

Zeitschrift:	Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera
Herausgeber:	Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz
Band:	- (1995)
Rubrik:	Allgemeines und Rückblick auf den Unfall Tschernobyl

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: 11.01.2026

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

1. Allgemeines und Rückblick auf den Unfall Tschernobyl

1.1. Das Überwachungsprogramm für die Umweltradioaktivität

H. Völkle Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER),
Bundesamt für Gesundheit, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

1.1.1. Einleitung

Die Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt und der Strahlenschutz der Bevölkerung richtet sich nach dem **Strahlenschutzgesetz** (StSG) vom 22. März 1991 und der **Strahlenschutzverordnung** (StSV) vom 22. Juni 1994. Diese basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP von 1990.

1.1.2. Begrenzung der Strahlendosen

Bei den beruflich strahlenexponierten Personen darf die zusätzliche Strahlendosis durch die berufliche Tätigkeit 20 mSv pro Jahr nicht übersteigen. Spezielle Regelungen gelten für die Augenlinsen (150 mSv/Jahr), Haut, Hände sowie Füsse (500 mSv/Jahr), für Mitarbeiter zwischen 16 und 18 Jahren (5 mSv/Jahr) und für schwangere Frauen (2 mSv an der Abdomenoberfläche ab Kenntnis einer Schwangerschaft bis zu deren Ende). Für die übrige Bevölkerung gilt als Schutzziel für die Strahlendosen aus künstlichen Quellen - ohne medizinische Anwendungen, sowie ohne den Beitrag durch Radon - eine Limite von 1 mSv/Jahr.

Diese Dosisgrenzwerte lassen sich mittels der ICRP-Risikofaktoren in ein jährliches **Gesamt-Strahlenrisiko**, durch strahlenbedingte Erkrankungen oder genetische Auswirkungen in Form von schweren Missbildungen bei den Nachkommen bestrahlter Eltern umrechnen, wobei diese Zahlen nur als ungefähre Schätzwerke des Risikos mit einer Unsicherheit von einem Faktor 2-5 zu betrachten sind.

Die 20 mSv-Limite für Berufstätige führt zu einem jährlichen Gesamtrisiko von 1 %, wobei die tatsächlichen Dosen dieser Personen im Mittel etwa hundert mal kleiner sind. Die Limite für die Bevölkerung von 1 mSv/Jahr ergibt gemäss ICRP ein Gesamtrisiko von 0.07 %. Die tatsächlichen Strahlendosen der Bevölkerung durch künstliche Strahlenquellen sind mindestens 5mal geringer. Zum Vergleich: Gemäss den Angaben des Bundesamtes für Statistik ¹⁾ wurden für 1994 folgende durchschnittliche Sterberisiken für Krebserkrankungen in der Schweiz ermittelt:

Organ	Sterberisiko in % pro Jahr (1994)	
	Männer	Frauen
Lunge	0.62	0.18
Magen	0.13	0.09
Prostata	0.43	--
Bauchspeicheldrüse	0.12	0.12
Darm	0.28	0.26
Brust	--	0.46
Gebärmutter	--	0.12
Eierstöcke	--	0.13
alle Krebserkrankungen	2.64	2.14

1) *Todesursachen-Statistik 1994; Bundesamt für Statistik, Bern 1995*

Für die praktische Durchführung der Überwachung legt der Gesetzgeber **Immissionsgrenzwerte** für die Strahlendosen in der Umwelt sowie die Radioaktivität in Luft, Wasser und Lebensmittel fest. Wo es sich um kontrollierbare Quellen handelt, d.h. um Betriebe die radioaktive Stoffe unter kontrollierten Bedingungen an die Umwelt abgeben, werden auch **Abgabelimiten** festgelegt. Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass in einer Region mehrere Betriebe die Umwelt durch Abgaben belasten können und auch in Anwendung des Optimierungsgrundsatzes der ICRP, lässt die Bewilligungsbehörde keine Anlage dieses eine mSv bzw. die darauf basierenden Immissionsgrenzwerte voll ausschöpfen. Jedem Betrieb wird daher, entsprechend dessen Grössen sowie unter Berücksichtigung des Standes der Technik nur ein Bruchteil des 1 mSv-Schutzzieles "zugeteilt". Man nennt diesen Bruchteil den «Quellenbezogenen Dosisrichtwert». Er beträgt für Kernkraftwerke beispielsweise 20 %, d.h. eine solche Anlage darf durch Radioaktivitätsabgaben an die Umwelt bei der Umgebungsbevölkerung höchstens 0.2 mSv/Jahr verursachen.

1.1.3 Begrenzung radioaktiver Immissionen in der Umwelt

Betriebe, die radioaktive Stoffe erzeugen oder verarbeiten, dürfen radioaktive Abfälle nur kontrolliert als Gase, Aerosole oder Abwässer an die Umwelt abgeben; sie müssen die ihnen von der Bewilligungsbehörde auferlegten **Abgabelimiten** einhalten und ihre Abgaben laufend zuhanden der Behörde bilanzieren. In der StSV wird auch die Beseitigung bzw. Verbrennung oder Endlagerung von festen Abfällen geregelt.

Die Abgaben aus Betrieben über die Abluft an die Umwelt dürfen bei Normalbetrieb an keinem öffentlich zugänglichen Ort im Jahresmittel zu Konzentrationen in der Luft führen, die 1/300 der Richtwerte für den Arbeitsplatz (CA gemäss Anhang 3, Kolonne 11 der StSV) übersteigen. Die Abgaben über das Abwasser dürfen in öffentlich zugänglichen Gewässern im Wochenmittel zu Konzentrationen von höchstens 1/50 der Freigrenze (LE gemäss Anhang 3, Kolonne 9 der StSV) führen. Diese **Immissionsgrenzwerte** von CA/300 in der Atemluft bzw. LE/50 im Trinkwasser würden bei der Bevölkerung bei Dauerexposition zu einer zusätzlichen Strahlenexposition von je 0.2 mSv/Jahr führen. Die **Direktstrahlung** aus einem Betrieb darf ausserhalb des Betriebsareals in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen zu einer zusätzlichen Ortsdosis von höchstens 1 mSv, an den übrigen Orten höchstens 5 mSv/Jahr führen. Für die tatsächlichen Strahlendosen von Personen ist die Aufenthaltszeit in diesem Strahlenfeld zu berücksichtigen.

Für die Konzentration von Radionukliden in **Lebensmitteln** werden Toleranz- und Grenzwerte definiert. Die entsprechenden Zahlenwerte sind in der *Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe* (FIV) festgelegt (Vergl. Tab. 1). Die für den Strahlenschutz relevante Limite ist der Grenzwert; bei dessen Überschreiten **muss** ein Lebensmittel aus dem Verkehr gezogen werden. Der Toleranzwert ein reines Qualitätskriterium und dessen Überschreitung bedeutet noch keine radiologische Gefährdung. Ein Lebensmittel, das den Toleranzwert für ein bestimmtes Radionuklid übersteigt, muss zwar vom zuständigen Kantonalen Laboratorium beanstandet werden, kann aber unter gewissen Voraussetzungen im Handel bleiben.

Die jährliche Strahlendosis durch Radionuklide in Lebensmitteln ergibt sich aus dem Produkt der gemessenen Aktivitätskonzentration und der jährlich konsumierten Menge des betreffenden Lebensmittel, multipliziert mit dem Dosisfaktor für das jeweilige Radionuklid. Die entsprechenden Ingestions-Dosisfaktoren, angegeben in Anzahl Sv pro aufgenommenes Bq, für ein- und zehnjährige Kinder und Erwachsene, finden sich ebenfalls im Anhang der StSV.

Tab. 1: Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln gemäss der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV)

Radionuklide	Toleranzwert für alle Lebensmittel	Grenzwert für Säuglings-nahrung	Grenzwert für Milch, Rahm	Grenzwert für andere Lebensmittel (*)	Grenzwert für flüssige Lebensmittel
Einheit	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Tritium	1'000	3'000	10'000	10'000	10'000
Kohlenstoff-14	200	1'000	10'000	10'000	10'000
Strontium (z.B. Sr-90)	1	75	125	750	125
Jod (z.B. I-131)	10	150	500	2'000	500
künstliche Alphastrahler (z.B. Pu-239, Am-241)	0.1	1	20	80	20
natürliche Alphastrahler (z.B. U, Ra, Th)	--	1	1	10	1
übrige Radionuklide (z.B. Cs-134, Cs-137), jedoch ohne K-40	10 (Cs-134/-137 Wildpilze & Wildfleisch: 600)	400	1'000	1'250	1'000

(*) Grenzwert für Lebensmittel geringer Bedeutung: Zehn mal höhere Werte als "andere Lebensmittel".

1.1.4. Überwachung der Radioaktivität in Umwelt und Lebensmitteln

Die Zuständigkeit für die Überwachung der Umweltradioaktivität liegt beim Bundesamt für Gesundheitswesen, Sektion Überwachung der Radioaktivität in Fribourg [SUFER], die bei der Umgebungsüberwachung von Betrieben mit den entsprechenden Bewilligungs- oder Aufsichtbehörden zusammenarbeitet. Dies sind für die Kernanlagen die *Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen* (HSK) in Villigen bzw. für Industrie- und Gewerbebetriebe die *Schweizerische Unfallversicherungsanstalt* (SUVA) in Luzern. Die Überwachung der Radioaktivität in den Lebensmittel erfolgt zusammen mit den Kantonalen Laboratorien. An den Messungen sind auch das *Paul-Scherrer-Institut* in Villigen/AG (PSI), die *Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz* in Dübendorf/ZH (EAWAG) und das *AC-Laboratorium der Gruppe Rüstung* in Spiez/BE, sowie spezialisierte Stellen des Bundes und der Hochschulen beteiligt. Die an den Messungen beteiligten Laboratorien und Stellen können den Seiten III und IV am Anfang dieses Berichtes entnommen werden. Zusammen mit diesen Laboratorien und der *Nationalen Alarmzentrale* (NAZ) erstellt das BAG den Probenahme- und Messplan und berichtet jährlich über das Ergebnis der Überwachung und die sich daraus ergebenden Strahlendosen der Bevölkerung.

Die Radioaktivitätsüberwachung verfolgt drei Hauptziele:

- Überwachung der grossräumig verbreiteten künstlichen Umweltradioaktivität.
- Überwachung radioaktiver Immissionen in der Umgebung von Kernanlagen, sowie Radioisotope-verarbeitenden Industriebetrieben, Forschungsinstituten und Spitätern.
- Die Bestimmung der Strahlendosen der Bevölkerung aus künstlichen und natürlichen Quellen.

