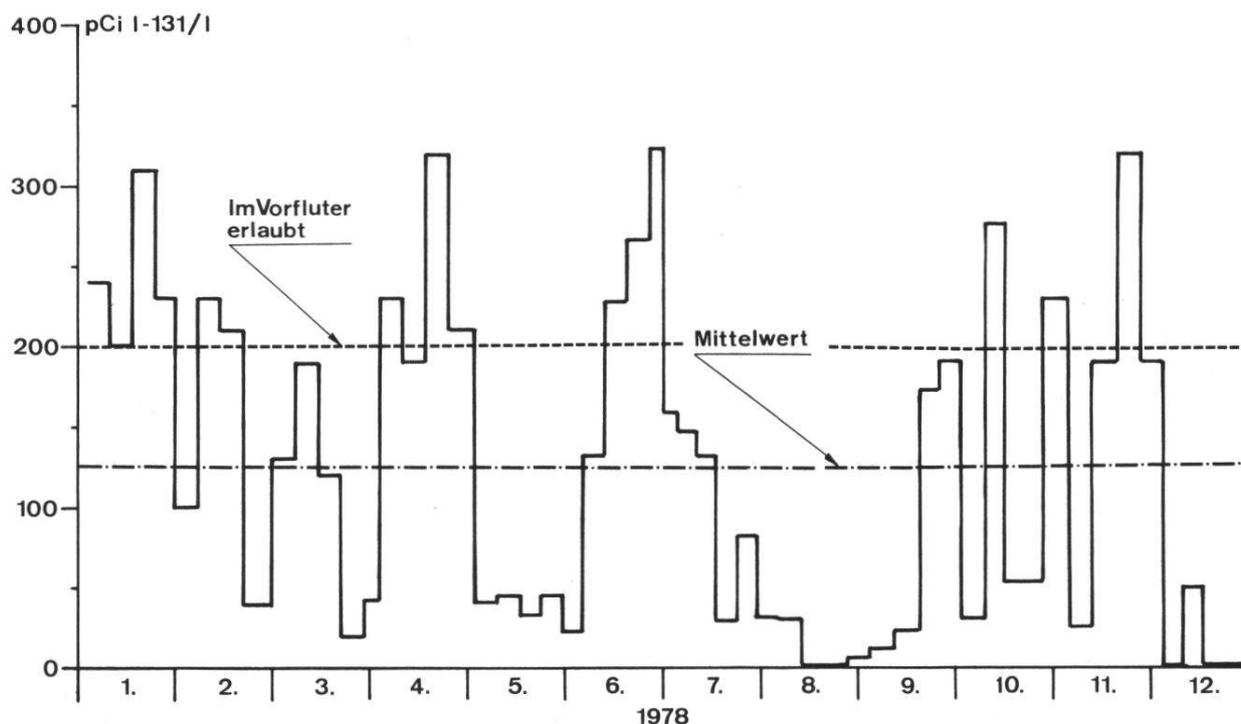


Fig. 8: J-131-Aktivität am Ausfluß der ARA Zürich-Werdhölzli.

Tab. 4 gibt eine Übersicht über Jahresdosen in der Schweiz, sowie Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen und Einzelpersonen der Bevölkerung. Nach einem Konzept der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, der Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen und der KUER gelten für die Umgebung der Kernanlagen noch strengere Grenzwerte, nämlich 20 mrem/Jahr. Der Hauptanteil der Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung stammt vom natürlichen Untergrund und von röntgendiagnostischen Untersuchungen. Die durch diese Untersuchungen verursachte mittlere genetisch signifikante Dosis beträgt 42 mrem/Jahr. In ihrem Jahresbericht 1976 schrieb die KUER: *Es wäre wünschenswert, wenn bei gleichem Nutzen und gleicher Aussagekraft die Belastung durch röntgendiagnostische Anwendungen reduziert werden könnte.*

Aus den hier aufgeführten Beispielen geht hervor, daß die *Umwelttoxikologie Radioaktivität* in der Schweiz gut überwacht wird, insbesondere in der Umgebung von Kernkraftwerken und Betrieben, die radioaktive Stoffe verwenden. Wenn daher in Tab. 4 angegeben ist, daß die gesamte zivilisatorische Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung, mit Ausnahme des Beitrages durch medizinische Anwendungen, eine mittlere Jahresdosis von weniger als 10 mrem bewirkte, so ist diese Zahl durch viele Messungen aller an der Strahlenüberwachung beteiligten Stellen erhärtet. Diese Strahlenbelastung ist mehr als zehnmal kleiner als die natürliche Strahlendosis. Zuunterst in Tab. 4 ist noch angegeben, ab welchen Dosen es bei kurzzeitiger Bestrahlung wirklich gefährlich wird und Symptome der Strahlenkrankheit auftreten.

