

Der Strahlenunfall

Was ist zu tun?

suvapro

Sicher arbeiten

Suva

Arbeitsmedizin
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte

Tel. 041 419 58 51

Bestellungen

www.suva.ch
Tel. 041 419 58 51
Fax 041 419 59 17

Titel

Der Strahlenunfall
Was ist zu tun?

Verfasser

Dipl. Phys. ETH Lisa Pedrazzi, Bereich Physik
Dr. med. Klaus Ernst Stadtmüller, Bereich
Fachärztinnen und Fachärzte Arbeitsmedizin

Gedruckt in der Schweiz
Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung –
mit Quellenangabe gestattet.
Erstausgabe: April 1992
Überarbeitete Ausgabe: Januar 2017

Bestellnummer

2869/21.d

Inhalt

Einleitung	5
Was ist ein Strahlenunfall?	6
Wo können Strahlenunfälle vorkommen?	9
So erkennt man einen Strahlenunfall	12
Vorgehen bei einem wahrgenommenen Strahlenunfall	13
Vorgehen bei einem nicht wahrgenommenen Strahlenunfall	17
Beispiele	20
Nach der Hospitalisierung	23
Die biologische Dosimetrie	25
Strahlenunfall und Schwangerschaft	26
Anhang 1 – Wichtige Telefonnummern	27
Anhang 2 – Häufig verwendete Radionukleide	28
Weiterführende Informationen	29
Gesetzliche Grundlagen	30

Ionisierende Strahlung kann für den Menschen gefährlich sein. Wie stark die gesundheitlichen Schädigungen sind, hängt im Wesentlichen von der akkumulierten Dosis ab.

Ereignisse im Umgang mit ionisierender Strahlung kommen immer wieder vor. Gesundheitliche Beeinträchtigungen nach solchen Unfällen sind jedoch sehr selten. Trotzdem benötigen Erstkontaktierte/Ersthelfende klare Informationen, wie sie einen Strahlenunfall als solchen erkennen, die richtigen Entscheidungen treffen und die notwendigen Massnahmen einleiten.

Einleitung

Diese Publikation informiert, wie vorzugehen ist, wenn eine einzelne oder einige wenige Personen unfreiwillig einer erhöhten ionisierenden Strahlung ausgesetzt waren.

Angesprochen sind in erster Linie:

- Sachverständige für Strahlenschutz in Betrieben
- Ersthelfende, Personal von medizinischen Notfallstationen
- Niedergelassene Ärzte
- Auskunftspersonen (z. B. Tox-Zentrum)

Diese Zielgruppen werden die gesundheitlichen Folgen eines offensichtlichen oder bekannten Strahlenunfalls eher selten sehen: Selbst eine hohe Bestrahlungsdosis bewirkt erst eine gewisse Zeit nach dem Unfall spür- oder erkennbare Gesundheitsstörungen. Dann werden die Verunfallten in der Regel bereits professionell betreut. Nach einem nicht erkannten Bestrahlungsunfall oder gar nach einem kriminellen Geschehen hingegen können gesundheitliche Auswirkungen die ersten Hinweise sein, die der verletzten Person selbst oder ihrem Umfeld auffallen.

Es geht nicht um den Katastrophenfall

Die Publikation informiert nicht über Katastrophenfälle wie einen Reaktorunfall, eine Kernwaffenanwendung oder schmutzige Bombe. Bei solchen Ereignissen ist eine grossflächige Belastung durch radioaktiven Niederschlag (Fallout) möglich.

Falls radioaktive Stoffe freigesetzt werden, besteht das Hauptziel darin, die Strahlenbelastung durch äussere Bestrahlung und Inkorporation zu verringern. Zu diesem Zweck ordnen die Behörden Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung an (Aufenthalt in Innenräumen, vorsorgliche/nachträgliche Evakuierung, Einnahme von Jodtabletten, Ernte- und Weideverbot). Auch wird wiederholt die Strahlenbelastung in der Umwelt und bei Lebensmitteln gemessen und Dekontaminationen vorgenommen. Die Verantwortlichkeiten und das Vorgehen in diesen Situationen sind in der Notfallenschutzverordnung in der Umgebung von Kernanlagen, der Verordnung über die Nationale Alarmzentrale und der ABCN-Einsatzverordnung geregelt.

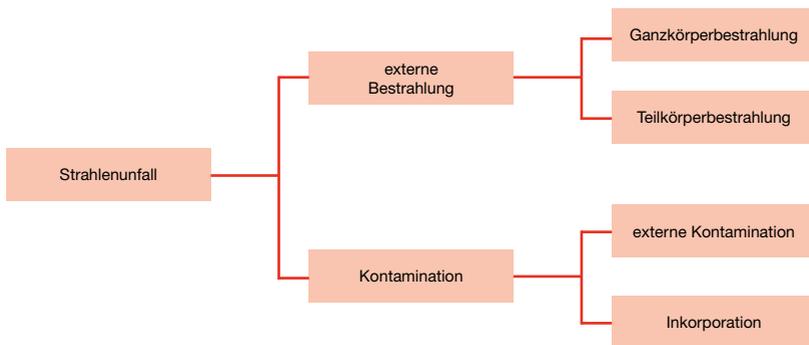
Was ist ein Strahlenunfall?

Ein Strahlenunfall wird hier wie folgt definiert: Eine plötzliche, ungewollte und unvorhergesehene Exposition durch ionisierende Strahlung von relativ kurzer Dauer, die gesundheitliche Beeinträchtigungen (sogenannten Frühschäden) verursachen kann. Diese Definition weicht ab von der formalen Bestimmung in der Strahlenschutzgesetzgebung. Dort gilt ein Ereignis bereits als Strahlenunfall, wenn dabei eine Anlage nicht im Normalbetrieb ist und eine Person einer Ganzkörperdosis von mehr als 50 mSv ausgesetzt wird.