Das Überwachungsprogramm umfasst die folgenden Messungen:

a) Automatische Mess- und Frühwarnnetze

- Das aus 58 Stationen bestehende NADAM-Netz registriert kontinuierlich die Ortsdosen in der ganzen Schweiz.
- Das MADUK-System überwacht die Ortsdosen in der Nahumgebung der Kernkraftwerke an je 12 bis 18 Messstationen.
- Das RADAIR-Netz überwacht die Radioaktivität der Luft an 10 Stationen in der Schweiz und einer im Fürstentum Liechtenstein; dieses Netz befindet sich gegenwärtig noch im Aufbau.

b) Labormessungen: (Siehe Fig. 1)

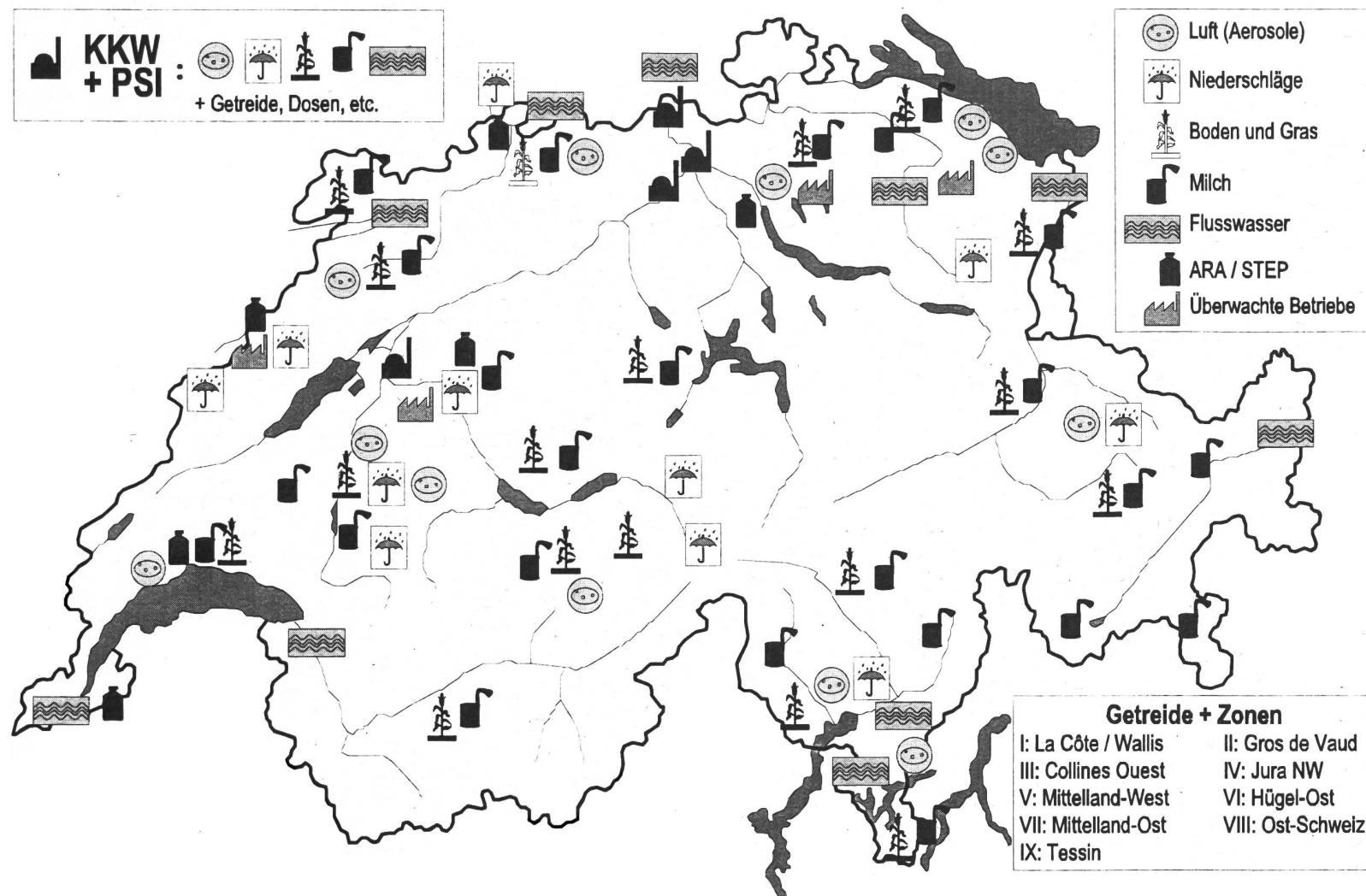
Kontinuierlich an mehreren Stellen im ganzen Lande gesammelt und durch Laboranalysen untersucht werden die Niederschläge, die Aerosole der Luft, die Flüsse, und die Abwasser der Kläranlagen der Agglomerationen Zürich, Basel, Bern und Lausanne. Stichprobenweise analysiert werden Proben von Erdboden, Gras, Milch, Getreide, weitere Lebensmittel, Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen und Sedimente. Zur Endkontrolle der Radioaktivität im menschlichen Körper werden Ganzkörpermessungen zur Bestimmung von Cäsium und Analysen an Milchzähnen und Wirbelknochen Verstorbener zur Bestimmung von Strontium-90 durchgeführt. Für die Umgebung der Kernanlagen bestehen Spezialprogramme.

Die verwendeten **Probenahme- und Messverfahren** werden periodisch dem aktuellen Stand der Wissenschaft angepasst. Im Rahmen der *Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen* (DSK), und mit den Strahlenschutzfachgesellschaften von Deutschland und Frankreich besteht hier ein regelmässiger Informations- und Erfahrungsaustausch.

Verdankungen

Allen an der Durchführung dieses Überwachungsprogrammes beteiligten Stellen und Laboratorien und insbesondere auch den zahlreichen Betreuern der Probenahmestationen, Regensammler, Luftüberwachungsanlagen etc. danken wir für die hervorragende Zusammenarbeit. Ohne das Mitwirken und die fachliche Kompetenz dieser Stellen wäre eine umfassende Überwachung kaum möglich. Bestens gedankt sei auch Frau **M. Gobet** für die Schreibarbeiten und Herrn **A. Gurtner** für die graphische Gestaltung.

Abb. 1: Überwachungsprogramm für die Umweltradioaktivität 1995



1.2. Auswirkungen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in der Schweiz: Eine Beurteilung nach 10 Jahren

O. Huber ¹⁾, W. Jeschki ²⁾, S. Prêtre ²⁾ und H. Völkle ³⁾

1) Prof. emeritus der Universität Fribourg; Adresse: Beustweg 8, 8032 ZÜRICH

2) Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 VILLIGEN-HSK

3) Sektion Überwachung der Radioaktivität / BAG, Chemin du Musée 3, 1700 Fribourg

Einleitung

Im April 1996 waren es zehn Jahre her, seit der Reaktor Tschernobyl explodierte. Der folgende Artikel gibt aus diesem Anlass eine Zusammenfassung über die radiologischen Auswirkungen dieser Katastrophe auf die Schweiz aus heutiger Sicht und zeigt, wie das Ereignis von der damaligen Alarm- und Messorganisation bewältigt wurde. Aktivitätskonzentrationen werden in diesem Bericht in Bq/kg (Becquerel) angegeben, Dosen als sogenannte effektive Dosis in mSv (milli-Sievert), d.h. als gewichtete Summe der Äquivalentdosen aller bestrahlter Organe; eine Ausnahme bilden die Schilddrüsendosen, die als solche spezifiziert sind.

1.2.1. Das Ereignis

Im russischen Kernkraftwerk Tschernobyl, in der Ukraine, ca. 120 km nördlich von Kiew und ungefähr 1500 km von der Schweiz entfernt, ereignete sich am 26. April 1986 um 01.24 Uhr Ortszeit ein schwerer Reaktorunfall. Er war die Folge einer Leistungsexkursion im Zusammenhang mit Experimenten und hatte nicht nur Auswirkungen auf die nähere Umgebung, sondern betraf auch weite Gebiete von Ost- und Mitteleuropa. Am Standort des Kernkraftwerkes Tschernobyl stehen vier graphitmoderierte Siedewasser-Druckröhrenreaktoren vom Typ «RBMK» mit einer elektrischen Leistung von je 1000 MW. Vom Unfall betroffen war der Block 4, der im Jahre 1984 in Betrieb genommen worden war. Der Unfall führte infolge einer Explosion mit einem 10 Tage dauernden Brand des Graphitblockes zur vollständigen Zerstörung des Reaktors und während dieser Zeit zur Freisetzung grosser Mengen radioaktiver Stoffe in die Umwelt. Die zum Zeitpunkt des Unfalles herrschende Wetterlage und der im Kernkraftwerk wütende Brand waren die Ursache dafür, dass die freigesetzten radioaktiven Stoffe in grosse Höhen gelangten, was zur weiträumigen Verbreitung der Radioaktivität über viele Länder führte. Der zerstörte Reaktor wurde mit Sand, Ton, Dolomit, Kalkstein, einer Borverbindung und Blei überschüttet und später einbetoniert.

Erste Meldungen über den Unfall erfolgten am Abend des 28. April 1986 in den Medien. Die radioaktive Wolke zog zwar anfangs gegen Skandinavien und von dort wieder nach Süd-/Südost, das im Raum Kiew vorhandene Windfeld führte in der Folge radioaktiv kontaminierte Luftmassen in den unteren Luftsichten Richtung Skandinavien und im oberen Niveau einen Tag später auch Richtung Mitteleuropa.

1.2.2. Die radioaktive Wolke erreicht die Schweiz

Die Wolke mit den freigesetzten Spaltprodukten erreichte um Mitternacht 29./30. April 1986 die Schweiz von Osten her und löste am Mittwoch, dem 30. April 1986 um 12.30 Uhr bei der automatischen Luftüberwachungsanlage auf dem Weissfluhjoch bei Davos/GR Alarm aus. Zwischen 11.00 Uhr und 13.00 Uhr stiegen auch die Messwerte der NADAM-Sonden in Zürich-SMA (siehe Fig. 1), Luzern, Engelberg/OW und Altdorf/UR um das zwei- bis vierfache an und um 15.00 Uhr wurde die Wolke auch von der Lufüberwachungsanlage Freiburg registriert.

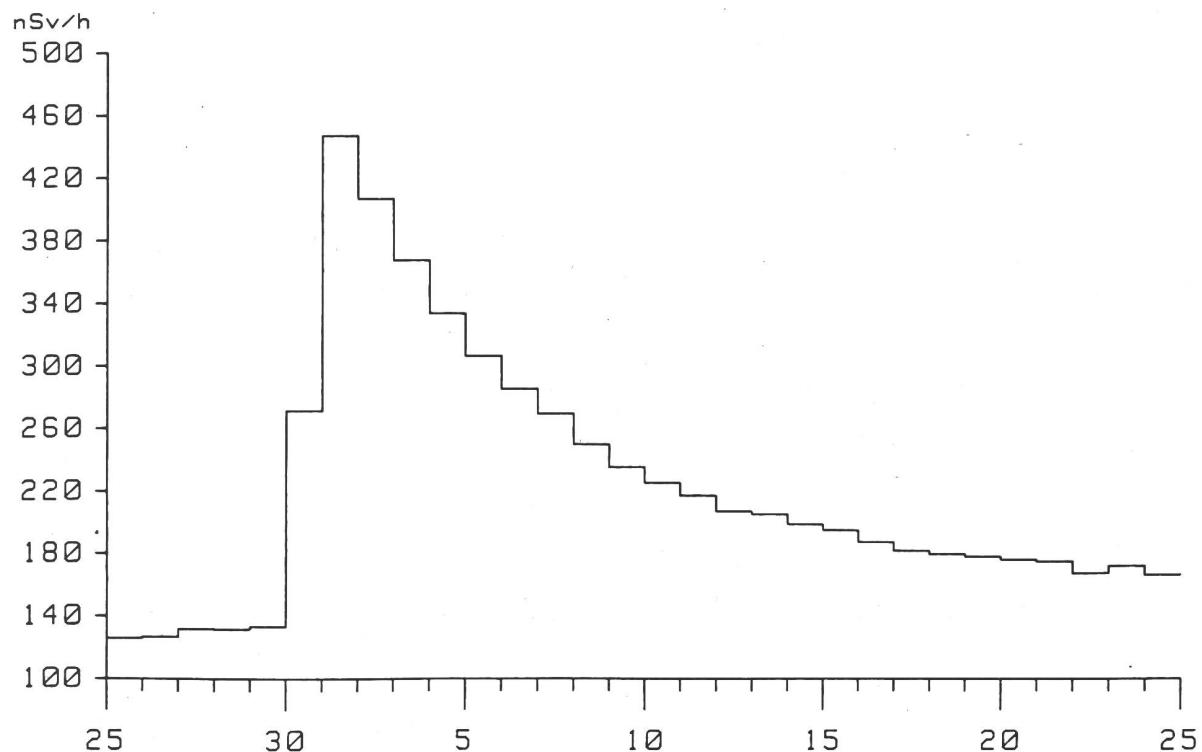


Fig. 1: Registrierung der Ortsdosisleistung mit der NADAM-Sonde « Zürich-SMA » vom 25.4.-25.5.1986 angegeben in nSv/h ($=10^{-9}$ Sievert pro Stunde) (aus KUER-Bericht 1985/86)

