Zeitschrift: Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Herausgeber: Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Band: 29 (1985-1986)

Heft: [3]: Kurzfassung

Rubrik: Die Auswirkungen des Reaktorunfalls Tschernobyl auf die Schweiz

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: 10.10.2025

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

4. DIE AUSWIRKUNGEN DES REAKTORUNFALLES TSCHERNOBYL AUF DIE SCHWEIZ

4.1. Einleitung, Organisation

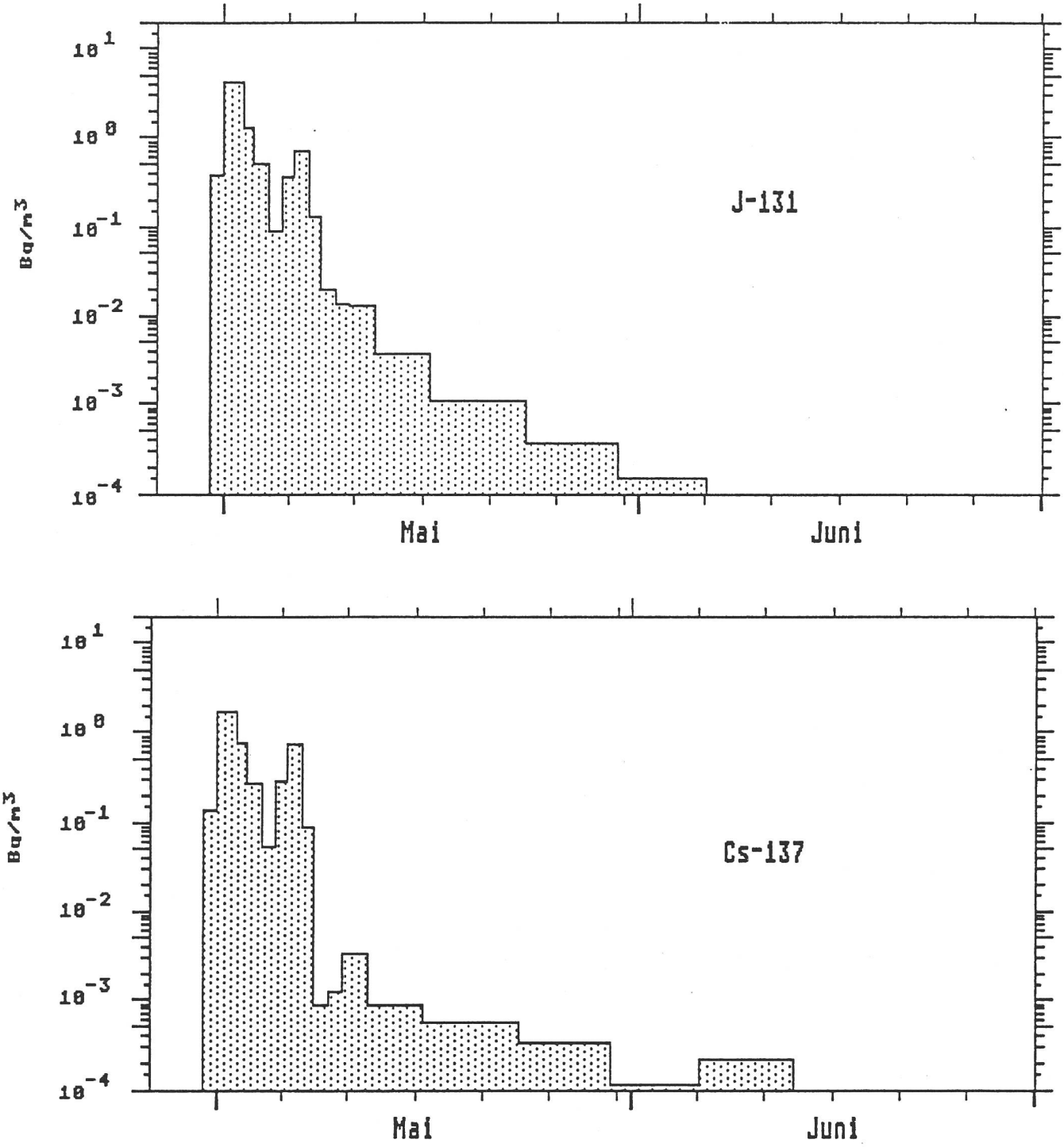
Das Jahr 1986 war gekennzeichnet durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl am 26.04.1986, die auch in unserem Lande zu einer Verstrahlung führte. Vor allem in jenen Gebieten, wo anfangs Mai Niederschläge fielen, kam es zu messbaren Kontaminationen von Boden und Bewuchs und damit von Futter- und Nahrungsmitteln.

Die Schweiz besass als eines der wenigen Länder eine Alarm- und Messorganisation, die auf eine Gefährdung durch Radioaktivität vorbereitet war. Sie ist vom Bundesrat 1962 geschaffen worden. Diese Organisation war in der Lage, die Verstrahlung im ganzen Lande laufend und fristgerecht zu erfassen und rasch Dosisprognosen zu erstellen, die sich auch im Nachhinein als korrekt erwiesen haben. Die Bewertung der radiologischen Lage erfolgte, wie vorgesehen, auf Grund des 1982 veröffentlichten Dosis-Massnahmen-Konzeptes.

4.2. Der zeitliche Ablauf der Verstrahlungslage in der Schweiz

Der Unfall im Reaktor von Tschernobyl war erst am Abend des 28. April 1986 in der Schweiz bekannt geworden, als aus Skandinavien erhöhte Radioaktivität in der Luft gemeldet wurde. Am Vormittag des 30.04.1986 registrierte die Luftüberwachungsanlage auf dem Weissfluhjoch ob Davos einen Anstieg der Luftradioaktivität. Ein Anstieg wurde im Verlauf des Tages auch von den Stationen aus der Westschweiz registriert. Aus dem Unfallreaktor entwich Radioaktivität während rund zehn Tagen. Die künstliche Radioaktivität der Luft war in der Schweiz während etwa einer Woche deutlich

FIGUR 6: J-131 UND CS-137 IN DEN LUFTFILTERN VON LOCARNO, MAI BIS JUNI 1986

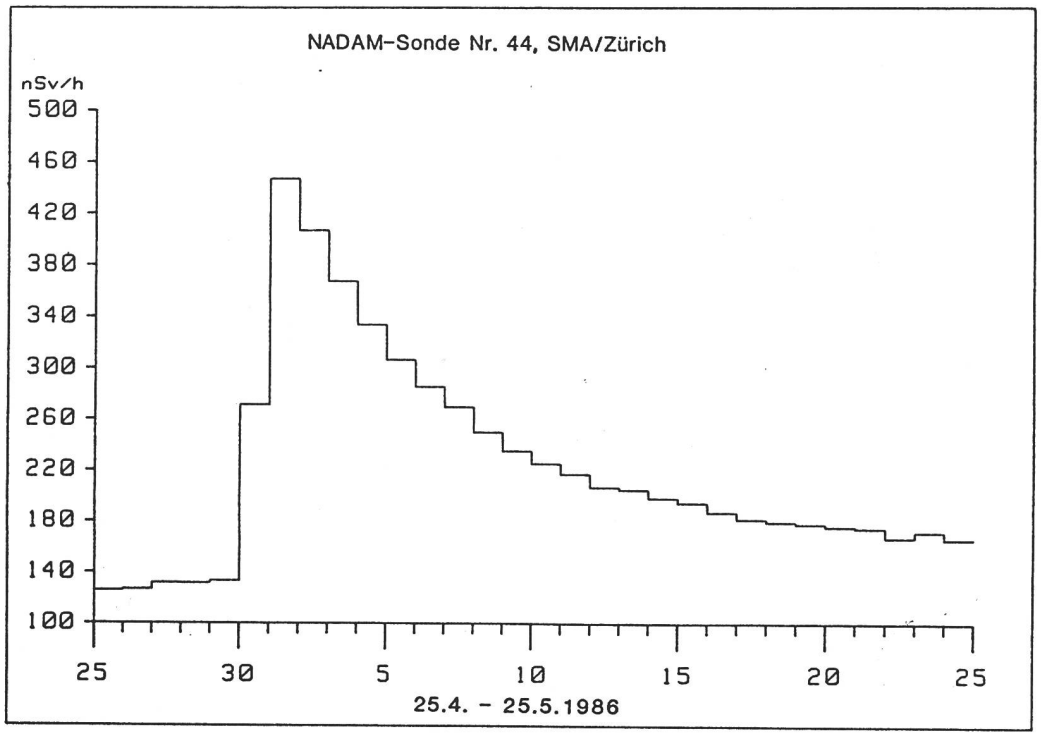


Der rasche Rückgang der Aktivitäten in der Luft ist auf die Verfrachtung und Verdünnung der Luftmassen, auf den Zerfall der kurzlebigen Radionuklide und auf das Auswaschen durch Niederschläge zurückzuführen. Messungen von anderen Nukliden und an anderen Stationen zeigten einen ähnlichen zeitlichen Verlauf.

erhöht (Fig. 6); diese wies jedoch keine grossen regionalen Unterschiede auf.

