



Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz
Commission fédérale pour la protection ABC
Commissione federale per la protezione ABC
Federal Commission for NBC-Protection

Personendekontamination nach einem Ereignis mit erhöhter Radioaktivität

Genehmigt vom Bereich A der
Eidg. Kommission für ABC-Schutz
anlässlich der Sitzung vom
23.05.2007

erarbeitet durch die Arbeitsgruppe Auswertung und Massnahmen

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Gesetzliche Grundlagen.....	4
3	Auswirkungen einer Hautkontamination und Schutzziele im Ereignisfall	4
3.1	Akutschäden.....	4
3.2	Schutzziele im Ereignisfall.....	5
4	Eingreifschwellen für die Personendekontamination und deren Anwendung im Ereignisfall.....	5
4.1	Personendekontamination im Ereignisfall	5
4.2	Ableitung von Eingreifschwellen für die Personendekontamination	6
5	Personendekontaminations-Massnahmen	8
5.1	Vorsorgliche Personendekontamination.....	8
5.1.1	Personendekontamination durch Selbsthilfe	8
5.1.2	Zentrale Dekontamination bei radiologischen Ereignissen.....	9
5.2	Kontaminationskontrolle und Personendekontaminationen in der Kontaktstelle.....	10
Anhang 1:	Faustregeln und deren Grundlagen	11
Anhang 2:	Diskussion der Ereignisse.....	13
a)	KKW-Unfall im Inland	13
	Szenarien ohne Kernbeschädigung	13
	Szenarien mit Kernbeschädigung und korrekter Funktion des Sicherheitsgebäudes und der gefilterten Druckentlastung.....	13
	Szenarien mit Kernbeschädigung und ohne korrekte Funktion des Sicherheitsgebäudes.....	14
b)	Ereignisse mit lokaler, oder grossflächiger aber geringer Kontamination	18
c)	A-Waffen-Einsatz im Inland oder benachbarten Ausland	18
Anhang 3:	Dosisdefinitionen.....	20
Anhang 4:	Referenzen	21

1 Einleitung

Das vorliegende Papier beschreibt die Massnahmen im Bereich Personendekontamination bei Ereignissen mit erhöhter Radioaktivität. Die beschriebenen Massnahmen und Kriterien gelten nur bei Ereignissen mit erhöhter Radioaktivität, wo Bevölkerung bzw. Einsatzkräfte ausserhalb eines Betriebsareals kontaminiert werden und die VEOR mit Massnahmen nach Dosismassnahmenkonzept (DMK) zum Tragen kommt.

Das Papier richtet sich im Rahmen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (EOR) an alle im Bereich Personendekontamination involvierten Stellen. Es sind dies insbesondere

- die Nationale Alarmzentrale (NAZ) als Fachstelle für Ereignisse mit erhöhter Radioaktivität,
- die kantonalen Betreiber einer Kontaktstelle und das dort eingesetzte Fachpersonal vom Bund,
- Strahlen- und Chemiewehren, welche über Messgeräte für Kontaminationsmessungen und über die entsprechenden Mittel für eine Dekontamination verfügen.

Unter dem Ausdruck Personendekontamination werden in diesem Dokument vor allem die üblichen Hygiene-Massnahmen wie Waschen, Duschen und Kleiderwechsel verstanden. Es wird zwischen einer vorsorglichen Personendekontamination und einer gezielten auf Eingreifschwellen basierenden Personendekontamination auf der Kontaktstelle unterschieden. Primär wird wegen der beschränkten Mess- und Duschkapazitäten die dezentrale und von den betroffenen Personen selbstständig durchführbare Selbstdekontamination zu Hause angestrebt. Eine vorsorgliche Personendekontamination ist bei denjenigen Personen angebracht, die sich während der Freisetzungphase in Gebieten, wo Massnahmen gegen die externe Strahlung erforderlich sind, im Freien aufgehalten haben.

Die gesetzlichen Grundlagen sind in Kapitel 2 aufgeführt.

In Kapitel 3 werden die Auswirkungen einer Hautkontamination und die Schutzziele im Ereignisfall dargelegt.

Die Grundsätze zur Personendekontamination und die Herleitung der Eingreifschwellen für die Kontaktstelle sind in Kapitel 4 beschrieben. Kapitel 5 beschreibt das Vorgehen bei radiologischen Ereignissen, einerseits bei einer vorsorglichen Personendekontamination zu Hause, andererseits bei einer zentralen Dekontamination im unmittelbaren Schadenraum.

Dieses Konzept ersetzt das bisherige Konzept Haut- und Kleider-Kontamination der Bevölkerung nach einem radiologischen Ereignis, KomABC November 1994

2 Gesetzliche Grundlagen

StSV [StSV 1994]:

Art. 119: Für Ereignisse, die eine Gefährdung der Bevölkerung durch erhöhte Radioaktivität hervorrufen können, gilt zusätzlich zu den Bestimmungen dieser Verordnung die VEOR.

Dosismassnahmenkonzept (Anhang der VEOR [VEOR 1991])

Die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen als Folge eines Ereignisses mit erhöhter Radioaktivität bildet das im Anhang der VEOR aufgeführte Dosismassnahmenkonzept (DMK). Gemäß DMK können Massnahmen ab 1 mSv¹ getroffen werden. Für nicht explizit im DMK aufgeführte Massnahmen gilt ein allgemeines Dosisband von 1 - 500 mSv. Für die Herleitung der Eingreifschwellen für die Hautdekontamination wird dieses Dosisband herangezogen.

3 Auswirkungen einer Hautkontamination und Schutzziele im Ereignisfall

3.1 Akutschäden

Die Auswirkungen von Bestrahlungen der Haut sind bekannt und gut untersucht (siehe z.B. [HSK 1993], [SUVA 2001]). Es kann zu Strahlenverbrennungen der direkt betroffenen Körperpartien kommen. Je nach Eindringtiefe der Strahlung wird nur die Haut oder auch darunterliegendes Gewebe geschädigt. Beta-Strahlung, mit ihrer geringen Reichweite, wird vorzugsweise in der Haut absorbiert und führt dort zu Verbrennung. Auch weiche Röntgenstrahlung wird vorwiegend in der Haut absorbiert (Röntgenverbrennung). Gamma-Strahlung und harte Röntgenstrahlung hingegen schädigen neben der Haut vor allem tieferliegendes Gewebe. Alpha-Strahlung führt im Allgemeinen nicht zu Hautverbrennung, da die Eindringtiefe zu gering ist. Die Schwellendosis für akute Hautschäden liegt bei 3 Gy².