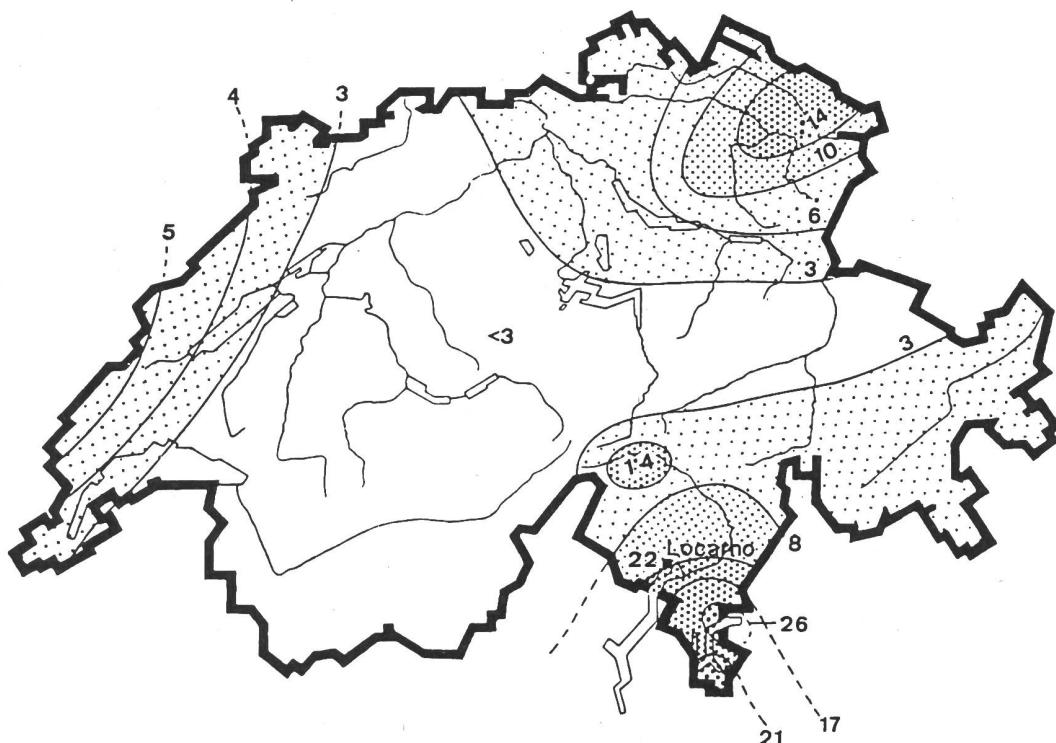


Fig. 2: Mittlere Caesium-137-Ablagerung in der Schweiz in kBq/m² ($1 \text{ kBq/m}^2 = 1000 \text{ Becquerel pro m}^2$) berechnet durch die HSK aus den Ortsdosismessungen (aus KUER-Bericht 1985/86)

Gemäss den Laboranalysen der Luftfilter zeigte die Konzentration der Radioaktivität in der Luft keine ausgeprägten regionalen Unterschiede. Der Cs-137-Gehalt der Luft stieg Anfangs Mai auf ca. 1 - 2 Bq/m³ an, und nahm in der Folge stetig wieder ab. Die Konzentration anderer Radionuklide in der Luft lag am 1. Mai 1986 beispielsweise beim aerosolgebundenen I-131 beim 3.5-fachen derjenigen des Cs-137, für Cs-134 beim 0.52-fachen, für Ru-103 beim 1.9-fachen und für Sr-90 bei 1 Prozent derjenigen des Cs-137. Die gesamte Jod-Aktivität, d.h. incl. elementares I-131, lag in der Luft etwa beim 3-fachen derjenigen des aerosolgebundenen I-131. Ausschlaggebend war im Mai 1986, ob in der betreffenden Region während des Durchzuges der Wolke Regen fiel. Über die Niederschläge gelangte nämlich wesentlich mehr Radioaktivität auf Boden und Pflanzen, als mit trockener Ablagerung. Deshalb kam es in Teilen der Ostschweiz (30. April - 2. Mai 1986), dem Tessin (ab dem 3. Mai 1986) und, etwas schwächer, auch in einzelnen Gegenden des Juras (ab dem 3. Mai 1986) zu einer stärkeren Kontamination von Boden und Bewuchs. Dies führte in der Folge zu einer Zunahme der Ortsdosiseistung und zu deutlich erhöhten, aber ungefährlichen Radioaktivitätswerten in Gras, Gemüse, Milch und gewissen Milchprodukten. Die regionale Ablagerung von Cs-137 ist auf der Fig. 2 dargestellt.

Schon in der Pressemitteilung vom 2. Mai 1986 betreffend die radiologische Lage vom Vortag wurde folgendermassen über erhöhte Messwerte der Ortsdosiseistung orientiert: „*Würden diese erhöhten Werte während eines ganzen Monats anhalten, ergäbe das für eine Person, die sich dauernd im Freien aufhält, eine zusätzliche Strahlendosis, die einem Viertel der jährlichen Strahlenexposition in der Schweiz entspricht*“. Gemäss dem Dosismassnahmen-Konzept mussten deshalb keine Einschränkungen im Bezug auf den Aufenthalt der Bevölkerung im Freien erwogen werden.

1.2.3. Die Einsatz- und Messorganisation in der Schweiz

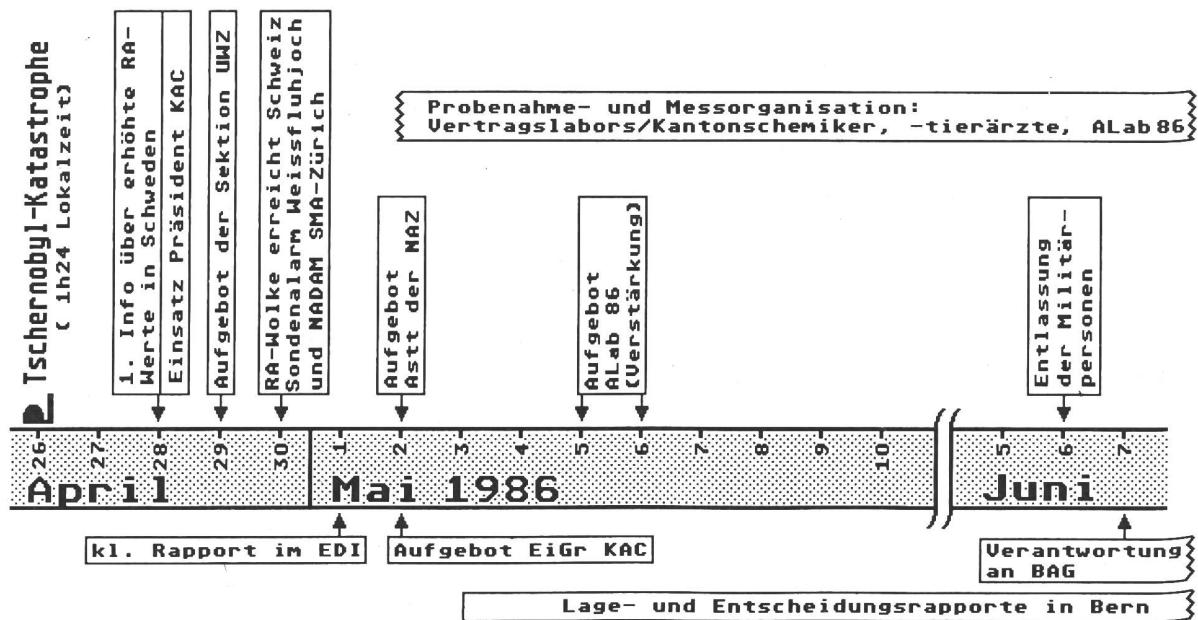


Fig. 3: Zeitlicher Verlauf des Einsatzes in der Schweiz beim Unfall Tschernobyl (aus Proceedings der Tschernobyl-Tagung in Bern, 20.-22.10.1986, Seite 13)

In der Schweiz wurden bereits am 29. April 1986 erste Elemente der gut vorbereiteten **Einsatzorganisation**, unter der Verantwortung der *Eidg. Kommission für AC-Schutz*, durch deren Präsident aufgeboten. Der zeitliche Ablauf dieser Einsätze ist aus der Fig. 3 ersichtlich. Die Einsatzorganisation umfasste:

1. Die «**Einsatzgruppe**», welche die Alarmorganisation leitete und nach aussen vertrat. Sie stellte dem *Eidg. Departement des Innern* z.Hd. des Bundesrates bei einer Gefährdung durch Radioaktivität, unter Berücksichtigung der Gesamtlage, Anträge für Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung, oder - wenn solche nicht zwingend erforderlich waren - gab direkt Empfehlungen an die Bevölkerung.
2. Die **Alarmstelle Radioaktivität** bei der *Schweizerischen Meteorologischen Anstalt*, die jederzeit in der Lage sein muss, Meldungen entgegenzunehmen oder zu übermitteln.
3. Die **Sektion Überwachungszentrale** in Zürich war eine vollamtliche Equipe aus Bundesbeamten, welche einen Pikettdienst unterhält. Meldungen über Ereignisse treffen von der **Alarmstelle Radioaktivität** beim Pikettdienst ein, der nach ersten Abklärungen Sofortmassnahmen bis hin zur Alarmierung der Bevölkerung einleitet. Das Aufgebot der **Sektion Überwachungszentrale** bildete die erste Stufe des Einsatzes.
4. Die **Nationale Alarmzentrale** ist die Fachstelle für die Warnung und Alarmierung der Behörden und die Alarmierung der Bevölkerung. Sie hat Aufgaben bei jeder Gefährdung durch Radioaktivität, auch bei Störungen in Kernkraftwerken oder Kernwaffeneignissen. Bei grosser Dringlichkeit alarmiert sie in eigener Kompetenz und verbreitet Verhaltensanweisungen direkt an die Bevölkerung. Sie ist auch involviert bei Satellitenabstürzen, Staudammbrüchen oder Gefährdung durch chemische Stoffe.

Die **Nationale Alarmzentrale** nimmt alle Meldungen und Messresultate entgegen, wertet sie aus, beurteilt sie, steht laufend mit der «**Einsatzgruppe**» in Verbindung und stellt Anträge für Massnahmen oder Empfehlungen. Sie hält auch Verbindung zu den entsprechenden Stellen im Ausland, sammelt Informationen und erstellt Lageberichte. Dazu hat der Armeestabsteil auch die notwenige Infrastruktur; er ist der eigentliche „*Brain Trust*“ der Alarmorganisation.

Für die **Frühwarnung** bei einer radioaktiven Kontamination standen 1986 sechs automatisch registrierende Frühwarnposten entlang der Schweizer Grenze im Betrieb. Diese überwachen die Radioaktivität der Aerosole der Luft und lösen bei Überschreiten eines bestimmten Aktivitätspegels einen Alarm aus. Im weiteren standen 7 Regensammlerstationen zur Erfassung der Radioaktivität der Niederschläge im Betrieb. Leider waren zum Zeitpunkt des Tschernobyl-Unfalls vom landesweiten Netz für Automatische Dosis-Alarmierung und Messung (NADAM) mit 58 Stationen, erst 12 Sonden - 8 davon in der Westschweiz - im Betrieb. Weiter standen für Probenahmen und Messungen anfangs 3, später bis 12 gut ausgerüstete Messwagen der Laboratorien im Einsatz. Ein Armee-Helikopter mit AC-Offizier und Spürgerät wurde in abgelegenen Bergregionen eingesetzt.