Strahlenunfälle werden in zwei Hauptgruppen unterteilt:

1. Unfall durch externe Bestrahlung bei Aufenthalt in der Nähe einer Strahlenquelle.
2. Unfall mit Anhaften und/oder Aufnahme von radioaktiven Teilchen durch Einatmen, Verschlucken oder über offene Hautstellen (Kontamination/Inkorporation).

Diese Unterscheidung ist wichtig, da im ersten Fall, nach Abschalten oder Verlassen des Strahlenfeldes, die Strahleneinwirkung (auch für die Helfenden) abgeschlossen ist. Im zweiten Fall hingegen dauert sie an (Verschmutzung der Körperoberfläche mit radioaktiven Stoffen oder Inkorporation von solchen). Ausserdem müssen Ersthelfende bei Kontakt mit kontaminierten Personen wenn möglich Massnahmen für ihren eigenen Schutz ergreifen (z. B. Handschuhe und Atemschutzmaske wie bei einer bakteriellen oder chemischen Verunreinigung). Bei einer externen Bestrahlung sind diese Massnahmen nicht nötig.



1 Einteilung der Strahlenunfälle

Externe Bestrahlung

Externe Bestrahlungen werden in zwei Gruppen unterteilt: die Ganzkörper- und die Teilkörperbestrahlung. Diese zu unterscheiden ist hilfreich, weil die Auswirkungen auf den Körper recht unterschiedlich sind und somit auch die Gesundheitsstörungen und die Therapie.

Kontamination

Kontaminationen sind wie folgt zu unterscheiden: Bleibt die radioaktive Verschmutzung auf die Kleider oder auf die Haut beschränkt, spricht man von externer Kontamination (kurz Kontamination). Bei einer Inkorporation werden die radioaktiven Substanzen in den Körper aufgenommen (über Mund, Atemwege oder Haut).

Kombinationsverletzungen

Strahlenunfälle können von «konventionellen» Unfallverletzungen wie Verbrennungen, Verätzungen und mechanischen Traumatisierungen begleitet sein. Dann spricht im Strahlenschutz von einer Kombinationsverletzung. Auch weitere lebensbedrohliche Zustände wie Herz- oder Atemstillstand können parallel auftreten.

Wichtig: Bei einer Kombinationsverletzung hat die Behandlung der konventionellen Verletzung unbedingt Priorität vor der Dekontaminierung. Dies gilt besonders für die notwendigen Sofortmassnahmen bei akuter Lebensgefahr (z. B. schwere arterielle Blutung). Beim Umgang mit kontaminierten Verunfallten besteht für die Ersthelfenden lediglich eine geringe Strahlengefahr, selbst wenn sie keine Schutzausrüstung tragen.

externe Bestrahlung	Kontamination
<ul style="list-style-type: none"> • Lebensbedrohliche konventionelle Verletzungen: Immer vorrangig behandeln. • Nach Verlassen des Strahlenfeldes ist die Bestrahlung abgeschlossen. • Es besteht keine Gefahr für Erstkontaktierte/ Ersthelfende. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebensbedrohliche konventionelle Verletzungen: Immer vorrangig behandeln. • Die Strahlenquelle befindet sich auf oder im Körper. • Erstkontaktierte/ Ersthelfende sollten sich, wenn möglich, gegen konventionelle Expositionen schützen (wie bei einer mikrobiologischen oder chemischen Verunreinigung). Die Strahlengefahr ist gering.

2 Übersicht externe Bestrahlung und Kontamination

Früh- und Spätschäden

Neben den betrachteten Frühschäden, die dosisabhängig sind, können auch sogenannte stochastische Spätschäden auftreten, vor allem Krebserkrankungen. Diese zeigen sich aber erst Jahre bis Jahrzehnte nach einer Strahlenexposition.

Wo können Strahlenunfälle vorkommen?

Ionisierende Strahlung wird beispielweise von Röntgenanlagen erzeugt, aber auch von radioaktiven Substanzen (Radionuklide) ausgesandt. Diese radioaktiven Quellen können gekapselt (Bild 3) oder offen (Bild 4) vorkommen.



3 geschlossene Strahlenquelle



4 offene Strahlenquelle

Strahlenunfälle können überall dort vorkommen, wo mit ionisierender Strahlung umgegangen wird. Die folgende Auflistung zeigt mögliche Tätigkeiten/Situationen auf, bei welchen eine Person gegenüber ionisierender Strahlung exponiert werden kann. Diese Auflistung ist nicht abschliessend.

Industrie und Forschung

Hier werden radioaktive Quellen und Röntgenanlagen für folgende Zwecke eingesetzt:

- Energiegewinnung (Kernkraftwerke)
- zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (industrielle Durchstrahlungsprüfung)
- Materialbehandlung (Sterilisation und Vernetzung)
- Mess- und Regeltechnik (Füllstands-, Schichtdicken- und Dichtemessung)
- Herstellung von Radionukliden
- Forschungslabor



5 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Mitarbeitende, die mit ionisierender Strahlung umgehen, müssen entsprechend geschult werden und die Anlagen müssen dem Stand der Technik entsprechen. So ist die Wahrscheinlichkeit eines Strahlenunfalls sehr gering. Hält sich jedoch eine Person nicht an die Strahlenschutzregeln oder versagen technische Systeme, kann eine unfallartige Bestrahlung stattfinden.