| Bestrahltes Organ | ganzer Körper | Knochenmark | Gonaden |
|--|---------------|-------------|------------------|
| - Natürliche Strahlendosis Schweiz. Bevölkerung - Extremwerte | 120 70-320 | 145 | 105 |
| - Röntgendiagnostische Untersuchungen (1971) | | 120 | 80 ¹⁾ |
| - Fallout, Immissionen aus KKW, Industrien und Spitälern, beruflich strahlenexponierte Personen, Leuchtzifferblätter, Luftfahrt, Farbfernsehen, Rauchen etc. | <10 | | |
| Kernkraftwerke - Beznau, Mühleberg: kritischer Ort | ≤3 | | |
| Grenzwerte: | | | |
| - SSVO: beruflich strahlenexponierte Personen | 5000 | | |
| - SSVO: Einzelpersonen der Bevölkerung | 500 | | |
| - Konzept: ASK/KSA/KUER: Umgebung KKW | 20 | | |
| kurzzeitige Bestrahlung (mrem) | | | |
| - Letaldosis | 600000 | | |
| - Symptome der Strahlenkrankheit | ≥50000 | | |

¹⁾ Genetisch signifikante Dosis: 42 mrem/Jahr

Tab. 4: Übersicht über die Jahresdosen und Grenzwerte (in mrem/Jahr).

C. Schutz der Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken (KKW) bei schweren Unfällen

Bund, Kantone und Gemeinden unternehmen seit vielen Jahren große Anstrengungen, um die Bevölkerung bei einer Gefährdung durch Radioaktivität – gleich welcher Herkunft – wirkungsvoll zu schützen. Dazu wurde das *Konzept des Koordinierten AC-Schutzdienstes* ausgearbeitet. Es ist als Ergänzung der Alarmorganisation des Bundes für den Fall erhöhter Radioaktivität auf den Ebenen der Kantone und Gemeinden konzipiert und institutionalisiert die dauernde Zusammenarbeit von Bund und Kantonen auf diesem Gebiet. Es harren zwar noch etliche Probleme bei einer Gefährdung durch Radioaktivität der Lösung, aber eine fruchtbare Zusammenarbeit Bund/Kantone/Gemeinden ist ange laufen, und die Lücken können Schritt für Schritt geschlossen werden. Im Merkblatt *Alarmierung der Bevölkerung in Friedenszeiten* auf der zweitletzten Seite der Telefonbücher sind die Sirenenzeichen und ihre Bedeutung und das entsprechende Verhalten der Bevölkerung aufgeführt. Für die Alarmierung stehen den Gemeinden die für ihre Zivilschutzorganisation beschafften bzw. noch zu beschaffenden Sirenen (stationäre, oder auf Fahrzeugen montierte mobile Sirenen) zur Verfügung. Dadurch wird es möglich sein, das *Alarmsystem Schweiz* in absehbarer Zeit zu verwirklichen. Es darf aber nicht verschwiegen werden, daß – besonders bei A-Bombeneinsätzen in einem Krieg – der Schutz nicht vollkommen sein kann.

Der *Alarmausschuß Radioaktivität (AA)* hat ein Einsatzkonzept erarbeitet, das ihn in die Lage versetzen soll, beim Auftreten einer gefährlich erhöhten Radioaktivität deren Ausmaß und Verlauf im ganzen Lande zu verfolgen und die notwendigen Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung vorzuschlagen oder zu empfehlen. Nun soll noch über jenen Teil der Anstrengungen berichtet werden, die sich auf Kernkraftwerkunfälle beziehen und die

ganz unabhängig davon unternommen werden, wie klein auch die Eintretenswahrscheinlichkeit eines schweren Unfalles sein mag.

Der Alarmausschuß Radioaktivität ist nicht nur bei Atomexplosionen im In- und Ausland, sondern auch bei KKW-Unfällen für die Beantragung von Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung zuständig.