Zur direkten **nuklidspezifischen** Messung der Bodenkontamination vor Ort im Gelände wurde auch ein tragbares in-situ-Gammaspektrometer eingesetzt, bei dem nicht mehr Boden- und Grasproben erhoben und im Labor analysiert werden müssen, sondern die Gamma-Strahlung direkt im Freien mit einem tragbaren Gerät erfasst wird. Dadurch wird eine rasche qualitative und quantitative Bestimmung der nach einem Unfall auf dem Boden abgelagerten Radioaktivität in Bq/m^2 und die Berechnung der daraus resultierenden Ortsdosen ermöglicht. Fig. 4 zeigt ein solches Gamma-Spektrum, das am 15. Mai 1986 im Freien in La Haute Borne (JU) aufgenommen wurde; im Spektrum erkennbar sind die nach dem Unfall mit dem Niederschlag auf Boden und Gras abgelagerten Radionuklide.

Die Verstrahlungskarten «**Extern**», die aufgrund der Messungen der Ortsdosen im Freien nach dem Unfall Tschernobyl laufend in der **Nationalen Alarmzentrale** erstellt wurden, ermöglichen Prognosen über die Kontamination der landwirtschaftlichen Kulturen. Wo nämlich die Ortsdosen durch Tschernobyl gering waren, war auch die Kontamination von Gras und Gemüse, Milch etc. entsprechend klein, sodass in diesen Gegenden weniger Proben erhoben werden mussten.

Zur Erfassung der **Kontaminationslage in Lebens- und Futtermitteln** stand ab dem 30. April 1986 - durch entsprechende Abmachungen und Verträge mit Messstellen des Bundes und der Kernkraftwerke - eine vorbereitete Probenahme-, Mess- und Labororganisation zur Verfügung, die noch durch AC-Spezialisten der Armee verstärkt wurde. Die Speziallaboratorien erhielten laufend von der Einsatzorganisation Probenahme- und Messaufträge und meldeten die Ergebnisse umgehend per Telefax. Die verwendeten Probenahme- und Messverfah-

aufträge und meldeten die Ergebnisse umgehend per Telefax. Die verwendeten Probenahme- und Messverfahren entsprachen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Insgesamt wurden bis im Frühjahr 1987 rund 20'000 Proben auf Radioaktivität untersucht: u.a. Luftfilter, Niederschläge und Zisternenwasser, Gewässer, Erdboden, Gras, Futtermittel sowie alle Arten von einheimischen und importierten Lebensmitteln pflanzlicher oder tierischer Herkunft und zahlreiche weitere Proben, wie u.a. Vliese von Gemüsekulturen und Klärschlamm.

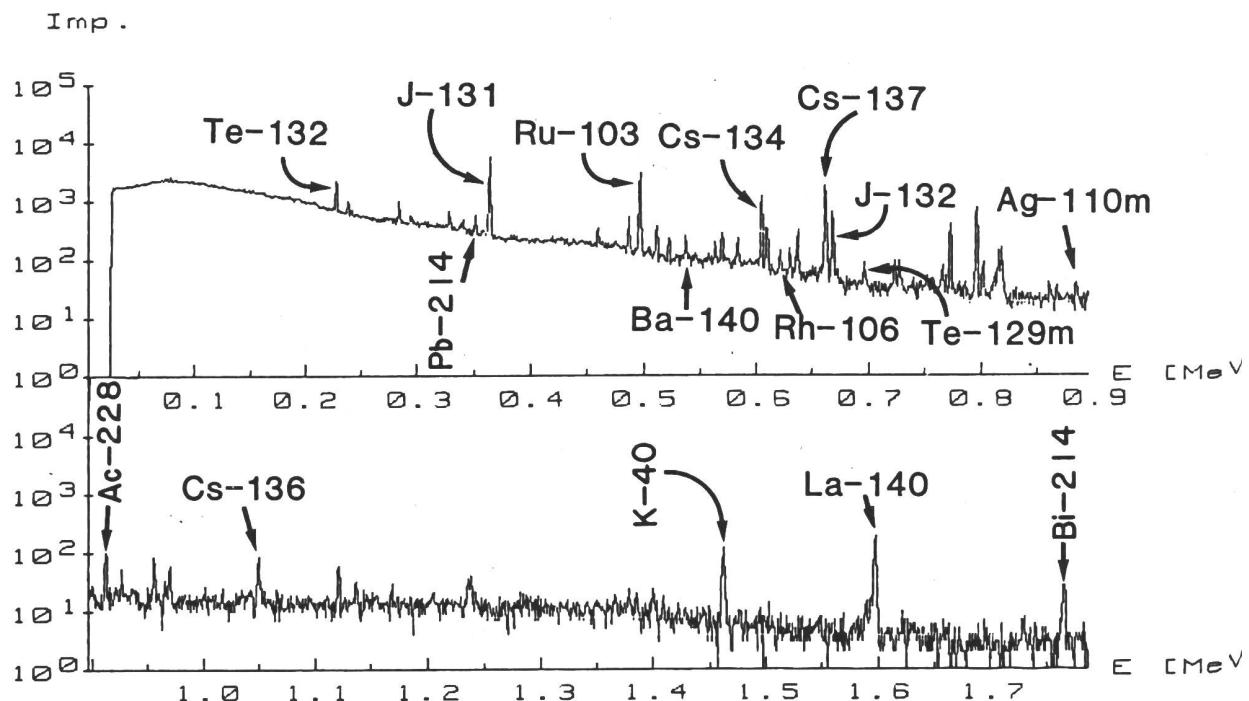


Fig. 4: In-Situ-Messung mit tragbarem Germanium-Spektrometer in La Haute-Borne /JU vom 15. Mai 1986 (Dauer der Messung 2000 Sek.). Ausser Wismut-214, Blei-214, Actinium-228 und Kalium-40 (natürlich) sind alle angeschriebenen Gamma-Linien dem Tschernobyl-Unfall zuzuordnen (aus KUER-Bericht 1985/86)

Für die **Information** der Öffentlichkeit galt die bundesrätliche Devise «*offen, umfassend und der Wahrheit verpflichtet zu informieren und ohne Seitenblick auf ökonomische Folgen zu handeln.*» In den Pressemitteilungen wurde ausführlich über die Messungen und die radiologische Lage in den verschiedenen Gegenden des Landes, über Ortsdosen und die Kontamination der Lebensmittel berichtet. Es wurden Empfehlungen an die Bevölkerung abgegeben und erläutert, sowie zahlreiche Strahlenkarten, Tabellen, Messergebnisse und Analysen verbreitet. Es gab leider auch Medienberichterstatter, welche die amtlichen Verlautbarungen "bearbeiteten", die Lage dramatisierten und Ängste in der Bevölkerung schürten. Unterstützt wurden sie durch Kommentare und übertriebene Reaktionen aus dem Ausland. So geschah es, dass viele Bewohner den sachlichen und nüchternen, aber stets die Lage richtig einschätzenden amtlichen Berichten nicht immer trauten.

1.2.4. Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung

Die wichtigsten Empfehlungen zur Reduktion der Strahlendosen der Bevölkerung in der Schweiz sind auf der Fig. 5 zusammengestellt. Sie wurden als Pressemitteilungen verbreitet und immer wiederholt und haben zu Dosisersparnissen von bis 0.2 mSv bei Erwachsenen, bzw. bis 0.9 mSv bei Kindern geführt. Gemäss dem Dosis-Massnahmen-Konzept der Eidg. Kommission für AC-Schutz werden Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung erst dann dem Bundesrat vorgeschlagen, wenn die zu erwartende Strahlendosis «Intern» über das

nach dem Tschernobyl-Unfall nicht überschritten würde, stand relativ früh, aufgrund der zahlreichen Messungen und Dosisberechnungen fest. Deshalb waren keine Anträge an den Bundesrat für die Anordnung von Schutzmassnahmen erforderlich. Nach dem obersten Grundsatz des Strahlenschutzes, unnötige Strahlendosen zu vermeiden, auch wenn die Schutzziele nicht überschritten werden, erliess die «Einsatzgruppe» gewisse Empfehlungen an die Bevölkerung, nämlich dort, wo Dosiseinsparungen mit wenig Aufwand möglich waren. Die Analyse aus heutiger Sicht bestätigt, dass diese Empfehlungen zum richtigen Zeitpunkt, für den richtigen Ort und für die richtige Bevölkerungsgruppe erfolgten.

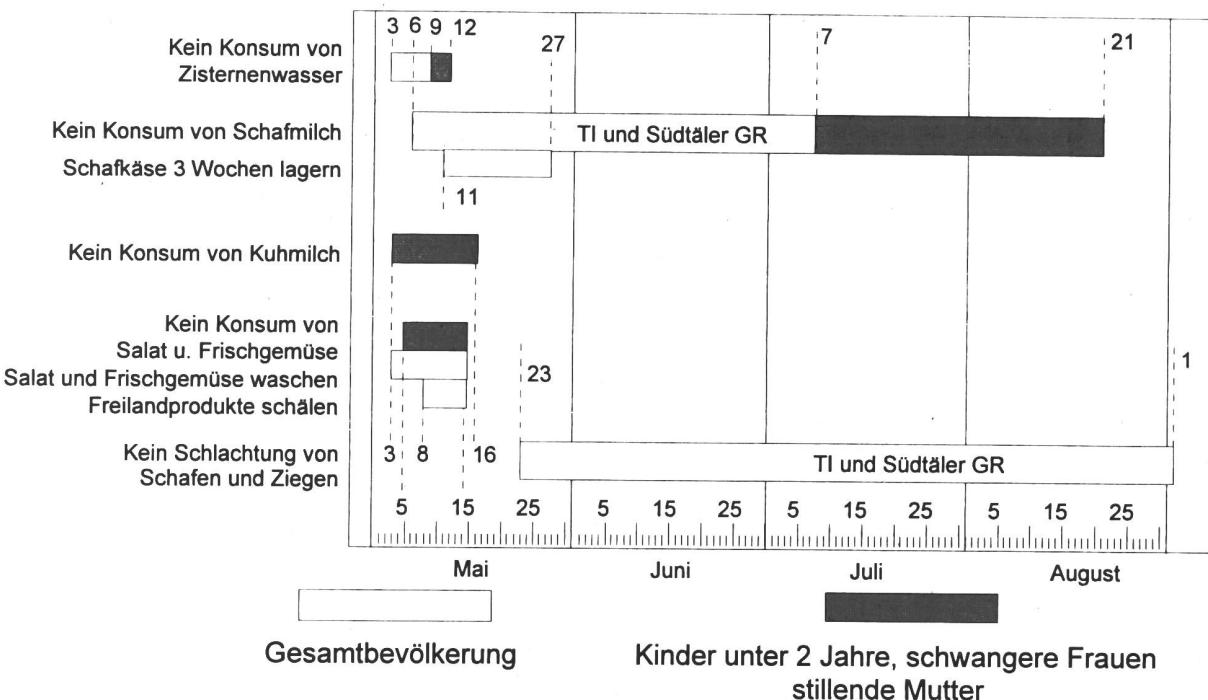


Fig. 5: Rekapitulation der beim Unfall Tschernobyl an die Bevölkerung abgegebenen Empfehlungen (aus KUER-Bericht 1985/86)

In der Vorbereitungsphase zum Schutz der Bevölkerung bei erhöhter Radioaktivität hatte die Eidg. Kommission für AC-Schutz auch Massnahmen auf dem Milchsektor mit dem Zentralverband Schweizerischer Milchproduzenten (ZVSM) besprochen und geregelt. Danach kann das I-131-Problem in der Milch beseitigt und die Gefährdung durch Cs-134 und Cs-137 entschärft werden, indem aus der Milch Rahm, Butter oder Käse hergestellt wird und diese Produkte einige Zeit gelagert werden. Beim späteren Konsum ist dann das I-131 abgeklungen und die Konzentration der radioaktiven Cs-Isotope durch Abreicherung bei der Herstellung vermindert. Im Kanton Tessin wurde daher ab dem 7. Mai 1986 Milch aus den Sammelstellen mit mehr als 370 Becquerel I-131/l in einen Milchverarbeitungsbetrieb der Innerschweiz umgeleitet und dort zu Milchprodukten verarbeitet. Bis zum 27. Mai 1986 gelangten mehr als 100'000 Liter in die Innerschweiz, nachher noch ca. 20'000 Liter in eine Weich- und Halbhartkäserei der Innerschweiz. Die Milch aus den verschiedenen Regionen des Tessin wurde täglich untersucht und wies Anfangs Mai Spitzenwerte bis 2000 Becquerel I-131/l auf, nahm jedoch in der Folge rasch wieder ab. Da das Gras Anfangs Mai 1986 in raschem Wachstum stand betrug die effektive Halbwertszeit von Jod-131 beim Ereignis Tschernobyl etwa 5 Tage, die physikalische Halbwertszeit des Jod-131 liegt bei 8 Tagen. Mit dieser Massnahme konnte die Jod-Dosis allgemein für die Bevölkerung reduziert werden, auch für Risikogruppen wenn diese die Empfehlungen nicht eingehalten hätten. Trinkt beispielsweise ein Kleinkind während 10 Tagen täglich 0.7 Liter Milch mit 370 Bq/l I-131, dann beträgt seine I-131-Aufnahme 2600 Bq, was zu einer Schilddrüsendosis von 10 mSv führt, entsprechend einer Ganzkörperdosis von 0.5 mSv. Der Grenzwert für die

Schilddrüsendosis von 15 mSv für Kinder der damaligen Strahlenschutzverordnung konnte somit im allgemeinen eingehalten werden.