Am 30.04.1986 führten Niederschläge vor allem in der Ostschweiz zur Ablagerung von Radioaktivität auf dem Boden. Ab dem 03.05.1986 bewirkten dann Niederschläge im Tessin, in den Bündner Südtälern und im Waadtländer Jura ebenfalls stärkere Ablagerungen. Nach dem 10.05.1986 wurde mit den Niederschlägen praktisch keine Radioaktivität mehr abgelagert. Die Erhöhung der Ortsdosisleistung (Fig. 7) rührte von den auf dem Erdboden abgelagerten Radionukliden her.

FIGUR 7: ORTSDOSISLEISTUNG BEI DER SCHWEIZ. METEOROLOGISCHEN ANSTALT IN ZUERICH

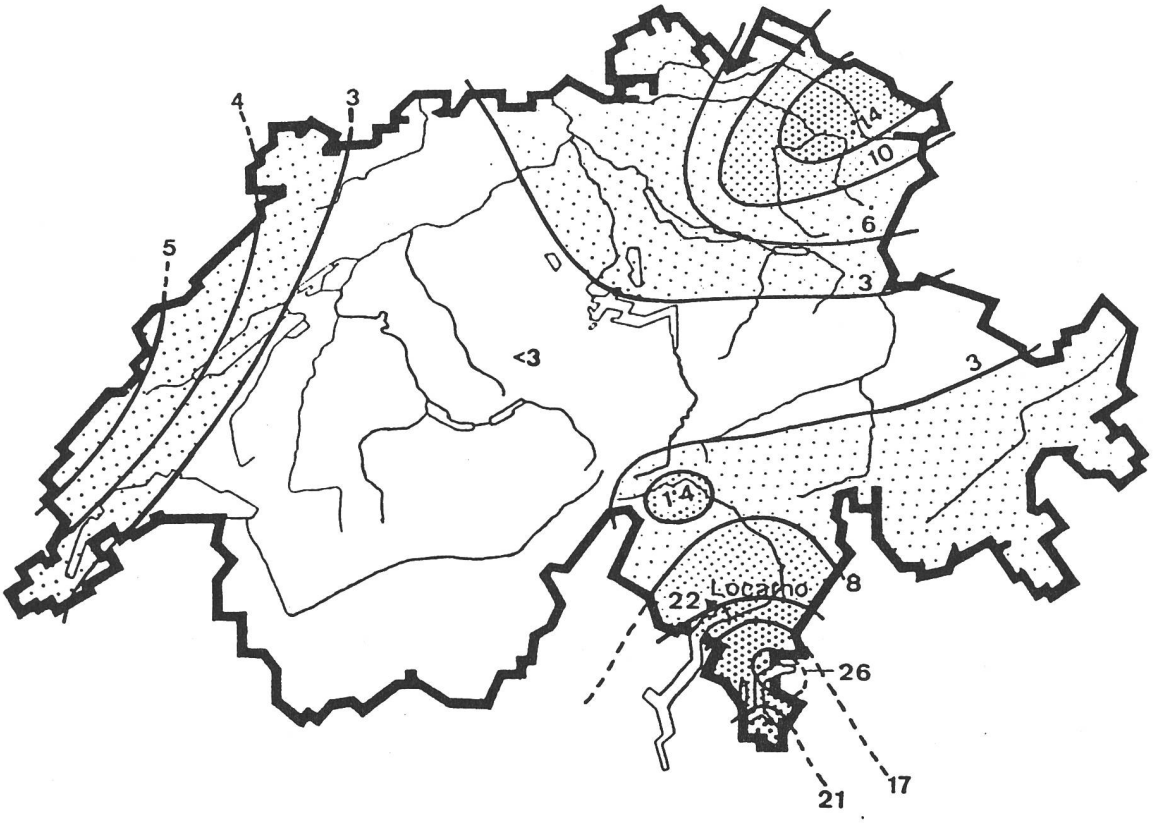


1986 wurde in der Schweiz mit 12 NADAM-Sonden der zeitliche Verlauf der Ortsdosisleistung gemessen (NADAM = Netz für Automatischen Dosis-Alarm und -Messung). Der Rückgang der Werte ist mit dem radioaktiven Zerfall der kurzlebigen, auf dem Boden abgelagerten Nuklide erklärbar.

Mit dem Zerfall der kurzlebigen Nuklide ging diese Erhöhung im Verlauf der ersten Wochen nach dem Unfall erheblich zurück; nachher blieb praktisch nur noch der Beitrag der langlebigen Caesium-Nuklide 134 und 137.

Die einzelnen Gegenden des Landes waren je nach Niederschlagsmengen sehr unterschiedlich verstrahlt (Fig. 8). Betroffen waren vor allem der Tessin, Südbünden, Teile der Ostschweiz und, etwas weniger, auch der Waadtländer Jura.

FIGUR 8: MITTLERE CS-137-ABLAGERUNGEN IN kBq/m²



Entsprechend den Niederschlagsmengen anfangs Mai wurden der Tessin, Teile der Ostschweiz und die Bündner Südtäler am stärksten verstrahlt. Der Waadtländer Jura war etwas weniger betroffen, während die Zentralschweiz und das Wallis die geringsten Bodenbelegungen aufwiesen (Die Werte wurden aus den gemessenen Ortsdosisleistungen berechnet, HSK 1986).

4.3. Die Zusammensetzung der Radioaktivität

Die nach dem Unfall Tschernobyl in unser Land verfrachteten Radionuklide wurden zuerst auf Luftfiltern und in Niederschlagsproben identifiziert. Vom Strahlenschutzstandpunkt aus waren Jod-131, Caesium-134 und Caesium-137 die wichtigsten. Die übrigen Nuklide waren entweder kurzlebig, waren radiologisch weniger gefährlich oder wiesen nur geringe Aktivitätskonzentrationen auf. So betrug beispielsweise die Aktivität von Strontium-90 nur etwa ein Prozent der Caesium-137-Aktivität und Plutonium war in noch viel geringeren Konzentrationen vorhanden. Während der ersten Wochen nach dem Reaktorunfall wurde ein erheblicher Anteil der Strahlendosis von Jod-131 verursacht, das eine Halbwertszeit von acht Tagen hat (Halbwertszeit = Zeitspanne, innerhalb derer die Aktivität auf die Hälfte absinkt). In den nachfolgenden Monaten stammte der Hauptanteil der Strahlendosis von Caesium-134 und -137 mit Halbwertszeiten von zwei resp. dreissig Jahren. Die Dosis entstand hauptsächlich durch die Aufnahme verstrahlter Lebensmittel.

4.4. Die Verstrahlung von Futter- und Lebensmitteln

Entsprechend der Verstrahlungsanlage wurden die zahlreichen Messergebnisse nach vier Regionen aufgeteilt: Tessin und Bündner Südtäler, Ost- und Nordostschweiz, Nord- und Zentralschweiz und Westschweiz. Mit den entsprechenden Messdaten erstellte die Nationale Alarmzentrale die Dosisprognosen. Später wurde die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Schweiz ebenfalls gemäss dieser Aufteilung berechnet.

4.4.1. Gras und Heu

Weil Anfangs Mai die radioaktiven Niederschläge unterschiedlich ergiebig waren, wiesen das Gras und der übrige

Bewuchs auch sehr verschiedene Aktivitätskonzentrationen auf. Beim Jod, das in elementarer Form (J_2) auch trocken abgelagert wird, waren die regionalen Unterschiede etwas weniger ausgeprägt als beim Caesium, das hauptsächlich mit dem Regen ausgewaschen wurde. Während die Mittelwerte für Jod-131 (in Becquerel/kg Gras Frischgewicht) in der Westschweiz bei rund 1300 und im Tessin bei 2000 lagen, betrugen sie für Caesium-137 in der Westschweiz 300 und im Tessin 2000. Dabei wiesen die Einzelwerte gegenüber den Mittelwerten recht grosse Unterschiede bis zu einem Faktor 30 auf. Die Jod-131-Aktivität pro kg Gras nahm mit einer effektiven Halbwertszeit von ca. 4 Tagen, jene von Caesium-134 und -137 mit ca. sechs Tagen ab; dies weil Regen einen Teil der Radioaktivität abwusch, vorwiegend aber wegen der wachstumsbedingten Gewichtszunahme des Grases.