Bereits in den ersten Stunden nach der Exposition kann vorübergehend eine Hautrötung (Hauterythem) auftreten. Nach zwei bis drei Wochen kommt es dann zur Ausbildung der Radiodermatitis mit fixiertem Erythem, Blasenbildung, Haarausfall (Epilation) und Absterben von Körpergewebe (Nekrose). Bei relativ geringen Bestrahlungsdosen wird das Erythemstadium nicht überschritten. Bei Dosen von 3 bis 7 Gy ist die Epilation vorübergehend, die Regeneration des Haarwuchses tritt nach weiteren 2 bis 4 Wochen ein. Bei Dosen über 7 Gy ist die Epilation permanent.

Anzumerken ist, dass diese Schwellendosiswerte für Bestrahlungen mit hoher Dosisrate zutreffen und von letzterer stark abhängig sind. Bei der zu erwartenden Bestrahlungsdauer ist für eine massive Schädigung der Haut von einer LD50-Dosis von zirka 20 Gy auszugehen [NRPB 1988].

¹ Prognostizierte Ereignisdosis für das ganze erste Jahr

² Erläuterung zu den Dosisbegriffen und Einheiten siehe Anhang 3.

3.2 Schutzziele im Ereignisfall

Primäres Schutzziel der Massnahme Personendekontamination ist die Vermeidung einer akuten Strahlenschädigung der Haut. Sekundär soll das Risiko von eventuellen Spätfolgen möglichst klein gehalten werden. Dabei zu berücksichtigen ist ebenfalls, dass es durch Hautkontaminationen auch zu einer Inkorporation (durch Ingestion) kommen kann.

4 Eingreifschwellen für die Personendekontamination und deren Anwendung im Ereignisfall

4.1 Personendekontamination im Ereignisfall

Bei radiologischen Ereignissen mit überraschendem Austritt von Radioaktivität ist ein zeitgerechter Schutz der Bevölkerung nicht möglich. Finden diese Ereignisse in städtischen Gebieten statt, muss mit einer grossen Anzahl von potentiell betroffenen Personen gerechnet werden. Eine sofortige Messung der Haut- und Kleiderkontaminationen bei Passanten ist wegen fehlender Messkapazitäten nicht möglich. Somit kann kurze Zeit nach einem Ereignis auch nicht festgestellt werden, bei welchen Personen die Eingreifschwellen für eine Personendekontamination überschritten werden. Es soll deshalb nach dem Grundsatz im "Zweifelsfall immer dekontaminieren" gehandelt werden. Es handelt sich hier um eine vorsorgliche Massnahme, welche nicht an die Eingreifschwellen für die Personendekontamination gekoppelt ist.

Eine vorsorgliche Personendekontamination ist dort angebracht, wo Massnahmen gegen die externe Strahlung getroffen werden. Personen, welche sich in diesen Gebieten während der Freisetzungphase im Freien aufgehalten haben, sollten sich vorsorglich dekontaminieren (duschen).

Fragen aus der Öffentlichkeit zu den Grössenordnungen der auftretenden Haut- und Kleiderkontaminationen werden nicht ausbleiben. Im Sinne der Verifikation und Beweissicherung sollen stichprobenweise Kontaminationsmessungen von einzelnen Personen durchgeführt werden, welche sich während der Freisetzungphase im Freien aufgehalten haben. Diese Messungen sollten vor allem bei Ereignissen durchgeführt werden, wo keine vorsorglichen Schutzmassnahmen getroffen werden konnten und sich demzufolge viele Personen aus der Bevölkerung im Freien aufhielten.

Die in Kap. 4.2 hergeleiteten Eingreifschwellen für Personendekontamination dienen im Ereignisfall auf der Kontaktstelle als Entscheidungsgrundlage, ob die Besucher dekontaminiert (geduscht) werden müssen oder nicht. Die Kontaktstelle ist etwa ein Tag nach Ereigniseintritt betriebsbereit und verfügt über die notwendigen Messmittel und Kapazitäten, um bei 1000 Personen/Tag Kontaminationsmessungen durchführen und 200 Personen/Tag dekontaminieren (duschen) zu können [KomABC 2003].

4.2 Ableitung von Eingreifschwellen für die Personendekontamination

Bei der Ableitung von Dosisschwellen für die Personendekontamination ist das im DMK für nicht explizit angesprochene Schutzmassnahmen geltende Dosisband von 1 bis 500 mSv effektive Dosis zu berücksichtigen. Das Dosisband des DMK von 1 - 500 mSv effektive Dosis entspricht einer Hautdosis von 0.1 - 50 Gy bei einer Ganzkörperkontamination. Die Grenzdosis für akute Hautschäden liegt jedoch bereits bei 3 Gy (30 mSv effektive Dosis). Dies bedeutet, dass die obere Dosisschwelle nach DMK von 500 mSv für diese Massnahme viel zu hoch ist und auf 30 mSv gesenkt werden muss. Für die Personendekontamination resultieren demnach folgende Dosisschwellen:

- Untere Dosisschwelle: Effektive Dosis durch Hautkontamination = 1 mSv
- Obere Dosisschwelle: Effektive Dosis durch Hautkontamination = 30 mSv

Tabelle 1: Dosisschwellen für die Personendekontamination

Dosisschwelle	untere	obere
effektive Dosis (mSv) durch Hautkontamination	1	30
Hautdosis (mGy)	100	3000

Unter Verwendung der in Anhang 1 hergeleiteten Faustregeln können aus den Dosisschwellen entsprechende Kontaminationswerte abgeleitet werden. Nach Faustregeln 1 und 2 entsprechen die Dosisschwellen 1 bzw. 30 mSv einer Hautkontamination von 365 bzw. 10'950 CS.

Eine Kontamination der Hände kann durch Ablecken der Finger (z.B. beim Essen eines Sandwiches) auch zu einer Ingestion führen. Die resultierende effektive Dosis durch Ingestion der sich auf einer Hautfläche von 10 cm² befindenden Aktivität ist gegenüber der resultierenden effektiven Dosis durch die externe Bestrahlung durch Hautkontamination nicht vernachlässigbar. Nach Faustregel 3 führt eine Hautkontamination mit 365 CS zu einer Ingestionsdosis von 0.5 mSv bei Erwachsenen. Bei Kindern ist die Ingestionsdosis um den Faktor 2 - 3 höher.

Die untere Dosisschwelle von 1 mSv soll die Summe der Dosen durch externe Bestrahlung als auch durch Inkorporation bei einer vorliegenden Hautkontamination berücksichtigen. Die untere Eingreifschwelle wird deshalb unter Berücksichtigung der Ingestionsdosen bei Kindern auf 100 CS festgelegt.