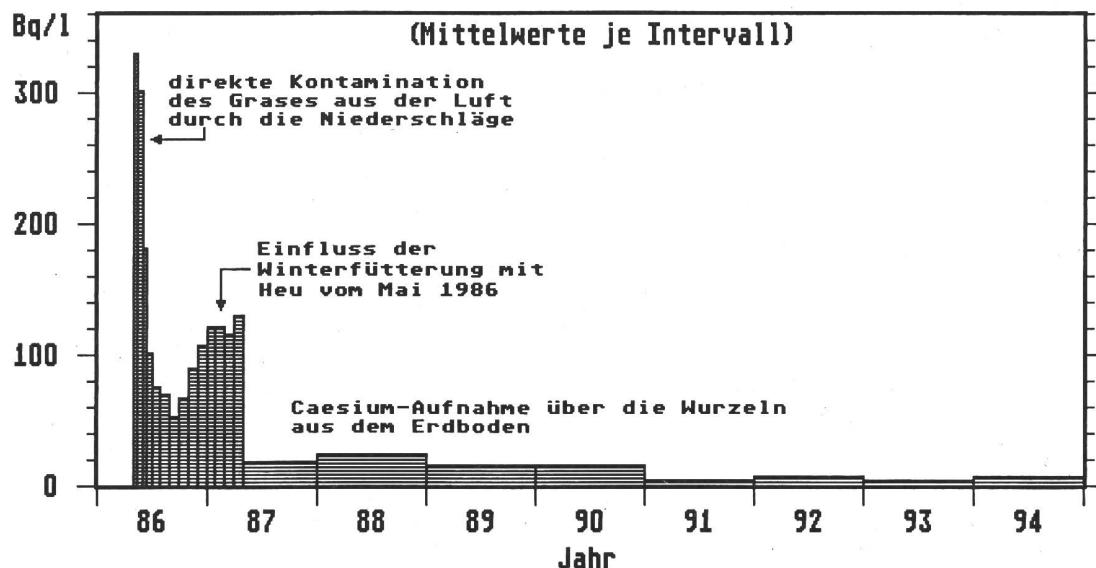


Fig. 6: Zeitlicher Verlauf der mittleren Caesium-137-Aktivität in Milchproben, angegeben in Becquerel pro Liter, aus dem Kanton Tessin 1986-1994

Das einzige Verbot, das auf Antrag der «Gesamtleitung Tschernobyl» vom Bundesrat erlassen wurde, galt der Fischerei im Lugarnersee vom 3. September 1986 bis 9. Juli 1988. Die Fische im Lugarnersee wiesen noch 1987 Aktivitätskonzentrationen von über 1000 Bq Cs-137 pro kg auf (siehe **Fig. 6**). Deren Aktivität nahm wegen der relativ langen biologischen Halbwertszeit von Caesium im lebenden Fisch von 200 bis 300 Tagen nur langsam ab. Die Berufsfischer wurden vom Bund über den Kanton Tessin entschädigt.

Für Lebensmittel wurde in einer Verordnung vom Eidg. Departement des Innern vom 8. September 1986 - in Anlehnung an entsprechende Vorschriften der Europäischen Gemeinschaft - die Konzentration der beiden Nuklide Cs-134 und Cs-137 zusammen auf 370 Bq/kg für Milch, Rahm, Milchkonserven und Kindernährmittel, bzw. 600 Bq/kg für alle übrigen Lebensmittel begrenzt.

1.2.5. Die einzelnen Beiträge zur Strahlenexposition

Betrachtet man die radiologischen Auswirkungen dieses Ereignisses auf die Schweizer Bevölkerung, so lassen sich die folgenden Komponenten zur Strahlendosis unterscheiden: a) Die externe Bestrahlung durch die radioaktive Wolke in den ersten Tagen nach dem Unfall war unbedeutend. b) Die interne Dosis durch inhalierte radioaktive Aerosole und Jod beim Vorbeizug der radioaktiven Wolke während der ersten Maiwoche war mit höchstens 0.01 mSv ebenfalls gering, mit kleinen regionalen Unterschieden. c) Nach wenigen Tagen dominierte die externe Dosis durch die auf dem Boden abgelagerten Radionuklide; d) nachher der Ingestionspfad, d.h. die interne Dosis durch Aufnahme von Radioaktivität mit pflanzlicher und tierischer Nahrung. Die letzten zwei Beiträge machten im schweizerischen Durchschnitt im Jahr 1986 für die externe Bestrahlung 0.07 und für die interne Bestrahlung 0.17 mSv aus (siehe **Tab. 2**), im meistbetroffenen Tessin: 0.18 bzw. 0.78 mSv. Bei den Selbstversorgern aus dem Tessin, waren diese Werte im ungünstigsten Fall, falls sie die Empfehlungen nicht eingehalten haben, bis 10 mal höher.

Für die Ingestionsdosis war in den ersten Wochen nach dem Unfall die direkte Kontamination der Pflanzen durch Ablagerung aus der Luft verantwortlich; es waren somit in erster Linie Blattgemüse sowie - über den Pfad Gras --> Tier - die Milch, die Milchprodukte und das Fleisch dieser Tiere betroffen (siehe Tab. 1). Im Mai 1986 stammte der grösste Anteil der Aktivität vom kurzlebigen I-131 (Halbwertszeit 8 Tage), später durch die beiden Nuklide Cs-134 und Cs-137 mit Halbwertszeiten von 2 bzw. 30 Jahren. Weitere Radionuklide, wie etwa Sr-90 (Halbwertszeit 28 Jahre) oder Pu-239 (Halbwertszeit 24'400 Jahre) wurden zwar nachgewiesen, sie spielten jedoch radiologisch keine Rolle: Beispielsweise lag die Sr-90-Aktivität bei einem Prozent derjenigen des Cs-137, dies im Gegensatz zum Kernwaffenausfall der 50er- und 60er-Jahre wo Cs-137 und Sr-90 etwa gleich stark abgelagert wurden.

Tabelle 1: Übersicht über den I-131- und Cs-137-Gehalt von Futter- und Lebensmittel von Anfang Mai 1986 bzw. vom Winter 1986/87, angegeben in Bq/kg Frischgewicht bzw. in Bq/l. Die Zahlenwerte Mittelwert: z.B. 1400 (4000).

Probe	Isotop	Tessin	Ost-Schweiz	Zentral-Schweiz	West-Schweiz
Gras erste Mai-Hälfte	I-131	2100	3000	3000	1300
	Cs-137	2200	1200	1200	300
Milch Anfangs Mai	I-131	500	450	300	150
	Cs-137	330	120	70	32
Salat erste Mai-Hälfte	I-131	1400	1000	650	330
	Cs-137	1300	300	220	60
Spinat erste Mai-Hälfte	I-131	2300	1200	1000	900
	Cs-137	1300	300	150	100
Wildfleisch	Mai 86: Cs-137	1400	900	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	150	50	---	---
Rindfleisch	Mai 86: Cs-137	550	150	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	300	15	---	---
Schweine- fleisch	Mai 86: Cs-137	---	80	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	---	10	---	---
Kaninchen	Mai 86: Cs-137	600	---	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	300	---	---	---
Schafe / Ziegen	Mai 86: Cs-137	1600	350	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	200	10	---	---
Fische	See:	Luganersee:	Bodensee:	---	---
	Mai 86: Cs-137	1300	250	---	---
	Wi 86/87:Cs-137	1300	200	---	---

Milch als wichtiges Grundnahrungsmittel stand von Anfang im Vordergrund der Überwachung. I-131 erreichte in der Milch schon nach wenigen Tagen ein Maximum und nahm nachher mit einer effektiven Halbwertszeit von 4 - 5 Tagen rasch wieder ab. Beim Cs-137 war der Anstieg langsamer, das flachere Maximum wurde nach etwa 10 Tagen erreicht und die Abnahme erfolgte mit einer effektiven Halbwertszeit von 10 bis 15 Tagen. In Schafmilchproben war der Cs-137-Gehalt 1 bis 3 mal (Ziegenmilch: 1 - 2 mal) höher als in der Kuhmilch, der I-131-Gehalt 5 bis 20 mal höher (Ziegenmilch 2 bis 7 mal). In Muttermilch war sowohl der Cs-137- als auch der I-131-Gehalt 20

bis 30 mal tiefer als in Kuhmilch. Bei der Verarbeitung der Milch zu Käse geht ein Grossteil der Aktivität, nämlich 93 Prozent des Cs-137 bzw. 73 Prozent des I-131 in die Molke und nicht in den Käse. Da zudem der Hartkäse bis zum Konsum einige Zeit gelagert wird, spielt I-131 beim Käse keine Rolle.