4.4.2. Milch und Milchprodukte

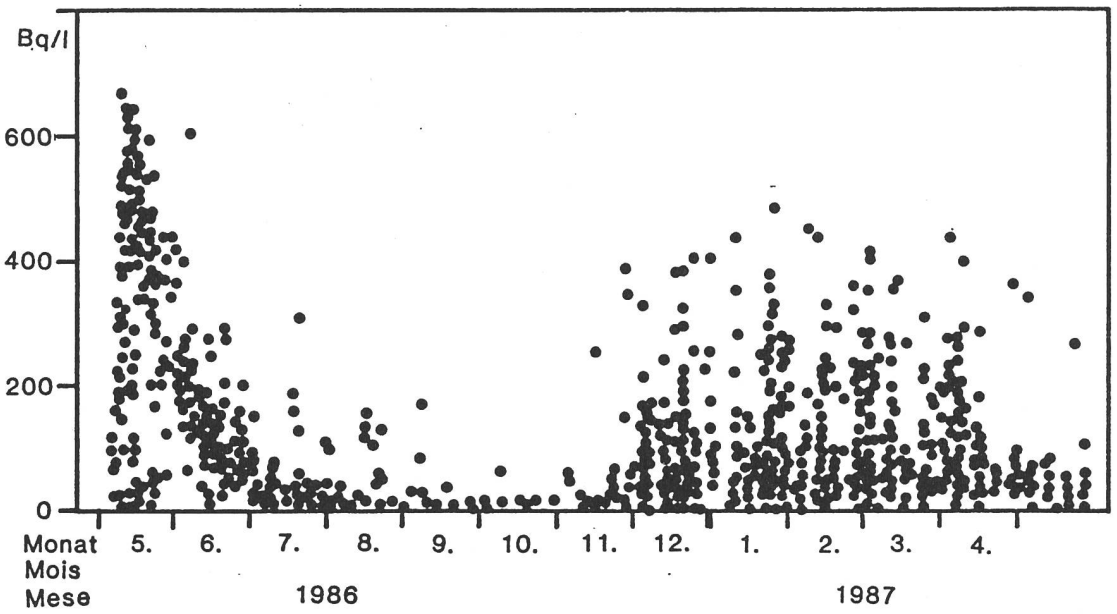
Milch stand von Anfang an im Vordergrund der Ueberwachung, da es als wichtiges Frischnahrungsmittel eine hohe Konsumrate hat, und weil ein beachtlicher Teil der Jodaktivität vom Gras in die Milch übergeht. Die Aktivität der Milch (Fig. 9) zeigte die gleiche regionale Verteilung wie das Gras und ebenfalls eine sehr grosse Streubreite. Die Mittelwerte für Jod-131 bzw. Caesium-137 in Becquerel/Liter Milch lagen Anfangs Mai in der Westschweiz bei 100 - 200 bzw. 20 - 50, im Tessin und der Ostschweiz dagegen je bei 200 - 1000 für beide Nuklide. Dabei war die Aktivität in Sammelmilchproben aus Molkereien tiefer als in Einzelproben direkt ab Bauernhof. Die Aktivität von Jod-131 erreichte in der Milch schon nach wenigen Tagen das Maximum und nahm nachher mit einer effektiven Halbwertszeit von vier bis fünf Tagen ab (Fig. 10). Beim Caesium-137 war der Anstieg langsamer, das flachere Maximum wurde nach etwa zehn Tagen erreicht, und die Abnahme erfolgte mit einer effektiven Halbwertszeit von zehn bis fünfzehn Tagen. In Schafmilchproben war die Radioaktivität im Mittel ein bis drei mal (Caesium-137) bzw. fünf bis zwanzig mal (Jod-131)

höher als in der Kuhmilch derselben Region. In der Ziegenmilch war die Caesium-137 Aktivität gegenüber der Kuhmilch bis zwei mal höher; die Jod-131 Aktivität war zwei bis sieben mal höher.

In Muttermilchproben waren die Caesium-137- bzw. Jod-131-Werte um einen Faktor 20 - 30 tiefer als in der Kuhmilch derselben Region.

Für den Uebergang der Radionuklide von der Milch in Milchprodukte wurden sogenannte Transferfaktoren bestimmt und mit Werten aus früheren Untersuchungen verglichen. Joghurt und Quark wiesen pro kg etwa dieselbe Aktivität auf, wie die verwendete Milch. Bei der Herstellung von

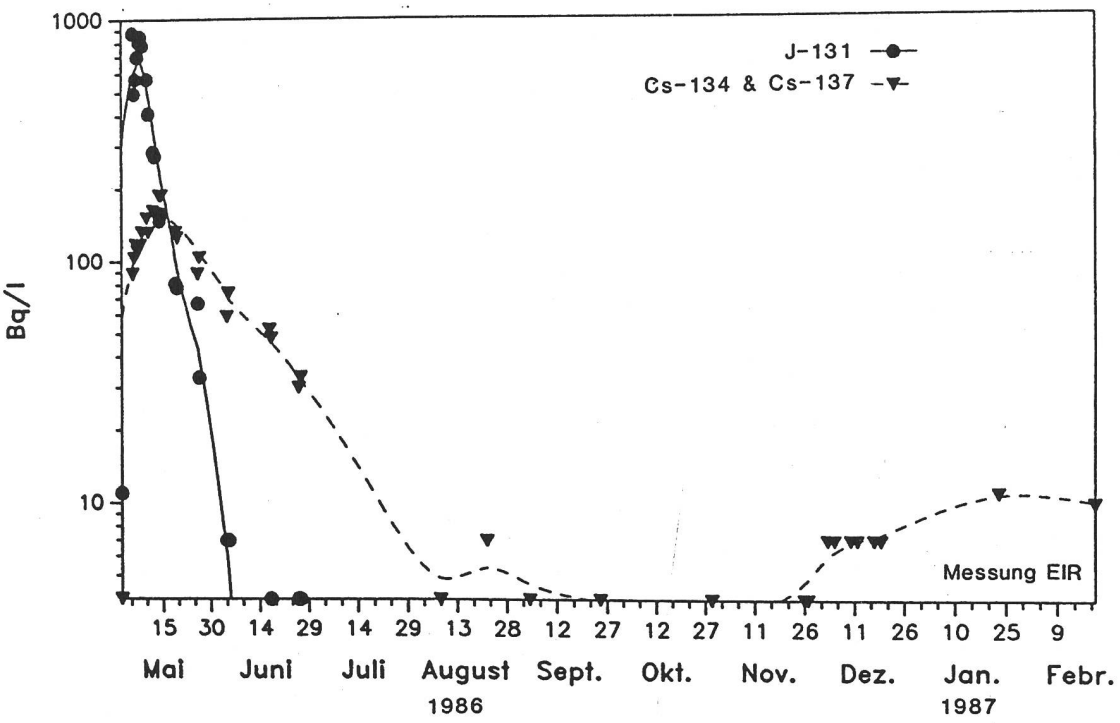
FIGUR 9: CAESIUM-137-AKTIVITAET IN DER KUHMILCH AUS DEM KANTON TESSIN



Der Rückgang der Aktivität in der Milch bis Ende Juni 1986 kommt davon, dass die Aktivität im Gras entsprechend zurückging. Die grosse Streubreite der Aktivität auf dem Gras übertrug sich auf die Werte in der Milch. Im Herbst und im Winter 1986 wurde teilweise verstrahltes Heu vom Mai verfüttert, so dass die Caesium-Aktivität erneut anstieg. Diese Werte waren jedoch im Mittel 2 bis 3 mal kleiner als die Werte im Mai 1986.

Milchpulver geht die Caesium-Aktivität ins Pulver, so dass nach der Herstellung eines Getränkes später wieder dieselbe Aktivität pro Liter entsteht. Vom Caesium in der Milch geht nur etwa 1 % der Aktivität in die Butter und etwa 5 % in den Hartkäse. Beim Jod ist der Anteil der Aktivität, der in den Hartkäse übergeht, mit ca. 25 % höher. Jod-131 spielt beim Konsum von gelagertem Hartkäse jedoch keine Rolle, da es während der Lagerung zerfällt. Der grösste Teil der Aktivität der Milch geht in die Molke: ca. 92 % beim Caesium und 72 % beim Jod.