Aus Gründen der Praktikabilität wird auch die obere Eingreifschwelle für Personendekontaminationen auf 10'000 CS abgerundet.

Tabelle 2: Eingreifschwellen für die Personendekontamination

Anzahl CS ³	< 100	100 - 10'000	> 10'000
Hautkontamination (kBq/cm²)¹	< 0.3	0.3 - 33	> 33
Massnahme Personendekontamination	Dekontamination nicht erforderlich	Dekontamination sinnvoll	Dekontamination zwingend

Der Entscheid, welcher Eingreifwert zwischen unterer und oberer Eingreifschwelle auf der Kontaktstelle angewendet wird, richtet sich nach der Anzahl der kontaminierten Personen und dem Grad der auftretenden Kontaminationen. Der Schutz vor akuten Strahlenschäden ist jedenfalls über den ganzen Bereich zwischen unterer und oberer Schwelle sichergestellt. Der Eingreifwert muss so festgelegt werden, dass die Personendekontaminationen auch mit den vorhandenen Duschkapazitäten auf der Kontaktstelle bewältigt werden können.

Im Anhang 2 wird für einzelne Szenarien grob abgeschätzt mit wie vielen kontaminierten Personen (> 100 CS) zu rechnen ist.

³ Es wird von einem CS-Wert von 3 Bq/cm² ausgegangen

5 Personendekontaminations-Massnahmen

Gestützt auf den Darlegungen im Kapitel 4.1 wird im Wesentlichen zwischen einer vorsorglichen Personendekontamination und einer gezielten auf den Eingreifschwellen basierenden Personendekontamination auf der Kontaktstelle unterschieden. Wegen beschränkten zentralen Mess- und Duschkapazitäten wird primär die dezentrale und von den betroffenen Personen möglichst selbstständig durchführbare Personendekontamination zu Hause angestrebt.

5.1 Vorsorgliche Personendekontamination

5.1.1 Personendekontamination durch Selbsthilfe

Das Konzept der Personendekontamination durch Selbsthilfe stützt sich auf die Tatsache, dass die Dekontamination der Personen, die sich während des Wolkendurchzugs im Freien aufgehalten haben, so schnell wie möglich durchgeführt werden soll. Diese kann ohne vorgängige Kontaminationsmessung erfolgen, da die Messergebnisse keinen wesentlichen Beitrag für den Erfolg des ersten Dekontaminationsschrittes liefern. Die selbstständige Dekontamination soll in denjenigen Gebieten durchgeführt werden, wo Massnahmen gegen die externe Strahlung angeordnet wurden. Da es sich um eine rein vorsorgliche Massnahme handelt, basiert sie nicht auf den Eingreifschwellen für Personendekontamination. Eine selbstständige Dekontamination ist durch diejenigen Personen durchzuführen, welche sich während der Freisetzungzeit im Freien aufgehalten haben.

Das Konzept der Personendekontamination durch Selbsthilfe nutzt die Mittel für die alltägliche Hygiene, welche jederzeit zu Hause durchgeführt werden kann. Der Zeitpunkt für die Anweisungen zur Dekontamination durch Selbsthilfe kann unter Berücksichtigung der anderweitigen Gefährdungen gewählt werden (z.B. höhere externe Exposition infolge Verlassen des Schutzraumes oder Kellers). Grundsätzlich braucht es keine weiteren organisatorischen Vorkehrungen, da jede Person zu Hause das Nötigste zur Verfügung hat (Warmwasser, Bad, flüssige oder feste Seife, frische Kleider und Schuhe usw.). Es ist aber darauf zu achten, dass möglichst wenig Kontaminationen ins Haus verschleppt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass Dekontaminations-Massnahmen, die über die alltägliche Hygiene hinausgehen, normalerweise nicht nötig sind. Hautrötung und Verletzung der Haut, die zu Inkorporationen führen können, sollte man weitmöglichst vermeiden und deshalb keine groben Dekontaminationsmittel verwenden.

Folgende Anweisungen für die Personendekontamination durch Selbsthilfe sollten gegeben werden:

- Vor der Dekontamination sollte weder gegessen noch geraucht werden.
- Schuhe vor Betreten des Hauses ausziehen.
- Ablegen der möglicherweise kontaminierten Kleidungsstücke (darin befindet sich der grösste Teil der Aktivität) im Badezimmer. Diese zusammen mit den Schuhen in einen mit dem eigenen Namen beschrifteten Plastiksack stecken und aufbewahren.
- Waschen der nicht von Kleidern bedeckten Körperteile (Hände, Gesicht, Hals) und Haare unter fliessendem Wasser vorgängig zum Duschen, damit keine Kontaminationen auf unkontaminierte Körperteile verschleppt werden.

- Anschliessend duschen mit nochmaligem Waschen der Haare
- Frische Wäsche, Kleider und Schuhe anziehen.

Bei einer allfälligen Evakuierung von Teilen der Bevölkerung ist nach der Evakuierung eine erneute Selbst-Dekontamination angebracht.

5.1.2 Zentrale Dekontamination bei radiologischen Ereignissen

Bei radiologischen Ereignissen wird der unmittelbare Schadenraum von den Einsatzkräften abgesperrt. Alles, was den Schadenraum verlässt, soll grundsätzlich dekontaminiert werden, solange keine Kontrolle mit Messgeräten möglich ist. Für die Dekontamination soll auf der windzugewandten Seite unmittelbar ausserhalb des Schadenraumes eine Dekontaminationsstelle eingerichtet werden. Sie dient der Grobdekontamination von Passanten, Einsatzkräften und deren Einsatzmittel (siehe auch [KomABC 2007]). Für die Dekontamination braucht es folgendes:

- Wasch-/Duschmöglichkeit für Personen, Reinigungsmöglichkeit für Fahrzeuge (z.B. Halle mit Oelabscheider und Hochdruckreiniger).
- Kleider zum Wechseln
- Plastiksäcke, Etiketten und Büromaterial
- Kontaminationsmessgeräte, sofern verfügbar

Das Dekontaminationswasser muss aus radiologischer Sicht nicht zurückgehalten werden.

Grobdekontamination von Personen

- Grundsätzlich sind alle Personen, welche den Schadenraum verlassen, grob zu dekontaminiieren, solange keine Kontaminationsmessgeräte und das notwendige Messpersonal verfügbar sind. Sobald diese vorhanden sind, wird aufgrund der Eingreifschwellen entschieden, wer dekontaminiert wird.
- Ablegen der (kontaminierten) Kleidungsstücke. Getragene Kleider in Plastiksäcke verpacken (pro Person ein Sack) und die Plastiksäcke mit den Personalien des Eigentümers beschriften. Die Säcke für Messungen aufbewahren.
- Waschen mindestens der vorgängig unbedeckten Körperstellen (inkl. Haare waschen). Falls möglich Duschen.
- Bereitstehende Ersatzkleider anziehen.