Atomexplosionen sind örtlich und zeitlich nicht voraussehbar. Bei einem KKW-Unfall hingegen ist der Ort bekannt und bis zu einem gewissen Grad auch die Zeit des möglichen Austritts der Radioaktivität bestimmbar, weil bei einem Unfall erst dann wesentliche Mengen von Radioaktivität freigesetzt werden können, wenn ein großer Teil der Brennelementhüllen geplatzt oder sogar geschmolzen ist – außerdem muß nachher noch die Barriere des Sicherheitsbehälters, etwa durch Überdruck, versagen; dies garantiert eine Warnzeit von mindestens einer Stunde. Eine rasche Alarmierung als vorbereitete Maßnahme ist darum sinnvoll.

Deshalb wurde in der Umgebung der Kernkraftwerke ein *rasches Alarmsystem* eingerichtet, welches insbesondere die Zeitspanne Unfallbeginn bis zur Einsatzbereitschaft der Alarmorganisation verkürzt.

Die Gefährdung in den ersten paar Stunden nach Austritt von Radioaktivität aus einem Kernkraftwerk besteht hauptsächlich in der Strahlung aus der vorbeiziehenden radioaktiven Wolke.

Um eine genügend rasche Alarmierung sicherzustellen, werden 2 Zonen unterschieden:

- Zone 1 bis ca. 3–4 km
- Zone 2 bis 20 km (anschließend an Zone 1).

Das rasche Alarmsystem soll in der Zone 1

- via KKW eine rasche Warnung der Behörden und deren Organe garantieren (automatisches Telephonwählsystem)
- via KKW eine rasche Alarmierung der Behörden und der Bevölkerung sicherstellen (Sirenen).

in der Zone 2

- via UWZ (= Überwachungszentrale) eine Warnung der Behörden und deren Organe garantieren
- via UWZ eine Alarmierung der Behörden und der Bevölkerung in dem betroffenen Gefahrensektor der Zone 2 sicherstellen.

Die Verwirklichung des Schutzzieles – Reduktion der Bestrahlung während des Durchzuges der Wolke – besteht darin, daß Keller- bzw. Schutzräume aufgesucht werden, welche einen genügenden Schutz gegen externe Bestrahlung aus der Wolke, bei geschlossenen Fenstern auch gegen Inhalation, gewährleisten (Fig. 9).

Grundlagen zur Abgrenzung der Zonen

Obwohl bei einem KKW-Unfall neben der Strahlenbelastung durch die vorbeiziehende Wolke auch eine Belastung durch die Kontamination des Bodens auftreten kann, ist zur Abgrenzung der Zone 1 die externe Bestrahlung aus der Wolke maßgebend. Die radioaktive Wolke kann während kurzer Zeit eine große Gefährdung darstellen, währenddem eventuell abgelagerte radioaktive Stoffe eine kleinere Gefährdung, jedoch für längere Zeit bedeuten.