FIGUR 10: RADIONUKLIDE IN DER MILCH AUS OBER-BOEZBERG

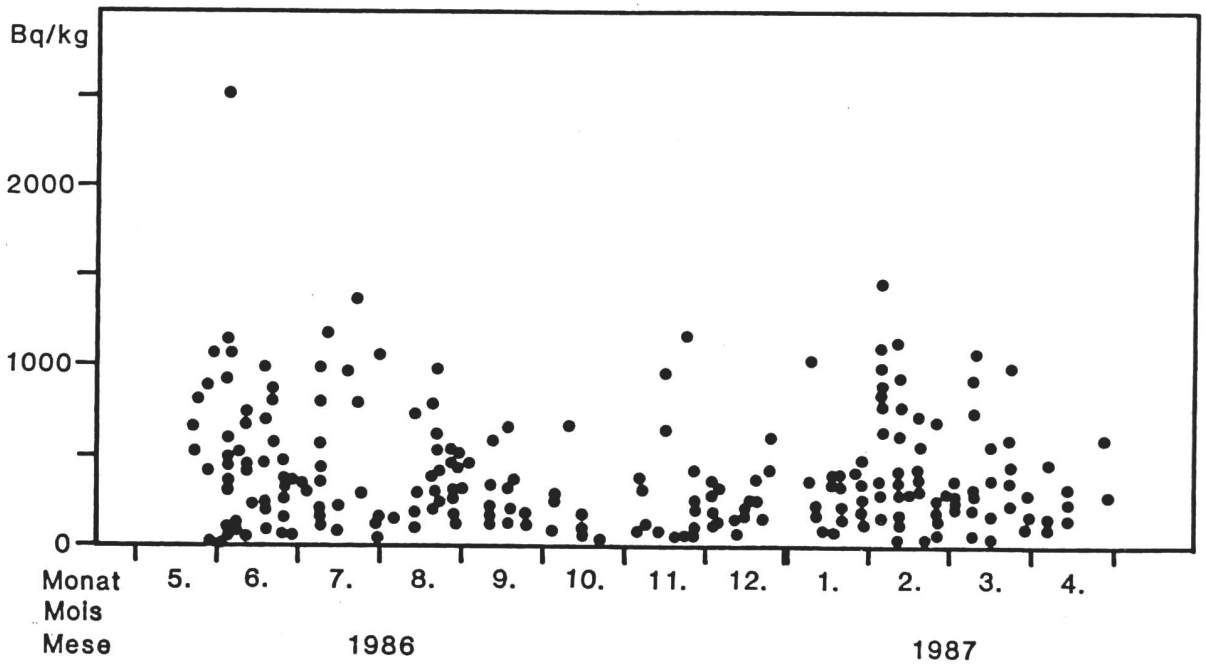


Milchproben aus Einzelhöfen zeigen kleinere Streuungen der Radioaktivität als solche einer ganzen Region. Der Rückgang der Jod-Aktivität in der Milch ist rascher als derjenige der Caesium-Aktivität, was den Verlauf der Aktivitäten im Gras widerspiegelt. Während die Caesium-Aktivität pro kg Gras vor allem deshalb abnimmt, weil das Gras wächst, beschleunigt beim Jod-131 zusätzlich noch der radioaktive Zerfall den Rückgang (Halbwertszeit: 8 Tage).

4.4.3. Fleisch, Wild und Fische

Caesium wird von Mensch und Tier über die Nahrung bzw. das Futter aufgenommen. Caesium verhält sich im Körper ähnlich wie Kalium, d.h. es wird vor allem im Muskelgewebe eingebaut. Es wird beim erwachsenen Menschen mit einer biologischen Halbwertszeit von rund 100 Tagen wieder ausgeschieden, bei Kindern rascher. Für Rinder wurde eine biologische Halbwertszeit für Caesium von 80 Tagen bestimmt (Jungtiere 20 - 80 Tage); bei Mutterschafen beträgt sie 40 Tage (Jungtiere 14 - 40 Tage). Jod-131 wird hauptsächlich in der Schilddrüse angereichert und spielt demzufolge radiologisch beim Fleisch keine Rolle.

FIGUR 11: CAESIUM-137-AKTIVITAET IM RINDFLEISCH AUS DEM KANTON TESSIN



Die Caesium-Aktivität in Rindfleisch aus dem Tessin zeigte vom Mai bis im Herbst 1986 nur einen schwachen Rückgang. Dies hängt damit zusammen, dass die biologische Halbwertszeit (= Zeitspanne, in der die Hälfte einer Aktivität vom Tier ausgeschieden ist) mit ca. 80 Tagen relativ lang ist. Im Herbst/Winter nahmen die Rinder mit verstrahltem Heu wieder Caesium-Aktivität auf, so dass im Fleisch das Caesium-137 bis im Frühling 1987 deutlich erhöht blieb.

Zusammenfassend ergeben die Messungen von Wild, Rindfleisch, etc. und Fischen für Caesium-137 folgende Mittelwerte (in Klammern Extremwerte) in Becquerel/kg:

Region:	Tessin [2]		Ostschweiz [3]	
	Mai 86	Winter 86/87	Mai 86	Winter 86/87
Wild:	1400 (3000)	150 (300)	900 (1400)	50 (150)
Rind:	550 (2500)	300 (1500)	150 (350)	15 (100)
Schwein:	--- ---	--- ---	80 (200)	10 (40)
Kaninchen:	600 (1500)	300 (1000)	--- ---	--- ---
Schafe/Ziegen:	1600 (4500)	200 (700)	350 (1000)	10 (100)
Fische:	--- ---	1300 (4000)	--- ---	200 (300)

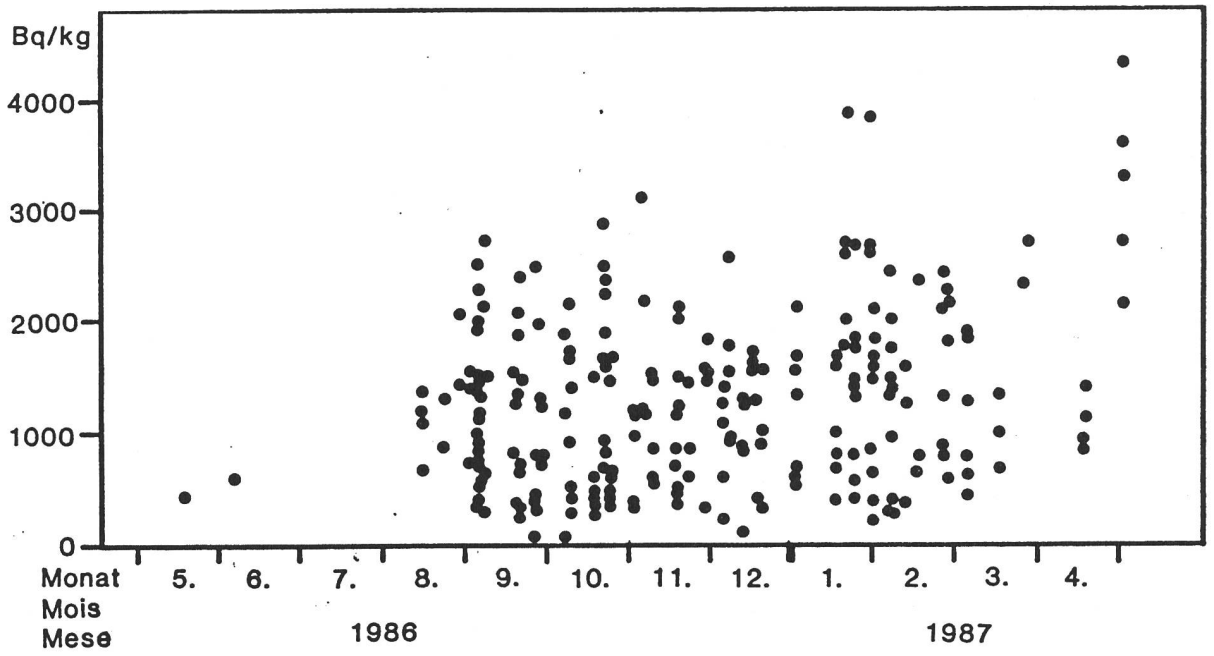
[2]) für Fische: Luganersee (Lago Ceresio); [3]) für Fische: Bodensee

In den übrigen Regionen der Schweiz lagen die entsprechenden Werte deutlich tiefer. Bei Wild, Schafen, Ziegen, Kaninchen etc. war im Verlauf des Sommers 1986 ein deutlicher Rückgang der Aktivität feststellbar, sodass einschränkende Massnahmen, wie Jagdverbote oder ein Verschieben der herbstlichen Schafmärkte im Tessin, nicht erforderlich waren. Beim Rindfleisch war bis im Herbst 1986 im Tessin nur eine schwache Abnahme der Caesium-137-Aktivität feststellbar (Fig. 11). Fleischimporte, die über 600 Becquerel Caesium-137/kg enthielten, wurden an der Grenze zurückgewiesen.