Medizin

Radioaktive Quellen und Röntgenanlagen werden in der Human- und Veterinärmedizin für diagnostische und therapeutische Zwecke verwendet:

- Radiologische Untersuchungen (Röntgenaufnahme und CT)
- Radiotherapie
- Nuklearmedizin (SPECT und PET)

Bei der medizinischen Anwendung können nicht nur Mitarbeitende, sondern auch Patienten einer ungewollten Bestrahlung ausgesetzt werden. Die periodische Überprüfung der Geräte und die Ausbildung des Personals senken jedoch die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses.

Herrenlose Quellen: Werden radioaktive Quellen unwissentlich oder versehentlich als normaler Abfall entsorgt, gelangen sie ins Altmetall oder in Kehrichtverbrennungsanlagen. Radioaktive Stoffe finden sich auch in ehemaligen Deponien. Mitarbeitende können in solchen Situationen unwissentlich mit radioaktiven Stoffen in Kontakt kommen.

Kriminelle Absicht: Es gibt Beispiele, bei denen Personen in krimineller Absicht bestrahlt werden, wie etwa ein russischer Journalist im Jahr 2006. Dieser starb, nachdem ihm etwa 20 Tage zuvor eine kleine Menge eines hochradiotoxischen Radionuklids (Polonium-210) verabreicht worden war.



6 CT-Anlage in einem Spital

So erkennt man einen Strahlenunfall

Beim Auftreten eines Strahlenunfalls gibt es zwei mögliche Varianten:

- **wahrgenommener Strahlenunfall**

Der Unfall ereignet sich in einem Betrieb (Industrie, Medizin, Kernanlage), in dem mit ionisierender Strahlung umgegangen wird. In dieser Situation wird der Unfall in der Regel erkannt. Es ist mit Unterstützung durch das Fachpersonal zu rechnen, das die Sofortmassnahmen einleitet.

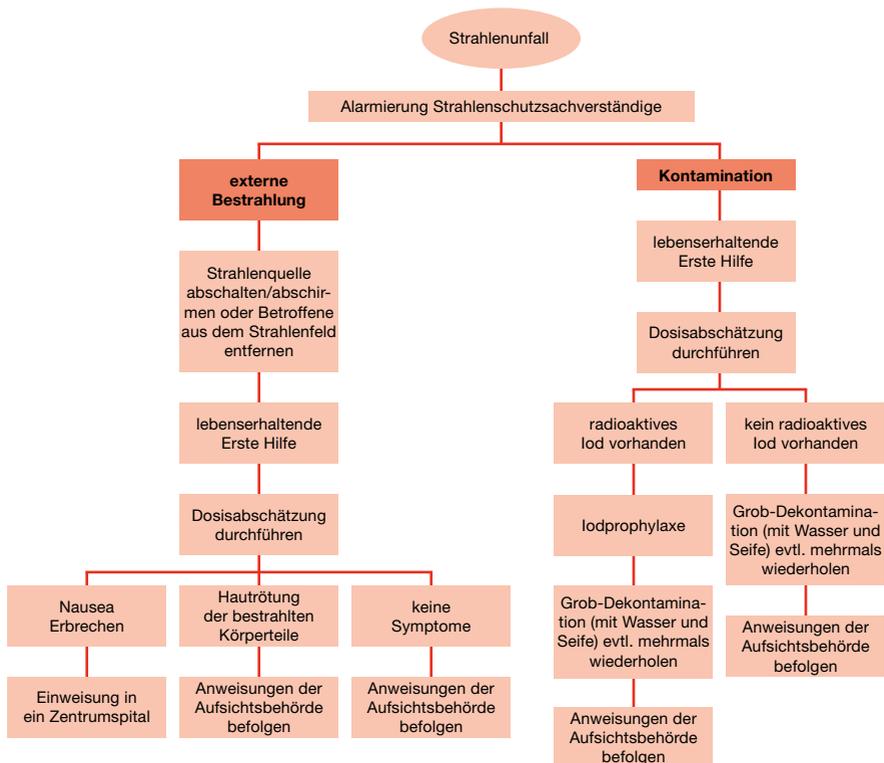
- **nicht wahrgenommener Strahlenunfall**

In diesem Fall (nicht erkannter betriebsinterner Strahlenunfall, Kontakt mit herrenlosen radioaktiven Substanzen, kriminelle Absicht) können gesundheitliche Auswirkungen überhaupt die ersten Zeichen sein, die der verletzten Person selbst oder ihrem Umfeld auffallen. Dann wird sich die betreffende Person wahrscheinlich direkt bei ihrem behandelnden Arzt oder bei einer Notfallstation melden.

Vorgehen bei einem wahrgenommenen Strahlenunfall

Betriebe, die mit ionisierender Strahlung umgehen, benötigen eine Umgangsbewilligung und müssen eine oder mehrere ausgebildete Strahlenschutzsachverständige beschäftigen. Ausserdem sind allen Mitarbeitenden die möglichen Expositionssituationen (externe Bestrahlung oder Kontamination) bekannt. Das entsprechende Vorgehen ist in betriebspezifischen Notfallabläufen definiert und schriftlich dokumentiert.

Besteht der Verdacht eines Strahlenunfalls, müssen Ersthelfende gemäss dem untenstehenden Schema vorgehen.