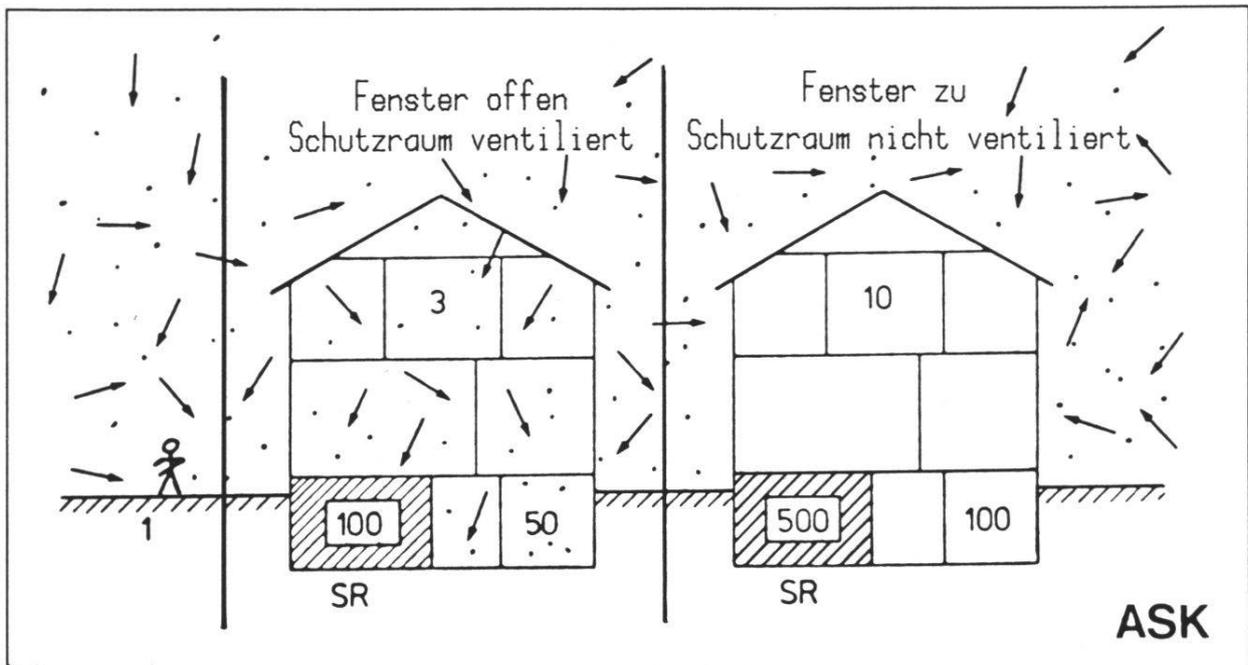


Fig. 9: Schutzfaktoren gegen die externe Bestrahlung aus einer radioaktiven Wolke.

Die *Zone 1* ist derjenige Bereich, in dem eine Person im Freien durch die vorbeiziehende Wolke eine lebensbedrohende Dosis erhalten könnte, in der also eine rasche und direkte Alarmierung nötig ist. Als Grenze der *Zone 1* wurde jene Distanz gewählt, in der gemäß Rechnung eine Person *im Freien* noch 100 rem Ganzkörperdosis erhalten würde.

Die *Zone 2* erstreckt sich anschließend an die *Zone 1* bis zu einer Distanz von 20 km. Es versteht sich von selbst, daß die Strahlenbelastungen an den gerechneten Zonengrenzen keine abrupten Änderungen erfahren. Die Zonengrenzen sind mehr als eine organisatorische Maßnahme zu verstehen, um durch die direkte Alarmierung in der *Zone 1* einen Zeitgewinn in dem zuerst gefährdeten Gebiet zu erreichen. Die Zonengrenzen wurden dabei den Gemeindegrenzen angepaßt.

Die *Zone 2* ist in (überlappende) Gefahrensektoren von je 120° unterteilt (Fig. 10).

Einem Windrichtungssektor von 60° entspricht dabei ein gegenüberliegender Gefahrensektor von 120°.

Die *Zone 3* schließt an die *Zone 2* an. Die Gefährdung ist hier gering und zeitlich verzögert.

Warnung und Alarmierung beim Einsatz des raschen Alarmsystems

Eine ernsthafte Gefährdung der Bevölkerung kann nur eintreten, wenn ein Teil des Reaktorkerns schmilzt und die Radioaktivität mehr oder weniger ungehindert in die Umgebung gelangen kann.

Für diesen Fall ist das rasche Alarmsystem aufgebaut worden. Wir unterscheiden die 3 Stufen: **WARNUNG**

ALLGEMEINER ALARM

STRAHLENALARM

Um zu entscheiden, wann das rasche Alarmsystem aktiviert werden soll, geht man von der Überlegung aus, daß bei einem Kühlmittelverlustunfall die Radioaktivität zuerst in den Sicherheitsbehälter gelangt, bevor sie in die Umgebung austreten kann (Fig. 11).