Die Caesium-137 Aktivität in Fischen aus dem Luganersee war höher als bei denjenigen aus anderen Schweizer Seen, weil sich dieser See im Gebiet mit der höchsten Verstrahlung befand, und weil sich in ihm im Mai 1986 bereits stabile Wasserschichten gebildet hatten, so dass sich das Wasser nicht mehr stark mischte. Im Laufe des ersten Jahres nach dem Unfall Tschernobyl nahm die Aktivität in diesen Fischen praktisch nicht ab (Fig. 12). Das hängt damit zusammen, dass die biologische Halbwertszeit für Caesium im lebenden Fisch ca. 200 bis 300 Tage beträgt. Die erhöhte Aktivität und Abschätzungen von möglichen Dosiseinsparungen führten dazu, dass der Bundesrat im Herbst 1986 ein Fischereiverbot für den Luganersee erliess.

Damit konnte für Fischliebhaber eine Strahlendosis bis ca. 1 milli-Sievert eingespart werden: hätte nämlich jemand während 1½ Jahren wöchentlich 300 g Fisch mit 2'000 Becquerel Caesium-137 pro kg gegessen, hätte er total 45'000 Becquerel aufgenommen. Dies ergibt mit dem Dosisfaktor von $1{,}4 \cdot 10^{-8}$ Sievert pro aufgenommenes Becquerel [siehe ausführlichen Bericht Seite 6.3] 0.6 milli-Sievert. Dazu kommen noch ca. 0.4 milli-Sievert durch Caesium-134.

FIGUR 12: CAESIUM-137-AKTIVITAET IN FISCHEN AUS DEM LUGANERSEE



4.4.4. Gemüse, Früchte und weitere Lebensmittel

Von der ersten Ernte (Mai 1986) waren vor allem Blattgemüse wie Spinat und Salat stark verstrahlt. Wie beim Gras lagen die Werte aus der Ostschweiz und dem Tessin am höchsten und jene aus der Westschweiz am tiefsten. In gedeckten Kulturen (Tunnel, Treibhaus) waren die Aktivitäten geringer als im Freilandgemüse. Die zweite Ernte (Juni) zeigte in der Caesium- und in der Jod-Aktivität bereits mehr als zehnmal tiefere Werte als jene von anfang Mai 1986. Von der abgelagerten Aktivität konnte innerhalb der ersten Stunden nach der Ablagerung ein Teil der Aktivität durch Waschen entfernt werden. Im Blattgemüse ergaben sich für die erste Maihälfte die folgenden Mittelwerte in Becquerel/kg (in Klammern Maximalwerte) für Gemüse, wobei bei einem Teil der Proben nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie ungewaschen oder zum Zeitpunkt der Probenahme noch nicht erntereif waren:

	Tessin	Ostschweiz	Zentral-Schw.	West-Schw.
Salat aus der ersten Maihälfte:				
Jod-131 :	1000 (4000)	800 (13000)	500 (3000)	300 (1500)
Caesium-137:	900 (4000)	200 (5000)	200 (600)	60 (200)
Spinat aus der ersten Maihälfte:				
Jod-131 :	1700 (3000)	1500 (20000)	1400 (3500)	900 (4000)
Caesium-137:	900 (1800)	300 (1500)	300 (800)	100 (700)

Die übrigen Gemüse, insbesondere Wurzelgemüse, wiesen meistens Werte unter 10 Becquerel Caesium-137/kg auf. Dies, weil die Pflanzen in erster Linie durch Ablagerungen aus der Luft verstrahlt waren, während die Aufnahme über die Wurzeln praktisch keine Rolle spielte und auch in Zukunft nicht spielen wird.

In Gewürzkräutern mit grosser Blattoberfläche pro Gewichtseinheit wurden z.T. Werte bis 10'000 Becquerel

Caesium-137 pro kg gemessen. Berücksichtigt man jedoch die geringen Mengen, die davon konsumiert werden, fallen die aufgenommenen Aktivitäten nicht ins Gewicht. Beeren und Früchte ergaben meisten Caesium-137-Werte im Bereich von 10 bis 100 Becquerel/kg, während die Jod-131-Werte in der Regel unter 10 Becquerel/kg lagen.

Bei den Pilzen sind vor allem Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze zu erwähnen, bei denen Spitzenwerte bis 20'000 Becquerel Caesium-137/kg gemessen wurden. Diese Werte stellen jedoch in Anbetracht der geringen Mengen, die von diesen Pilzen konsumiert werden, kein gesundheitliches Problem dar. Messungen von Getreideproben aus dem Tessin ergaben im Mittel Werte von 150 Becquerel Caesium-137/kg (Maximum bei 250); diejenigen aus der übrigen Schweiz lagen unter 100 Becquerel/kg. Die Werte für Bienenhonig lagen im Mittel zwischen 10 und 70 Becquerel Caesium-137/kg, Maximalwerte bei 300. Schokolade und Babynahrung hatte durchwegs unter 100 Becquerel Caesium-137/kg; Brot und Eier unter 10 Becquerel/kg. Beim Import ergaben sich bei Haselnüssen Werte bis 1000 Becquerel/kg (im Mittel 200 Becquerel/kg) und beim Schwarztee Extremwerte bis 20'000 Becquerel/kg (Mittel: 7'000 Becquerel/kg).

Trinkwasser wies durchwegs tiefe Caesium-137-Aktivitäten auf. Lediglich Zisternenwasser, das in einigen Gegenden des Juras und des Tessins sowie in abgelegenen Bauernhöfen als Trinkwasser verwendet wird, wies in einzelnen Fällen Anfangs Mai Caesium-137- und Jod-131-Aktivitäten bis 600 Becquerel/Liter auf, im Mittel aber nur 50 Becquerel/Liter. Meist waren nämlich die Zisternen Ende April schon teilweise gefüllt, sodass die Radioaktivität des Tschernobyl-Niederschlages entsprechend verdünnt wurde.

4.4.5. Erneuter Anstieg der Aktivität im Winter 1986/87

Durch Verfütterung von Caesium-verstrahltem Heu aus dem Monat Mai 1986 ergab sich im Winter 1986/87 bei der Milch

ein erneuter Anstieg der Caesium-137-Aktivität. Die Werte blieben jedoch im Schnitt um einen Faktor zwei bis drei unter den entsprechenden Werten vom Mai 1986. Sie stimmten mit Prognosen, die im Herbst 1986 aufgrund einer Erhebung über den Caesiumgehalt in Heuproben erstellt wurden, überein. Beim Caesiumgehalt im Rindfleisch bewirkte die Winterfütterung, vor allem im Tessin, eine Verzögerung der Abnahme.

4.5. Transferfaktoren

Die zahlreichen Messwerte in den verschiedenen Medien (Luft, Niederschlag, Bewuchs, Milch, Fleisch, usw.) ermöglichen es, sogenannte Transferfaktoren für die Uebergänge verschiedener Nuklide von einem Medium in das Nächste zu bestimmen. Beim Tschernobyl-Unfall konnten gewisse Werte neu bestimmt werden, zum Teil wurden auch die früher aus dem Atombombenfallout hergeleiteten Faktoren bestätigt. Beispielsweise ergab sich beim Caesium für den Transfer vom Gras in die Milch ein Faktor von 0.3 bis 0.4 Becquerel/Liter Milch pro Becquerel/kg Gras (Frischgewicht). Die Kenntnis von Transferfaktoren ist bei einem Zwischenfall mit Radioaktivitätsfreisetzung von Bedeutung, da sie Prognosen von Aktivitäten und Dosen ermöglicht.