Grobdekontamination von Einsatzmitteln

- Einsatzmittel (Fahrzeuge), welche sich im unmittelbaren Schadenraum befunden haben, sind gründlich abzuspritzen (Hochdruckreiniger).
- Material, welches nicht auf Platz gereinigt werden kann, soll in Plastiksäcke gefüllt, mit entsprechender Kennzeichnung abtransportiert und später an einem geeigneten Ort dekontaminiert werden.

5.2 Kontaminationskontrolle und Personendekontaminationen in der Kontaktstelle

Personen, welche die Kontaktstelle aufsuchen, werden vorher über Radio aufgefordert, zu Hause zu duschen. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass nur ein Bruchteil der Besucher kontaminiert sein wird.

In der Kontaktstelle ist folgender Ablauf bei der Personendekontamination zu befolgen:

- Registrierung und Kontaminationsmessung sämtlicher Personen bei Eintritt in die Kontaktstelle.
- Dokumentation der kontaminierten Körperstellen und der Messwerte.
- Entscheid, ob eine Personendekontamination notwendig ist oder nicht (aufgrund Eingreifschwellen für Personendekontamination⁴).
- Bei Kontaminationswerten > 10'000 CS soll die Person nach erfolgter Dekontamination zwecks Klärung von Akutschäden in ärztliche Kontrolle eingewiesen werden.

Falls eine Personendekontamination notwendig ist, ist folgendermassen vorzugehen:

- Ablegen der (kontaminierten) Kleidungsstücke (Grobdekontamination)⁵
- Reinigung der vorgängig nicht von Kleidung bedeckten Körperstellen (Hände, Kopf inklusive Haare, Hals) unter fliessendem Wasser.
- Duschen des ganzen Körpers inkl. nochmaligem Waschen der Haare
- Nachkontrolle Kontaminationsmessung:
 - Falls immer noch Kontaminationen über dem Eingriffswert auftreten, sollte eine zweite Reinigung von kontaminierten Körperteilen bzw. ein nochmaliges Duschen durchgeführt werden.
 - Nach einer zweiten Dekontamination ist auf weitere Dekontaminationsmassnahmen zu verzichten. Eine Gefahr bezüglich Kontaminationsverschleppung in die Kontaktstelle besteht dann nicht mehr.

⁴ Der konkrete Wert wird durch die NAZ in Absprache mit den auf der Kontaktstelle anwesenden Strahlenschutzsachverständigen festgelegt.

⁵ Falls sich die Kontaminationen auf die Schuhe beschränken, reicht es die Schuhe zu wechseln und nach einer Kontaminationsnachkontrolle die Person ohne weitere Dekontaminationsmassnahmen passieren zu lassen.

Anhang 1: Faustregeln und deren Grundlagen

Faustregel 1: Für die akute Hautdosis wird lediglich die Dosis berücksichtigt, welche aus einer Expositionszeit von zwei Tagen resultiert.

Diese Annahme stützt sich auf die Dekontamination durch die tägliche Hygiene und durch die normale Erneuerung der Haut innerhalb von 3 bis 10 Tagen.

Faustregel 2: Die Bestrahlung der Haut während zwei Tagen mit 365 CS führt zu einer Hautdosis von 0.1 Gy bzw. zu einer effektiven Dosis von 1 mSv.

Nach der Strahlenschutzverordnung entspricht der Richtwert für die Oberflächenkontamination (CS) einer Hautdosis von 50 mGy pro Jahr. Der Richtwert basiert auf einer Dauerexposition von 8760 Stunden und stützt sich auf Radionuklide mit einer hohen Richtungsäquivalentdosisleistung $h_{c0.07}$ ($1.9 \text{ (mSv/h)/(kBq/cm}^2\text{)}$ bei $CS = 3 \text{ Bq/cm}^2$) ab. Bei einer Ganzkörperkontamination resultiert daraus eine effektive Dosis von 0.5 mSv.

Im Ereignisfall wird nach Faustregel 1 davon ausgegangen, dass sich die Bestrahlung der Haut auf zwei Tage beschränkt. Die kürzere Expositionszeit kann somit durch eine proportionale Erhöhung der Anzahl Richtwerte kompensiert werden. Die Haut kann somit während zwei Tagen mit 365 CS bestrahlt werden bis eine Hautdosis von 100 mGy bzw. eine effektive Dosis von 1 mSv erreicht wird.

Faustregel 3: Die Ingestion der Aktivität einer Hautfläche von 10 cm^2 , welche mit 365 CS kontaminiert ist, führt bei einem Erwachsenen zu einer effektiven Ingestionsdosis von 0.5 mSv.

Nach der Strahlenschutzverordnung entspricht der Richtwert für die Oberflächenkontamination (CS) einer Ingestionsdosis von 0.5 mSv pro Jahr. Der Richtwert basiert auf einer täglichen Ingestion der Aktivität, welche sich auf einer Fläche von 10 cm^2 befinden kann. Bei einer einmaligen Ingestion kann die Anzahl der Richtwerte um den Faktor 365 erhöht werden. Eine einmalige Ingestion von 10 cm^2 Hautfläche (Finger ablecken), welche mit 365 CS kontaminiert ist, führt demzufolge zu einer effektiven Ingestionsdosis von 0.5 mSv. Die Abschätzungen bzgl. Ingestionsdosis beziehen sich auf Erwachsene. Bei Kindern resultieren etwa um den Faktor 2 - 3 höhere Ingestionsdosen, falls die gleiche Aktivität eingenommen wird.

Obige Abschätzungen basieren auf einem Ingestionsdosisfaktor von 4.5 E-8 Sv/Bq (bei $1 \text{ CS} = 3 \text{ Bq/cm}^2$). Vergleichende Faktoren für einige typische Nuklide sind in Tabelle 3 aufgeführt. In Tabelle 4 werden die externe effektive Dosis durch Hautkontamination als auch die Ingestionsdosis bei einer Hautkontamination von 365 CS mit den nuklidspezifischen Faktoren $h_{c0.07}$ bzw. e_{ing} berechnet. Ein Vergleich der externen mit der Ingestionsdosis zeigt, dass die Ingestionsdosis via Hautkontamination bei den aufgeführten Nukliden gegenüber der externen Dosis nicht vernachlässigt werden kann.