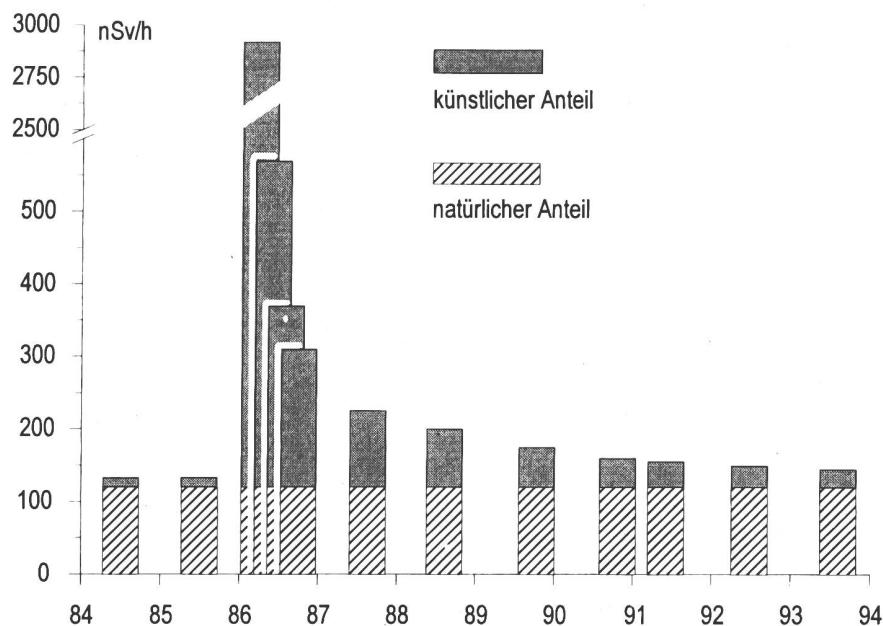


Fig. 7: Zeitlicher Verlauf der Ortsdosisleistung (natürlicher und künstlicher Beitrag; d.h. Kernwaffenausfall und Unfall Tschernobyl) in Caslano /TI, berechnet aus den Messungen mit in-Situ-Spektrometer, 1984-1994 (aus KUER-Bericht 1994), angegeben in nSv/h (= 10^{-9} Sievert pro Stunde)

Bei den im Sommer und Herbst 1986 nachwachsenden Pflanzen wurde die Aktivität nur noch über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen, weshalb deren Aktivitätswerte rund eine Größenordnung tiefer sind als bei direkter Kontamination durch Aktivitätsablagerung aus der Luft. Da die letztere eine wichtige Rolle spielte, wiesen Wurzelgemüse nur geringe Cs-137-Aktivitäten auf, meist unter 10 Bq/kg. Da im Winter 1986/87 auch Heu verfüttert wurde, das im Mai/Juni 1986 geerntet worden war einen und erhöhte Cs-137-Gehalt aufwies, kam es bei Milch und Milchprodukten, nochmals zu einen, allerdings nicht mehr so ausgeprägten, Anstieg der Aktivität. Der zeitliche Verlauf der Caesium-137-Aktivität in der Milch aus dem Tessin ist auf der Fig. 7 dargestellt. Deutlich erkennbar sind: a) die direkte Kontamination des Grases durch Ablagerung aus der Luft im Mai/Juni 1986; b) der Winteranstieg durch Verfüttern von kontaminiertem Heu von 1986; c) die Aktivitätsaufnahme über die Wurzeln des Grases ab Sommer 1987. Was die Hauptnahrungsmittel Milch und -Produkte, Gemüse, Getreide, Fleisch von Grossvieh betrifft, war die Lage ab Sommer 1986 schon wesentlich entschärft und ab Sommer 1987 praktisch wieder normal.

Heute, nach zehn Jahren, ist die externe Dosis durch das auf dem Boden abgelagerte langlebige Caesium-137 - der Beitrag durch die kurzlebigen Radionuklide verschwand bereits nach wenigen Wochen - in den meistbetroffenen Gegenden immer noch messbar: Da das Caesium allmählich in den Erdboden eingedrungen ist, hat dessen Beitrag jedoch deutlich abgenommen. Dies ist auf Fig. 8 am Verlauf der externen Dosis im Freien am Beispiel von Caslano/TI, einer der meisbetroffenen Stellen, zu erkennen.

1.2.6. Spezialfälle: Wild und Pilze

Lediglich bei gewissen Wildpilzen sowie beim Wild und teilweise auch beim Kleinvieh wie Ziegen und Schafe aus dem Berggebiet erfolgte der Aktivitätsrückgang nur verzögert, da sich diese Tiere vermehrt von stärker

kontaminiertem Gras (beim Wild auch von Pilzen) in den Bergregionen ernähren. Mit Ausnahme gewisser einheimischer Wildpilze wie Maronenröhrlinge und Ziegeunerpilze, die auch heute noch Cs-137-Werte bis gegen 3000 Bq/kg aufweisen, ist beim Wild - sowohl beim einheimischen wie beim importierten - nun auch eine Aktivitätsabnahme festzustellen. Berücksichtigt man aber die geringen durchschnittlichen Konsumraten in der Schweiz sowohl von Wildfleisch (1 kg/Jahr) als auch von frischen Wildpilzen (0.3 kg/Jahr) im Vergleich zu den Hauptnahrungsmitteln, betragen deren Dosisbeiträge nur wenige Prozent der gesamten Ingestionsdosis und sind damit unbedeutend. Interessanterweise stammt das heute noch nachgewiesene Cs-137 in den Pilzen nur zum Teil vom Unfall Tschernobyl, während ein Teil noch vom Atombombenfall der 50er- und 60er-Jahre kommt. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass das Caesium in Waldböden in der obersten - hauptsächlich organischen - Humusschicht stärker gebunden und damit weniger mobil ist als in Acker- und Wiesenböden und von gewissen Pilzen über das Mycel bevorzugt aufgenommen wird.

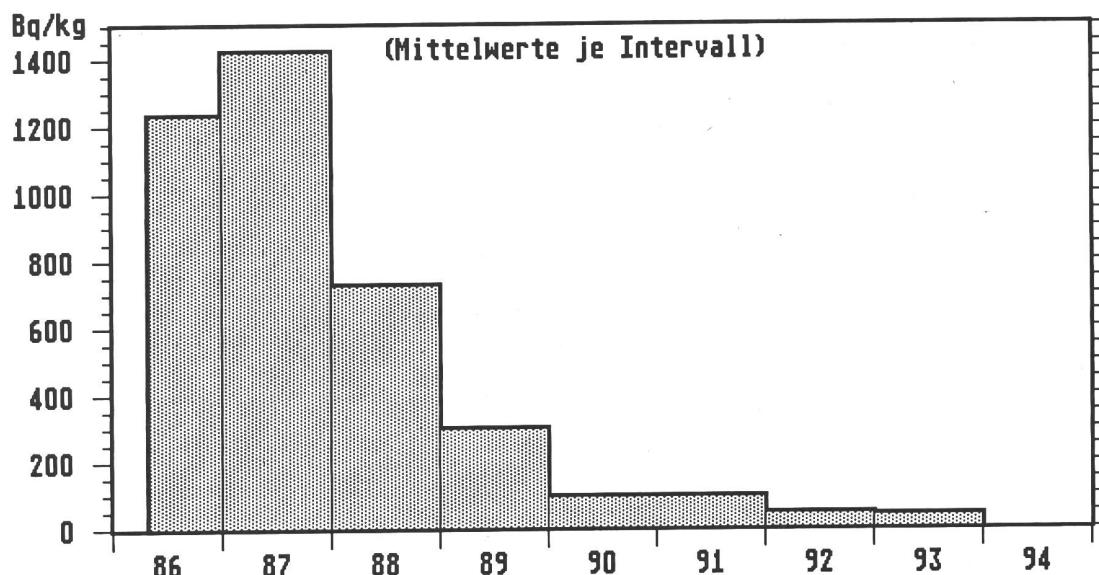


Fig. 8: Zeitlicher Verlauf der mittleren Caesium-137-Aktivität in Fischen aus dem Lüganersee 1986-1993, angegeben in Becquerel pro kg

1.2.7. Radiologische Auswirkungen auf die Schweizer Bevölkerung

Die durchschnittlichen Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung durch den Tschernobyl-Unfall sind in Tab. 2 in mSv/Jahr angegeben. Bei den meistbetroffenen Personen, d.h. Selbstversorgern im Tessin und insbesondere bei Personen, deren Konsumverhalten deutlich vom Durchschnitt abweicht, könnten die Dosen in den ersten drei Jahren in den ungünstigsten Fällen etwa zehn mal höher liegen, als beim Durchschnitt der Bevölkerung, aber nur, wenn die Empfehlungen, die dem obersten Gebot des Strahlenschutzes Rechnung trugen, nicht eingehalten worden sind. Aber auch dann wären keine feststellbaren gesundheitlichen Auswirkungen entstanden. Für 1986 lag die durchschnittliche Strahlendosis im Tessin beim vier-fachen und in der Ostschweiz beim 1.5-fachen der Durchschnittsdosis in der ganzen Schweiz. Der zeitliche Verlauf der Dosisbeiträge im schweizerischen Mittel ist auf der Fig. 9 dargestellt.

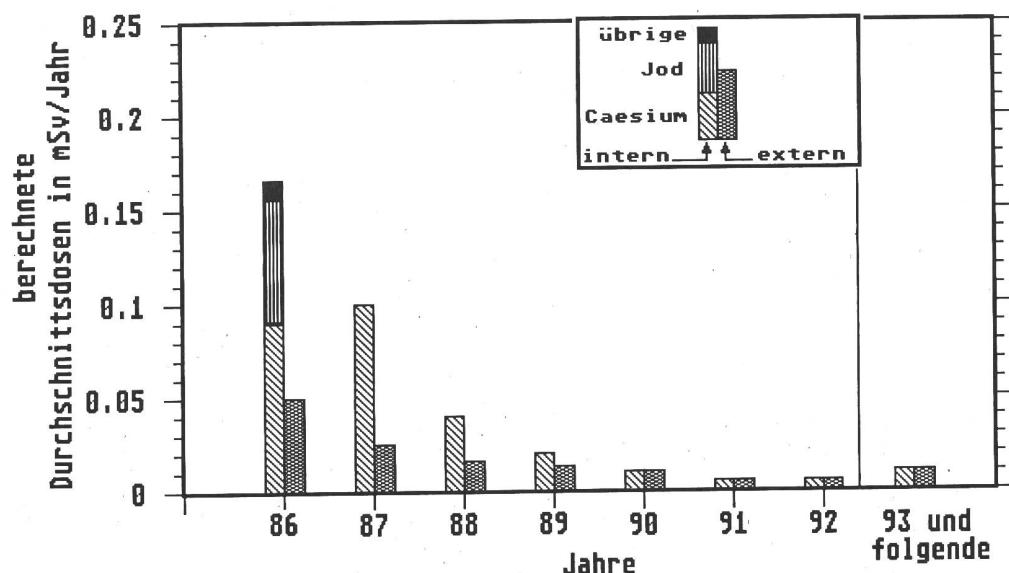


Fig. 9: Zeitlicher Verlauf der mittleren Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung durch den Unfall Tschernobyl 1986-1993, angegeben in milli-Sievert pro Jahr

Tabelle 2: Durchschnittliche jährliche Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung durch den Reaktorunfall Tschernobyl in mSv/Jahr

mSv/Jahr	1986	1987	1988	1989	1990 und folgende	Summe bis 2000
externe Dosen	0.05	0.026	0.017	0.012	< 0.01	0.167
intern: ^{131}I	0.065	—	—	—	—	0.065
intern: $^{134+137}\text{Cs}$	0.09	0.10	0.04	0.02	< 0.01	0.28
intern: übrige kurzlebige	0.01	—	—	—	—	0.01
Summe	0.22	0.13	0.057	0.032	< 0.02	0.52

Die internen Strahlendosen durch das über die Nahrung aufgenommene Caesium wurden auf der Basis der Messungen an Lebensmitteln berechnet. Zur Überprüfung dieser Berechnungen wurden Ganzkörpermessungen, d.h. Messungen des Caesiumgehaltes am lebenden Menschen, an zahlreichen Personen aus verschiedenen Gegenden der Schweiz durchgeführt. Diese bestätigten, dass die Berechnungen konservativ, d.h. auf der sicheren Seite waren.

Im Durchschnitt erhielt die Schweizer Bevölkerung durch die Katastrophe Tschernobyl total eine zusätzliche Strahlendosis von einem halben mSv, mit einer Variationsbreite von ca. 0.2 bis 5 mSv. Zum Vergleich betrug die gesamte durchschnittliche Strahlendosis, die wir in der Schweiz durch den radioaktiven Ausfall der Kernwaffenversuche der 50er- und 60er-Jahre erhalten haben, etwa 1.2 mSv.

Für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen auf die schweizer Bevölkerung in Form von zusätzlichen Krebsfällen oder Missbildungen ist die mittlere Dosis von 0.52 mSv durch die Katastrophe Tschernobyl zur durchschnittlichen natürlichen Strahlenexposition während einer Generation in Bezug zu

Diese beträgt ohne Radon rund 35 mSv. Tschernobyl führte somit zu einer Dosiserhöhung von rund 1.5 Prozent. Die jährliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung beträgt inklusive Radon dauernd rund 4 mSv/Jahr im Mittel, mit einem Wertebereich von 1 bis über 100 mSv/Jahr. Im Vergleich dazu ist die gesamte Folgedosis durch den Unfall Tschernobyl mit einem Wertebereich von 0.2 bis 5 mSv unbedeutend, ebenso auch deren gesundheitlichen Auswirkungen in der Schweiz.