4.6. Ganzkörpermessungen

Aufgrund der in Nahrungsmitteln gemessenen Aktivitätskonzentrationen und angenommenen täglichen Verzehrsraten wurde die von der Bevölkerung mit der Nahrung aufgenommene Radioaktivität abgeschätzt. Zur Ueberprüfung dieser Berechnungen wurden zahlreiche Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des tatsächlichen Caesium-Gehaltes im Körper (bzw. des Jod-Gehaltes in der Schilddrüse) durchgeführt (Fig. 13 und 14). Beispielsweise ergaben Ganzkörpermessungen von Personen vorwiegend aus dem Kanton Aargau im Herbst 1986 für die beiden Caesium-Nuklide zusammen im Mittel ca. 1'000

Fig. 13 Ganzkörpermessungen am EIR

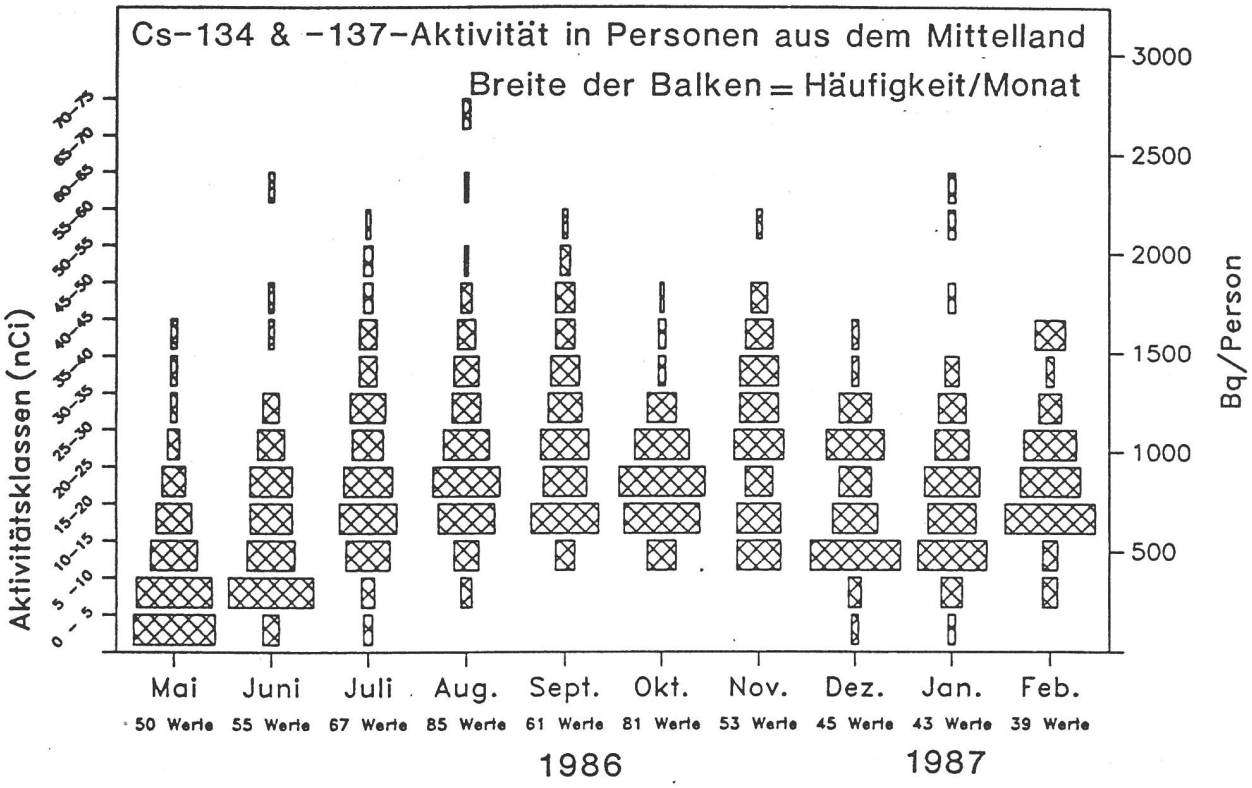
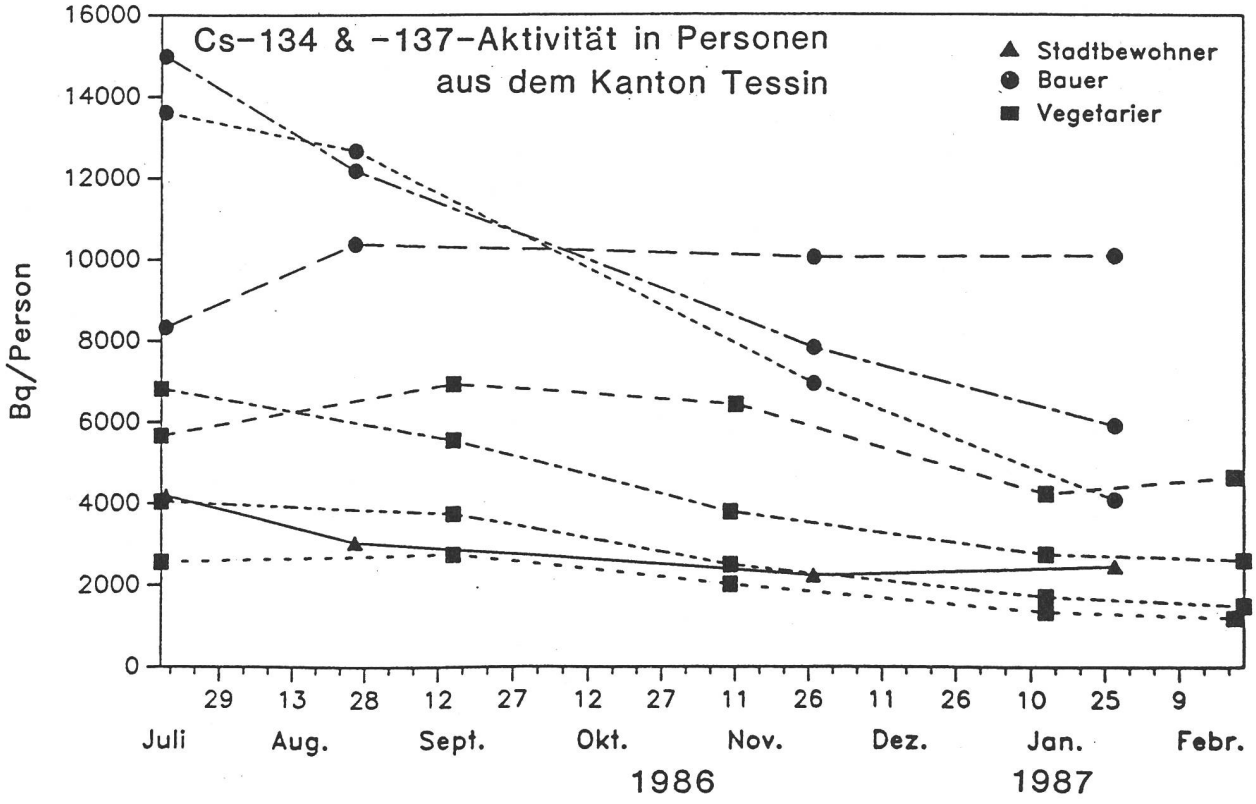


Fig. 14 Ganzkörpermessungen am EIR



Becquerel, für Mittelschüler aus dem Kanton Genf im Mittel etwa 550 Becquerel. Bei Selbstversorgern aus dem Tessin und Graubünden (teilweise mit Konsum von Schafmilch und -fleisch) wurden Werte von 6000 Becquerel für Caesium-134 und -137 zusammen, mit Extremwerten bis 15'000 Becquerel, festgestellt. Bei 10-jährigen Kindern aus dem Kanton Aargau lagen die Durchschnittswerte mit 750 Becquerel bei etwa 3/4 der Werte von Erwachsenen aus derselben Region. Diese Resultate bestätigten die Vermutung, dass die für die Bevölkerung der einzelnen Regionen aus der Nahrungsaufnahme berechneten Caesium-Gehalte im Körper die tatsächlichen Gehalte bis zu einem Faktor zwei überschätzen. Deshalb kann angenommen werden, dass die Dosisprognosen infolge der verwendeten konservativen Annahmen auf der "sicheren Seite" lagen.