Bei einem frischen Spaltproduktgemisch dürfte der nuklidanteilmässig gewichtete Ingestionsdosisfaktor einiges tiefer liegen als für die aufgeführten einzelnen Nuklide, wodurch in einem solchen Fall die Ingestion via Hautkontamination gegenüber der direkten Dosis durch Hautkontamination vernachlässigt werden kann.

Tabelle 3: Ingestionsdosisfaktoren einiger Radionuklide nach StSV, Anhang 4

Nuklid	e_{ing} Kleinkinder [Sv/Bq]	e_{ing} Erwachsene [Sv/Bq]
Sr-90	7.3 E-8	2.8 E-8
I-131	1.8 E-7	2.2 E-8
Cs-137	1.2 E-8	1.3 E-8
U- 235	1.3 E-7	4.7 E-8
Pu-239	4.2 E-7	2.5 E-7
Am-241	3.7 E-7	2.0 E-7

Tabelle 4: Vergleich der resultierenden externen effektiven Dosis mit der Ingestionsdosis bei einer Hautkontamination von 365 CS

Nuklid	365 CS [kBq/cm²]	E_{ext} [mSv]	E_{ing} Kleinkinder [mSv]	E_{ing} Erwachsene [mSv]
Sr-90	1.10	0.73	0.80	0.31
I-131	1.10	0.73	2.00	0.24
Cs-137	1.10	0.86	0.13	0.14
U- 235	1.10	0.10	1.42	0.51
Pu-239	0.11	--	0.46	0.27
Am-241	0.11	--	0.41	0.22

E_{ext} : Resultierende Dosis bei einer Hautkontamination während 2 Tagen mit 365 CS.

E_{ing} : Ingestion der Aktivität, welche sich auf einer Hautfläche von 10 cm² befindet.

Faustregel 4: Die Haut- oder Kleiderkontamination pro Fläche beträgt ca. 10 % der Geländecontamination (Ablagerung auf Gras)

Grundsätzlich kann bei Ereignisfällen mit Gelände-Kontaminationen davon ausgegangen werden, dass bei Personen im Freien auch Haut- und Kleider-Kontaminationen auftreten. Die Faustregel basiert bei direkter Kontamination aus der Wolke primär auf Überlegungen zur Deposition auf Oberflächen. Diese haben einerseits verschiedene Rauheiten, andererseits sind sie beim Menschen vorwiegend vertikal statt horizontal ausgerichtet. Bei nasser Ablagerung kann man von einem besseren Schutz (Regenschutz) ausgehen, so dass kaum Hautkontaminationen vorkommen sollten.

Die Faustregel gilt auch für die Kontaminationsübertragung nach Ende des Wolkendurchzugs. Es sind dabei vor allem Übertragungen durch Gartenarbeit oder das Spielen von Kindern im Sandkasten gemeint, wo ein intensiver Kontakt mit dem Boden stattfindet. Die Faustregel geht davon aus, dass durch Arbeiten am Boden auch eine Durchmischung und somit Verdünnung stattfindet. Dadurch wird nicht die ganze Kontamination übertragen. Der Anteil der übertragbaren Kontamination nimmt durch Abwaschen und Fixierung mit der Zeit ab.

Anhang 2: Diskussion der Ereignisse

Im Folgenden wird für einzelne Szenarien grob abgeschätzt mit wie vielen kontaminierten Personen (> 100 CS) zu rechnen ist.

a) KKW-Unfall im Inland

Die Dosis für Personen der Bevölkerung durch Haut- und Kleider-Kontamination nach einem Kernkraftwerksunfall ist während der Wolkenphase, wie die Inkorporationsdosis, gering relativ zur externen Dosis, die zum grössten Teil den Edelgasen zuzuschreiben ist. Die Haut- und Kleider-Kontaminationen können allerdings in Einzelfällen Hautdosen verursachen, die akute Strahleneffekte hervorrufen.

Die HSK hat für die Notfallplanung im Notfallschutzkonzept [KomABC 2006] drei Referenzszenarien definiert:

- Szenarien ohne Kernbeschädigung
- Szenarien mit Kernbeschädigung und korrekter Funktion des Sicherheitsgebäudes und der gefilterten Druckentlastung
- Szenarien mit Kernbeschädigung und ohne korrekte Funktion des Sicherheitsgebäudes

Im Folgenden wird für die drei Referenzszenarien beurteilt, wie weit mit einer Überschreitung der Eingreifwerte für die Personendekontamination zu rechnen ist. Als Planungsgröße für die Beurteilung der Auswirkungen wird dabei der aus den dargestellten Wetterlagen berechnete Mittelwert verwendet.

Szenarien ohne Kernbeschädigung

Beim Szenario ohne Kernbeschädigung werden keine Hautdosen bzw. Hautkontaminationen erreicht, die zu einer Überschreitung der Eingreifschwellen führen.

Die bei diesem Szenario zu erwartende Hautkontamination unmittelbar nach dem Wolkendurchzug ist in Figur 1 dargestellt. Die untere Eingreifschwelle von 100 CS wird bei diesem Szenario nirgends erreicht.

Szenarien mit Kernbeschädigung und korrekter Funktion des Sicherheitsgebäudes und der gefilterten Druckentlastung

Bei diesem Szenario ist mit einer Überschreitung der unteren nicht aber der oberen Eingreifschwelle für Personendekontamination zu rechnen. Die untere Eingreifschwelle dürfte bei denjenigen Personen, die sich während des Wolkendurchzugs in Abwindrichtung in Zone 1 oder 2 im Freien aufgehalten haben, überschritten werden.