7 Massnahmen bei einem wahrgenommenen Strahlenunfall

Externe Bestrahlung

1. Als Erstes muss eine verantwortliche Person des Betriebes alarmiert werden. Die Bestrahlung ist nach Möglichkeit zu unterbrechen: Anlage ausschalten, Strahlenquelle abschirmen oder Betroffene aus dem Strahlenfeld entfernen.
 2. Ist die Person verletzt, werden die nötigen Erste-Hilfe-Massnahmen durchgeführt. Zu empfehlen sind die üblichen hygienischen Massnahmen zum Selbstschutz (Blutkontakte vermeiden, Handschuhe tragen).
 3. Anhand des Unfallherganges wird der/die Strahlenschutzsachverständige eine erste Dosisabschätzung durchführen und diese der Aufsichtsbehörde (siehe Anhang 1) melden. Falls Dosimeter vorhanden sind, werden diese unverzüglich zur Sofortauswertung an die Dosimetriestelle geschickt.
 4. Liefert die Dosisabschätzung Werte über 1 Sv (Ganzkörperdosis) oder treten Übelkeit oder Erbrechen auf, ist die Einweisung in ein Zentrumspital (Spital mit nuklearmedizinischer und hämatologischer Abteilung) notwendig.
- Anschliessend sind die Anweisungen der Aufsichtsbehörde zu befolgen.

Kontamination

1. Als Erstes muss eine verantwortliche Person des Betriebs alarmiert werden.
2. Bei lebensbedrohlichen Zuständen ist es möglich, dass vor der Dekontamination lebensrettende Sofortmassnahmen durchgeführt werden müssen. In diesem Fall können kontaminierte Körperteile abgedeckt werden. Die Einsatzorganisationen (Sanität, Notfallarzt usw.) müssen über die Kontamination informiert werden. Alle bei der Rettung involvierten Personen und Oberflächen müssen nachträglich auf Strahlung gemessen und gegebenenfalls dekontaminiert werden. Die Gefährdung für diese Personen ist jedoch erfahrungsgemäss sehr gering.
3. Falls kein lebensbedrohlicher Zustand vorliegt, wird umgehend die Dekontamination vorgenommen. Dazu müssen die im Betrieb oder im betreffenden Raum in Frage kommenden Nuklide ermittelt werden. Das Strahlenschutzpersonal hat die dafür nötigen Instrumente. Für die Helfenden bilden die üblichen hygienischen Schutzmassnahmen gleichzeitig auch einen ausreichenden Schutz vor Kontamination durch anhaftende radioaktive Stoffe (Bild 8).



8 Die üblichen hygienischen Schutzmassnahmen bilden für den Helfenden einen ausreichenden Schutz vor Kontamination durch anhaftende radioaktive Stoffe.

Die Behandlung von Kontaminationen im Bereich von Nase und Mund hat Priorität, offene Wunden sollten abgedeckt werden:

- a. Schleimhäute mit Wasser (oder physiologischer Kochsalzlösung) spülen.
- b. Kontaminierte Kleider entfernen.
- c. Haut mit Wasser und Seife waschen. Schonend vorgehen, um Hautverletzungen zu vermeiden. Es gilt zu verhindern, dass bisher nicht kontaminierte Haut durch den Dekontaminationsprozess kontaminiert wird. Offene Wunden sollen mit einem wasserfesten Verband abgedeckt werden.
- d. Eventuell Haare schneiden.
- e. Kontaminierte Materialien (Kleider, Tücher, Waschwasser, usw.) in Plastikbehälter verschliessen.
- f. Kontaminationsmessungen bei den Verunfallten durchführen.

Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis die gemessene Kontamination nicht mehr verändert werden kann (keine übertragbare Kontamination mehr).

Falls es sich um radioaktives Jod handelt, wird schnellstmöglich die Prophylaxe mit der empfohlenen Dosis Kaliumjodid eingeleitet. Das Kaliumjodid bewirkt, dass möglichst wenig radioaktives Jod in den Schilddrüsenstoffwechsel gelangt.

4. Gleichzeitig wird der/die Strahlenschutzsachverständige anhand des Unfallhergangs eine erste Dosisabschätzung durchführen und diese der Aufsichtsbehörde melden. Falls Dosimeter vorhanden sind, werden diese unverzüglich an die Dosimetriestelle geschickt. Allfällige weitere Messungen (z. B. Schneck-, Spuck-, Urin- oder Stuhlproben für die Analyse bei Verdacht auf Inkorporation) werden in Zusammenarbeit mit dem Strahlenschutzsachverständigen und der Aufsichtsbehörde organisiert.
5. Liefert die Dosisabschätzung Werte über 1 Sv (sehr unwahrscheinlich bei unfallartigen Kontaminationen), ist eine Einweisung in ein grösseres Spital notwendig. Es sind die Anweisungen der Aufsichtsbehörden zu befolgen.

Vorgehen bei einem nicht wahrgenommenen Strahlenunfall

Hier besteht die spezielle Problematik, dass weder die betroffene Person noch Kontaktpersonen wissen, dass eine Bestrahlung stattgefunden hat, jedoch Symptome (Hautrötung, Übelkeit, Erbrechen) vorhanden sind.

Diese nicht wahrgenommene Bestrahlung kann bei allen vorher genannten Tätigkeiten/Situationen auftreten. Die betroffene Person wird je nach Ausprägung der Symptome und ihrer eigenen Einstellung früher oder später medizinische Hilfe beanspruchen. Es ist also wichtig, dass das medizinische Personal überhaupt eine Exposition gegenüber ionisierender Strahlung in Betracht zieht und die Symptome mit einer möglichen Bestrahlung in Verbindung bringt.