4.7. Schutzmassnahmen

Das Dosis-Massnahmen-Konzept sieht Schutzmassnahmen dann vor, wenn aufgrund der Messungen und Dosisprognosen bei der Bevölkerung durch Aufnahme verstrahlter Lebensmittel Dosen von über 5 milli-Sievert (resp. Organ-Dosen von über 50 milli-Sievert) zu erwarten sind. Danach waren in der Schweiz nach dem Unfall Tschernobyl keine Schutzmassnahmen erforderlich. Entsprechend dem ALARA-Prinzip bezüglich der Dosen (as low as reasonably achievable = "so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar") haben die Einsatzorgane dennoch Empfehlungen herausgegeben. Diese hatten zum Ziel, die individuellen Strahlendosen durch einfache Massnahmen weiter zu senken. So wurde Anfangs Mai empfohlen, kein Zisternenwasser zu trinken, keine Schafmilch und Schafmilchprodukte zu konsumieren, Freilandgemüse zu waschen und z.B. Rhabarber zu schälen. Für Kinder unter zwei Jahren sowie schwangere Frauen und stillende Mütter wurde bis Mitte Mai empfohlen, keine frische Kuhmilch sowie keinen Salat und kein Frischgemüse zu konsumieren. Diesen Personen wurde die Verwendung von Pulver- bzw. Kondens- oder UHT-Milch nahegelegt. Die meisten Empfehlungen konnten bereits

Mitte Mai wieder aufgehoben werden. Sie zielten vor allem darauf, den - vermeidbaren - Dosisanteil durch Jod-131 bei Kindern zu senken; sie haben dieses Ziel, wie die späteren Dosisberechnungen gezeigt haben, auch erreicht. Lediglich die Empfehlungen des Verzichtes auf Schafmilchkonsum wurde bis 21.08.1986 aufrecht erhalten, diejenige, im Tessin mit der Schlachtung von Schafen und Ziegen zuzuwarten, bis Ende August. Bei der Jagd, sowie bei den Schafmärkten im Herbst waren aufgrund zahlreicher Untersuchungen keine Einschränkungen mehr erforderlich. Da die Caesium-137-Aktivität in den Fischen im Luganersee nicht zurückging, wurde im Herbst 1986 durch den Bundesrat das bereits erwähnte Fischereiverbot erlassen.

Am 12.09.1986 hat das Eidg. Departement des Innern eine Verordnung über die Konzentration von Radionukliden in Lebensmitteln in Kraft gesetzt. Darin werden die Toleranzwerte für die Konzentration von Caesium-134 und -137 zusammen in Milch, Milchkonserven und Kindernährmitteln auf 370 Becquerel/kg festgelegt, diejenigen für die übrigen Nahrungsmittel auf 600 Becquerel pro kg. Diese Werte waren in Uebereinstimmung mit den von der Europäischen Gemeinschaft für Agrarimporte und den Binnenhandel fixierten Limiten.

4.8. Strahlendosen der Bevölkerung

Aufgenommene Aktivitäten werden aus den in Lebensmitteln gemessenen Aktivitätskonzentrationen und angenommenen Verzehrsmengen berechnet. Durch Multiplikation mit Dosisfaktoren ergeben sich die Strahlendosen. Beispielsweise wurde für Milch angenommen, dass Erwachsene und Kinder täglich 0.5 Liter und Kleinkinder bis 2 Jahre täglich 0.7 Liter trinken. Als Dosisfaktoren wurden für Erwachsene diejenigen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) angewendet. Für Kleinkinder und Kinder (zwei- bis zehnjährige) werden in den vorliegenden Berechnungen jene des Institutes für Strahlenhygiene in München verwendet, die weitgehend mit den neuesten Veröffentlichungen des National Radio-

logical Protection Board (England) übereinstimmen. In den ersten Wochen nach dem Unfall in Tschernobyl wurde für Kinder und Kleinkinder noch mit älteren, grösseren Dosisfaktoren gearbeitet, die für Caesium höhere Dosen ergaben. Diese hatten die folgenden beiden Effekte ungenügend berücksichtigt: bei Kindern sind viele Organe kleiner als beim Erwachsenen. Dies ergibt bei gleicher aufgenommener Radioaktivität entsprechend höhere Dosen. Da jedoch der Stoffwechsel beim Kind rascher abläuft als beim Erwachsenen, wird die Aktivität schneller wieder ausgeschieden, was die obengenannte Dosiserhöhung gegenüber den Erwachsenen teilweise wieder kompensiert oder die Dosen sogar kleiner werden lässt.

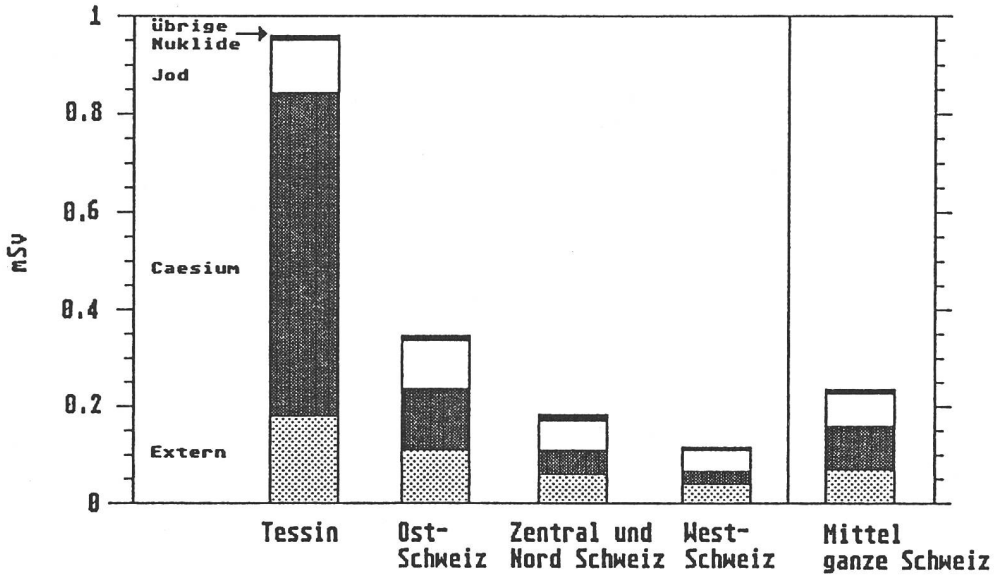
Dosen wurden einerseits für die Schilddrüse berechnet, welche durch das Nuklid Jod-131 hervorgerufen wurden. Dieses Nuklid führte anfangs Mai bei Kleinkindern vor allem über die Milch zu teilweise nicht unerheblichen Dosen in diesem Organ. Andererseits wurden auch die effektiven Aequivalentdosen ermittelt (siehe Tabelle auf dem Deckblatt).

Strahlendosen wurden für verschiedene Bevölkerungsgruppen bestimmt:

a) als Mittelwerte für die Bevölkerung in den im Kapitel 4.4. erwähnten vier Regionen und für die ganze Schweiz (Fig. 15),

b) für meistbetroffene Bevölkerungsgruppen und für hypothetische Extremfälle (Fig. 16). Als Meistbetroffene gelten Selbstversorger in der Ostschweiz und im Südtessin ohne Konsum von Schafmilch und Schaffleisch, während für die Extremfälle angenommen wurde, dass sie diese beiden Nahrungsmittel konsumierten, d.h. die Empfehlungen nicht befolgten.

FIGUR 15: BERECHNETE MITTLERE DOSEN (IN MILLI-SIEVERT) DURCH TSCHERNOBYL IM ERSTEN JAHR, FUER ERWACHSENE (1.5.86 bis 30.4.87)



Die Berechnungen erfolgten für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder bis 2-jährig. Bei den letzteren wurde unterschieden, ob die Empfehlungen der Behörden eingehalten wurden oder nicht. Die Dosisbeiträge durch externe Bestrahlung, diejenigen durch über die Nahrung aufgenommenes Caesium und Jod sowie jene durch alle übrigen Nuklide, wurden einzeln berechnet. Die Dosen durch Inhalation verstrahlter Luft im Mai 1986 erwiesen sich als vernachlässigbar.