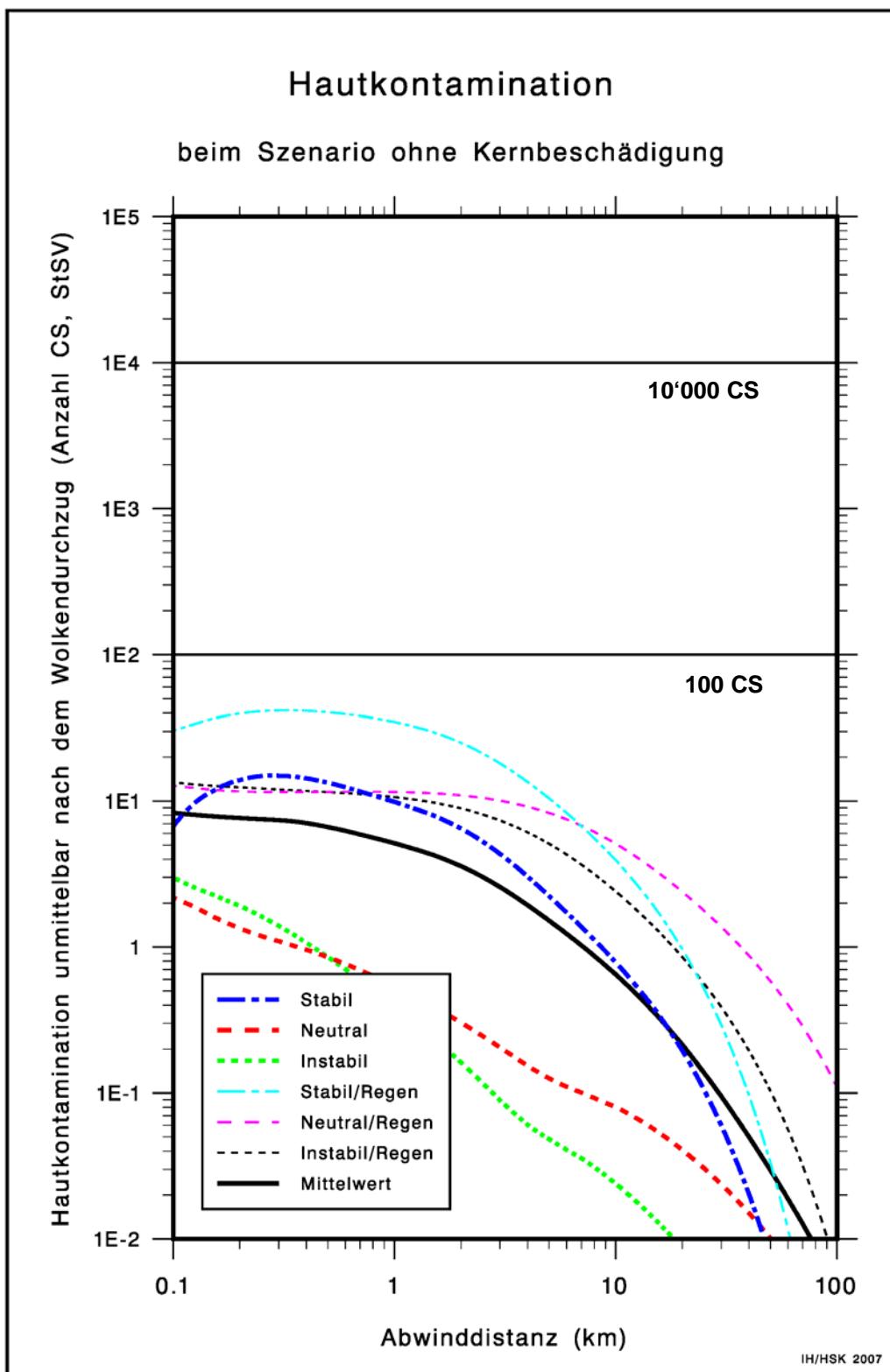
In der Zone 1 und einem Sektor der Zone 2 wohnen maximal 300'000 Personen (KKM). Unter der Annahme, dass sich 5 % der Bevölkerung nicht an die Anweisungen⁶ gehalten haben und, dass sich etwa die Hälfte im unmittelbaren Wolkendurchzugsgebiet aufgehalten

⁶ Aufenthalt im Keller/Schutzraum während des Wolkendurchzugs,

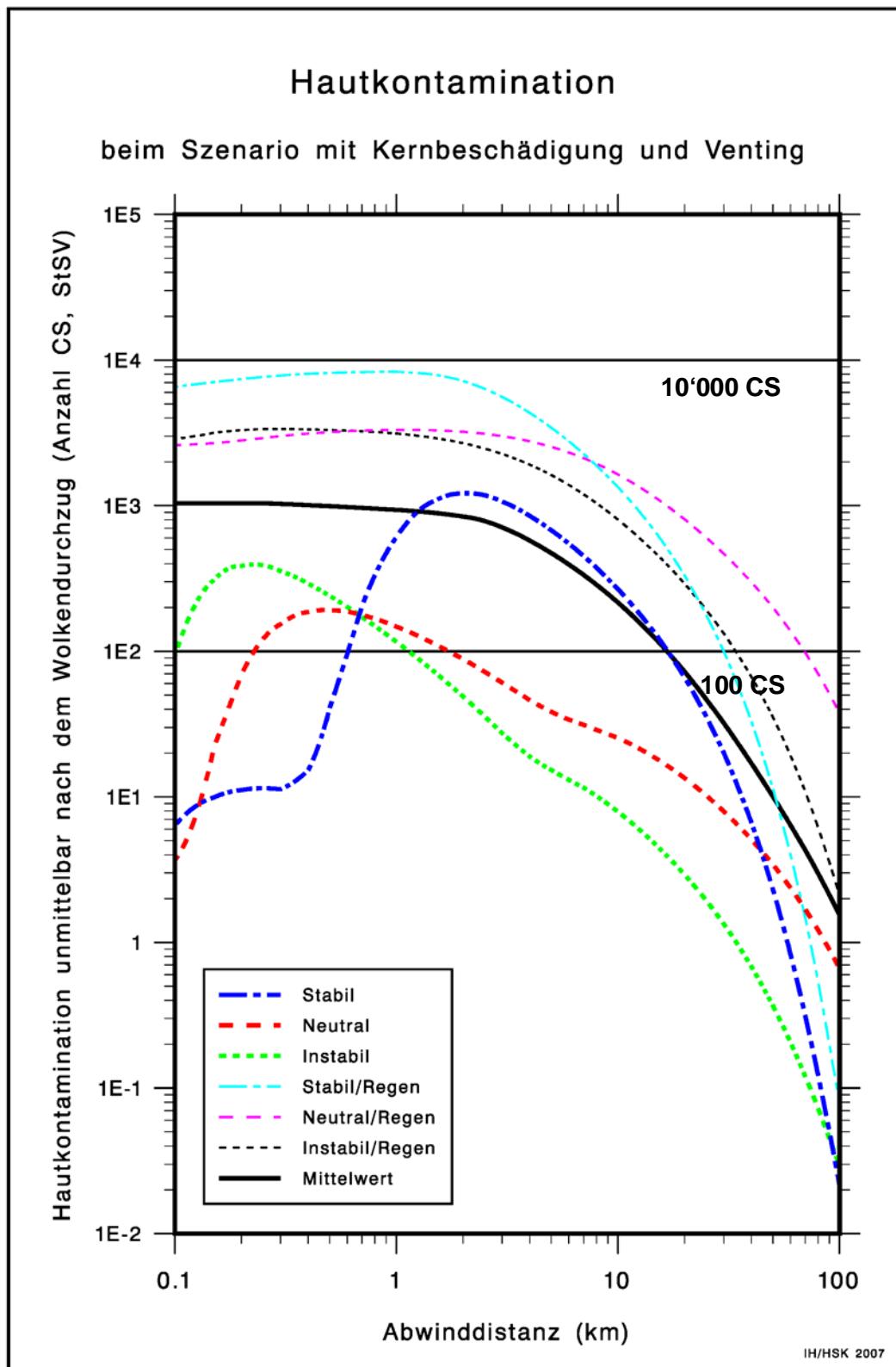
hat, ist mit einigen Tausend Personen zu rechnen, die die untere Eingreifschwelle für die Personendekontamination überschreiten.