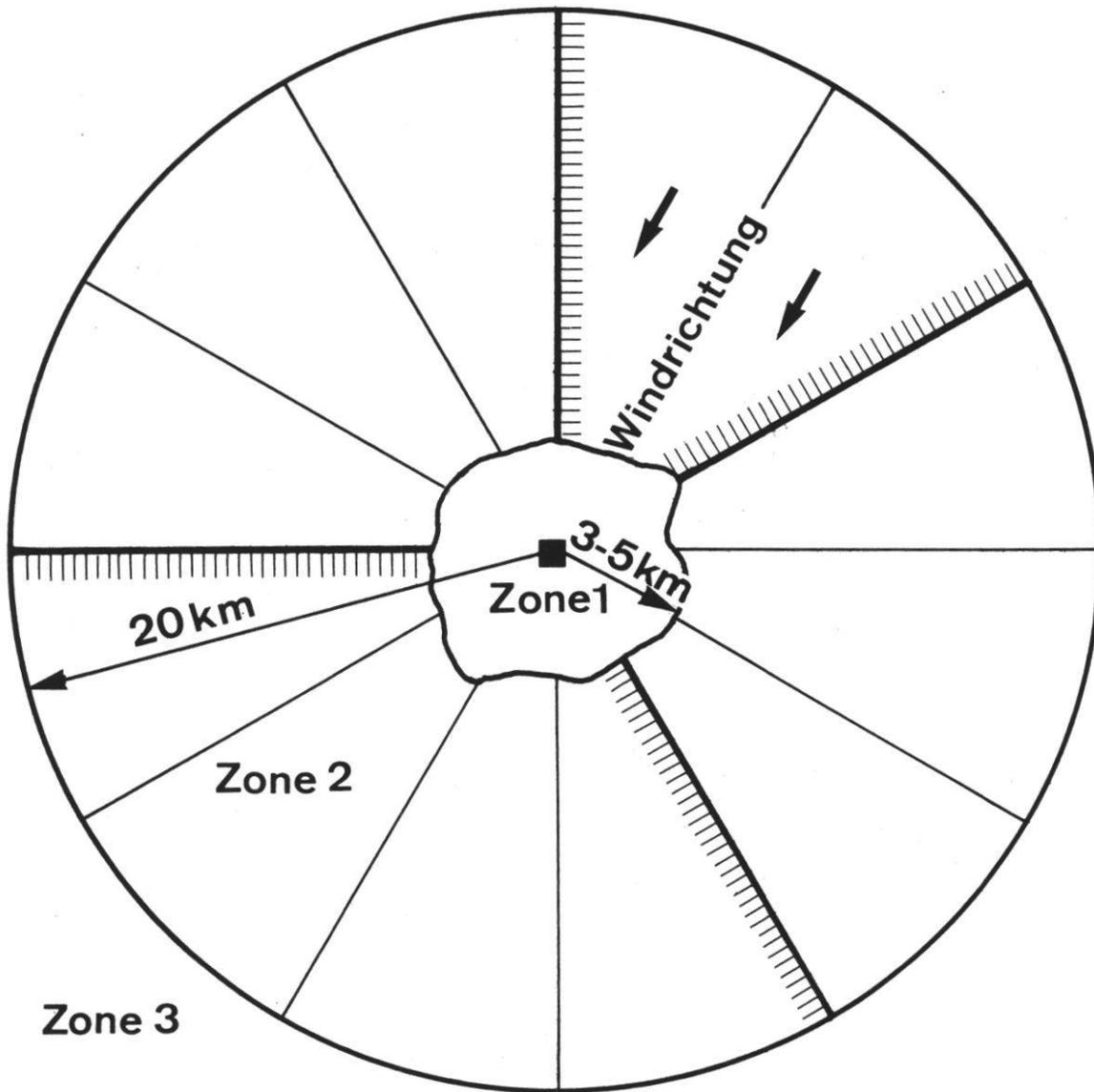


Fig. 10: Einteilung der Notfallzonen in der Umgebung eines Kernkraftwerkes.

Eine *Warnung* wird vom KKW ausgelöst, falls sowohl

- a) die Dosisleistung (D) im Sicherheitsbehälter hoch ist, als auch
- b) ein Notkühlsignal (N) ansteht.

Die Auslösung einer Notkühlung allein ist nicht ausreichend für eine Auslösung des raschen Alarmsystems, denn einerseits kann eine Notkühlung auch ungewollt als Störung ansprechen, andererseits ist ja die Notkühlung gerade dafür da, um ein Schmelzen des Reaktorkerns zu verhindern. Falls jedoch zusätzlich zum Notkühlsignal eine hohe Dosisleistung im Sicherheitsbehälter folgt, so muß auf einen schweren Unfall geschlossen werden. Kann die Situation nicht unter Kontrolle gebracht werden, so muß das KKW den allgemeinen Alarm auslösen.

Ein *allgemeiner Alarm* wird vom KKW ausgelöst, falls folgende weitere Kriterien auftreten, eventuell in Kombination miteinander, wie z.B. (siehe Fig. 11):

- a) Dosisleistung (D) im Sicherheitsbehälter steigt weiter an.
- b) Überdruck (H) in der Stahlhülle wird größer als Prüfdruck.
- c) Umschaltung auf Sumpfbetrieb (U) für die Nachwärmeabfuhr ist nicht möglich.