Folgende Symptome gelten als möglicherweise strahlenbedingt:

- **externe Ganzkörperbestrahlung**

Bei einer Strahlendosis von weniger als 1 Sv bleiben die Betroffenen in der Regel symptomfrei. Bei einer höheren Dosis sind Übelkeit und Erbrechen die Leitsymptome, die 15 Minuten bis wenige Stunden nach der Bestrahlung auftreten. Diese Phase kann mehrere Tage andauern, bis sich die Beschwerden zunächst wieder bessern. Je ausgeprägter die Symptomatik, desto höher die absorbierte Dosis und desto kürzer das symptomfreie Intervall.

Nach einem Intervall der Besserung kommt es bei höheren Dosen ab ca. 5 Sv nach wenigen Tagen zu massiven, möglicherweise blutigen Durchfällen und erheblichem Krankheitsgefühl. Fieber, Infektionen und Schock aufgrund des Flüssigkeitsverlustes können zusätzlich auftreten.

Bei Ganzkörperdosen von 20 Sv und mehr kann in der Regel nur noch palliative Behandlung erfolgen, denn die Reparatur- und Regenerationsmechanismen des Organismus reichen nicht mehr aus, um zu überleben.

Das Blutbild mit Differenzierung der weissen Blutkörperchen kann maschinell in fast jeder Arztpraxis untersucht werden. Diese Untersuchung kann einen ersten objektiven Hinweis auf einen möglichen Strahlenunfall liefern. Bei den weissen Blutzellen reagieren die Lymphozyten am sensibelsten auf ionisierende Strahlung. Die Zahl der Lymphozyten vermindert sich durch die ionisierenden Strahlen bereits einen Tag nach der Exposition (Bild 11). Andere Blutzellen reagieren weniger homogen.

Achtung: Die psychischen Reaktionen dürfen nicht unterschätzt werden! Deshalb sollte nicht leichtfertig von einem Strahlenunfall gesprochen werden.

• externe Teilkörperbestrahlung

Eine externe Teilkörperbestrahlung ab etwa 4 Sv ist an der Hautrötung (Erythem) der bestrahlten Körperpartien erkennbar. Diese ist allerdings nicht spezifisch und manifestiert sich zu Beginn ähnlich einem Sonnenbrand. Bei hohen Dosen geht das Erythem nach einer wenige Tage dauernden Latenzperiode in ein fixiertes Erythem über. Diese Radiodermatitis kann mit steigender absorbierten Dosis in Gewebekrosen übergehen und ist wegen der Gewebeschädigung in der Tiefe sehr schmerzhaft. Gleiche Symptome sind denkbar bei einer starken Kontamination mit Radionukliden.

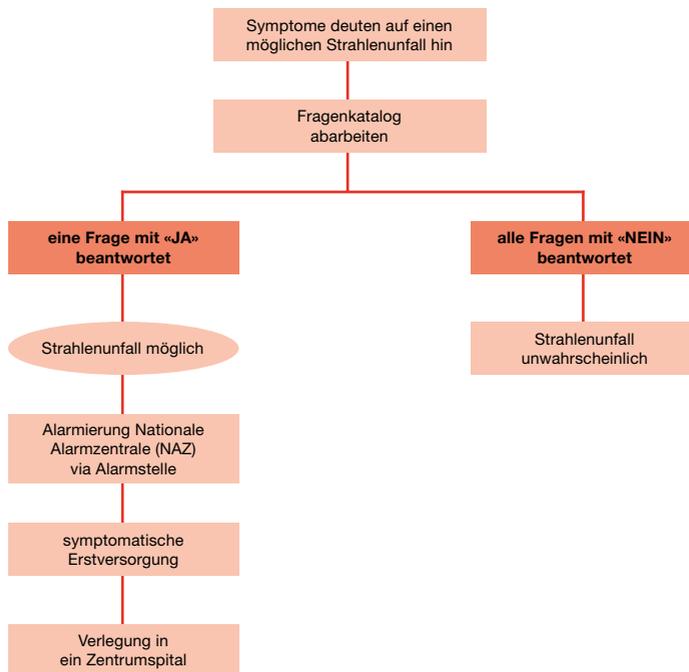
• Inkorporation

Die Auswirkung einer Inkorporation ist stark organ- und radionuklidspezifisch (siehe auch Anhang 2). Die Variabilität der meist mittel- bis langfristigen Folgen ist sehr gross.

Deuten die Symptome und die Untersuchung des Blutes (siehe nächste Seite) auf eine Strahlenkrankheit hin, so muss mit gezielten Fragen versucht werden, eine Verbindung mit einer unfallartigen Bestrahlung herzustellen.

Frage	Beispiel	Ja	Nein
Haben Sie beruflich mit ionisierender Strahlung zu tun?	Radioaktive Substanzen, Röntgenanlagen, Kernkraftwerk		
Arbeiten Sie in der Abfallwirtschaft?	Altmittel, Schrott, KVA		
Sind Sie kürzlich mit ionisierender Strahlung medizinisch untersucht oder behandelt worden?	Röntgenaufnahme, CT, PET, Tumorbehandlung		
Sind Sie kürzlich mit unbekanntem Gegenständen in Kontakt gekommen?	Historische Gegenstände/Objekte Metallische Gegenstände vom Schrott		
Könnten Sie sich vorstellen, dass Sie vergiftet wurden?	Bedrohungen jeglicher Art		

Falls eine Frage mit «Ja» beantwortet wird, könnte eine Verbindung zwischen den Symptomen und einer unfallartigen Bestrahlung bestehen. In diesem Fall wird die Alarmstelle der Nationale Alarmzentrale (NAZ) kontaktiert. Diese orientiert die zuständige Behörde und koordiniert die eventuell nötigen Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung.