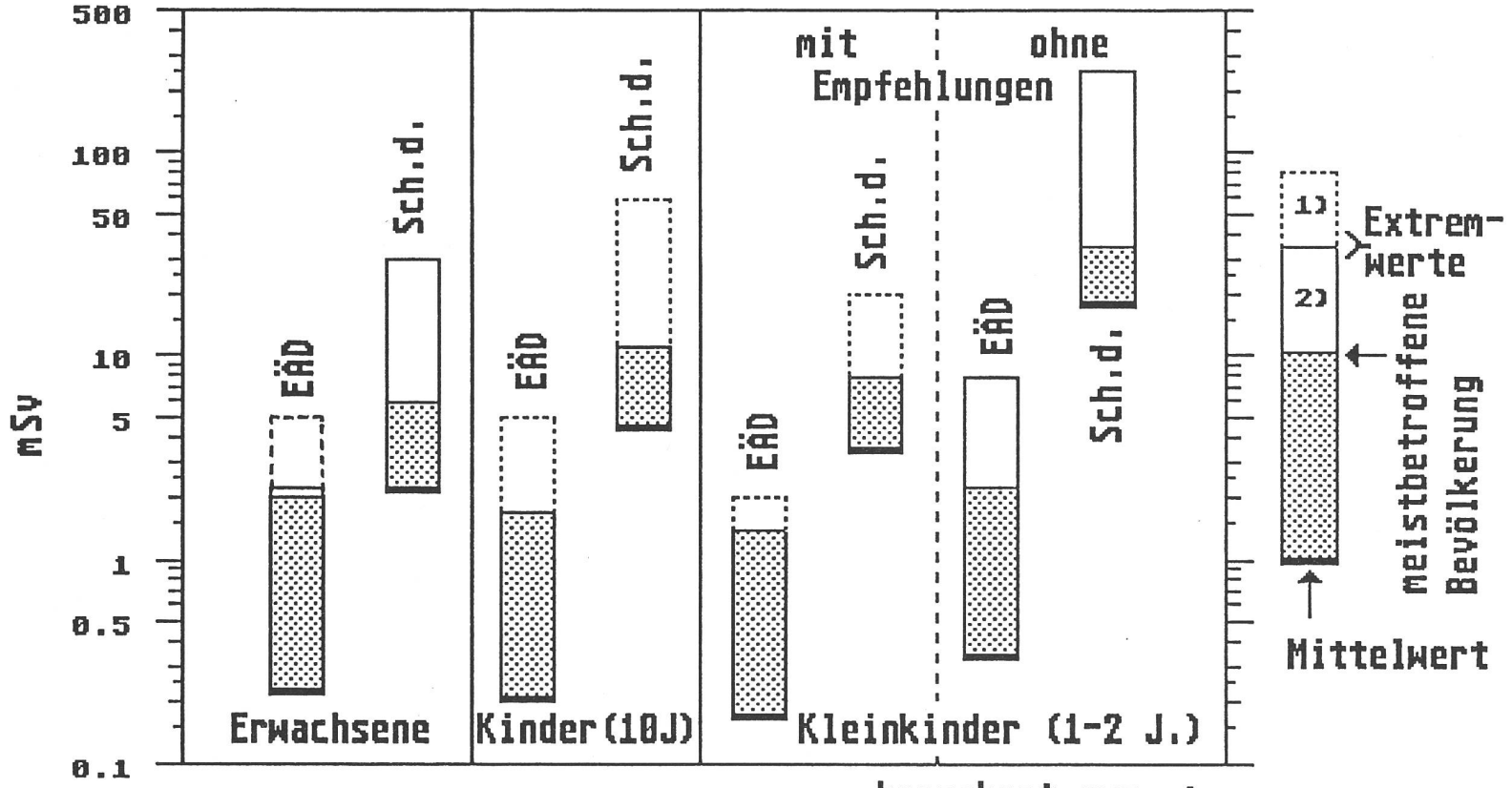
Einige für die Zeitspanne vom 1.5.86 bis 30.4.1987 berechneten Dosiswerte als Folge des Reaktorunfalles Tschernobyl sind in der nachstehenden Tabelle in milli-Sievert zusammengestellt. Sie sind angegeben als effektive Aequivalentdosen, wobei in Klammern die Schilddrüsendosen stehen.

	Erwachsene	10-jährige Kinder	0 - 2-jährige Kleinkinder Empfehlungen eingehalten?	
			ja	nein
Mittel der Bevölkerung	0.23 (2.2)	0.21 (4.5)	0.17 (3.5)	0.34 (18)
Gruppe der meistbetroffenen Bevölkerung	2 (6)	1.7 (11)	1.4 (8)	2.3 (35)

Die mittleren Dosen liegen tiefer als das Schutzziel des Dosismassnahmenkonzepts. Mit rund 0.2 milli-Sievert für das erste Jahr nach dem Reaktorunfall ist das Mittel für das ganze Land rund einen Faktor zehn tiefer als für die meistbetroffenen Erwachsenen mit 2 milli-Sievert. Die abgeschätzten Dosen der Selbstversorger, die sich hauptsächlich von Schafmilch, Schaffleisch und eigenem Gemüse ernährt haben, sind nochmals höher; sie haben jedoch die Grenzwerte des Dosismassnahmenkonzepts auch nicht überschritten, ausser, wenn die Empfehlungen für Kleinkinder nicht eingehalten wurden (effektive Aequivalentdosen: bis 8 mSv, Schilddrüsendosen: bis 250 mSv). Wir nehmen jedoch nicht an, dass Mütter trotz der täglich publizierten Empfehlungen anfangs Mai ihre Kleinkinder ständig mit 0.7 Litern Schafmilch pro Tag und mit frischem Gemüse ernährt haben. Solche Dosen, hauptsächlich verursacht durch Jod-131 in der Schilddrüse, werden deshalb als hypothetisch bezeichnet.

Die Zahlen zeigen, dass das Einhalten der Empfehlungen bei Kleinkindern vor allem die Schilddrüsendosen merklich herabgesetzt hat. Die Empfehlungen wurden somit zur richtigen Zeit, für das richtige Nahrungsmittel und für die richtige Bevölkerungsgruppe erlassen, was dem ALARA-Prinzip entspricht.

Fig.16: Dosen durch Tschernobyl im ersten Jahr (1.5.86-1.5.87) in mSv



EÄD = effektive Äquivalent-Dosis

Sch.d. = Schilddrüsendosen

berechnet aus :

1) Messungen von Lebensmitteln
2) Ganzkörper- bzw. Schilddrüsen-messungen

Für alle folgenden Jahre zusammen muss im Mittel noch mit einem Beitrag von 0.5 milli-Sievert gerechnet werden, wobei dieser Wert aber nicht sehr sicher ist.

Die Frage, welche gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung in der Schweiz durch die Strahlendosen infolge Tschernobyl zu erwarten sind, führte zu umfangreichen Ueberlegungen und vielen Diskussionen unter Fachleuten (vergl. ausführlichen Bericht, Kap. 6.7.). Eine einleuchtende Ueberlegung basiert auf einem Vergleich mit der natürlichen Strahlendosis in der Schweiz. Diese beträgt inklusive Radon jährlich ca. 3,5 milli-Sievert; für eine Generation von 30 Jahren also ca. 100 milli-Sievert. Geht man von einer mittleren Dosis der (erwachsenen) Bevölkerung durch Tschernobyl von 0.2 milli-Sievert im ersten Jahr und weiteren ca. 0.5 milli-Sievert für die jetzige Generation aus, so entsprechen diese 0.7 mSv ca. 1 % der mittleren natürlichen Strahlendosis. Es ist also zu erwarten, dass in der Schweiz das durch die natürliche Strahlung bewirkte gesundheitliche Risiko durch Tschernobyl höchstens um denselben Prozentsatz (1 %) erhöht wird.

Die Erhöhung der Krebsmortalität durch Tschernobyl gegenüber der in unserem Lande normalerweise an Krebs sterbenden Personen kann aber auch anders berechnet werden. Bei Anwendung der neuesten Krebs-Risikofaktoren, basierend auf den letzten Arbeiten über die Auswirkungen der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki, erhält man für die nächsten Jahrzehnte rein rechnerisch eine Zunahme der Krebsfälle um ca. 0,04 Prozente. Die Krebsstatistik zeigt, dass natürlicherweise ca. 1,2 Millionen der heute lebenden Bevölkerung in der Schweiz an Krebs sterben werden; die oben angegebene Erhöhung dieser Zahl um 0.04 % ist deutlich kleiner als die natürliche und zivilisatorisch bedingte Streubreite der Krebsfälle und wird von dieser nicht unterscheidbar sein. Einzelne Fälle von genetischen Schäden können nicht ausgeschlossen werden; das Risiko genetischer Schäden (inkl. praenatale) wird jedoch infolge Tschernobyl

in unserem Lande praktisch nicht ansteigen und jedenfalls weit unter der Nachweisgrenze liegen.