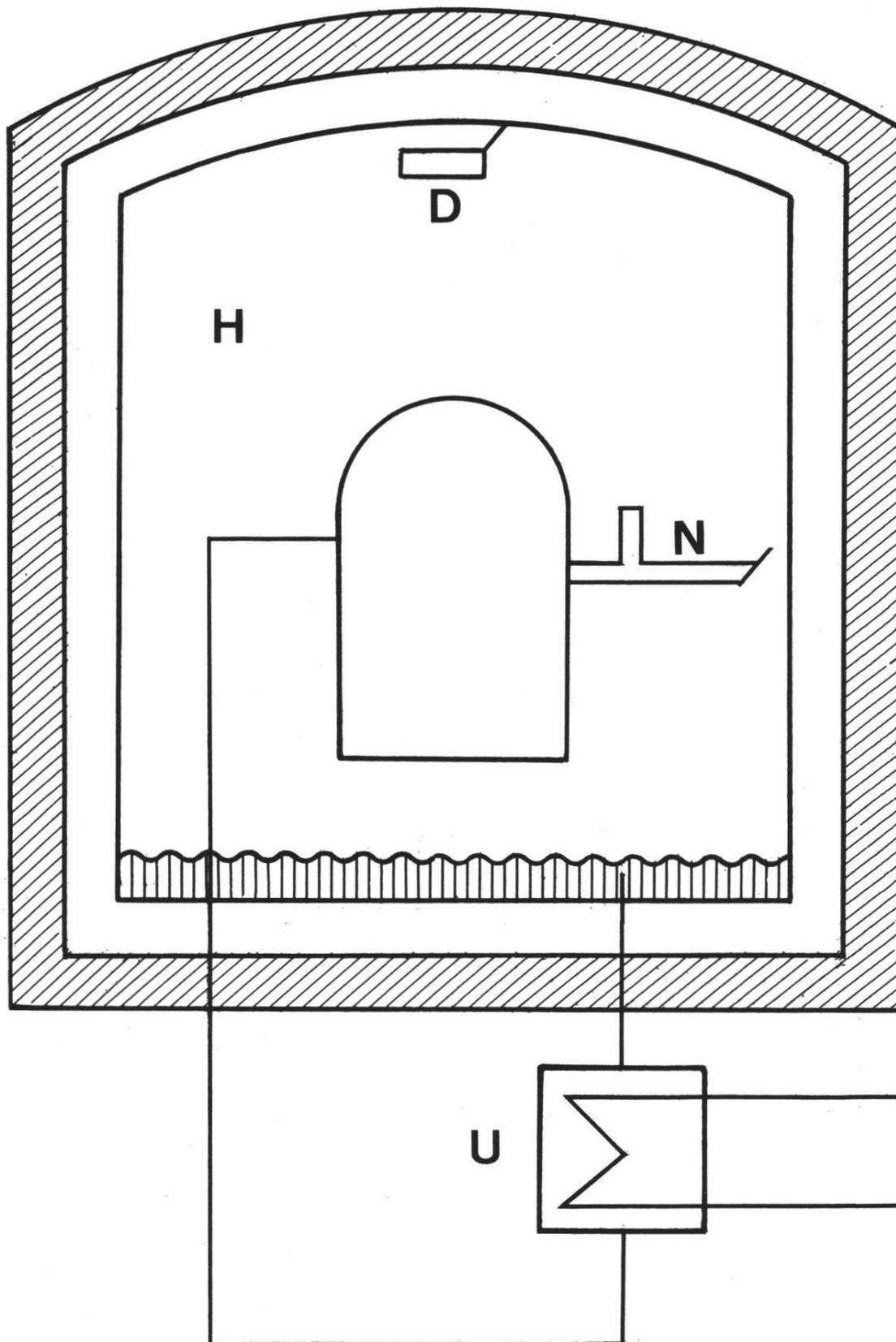


Fig. 11: Sicherheitsdispositiv eines Kernkraftwerkes.

Zur Zeit der Auslösung des allgemeinen Alarms ist noch keine Aktivität in die Umgebung ausgetreten.