Szenarien mit Kernbeschädigung und ohne korrekte Funktion des Sicherheitsgebäudes

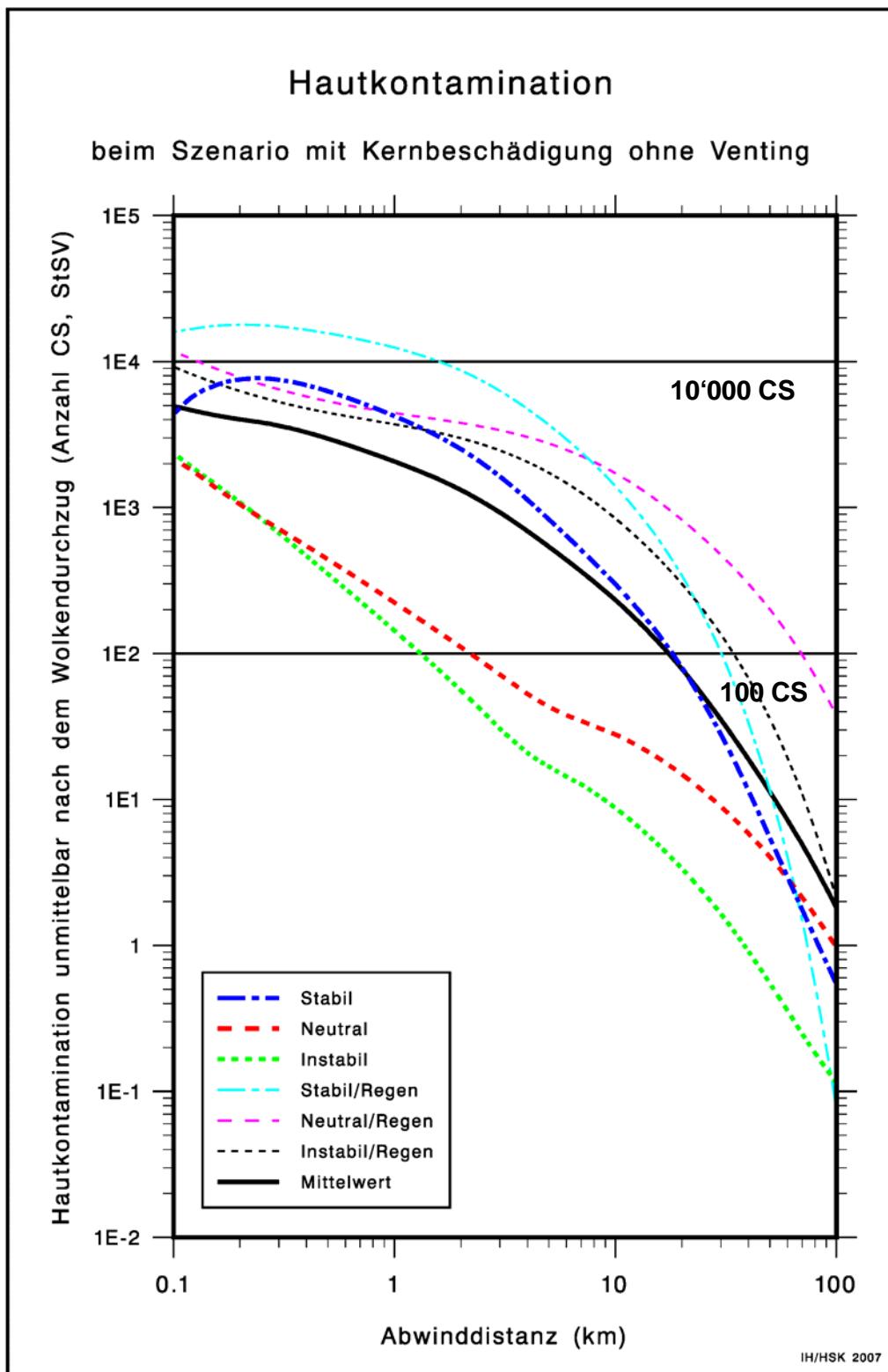
Bei diesem Szenario ist wie beim vorherigen Szenario beim Mittelwert über alle berücksichtigten Wetterlagen mit einer Überschreitung des unteren nicht aber des oberen Eingreifwerts für Personendekontamination zu rechnen. Die untere Eingreifschwelle dürfte bei denjenigen Personen, die sich während des Wolkendurchzugs in Abwindrichtung in Zone 1 oder 2 im Freien aufgehalten haben überschritten werden. Es ist auch hier mit einigen Tausend Personen zu rechnen, die die untere Eingreifschwelle für die Personendekontamination überschreiten.



Figur 1: Hautkontamination unmittelbar nach dem Wolkendurchzug in Funktion der Abwinddistanz für das Szenario ohne Kernbeschädigung



Figur 2: Hautkontamination unmittelbar nach dem Wolkendurchzug in Funktion der Abwinddistanz für das Szenario mit Kernbeschädigung und Venting



Figur 3: Hautkontamination unmittelbar nach dem Wolkendurchzug in Funktion der Abwinddistanz für das Szenario mit Kernbeschädigung ohne Venting

b) Ereignisse mit lokaler, oder grossflächiger aber geringer Kontamination

Die im Folgenden diskutierten Ereignisse verlangen keine detaillierte Analyse, da der "KKW-Unfall im Inland" als Umhüllende betrachtet werden kann, wobei jedoch die Anzahl der Personen mit Überschreitung der unteren Eingreifschwelle für Personendekontamination wesentlich kleiner ist (Planungsgrösse: einige 10 Personen). Eine Ausnahme ist der A-Waffen-Unfall ohne nukleare Explosion.