10 Vorgehen bei nicht wahrgenommenen Strahlenunfällen

Beispiele

1) Wahrgenommener Strahlenunfall mit Kontamination

Beschreibung	Bei der Applikation einer radioaktiven Flüssigkeit ins Gelenk eines Patienten trennt sich die Spritze von der Nadel im Gelenkspalt. Die radioaktive Flüssigkeit tritt somit in einem feinen Strahl aus der Nadel. Eine Person, die sehr nahe an der Injektionsstelle sitzt, wird vom Flüssigkeitsstrahl im Gesicht getroffen und somit kontaminiert. Als erste Reaktion wird die Kontamination mit den geschützten Händen weggewischt. Diese Person bleibt sonst unverletzt.
Vorgehen	Die betroffene Person alarmiert das anwesende Personal, welches die strahlenschutzsachverständige Person informiert. Diese und zwei unterstützende Personen gehen vor Ort. Zum Selbstschutz tragen sie Schutzmaske, Handschuhe, Überschuhe und Labormantel. Die betroffene Person zieht die kontaminierten Kleider aus und wird zur Dusche geschickt, wo die Grobdekontamination mit Wasser und Seife stattfindet. Die notwendigen Gegenstände (Ersatzwäsche, Überschuhe, Tücher usw.) bringt das unterstützende Personal, die kontaminierten Kleider werden in Plastiksäcke verschlossen. Nach der Dusche wird die betroffene Person mit Kontaminationsmonitoren gemessen. Diese weisen erhöhte Werte auf, welche notiert werden. Das Vorgehen wird solange wiederholt, bis die gemessene Kontamination nicht mehr verändert werden kann (keine übertragbare Kontamination mehr).
Abschätzung der Dosis	Mit ersten grosszügigen Annahmen schätzt der/die Strahlenschutzsachverständige eine Hautdosis von knapp 100mSv ab. Der Unfall wird der zuständigen Aufsichtsbehörde gemeldet. Diese schreibt anhand der ersten Dosisabschätzung keine Hospitalisierung vor, jedoch eine Abschätzung der Linsendosis und eine Inkorporationsmessung bei einer anerkannten Dosimetriestelle.
Symptome	Wie von der Dosisabschätzung zu erwarten ist, weist die betroffene Person auch mehrere Tage nach dem Unfall keine Symptome auf.
Weiteres Vorgehen	Die Aufsichtsbehörde verlangt vom Arbeitgeber eine detaillierte Unfallanalyse. Der Betrieb ergreift verschiedene Massnahmen, um ähnliche Vorkommnisse zu vermeiden. Aufgrund der während der Dekontamination durchgeführten Messungen wird eine Hautdosis von 30 mSv abgeschätzt.

2) Wahrgenommener Strahlenunfall ohne Kontamination

Beschreibung	<p>Zwei Servicetechniker werden in eine Klinik gerufen, um eine Durchleuchtungseinheit zu kontrollieren. Sie demontieren die entsprechende Einheit, finden den Fehler und beheben ihn. Einer der Techniker wird unvorhergesehen zu einem Gerät in einem anderen Raum gerufen. Er bittet seinen eher unerfahrenen Kollegen, das reparierte Gerät wieder zusammenzubauen und in Betrieb zu nehmen.</p> <p>Nach einem kontrollierten Funktionstest will der Techniker noch letzte Montagen vornehmen. Dabei schiebt er versehentlich den Fuss einer Strahlenschutzwand auf den Fussauslöser des Gerätes. Dieses setzt sich, vom Techniker unbemerkt, in Betrieb. Nach 5 Minuten wird ein akustischer Alarm der Anlage ausgelöst. Der Techniker realisiert, dass er während verschiedener Arbeiten von unbekannter Gesamtdauer vor allem an einer Körperseite und an einem Vorderarm bestrahlt wurde.</p>
Vorgehen	<p>Der Verunfallte stellt sofort die Anlage mit dem Notschalter ab und alarmiert den zweiten Techniker. Dieser benachrichtigt unverzüglich den Strahlenschutzsachverständigen.</p>
Abschätzung der Dosis	<p>Aufgrund der ersten Angaben zum Ablauf und dem Gerät schätzt der Strahlenschutzsachverständige eine Strahlendosis von mindestens 1 Sv ab.</p> <p>Er alarmiert die zuständige Aufsichtsbehörde, welche eine Strahlendosis von mindestens 1 Sv annimmt und den Techniker in einem Universitätsspital hospitalisiert.</p>
Symptome	<p>In der folgenden Nacht weist der Verunfallte Wärmeempfinden an der linken Thoraxseite und am linken Vorderarm auf sowie Hauterythem am linken Thorax.</p> <p>Der Verlauf der Lymphocyten wird engmaschig verfolgt, zu Beginn in Abständen von wenigen Stunden.</p> <p>Da der Verlauf der Lymphocyten normal ist und weitere Symptome fehlen, wird der Techniker nach wenigen Tagen nach Hause entlassen.</p>
Weiteres Vorgehen	<p>Die Aufsichtsbehörde verlangt vom Arbeitgeber eine detaillierte Unfallanalyse, die sie selbst auch begleitet.</p> <p>Eine biologische Dosimetrie wird durch die Suva, Abteilung Arbeitsmedizin, veranlasst. Beim automatischen Geräteprotokoll und der Rekonstruktion der Arbeitshandgriffe am Gerät stellt sich heraus, dass die Dosis wesentlich kleiner war, als zunächst angenommen. Mit einem bleibenden Gesundheitsschaden ist nicht zu rechnen. Die biologische Dosimetrie ergab Normalbefunde. Das aufgetretene Hauterythem, das durch die niedrige Dosis nicht erklärbar ist, verschwindet nach einigen Tagen wieder.</p> <p>Der Techniker ist subjektiv gesund und verarbeitet das Geschehen ohne dauerhafte Störung seines psychischen Grundbefindens. Der Arbeitgeber ergreift verschiedene Massnahmen, um künftig ähnliche Vorkommnisse bei der Wartung von Röntgengeräten zu verhindern.</p>