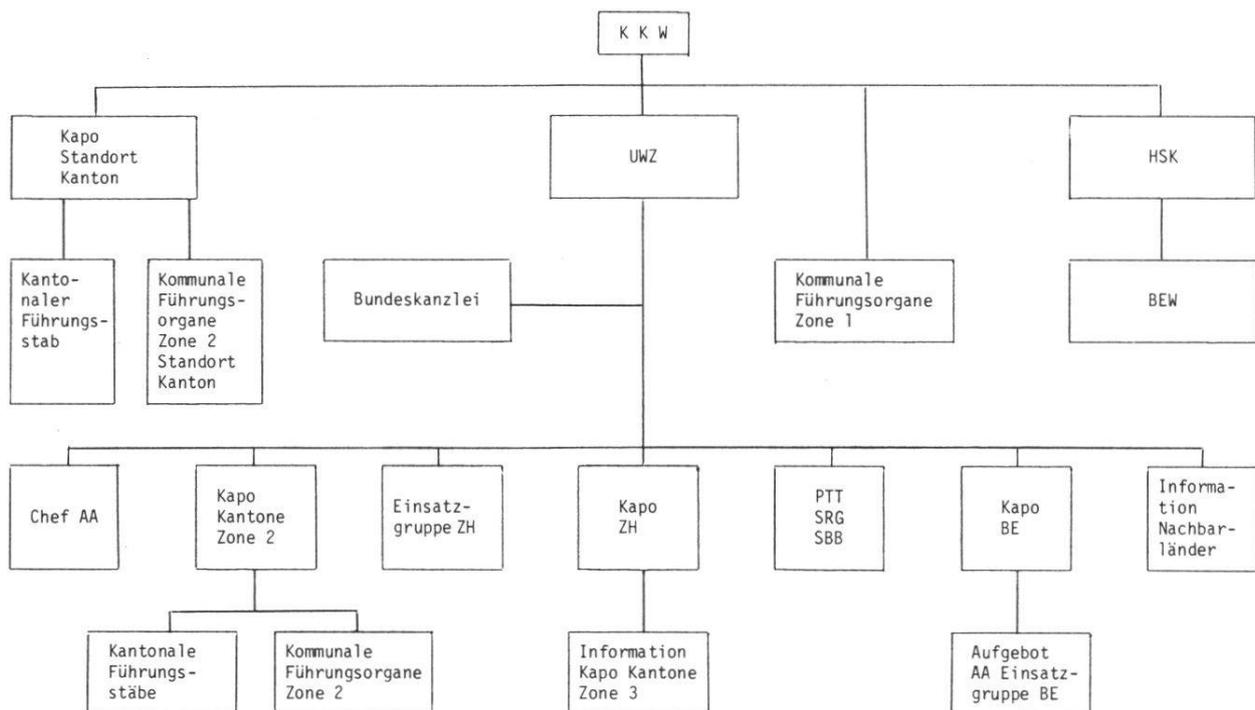
Falls nun, etwa durch Überdruckversagen des Sicherheitsbehälters, ein massiver Aktivitätsausstoß an die Umgebung stattfindet oder falls – was viel wahrscheinlicher ist –

die Kriterien für den allgemeinen Alarm weiterhin anstehen, so muß der Strahlenalarm durch das KKW ausgelöst werden. Falls der Unfall unter Kontrolle gebracht werden kann, wird das über Radio bekannt gegeben (Entwarnung).

Ein *Strahlenalarm* wird vom KKW immer ausgelöst, wenn ein massiver Aktivitätsausstoß stattfindet oder kurz bevorsteht.

Bedeutung der Warnung für die Behörden

Die Warnung bezweckt, die Einsatzbereitschaft der Behörden und deren Organe für den möglichen Alarmfall sicherzustellen. Die Warnung als Auslösung vorbereiteter Aktionen wird an alle Gemeinden in den Zonen 1 und 2 um das KKW gegeben. Die Zone 1 wird direkt vom KKW gewarnt, die Zone 2 indirekt via UWZ über das Polizeiübermittlungsnetz an die Kantonspolizei der betroffenen Kantone (Tab. 5).



Tab. 5: Übermittlung der Warnung.

Die Maßnahmen, die vom Gemeindestab nach der Warnung getroffen werden, zielen darauf hin, bei einer Auslösung des allgemeinen Alarms einen raschen Schutz der Bevölkerung im Gemeindegebiet zu ermöglichen.

Es werden deshalb normalerweise die Feuerwehr, die Gemeindepolizei sowie Organe des Zivilschutzes benachrichtigt. Durch die Warnung gewinnt der Gemeindestab einen zeitlichen Vorsprung, um die nach dem allgemeinen Alarm durchzuführenden Maßnahmen vorbereiten zu können.

Bedeutung des allgemeinen Alarms für Behörden und Bevölkerung

Beim allgemeinen Alarm werden vom KKW die Sirenen der ganzen Zone 1 ausgelöst. Gleichzeitig werden auch die Behörden der ganzen Zone 1 sowie die *Überwachungszentrale* (UWZ) und die *Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen* (HSK) alarmiert.