1.2.8. Schlussfolgerungen

Der Unfall Tschernobyl war für eine weite Umgebung des Werkes eine echte Katastrophe, zu deren Bewältigung es auch heute noch grosser Anstrengungen bedarf. Die betroffenen Personen und Länder verdienen unser Mitgefühl und benötigen echte materielle Hilfe über lange Zeit. In der Schweiz haben die verantwortlichen Strahlenschutzsachverständigen gemäss dem vorbereiteten *Dosis-Massnahmen-Konzept* gehandelt, die gewonnenen Daten ausgewertet und den Behörden keine übertriebenen oder ungerechtfertigten Massnahmen empfohlen. Das 1982 für einen solchen Fall erarbeitete *Dosis-Massnahmen-Konzept* hat sich bewährt. Die elektronischen Medien und die Presse zeigten ein starkes Interesse, kommentierten aber teilweise die Pressemitteilungen und die Lage nicht immer sachgerecht und trugen zu einer gewissen Verunsicherung der Bevölkerung bei. Aus heutiger Sicht ergibt sich, dass die radiologische Lage damals richtig eingeschätzt wurde und dass die Auswirkungen dieser zusätzlichen Strahlendosen auf Mitteleuropa und die Schweiz glücklicherweise gering sind. Bei den Extremsituationen, wie etwa Selbstversorger in der Ostschweiz und im Tessin, dürften die Dosen etwa zehn mal höher als im Durchschnitt gewesen sein, blieben aber radiologisch immer noch unbedeutend. Auch die Schilddrüsendosis durch radioaktives Jod bei Kindern unter 2 Jahren war unter 8 mSv bei den Meistbetroffenen, falls die Empfehlungen der «*Einsatzgruppe*» eingehalten wurden, betrug aber höchstens 35 mSv falls die Empfehlung nicht eingehalten wurden, was jedoch noch keine Organschäden zur Folge hat.

Die Reaktorkatastrophe Tschernobyl hat dazu geführt, dass die bei der Notfall- und Messorganisation schon lange als notwendig erkannten Verbesserungen vorgenommen und die notwendigen Geldmittel bereitgestellt wurden. Erst nach Tschernobyl wurde die Bedeutung der bisher geleisteten Arbeit und die Notwendigkeit, der vorgeschlagenen Erweiterungen erkannt. Seither wurde eine neue Strahlenschutzgesetzgebung erstellt, die Messorganisation durch Erhöhung der Kapazität verbessert, die automatischen Überwachungsnetze (Ortsdosen landesweit und in der Umgebung der Kernkraftwerke; Radioaktivität der Aerosole) ausgebaut, die nationale Einsatzorganisation und das *Dosis-Massnahmen-Konzept* in Verordnungen verankert, die Mittel zur Warnung und Information von Bevölkerung und Behörden verbessert sowie die internationale Zusammenarbeit intensiviert und durch Abkommen über die rasche gegenseitige Benachrichtigung bei Unfällen ergänzt.

1.3. Der Unfall von Tschernobyl und seine Auswirkungen auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung

J. Locher Nuklearmedizinische Abteilung; Radiologischen Instituts; Kantonsspital Aarau
Bucherstrasse, 5000 AARAU

1.3.1. Einführung

Am 26. April 1986 explodierte der 4. Block der Kernkraftwerkanlage von Tschernobyl. Enorme Mengen radioaktiver Stoffe wurden aus dem brennenden Reaktor freigesetzt und zum grossen Teil im Umkreis von ein paar 100 km um den zerstörten Reaktor wieder abgelagert, zum Teil aber auch über die ganze nördliche Hemisphäre verteilt.

Obwohl Tschernobyl in die Kategorie der grösstmöglichen Kernkraftwerk-Unfälle gehört, war die Zahl der akuten Todesfälle nicht sehr gross. 28 Personen starben an den akuten Folgen einer hohen Strahlenexposition in den ersten Monaten. In der Folge starben weitere 14 Personen, wobei bei einigen Todesfällen, die Strahlung als Verursacher wahrscheinlich erscheint. Zudem waren zwei Unfalltote und ein Todesfall wegen Herzinfarkt zu beklagen. Die sozialen Folgen der Katastrophe waren aber riesig. Schon in den ersten Tagen wurden über 100'000 Personen aus der 30 km-Zone rund um den verunfallten Reaktor evakuiert. Für weitere stark kontaminierte Gebiete wurde später die Evakuierung angeordnet; zum Teil gingen die Leute auch aus eigenem Antrieb weg. Man schätzt, dass etwa 400'000 Personen ihren Wohnort verlassen haben. Etwa 600'000 Personen wurden zur Unfallbekämpfung und zu Dekontaminationsarbeiten eingesetzt. Speziell in den ersten Wochen und Monaten nach dem Unfall erhielten diese Leute recht hohe Dosen. Zudem wurde der Lebensraum von Millionen von Menschen mehr oder weniger stark kontaminiert.

Es steht ausser Frage, dass die Gesundheit der unmittelbar betroffenen Bevölkerung stark geschädigt worden ist. Wenn man aber unvoreingenommen nach den Gründen für den schlechten Gesundheitszustand der Bevölkerung in jener Gegend fragt, so stellt man fest, dass ein ganzes Spektrum von zumeist negativen Effekten zu beobachten ist und erst das Zusammenspiel dieser Effekte hat die heutige Situation hervorgerufen, unter der die Bevölkerung offensichtlich leidet. Es lohnt sich, auf diese Effekte genauer einzugehen.

1.3.2. Strahleneffekte

1.3.2.1 Akute Effekte

Die Einsatzkräfte, die in der ersten Unfallphase speziell zur Bekämpfung des Brandes eingesetzt wurden, erhielten hohe Dosen. Etwa 200 Personen wurden wegen akutem Strahlensyndrom unterschiedlichen Schweregrads hospitalisiert. Zusätzlich gab es schwere Hautverbrennungen als Folge der Hautkontaminationen mit radioaktiven Substanzen (β -burns). Alle gestorbenen Patienten hatten Dosen von mehr als 4 Gy erhalten; Dosen über 6 Gy führten in der Regel zum Tode (1).

1.3.2.2 Späteffekte

Bei den Einsätzen zur Unfallbekämpfung, die unmittelbar nach der Brandbewältigung nötig waren - wie Aufräumarbeiten und der Bau des Sarkophags - war man bestrebt, Dosen zu vermeiden, die zum akuten Strahlensyndrom führen. Aber die Dosen dieser Einsatzkräfte (Liquidatoren) waren hoch. Man muss davon ausgehen, dass bei diesen Einsatzkräften deshalb vermehrt Krebserkrankungen auftreten werden, und Untersuchungen zur Erfassung des Gesundheitszustandes der in der Frühphase eingesetzten Liquidatoren haben begonnen. Bis heute liegen noch keine aussagekräftigen Resultate vor. Von verschiedener Seite wird aber übereinstimmend

bestätigt, dass der allgemeine Gesundheitszustand dieser Leute schlecht ist. Auf diese Befunde soll später kurz eingegangen werden.

In den ersten Jahren nach dem Unfall von Tschernobyl wurde von offizieller sowjetischer Seite auf die enormen Anstrengungen hingewiesen, die geleistet worden waren, um die Menschen in der akuten Phase des Unfalls zu schützen. Über 100'000 Personen waren in den ersten 10 Tagen evakuiert worden, Kaliumiodid zum Schutz der Schilddrüsen war an über fünf Millionen Leute - primär Kinder - abgegeben worden. Kontaminierte Lebensmittel waren aus dem Verkehr gezogen worden. 1988 proklamierte der damalige Gesundheitsminister der USSR, die Krise sei überwunden und die Gesundheit der Menschen sei wegen Tschernobyl nicht beeinträchtigt worden (2).

Nach 1990 hörte man aber erste Berichte über einen Anstieg der Schilddrüsenkrebs-Inzidenz bei Kindern und Jugendlichen in der Umgebung von Tschernobyl. Die heute bekannten Zahlen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Schilddrüsenkrebs-Inzidenz von 1986-1995 bei Personen in Weissrussland, der Ukraine und den russischen Provinzen Bryansk und Kaluga, die zur Zeit des Unfalls bis 14 Jahre alt waren.

Fälle pro Jahr	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	Total
Weissrussland	2	4	5	7	29	59	66	79	82	91	424
Ukraine	8	8	11	23	40	42	75	75	80	?	362*
Russland	0	1	0	1	8	8	8	12	33	33	104

* Unvollständige Zahl

Dieser Sachverhalt ist durch internationale Untersuchungen bestätigt worden. Zu erwähnen ist, dass der Anstieg der Schilddrüsenkrebs-Inzidenz nur bei Kindern feststellbar ist, die vor 1987 geboren wurden. Damit steht eindeutig fest, dass diese Krebsfälle dem Unfall von Tschernobyl zuzuschreiben sind. Als Verursacher muss in erster Linie das freigesetzte, rasch zerfallende Radioiod in Betracht gezogen werden, dem auch die werdenden Kinder im Mutterleib ausgesetzt waren. Da eine zuverlässige Schilddrüsen-Dosimetrie bis heute nicht vorliegt, kann die Frage, ob primär das inhalede kurzlebige Radioiod oder das längerlebige Iod-131, das nebst der Atemluft auch über die Milch aufgenommen wird, als Verursacher bezeichnet werden muss, nicht abschliessend beurteilt werden. Letzteres ist viele Jahre in der Medizin für Diagnose und Therapie fast ausschliesslich bei erwachsenen Personen eingesetzt worden, und man hat nie nachteilige Folgen feststellen können, obwohl daran gesucht worden ist.

Entgegen den offiziellen Beschwichtigungen sind somit eindeutige Schädigungen als Folge von Tschernobyl festzustellen. Dieser Sachverhalt hat zur Verängstigung der betroffenen Bevölkerung beigetragen, sowie die Glaubwürdigkeit der offiziellen Stellen, um die es ohnehin nicht zu gut bestellt war, weiter untergraben. Denn diese mussten eingestehen, dass viele der Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung in der akuten Unfallphase zu spät erfolgten und damit ohne grosse Wirkung waren.

Man weiss auf Grund der Studien in Hiroshima und Nagasaki und anderer Studien, dass die durch externe Strahlung verursachte, erhöhte Schilddrüsenkrebs-Inzidenz auch 40 Jahre nach der Bestrahlung noch nachweisbar ist (3). Auf Grund dieser Erfahrung und des Befunds, dass in den letzten 6 Jahren über 800 zusätzliche Fälle im Gebiet von Tschernobyl festgestellt wurden, ist zu befürchten, dass mehrere Tausend solcher Krebsfälle noch zu erwarten sind. Eine kleine Hoffnung, dass alles doch besser enden möge, liegt lediglich in der Tatsache, dass bis heute keine vergleichbare Situation untersucht werden konnte, und Überraschungen (positiver oder negativer Art) sind in einem solchen Fall immer möglich.

Positiv zu vermerken ist, dass bis heute selbst bei Kindern keine eindeutig erhöhte Leukämie-Inzidenz festgestellt werden konnte (4), obwohl die Leukämieerkrankungen in Hiroshima und Nagasaki schon 2 Jahre nach dem Bombenabwurf anzusteigen begannen. Es ist zu erwarten, dass die Zahl der durch den Unfall bedingten zusätzlichen Krebserkrankungen für die meisten Krebsarten so tief ist, dass sie in der ohnehin nicht speziell guten Krebsstatistik der betroffenen Staaten nicht auffallen wird. Ausnahmen wird es - zusätzlich zum Schilddrüsenkrebs - vermutlich geben. So ist anzunehmen, dass die sehr seltenen, in Hiroshima und Nagasaki aber sichtbar gewordenen Krebserkrankungen der Nebenschilddrüse in Tschernobyl ebenfalls erkennbar werden.