3) Nicht wahrgenommener Strahlenunfall

Beschreibung	<p>Eine Person meldet sich bei der Nothilfe wegen einer seltsamen Hautrötung im Bereich des rechten Oberschenkels. Diese Hautrötung war beim ersten Mal nach ca. zwei Tagen abgeklungen, jedoch nach einer Woche wieder aufgetreten. Seitdem (zwei Wochen) besteht die Hautrötung trotz regelmässiger Applikation von Salbe.</p> <p>Bei der Untersuchung zeigt sich eine etwa 7 cm grosse, im Durchmesser beinahe kreisrunde Rötung mit zentralem Maximum und Bildung einiger kleiner wassergefüllter Blasen im Zentrum. Die Palpation, auch des umgebenden Gewebes, ist sehr schmerzhaft.</p> <p>Das medizinische Personal schliesst Sonnenbrand sowie Verbrennung durch Chemikalien aus. Aufgrund des beschriebenen Verlaufes der Symptome wird die betroffene Person nach ihrer Tätigkeit gefragt. Sie gibt an, in einer Altmittelrecycling-Firma tätig zu sein. Sie habe einen metallischen Gegenstand gefunden und ihn während einigen Stunden in der Hosentasche getragen, um ihn später zu analysieren. Weil die Analyse kein wertvolles Material ergab, sei der Gegenstand entsorgt worden.</p>
Vorgehen	<p>Das medizinische Personal stellt eine Verbindung zwischen der Hautrötung und einer möglichen unfallartigen Bestrahlung her. Die betroffene Person wird aufgenommen und die Nationale Alarmzentrale verständigt.</p>
Abschätzung der Dosis	<p>Die Symptome könnten einer Hautdosis von ca. 3–5 Sv entsprechen.</p>
Weiteres Vorgehen	<p>Die Person wird zunächst in einer Universitätsklinik hospitalisiert. Blutbildveränderungen zeigen sich nicht. Im Bereich der Blasenbildung entwickelt sich innerhalb der nächsten Tage und Wochen ein hartnäckiges Geschwür (Ulcus), welches auch das Unterhautgewebe miteinbezieht. Das Ulcus heilt in der Folge langsam wieder zu.</p> <p>Um die Strahlenquelle zu finden, setzt die NAZ eine Einsatzequipe ein.</p>

Nach der Hospitalisierung

Wenn im Rahmen der medizinischen Diagnostik und Behandlung der begründete Verdacht oder gar die Gewissheit aufkommt, dass eine Person Opfer eines gravierenden Strahlenunfalls wurde, wird sie in ein Zentrum verlegt, das auf diese Fälle spezialisiert ist. Sollte die unfallbedingte Strahlenbelastung noch nicht klar eingrenzbare sein, wird durch geeignete Verlaufsbeobachtung von klinischen Parametern (siehe Beispiel 2) versucht, die Dosis grob abzuschätzen.

Kommen Kliniker und Strahlenschutzexperten zum Schluss, dass die Ganzkörperdosis unter einem Sievert lag, braucht es keine weitere Hospitalisierung. Sollte die wahrscheinliche Belastung aber darüber liegen, bleibt der Patient hospitalisiert und der weitere Verlauf wird genauestens überwacht. Für eine solche Betreuung geeignet sind in der Regel Kliniken mit einer Strahlentherapie und möglichst auch Nuklearmedizin sowie einer Abteilung, die Erfahrung hat mit Knochenmarkstransplantationen. Die dortigen Spezialisten verfügen neben ihrer Erfahrung auch über softwaregestützte Tools, mit denen die gesundheitliche Situation genau analysiert und eine adäquate Behandlung durchgeführt werden kann.

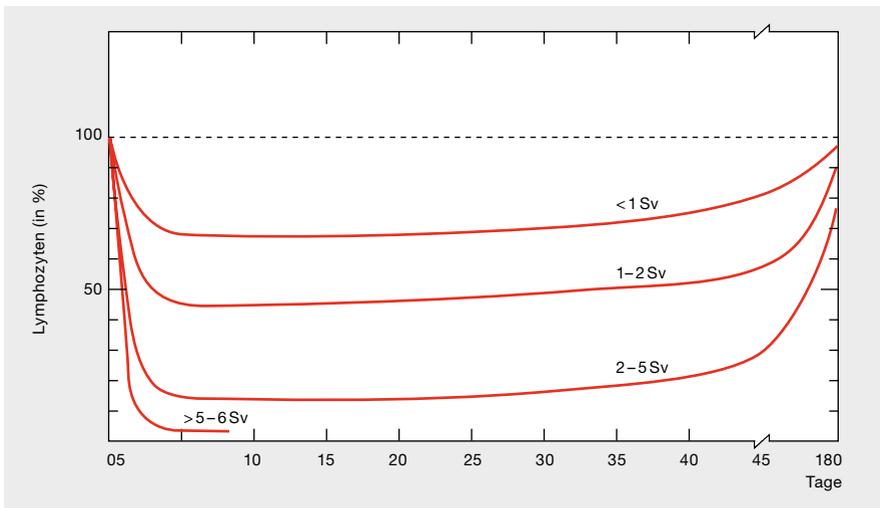
Im Fall einer Inkorporation kann die medizinische Behandlung durch radionuklid-spezifischen Wirkstoffe unterstützt werden, welche die Ausscheidung der radioaktiven Substanzen beschleunigen. Das schweizerische Tox-Zentrum kann dazu Auskunft geben.