Die *Einsatzgruppe ZH* des AA, welche bei der Warnung aufgeboten wurde, beurteilt die meteorologischen Verhältnisse in der Umgebung des betroffenen KKW und bestimmt den Gefahrensektor in der Zone 2. Diese Einsatzgruppe kann direkt Anweisungen an die Bevölkerung über Radio und Telefonrundspruch geben. Es ist wesentlich, daß die Bevölkerung nach Ertönen der Sirenen über Radio angewiesen wird, was zu tun ist, um Fehlreaktionen zu vermeiden. In der Zone 2 wird nur diejenige Bevölkerung alarmiert, die sich bei den herrschenden Windverhältnissen im Gefahrensektor befindet (Fig. 10).

Die Sirenen veranlassen die Bevölkerung, das Radio einzuschalten, und sie wird Anweisungen erhalten, die schon im Merkblatt *Alarmierung der Bevölkerung in Friedenszeiten* aufgeführt sind. Nach dem allgemeinen Alarm geht es im wesentlichen darum, einen allfälligen Aufenthalt im Keller, wenn möglich im Schutzraum, vorzubereiten. Der Gemeindestab veranlaßt unter anderem folgende Maßnahmen:

- Kontrolle, ob Schulen, Industrie und Gewerbebetriebe ihre Tätigkeit eingestellt haben und die Leute gegebenenfalls nach Hause geschickt wurden.
- Hilfe bei verkehrspolizeilichen Maßnahmen, z.B. Sperren des Zutritts in die Zone 1 und in das gefährdete Gebiet der Zone 2.

Bedeutung des Strahlenalarms für Behörden und Bevölkerung

Bei Auslösung des Strahlenalarms müssen Keller oder Zivilschutzräume aufgesucht werden, um einen Schutz vor der Strahlung aus der vorbeiziehenden radioaktiven Wolke zu erlangen. Die Übermittlung des Alarms an die betroffenen Behörden und Stellen, auch zur Auslösung der Sirenen, erfolgt nach einem vorbereiteten Übermittlungsschema, ähnlich wie die Übermittlung der Warnung.

Würde nun trotz aller erdenklichen Sicherheitsvorkehrungen bei einem KKW-Unfall ein massiver Radioaktivitätsausstoß stattfinden (die Bevölkerung wäre durch das Aufsuchen von Kellern bzw. Schutzräumen präventiv geschützt) und sich ein Teil der radioaktiven Wolke am Boden absetzen, so würde der AA seine ganzen ihm zur Verfügung stehenden zivilen und militärischen Mittel zur Bestimmung der Verstrahlungslage einsetzen. Basierend auf den dazu notwendigen Messungen müßten all jene Maßnahmen eingeleitet und durchgeführt werden, die für den Schutz der Bevölkerung und für die Wiederherstellung des *Normalzustandes* notwendig sind.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Grundlagen und Ziele des Strahlenschutzes beschrieben, und es wurde aufgezeigt, wie die Radioaktivität in der Schweiz überwacht wird. Besonders wird die Umgebung von Kernkraftanlagen und Betrieben, die radioaktive Substanzen verwenden, kontrolliert. Auch in Freiburg konnte J-131 in der Abwasserreinigungsanlage nachgewiesen werden, das von Spitälern zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken benützt wird. Die zitierten Meßresultate lassen den Schluß zu, daß vom Standpunkt des Strahlenschutzes aus gegen Kernkraftwerke im Normalbetrieb keine Einwände erhoben werden können. Für den sicheren Betrieb dieser Werke wird alles Menschenmögliche getan. Trotzdem sind Kernkraftwerkunfälle nicht völlig auszuschließen. Im letzten Teil der Arbeit ist erklärt, was in einem solchen Falle zum Schutze der Bevölkerung vorgekehrt wird. Damit ein präventiver Schutz möglich ist, wurde ein rasches Alarmsystem eingerichtet, das auch in Übungen auf allen Stufen getestet werden muß.

Die Fachleute können nur die Entscheidungsgrundlagen für den Bau und Betrieb von Kernkraftwerken bereitstellen. Den verantwortlichen Behörden obliegt es, alles erdenkliche zum Schutze der Bevölkerung vorzukehren. Der Entscheid, ob Kernkraftwerke Ja oder Nein ist ein politischer, aber ein schwerwiegender, und hat enorme Konsequenzen für unsere zukünftige Energieversorgung.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Fräulein R. Hayoz und Herrn L. Baeriswyl für die Schreibarbeiten und die Mithilfe beim Erstellen der Figuren bedanken.