1.3.3. Ökonomische Probleme

Spricht man über die medizinischen Folgen von Tschernobyl, so sollte man nicht übersehen, dass der Unfall mit der Zeit des wirtschaftlichen Abstiegs der ehemaligen USSR zusammenfällt. Dieser verursachte einen zumindest teilweisen Zusammenbruch der medizinischen Versorgung der Bevölkerung. Man kennt keine genauen Details, aber bruchstückartige Information liegt vor. Z.B. wird über eine Choleraepidemie (5) sowie das Aufflackern von Diphtherie, Tuberkulose und anderen Infektionskrankheiten (6,7) und über einen generellen Rückgang der Lebenserwartung berichtet (8). Die weitgehende Verarmung fällt in der Gegend von Tschernobyl zusammen mit den Strahleneffekten sowie mit der durch den Unfall resultierenden Verängstigung, und es wird sehr schwierig, der allgemein feststellbaren Verschlechterung der Gesundheit Ursachen zuzuweisen. Man muss hinzufügen, dass aus den nicht betroffenen Gebieten auch in finanzieller Hinsicht Hilfeleistung erfolgt. Als Erfolg dieser Hilfeleistung wird gewertet, dass in einigen Unfallgebieten die Kindersterblichkeit in den letzten Jahren zurückging, obwohl in andern der generelle Trend in gegenteiliger Richtung geht (9). In mancher Beziehung scheint diese Hilfe aber nicht sehr erfolgreich zu sein. Davon soll später noch die Rede sein.

1.3.4. Der teilweise Zusammenbruch der Infrastruktur

Auch dazu gibt es keine detaillierte Information; aber in internationalen Berichten wird auf das Problem hingewiesen (10). Der freiwillige Auszug der Fachkräfte hat für die Zurückgebliebenen negative Folgen. Es ist leicht einzusehen, dass z.B. im Sozialbereich tätige Personen wie Pflegepersonal oder auch Ärzte eher die betroffene Gegend verlassen können als Bauern, die auf ihr Land angewiesen sind. Offenbar ist die teilweise schlechte medizinische Versorgung auch aus diesem Grund entstanden.

1.3.5. Angst und Depression

Es ist kaum möglich, über 100'000 Personen umzusiedeln und den Menschen in der noch bewohnten Grenzregion beizubringen, es sei alles in Ordnung. Offenbar herrschte in der Gegend von Tschernobyl schon lange eine grosse Verunsicherung. Aus Angst vor der Kontamination der Lebensmittel hörten die Menschen in den Dörfern auf, ihre eigenen Anbauprodukte zu essen. Es kam zu Mangelerscheinungen. Berichte über Rachitis bei Kindern sowie Anämie bei Schwangeren und Kindern haben hier ihre Ursache. Weitere Zeichen dieser Ängste sind der Geburtenrückgang sowie der vermehrte Alkoholismus. Ende des letzten Jahrzehnts mussten die Behörden durch die Umstände gezwungen zugeben, dass die Katastrophe grösser sei, als sie bis anhin eingestanden hatten. Das vergrösserte die Verängstigung.

Diese Angst ist für Nichtbetroffene kaum nachvollziehbar; aber sie ist nichts Neues. Robert W. Miller, der als Arzt in der ersten Zeit der Untersuchungen in Hiroshima und Nagasaki dabei war, hat die Situation so formuliert "The most common late effect, we sensed, was the fear of late effects - at times disabling" (11). Dasselbe hat sich in Tschernobyl in viel grösserem Massstab wiederholt.

Heute geht man davon aus, dass der andauernde Stress grössere negative Auswirkungen hatte als die Strahlenexposition. Krankheiten mit psychischer Komponente sind keine Seltenheit. Von Schlaflosigkeit über Störungen der Verdauungsorgane bis zu Kreislaufschwierigkeiten ist sehr vieles eingeschlossen. Die Ärzte in der betroffenen Region ordnen diesem schlecht definierten Krankheitsbild die Diagnose "Vegetative Dystonie" zu. Nur

sagt dieser Fachausdruck nicht mehr aus, als dass es sich dabei um psychogene Erscheinungen handelt, in der Regel ohne Organschädigungen. Das zeigt die Schwierigkeit der Situation: Die Leute fühlen sich krank; mit konventioneller Medizin kommt man den Leiden aber nicht bei.

Anzufügen ist, dass diese Leiden aber sehr real sind, auch wenn viele Zusammenhänge unklar sind. Zwar beginnt die molekularbiologische Forschung auch hier, mögliche Verbindungswege aufzuzeigen (12,13). Z.B. bewirkt Stress via Hypothalamus (corticotropin releasing factor), Hypophyse (ACTH) und Nebennierenrinde die Freisetzung von Glucocorticoiden. Letztere sollen die Synthese eines Transcriptionsinhibitors (IκB) bewirken, der die durch Cytokine induzierbare Stimulierung des Immunsystems unterbindet. Die Immunantwort auf Infektionen wird vermindert und es kann zu vermehrten Infektionserkrankungen kommen, ein regelmässig aufgelisteter Befund bei medizinischen Untersuchungen im Gebiet von Tschernobyl. Aber damit, dass man mögliche Zusammenhänge besser zu verstehen beginnt, ist den Betroffenen noch nicht geholfen.

1.3.6. Überforderung der offiziellen Stellen

Die Art, wie die Verwaltung der ehemaligen USSR den Unfall zu bewältigen versuchte, war in mancher Beziehung unglücklich. Es ist schon erwähnt worden, dass über Jahre hinweg versucht wurde, die Katastrophe herunterzuspielen. Als das fehlschlug, wurden neue Umsiedlungen angeordnet. Aber mit Umsiedlungen lässt sich ein solches Problem nicht lösen, denn die Kosten sind enorm und es gibt automatisch neue "meistbetroffene Gebiete". Eine weitere, umstrittene Massnahme waren Kompensationszahlungen an die Bevölkerung, die angeordnet wurden. Diese hatten, überspitzt formuliert, zur Folge, dass die Gesundheit zum Nachteil wurde, denn damit wurde der Anspruch auf eine solche Rente fraglich. Und mit jeder neuen, missglückten Anstrengung wurde das Misstrauen der Bevölkerung grösser, die heute auch ehrliche Information von offiziellen Stellen nicht mehr annimmt. So landete man schliesslich bei der heutigen Situation: Leidtragend ist die apathische, schlecht informierte Bevölkerung, die überzeugt ist, dass der Unfall noch lange nicht ausgestanden sei und dass das Schlimmste erst noch kommen werde. Damit gepaart ist eine weitgehende internationale Gleichgültigkeit, denn sichtbare Erfolge einer Hilfeleistung sind in einer solchen Situation schwerlich zu erwarten.

1.3.7. Schlussbemerkungen

Es ist schwierig, sich aus der Ferne ein zutreffendes Bild zu machen über Tschernobyl. All das hier Gesagte stammt nicht aus eigener Erfahrung, sondern es wurde aus verschiedenen Informationsquellen zusammengetragen. In einigen Bereichen fehlt es an Information, oder sie muss heute noch mühsam erarbeitet werden. So gibt es kaum zuverlässige Dosisbestimmungen aus der akuten Unfallphase. Dosisrekonstruktionen kommen zum Schluss, dass selbst die meistbetroffene Bevölkerung in der Regel keine sehr hohen Dosen erhalten hat. Es gibt aber Ausnahmen. Die wichtigsten sind:

1. Die Kinder: Sie erhielten zum grossen Teil hohe Schilddrüsendosen. Der Grund ist, dass die Schilddrüse aufgenommenes Radioiod speichert, und speziell die (verglichen mit den Erwachsenen) viel kleineren Schilddrüsen der Kinder werden stark belastet. Kinder trinken mehr Milch als Erwachsene, und die Milch enthielt viel radioaktives Iod-131. Da die Schilddrüse der Kinder zudem viel strahlensensibler ist als die der Erwachsenen, ist es nicht überraschend, dass der Schilddrüsenkrebs fast ausschliesslich Kinder trifft.
2. Ein Teil der Liquidatoren erhielt ebenfalls hohe Dosen. Aber akute Strahleneffekte soll es kaum gegeben haben. Deshalb ist selbst bei den Liquidatoren der heute sichtbare, schlechte allgemeine Gesundheitszustand kaum den Dosen anzulasten.

Die Tatsache, dass bis heute kein eindeutiger Anstieg der Leukämie festgestellt werden konnte, erhärtet die Resultate der Dosisrekonstruktionen. Diese ergeben bis heute akkumulierte Ganzkörperdosen, die in der Regel deutlich unter 0.1 Gy liegen. Bei solchen Dosen ist es schwierig, Effekte nachzuweisen; das zeigen die Daten von Hiroshima und Nagasaki.

Trotzdem ist der Gesundheitszustand der betroffenen Bevölkerung schlecht. Das hat wenig mit der Strahlenbelastung zu tun. Mehrere Studien kommen zum Schluss, dass keine Korrelation zwischen dem Kontaminationsgrad einer Gegend und dem allgemein schlechten Gesundheitszustand der Bevölkerung nachzuweisen sei. Das deckt sich mit der Erfahrung der Medizin bezüglich der Auswirkungen ionisierender Strahlung im Dosisbereich unter 0.1 Gy, die in den letzten 100 Jahren gesammelt worden ist. Sicher weiss man nicht alles über diese Auswirkungen, aber ebenso sicher ist, dass man gut informiert ist über die wichtigsten Strahleneffekte. Auf dieser Erfahrung, dem Wissen der Medizin über psychoorganische Effekte, sowie neuer molekularbiologischer Erkenntnisse basiert der Schluss, dass die Ursache für die unbestrittene Gesundheitsschädigung der betroffenen Bevölkerung in erster Linie im psychischen Bereich zu suchen ist. Dieser Schluss ist nicht tröstlich; die Heilung psychischer Leiden ist schwierig. Dass die heutige Situation in der Gegend von Tschernobyl zudem durch den allgemeinen wirtschaftlichen Niedergang und die Verschlechterung der medizinischen Versorgung in der ehemaligen USSR mitgeprägt wird, kann nicht in Zweifel gezogen werden.

1.3.8. Literatur

- (1) A. K. Guskova et al.; acute radiation effects in victims of the Chernobyl nuclear power plant accident. Aus: Sources, effects and risks of ionizing radiation; United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation. 1988 report.
- (2) E.I. Chazov; Eröffnungsrede zur Konferenz: Medical aspects of the Chernobyl accident. IAEA-TECDOC-516, Wien 1989
- (3) E. Ron et al.; Thyroid cancer after exposure to external radiation. A pooled analyses of seven studies. Radiat. Res. 141, 259-277 (1995)
- (4) Health consequences of the Chernobyl accident. Results of the IPHECA pilot projects and related national programmes. WHO, Genf, 1995
- (5) Diphtherie. Bulletin Nr.22/1995, S.3. Bundesamt für Gesundheitswesen
- (6) Russia hit by infectious diseases. Brit. Med. J. 310, 821 (1995)
- (7) Cholera epidemic hits former Soviet states. Brit. Med. J. 311, 529 (1995)
- (8) Life expectancy in Russia falls. Brit. Med. J. 308, 553 (1994)
- (9) J. C. Nénot; Chernobyl: Health management in chaos. Conférence internationale de l'AIEA "Rayonnement et société: Comment appréhender les risques radiologiques". Paris, 24.-28.10.1994
- (10) Vereinigte Nationen; report of the secretary-general to the general assembly: Strengthening of international cooperation and coordination of efforts to study, mitigate and minimize the consequences of the Chernobyl disaster. A/50, 1995
- (11) R. W. Miller; Miller's memories of ABCC-RERF 1953-1990. RERF update 5,(4),7 (1993/1994)
- (12) S. L. Lightman; from stress to cognition. Nature 378, 233 (1995)
- (13) How the Glucocorticoids suppress immunity. Science 270, 232 (1995)