Bei einem **Transportunfall, Betriebsunfall inklusive Brand, verlorenen Quellen** als auch bei einem **Terroranschlag mit Verbreitung von Radioaktivität** sind voraussichtlich nur einzelne Personen aus der Bevölkerung > 100 CS kontaminiert. Die Anzahl der Personen, die potentiell betroffen sein kann oder sich betroffen fühlt und überprüft werden muss, kann jedoch um ein Vielfaches höher sein (insbesondere Flugzeugabsturz oder Terroranschlag).

Bei einem **A-Waffen-Unfall ohne nukleare Explosion** können höhere Alpha-Kontaminationen auftreten von denen ein grösserer Personenkreis betroffen sein kann. Der Palomares-Unfall von 1966 gehört in diese Kategorie. Damals wurden gesamthaft etwa 2000 Personen ausgemessen. Am meisten betroffen waren damals die Rettungsmannschaften selbst.

Durch einen **KKW-Unfall im Ausland** und den **A-Waffen-Einsatz im fernen Ausland** sind grossflächige, geringe Kontaminationen (Fall-out, Wash-out) möglich. Die Personenkontaminations-Messung ist eher vom Typ "Verifikation und Beweissicherung".

c) A-Waffen-Einsatz im Inland oder benachbarten Ausland

Eine umfassende Analyse des Ereignisfalls A-Waffen-Einsatz im Inland oder im benachbarten Ausland sprengt den Rahmen der Möglichkeiten dieser Arbeitsgruppe. Im Folgenden werden deshalb nur einige wichtige Eckpunkte aufgezählt:

Die militärstrategischen Experten erachten einen A-Waffen-Einsatz in Europa im heutigen internationalen militärisch/politisch/strategischen Umfeld als sehr unwahrscheinlich. Aufgrund der aktuellen Nuklearwaffendoktrin der Nuklearwaffenstaaten müsste, falls überhaupt, am ehesten mit dem Einsatz von taktischen A-Waffen gerechnet werden. Es handelt sich dabei vorwiegend um Sprengköpfe von geringer Sprengkraft (etwa 1-20 kT).

Aufgrund von aktuellen Expertenstudien muss nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit damit gerechnet werden, dass eine terroristische Gruppe eine A-Waffe selber herstellen oder entwenden und zum Einsatz bringen könnte. Es dürfte sich dabei auch in diesem Fall eher um Sprengkörper mit geringer Sprengkraft von etwa 1-20 kT handeln.

Falls eine solche A-Waffe auf oder nahe der Erdoberfläche explodiert, müsste durch den Lokalfallout eine starke Gelände-Kontamination mit einer Ausdehnung von einigen km^2 bis zu ca. 100 km^2 erwartet werden. Innerhalb dieser Fläche muss aufgrund der Betastrahlung des Fallouts bei ungeschütztem Aufenthalt im Freien und ohne das Ergreifen von Dekontaminationsmassnahmen mit akuten Strahlenschäden der unbedeckten Haut gerechnet werden. Dementsprechend können sehr grosse Bevölkerungsgruppen davon betroffen sein. Die Kontamination wird mit grobkörnig (ähnlich feinem Sand) und relativ leicht zu entfernen beschrieben.

In diesem Fall sind die Massnahmen im Sinne einer Anweisung zur Selbsthilfe vordringlich und im Rahmen des Möglichen immer zu ergreifen. Eine zentrale Kontaminationsmessung und Personendekontamination erscheint angesichts der grossen Zahl potentiell betroffener Personen, der hohen zeitlichen Dringlichkeit der Dekontaminationsmassnahmen und eventueller Einschränkungen der Aufenthaltszeit ausserhalb von Schutzzäumen in diesem Fall kaum machbar.

Anhang 3: Dosisdefinitionen

Für die Beurteilung der akuten Strahlenschäden ist die **absorbierte Dosis** (in Gray, Gy) ausschlaggebend. Die absorbierte Dosis ist hingegen für die Beurteilung der Spätschäden ungeeignet, da sie die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten nicht berücksichtigt. Bei der so genannten **Äquivalentdosis** wird die übertragene Energie für jede Strahlenart mit dem zugehörigen Strahlungswichtungsfaktor w_R gewichtet. Die Äquivalentdosis wird in Sievert (Sv) ausgedrückt). Bei β - und γ -Strahlung ist der Wichtungsfaktor 1.

Für die richtige Beurteilung von Teilkörperbestrahlungen wird die **effektive Dosis** (in Sv) benutzt. Damit kann eine Teilkörperbestrahlung bezüglich des Risikos mit einer Ganzkörperbestrahlung verglichen werden. Die effektive Dosis berücksichtigt die Energieabgabe, die Strahlenart, die unterschiedliche Empfindlichkeit der betroffenen Organe und somit auch die Verteilung der Strahlung über den Körper. Für die Berechnung der effektiven Dosis wird die Äquivalentdosis eines Organs mit dem Wichtungsfaktor (w_T) des entsprechenden Organs multipliziert. Die Summe über alle Organe ergibt die effektive Dosis. Bei einer Kontamination der Haut ist nur die Haut massgeblich von einer Exposition betroffen. Der Wichtungsfaktor für die Haut beträgt 0.01. Eine auf der Haut absorbierte Dosis von 1 Gy ergibt somit eine effektive Dosis von 10 mSv.

Anhang 4: Referenzen

- [ACLS 1988] E. Schmid, Kriterien zur Beurteilung der Schadenwirkung der Kernstrahlung von Nuklearwaffen auf Mensch, natürliche Umwelt und zivile Infrastruktur und ihre Anwendung auf nukleare Szenarien. Bericht Labor Spiez ACLS 8503.
- [NRPB 1988] J.W. Stather et al., Health Effects Models Developed from the 1988 UNSCEAR Report, NRPB-R226
- [VEOR 1991] VEOR vom 26. Juni 1991 - SR 732.32
- [HSK 1993] E. Stoll, Planungsgrundlage für die medizinische Behandlung von Personen mit akuten Strahlenschäden nach einem schweren Kernkraftwerkunfall. Aus HSK-AN-2459 / KSA-AN-1752, Revision 1 vom 15. März 1993
- [SUVA 2001] Der Strahlenunfall, Informationsschrift der Suva zur Behandlung von Strahlenverletzten, 2001, Bestellnummer 2869/21
- [StSV 1994] StSV vom 22. Juni 1994 - Sr 814.501
- [KomABC 2003] Konzept Kontaktstelle, KomABC 2003
- [KomABC 2006a] Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen, KomABC Januar 2006
- [KomABC 2007] Konzept für die Zusammenarbeit bei Ereignissen mit vorsätzlicher Freisetzung von radioaktiven Stoffen ('Schmutzige Bombe' - Szenarien), KomABC April 2007