Blutzellen als Diagnosemittel

Lymphozyten sind die strahlensensibelsten Blutzellen. Ihre Konzentration im Blut fällt bereits in den ersten 24 Stunden ab, nach einer Bestrahlung ab 0,5Sv (Bild 11). Folgende Dosis-/Wirkungsbeziehung kann angenommen werden:

Ganzkörperdosis	Lymphozytenzahl (nach 4–7 Tagen)
1,0Sv	~ 1000/mm ³
3,0Sv	~ 400/mm ³
6,0Sv	~ 100/mm ³

Somit dient die Lymphozyten-Konzentration als grobes Mass für die Strahlendosis und als diagnostisches Kriterium für die Schwere der Strahlenkrankheit. Bei hohen Dosen verläuft der Abfall dieser Zellen schnell und kann schon wenige Stunden nach dem Unfall erheblich sein. Werte von nur noch 100 bis 200 Lymphozyten pro mm^3 in den ersten 24 Stunden weisen auf letale Bestrahlungen hin.



11 Verlauf der Lymphozyten nach einer Bestrahlung (Bild mit Beschriftung Sv statt Gy).

Das Verhalten der anderen weissen Blutzellen (Granulotzyten) und der Blutplättchen (Thrombozyten) ist weniger homogen.

Die biologische Dosimetrie

Die beste Möglichkeit, um aus Veränderungen im biologischen Material die Strahlendosis abzuschätzen, ist die Chromosomenanalyse an Blutzellen. Ionisierende Strahlung bewirkt charakteristische Veränderungen an den Chromosomen der Zellkerne (Bild 12).

An isolierten und besonders präparierten Lymphozyten können die Chromosomen analysiert werden. Der Ausprägungsgrad der Veränderungen wird mit laboreigenen Kalibrierungstabellen bestimmten Expositionsdosen zugeordnet. Die Methode ist sehr aufwendig und erzielt gemäss unserer Erfahrung verwertbare Ergebnisse ab einer Ganzkörperdosis von 250 mSv. Es gibt weltweit nur wenige Labore, welche die Kapazität für die biologische Dosimetrie aufgebaut haben und für den Einsatz vorhalten.



12 Beispiel einer Chromosomenanalyse

In der Schweiz gibt es kein solches Labor. Strahlenunfälle sind meistens Arbeitsunfälle. Deshalb hat die Abteilung Arbeitsmedizin der Suva eine Zusammenarbeit mit drei europäischen Laboren etabliert. Falls bei einem Unfall nicht sowieso die Suva bereits als Unfallversicherung beteiligt ist, bietet die Abteilung Arbeitsmedizin der Suva in Luzern jederzeit Unterstützung an.

Strahlenunfall und Schwangerschaft

Eine schwangere Frau, die in einen Strahlenunfall verwickelt ist, wird sich fragen: Hat mein Kind einen Schaden erlitten? Wer kann meine Fragen beantworten und was soll ich bzw. was sollen wir als künftige Eltern tun?

Solche sehr berechtigten Fragen können nicht allgemeingültig beantwortet werden. Die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Strahlenschadens für das ungeborene Kind hängt sehr stark von den Gegebenheiten im Einzelfall ab.

Für eine seriöse Beratung ist bei jedem Strahlenunfall immer eine Abschätzung der vom Embryo/Fötus absorbierten Dosis nötig. Zusammen mit der möglichst genauen Angabe des Schwangerschaftsstadiums ist das die wichtigste Information für eine Abschätzung des Risikos. Mit Röntgenaufnahmen und Strahlentherapien bei Schwangeren hat man einige Erfahrungen. Die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) hat eine Publikation zum Thema veröffentlicht, die im Internet kostenfrei heruntergeladen werden kann.

Die grösste Strahlenempfindlichkeit hat der Embryo während der Phase der Organ- ausbildung, etwa zwischen der 8. und 15. Schwangerschaftswoche. Generell ist ein Schwangerschaftsabbruch alleine wegen des Bestrahlungsrisikos nicht gerechtfertigt bei einer Bestrahlung mit weniger als 100 mSv embryonaler Dosis. Hingegen ist bei einer embryonalen Dosis über 500 mSv später mit deutlichen Hirnleistungsstörungen zu rechnen.

Auch wegen der enormen psychischen Belastung der Mutter/der Eltern ist eine sehr individuelle Beratung notwendig. Die Dosisabschätzung der Strahlenschutzexperten und das Wissen des medizinischen Personals, das die Schwangere betreut, müssen in die Beratung miteinbezogen werden.

Anhang 1

Wichtige Telefonnummern

Behörde	Aufgabe	Kontakt
Nationale Alarmzentrale (NAZ)	Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse (u. a. auch für Ereignisse mit erhöhter Radioaktivität), Anlaufstelle für alle bevölkerungsschutzrelevanten Meldungen; Anordnung von Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung, Orientierung der Behörden	Nationale Alarmzentrale Postfach 8044 Zürich Tel: 0848 840 080 Fax: +41 58 466 49 03
Alarmstelle der NAZ ASNAZ (24h/365 Tage)	Eingangsstelle der Alarmmeldungen für die NAZ	Die Alarmnummer ist einschlägigen Institutionen und Notfallorganisationen bekannt.
Bundesamt für Gesundheit (BAG) Aufsichtsbehörde für Medizin, Forschung und Lehre	Erteilung von Bewilligungen für den Umgang mit ionisierender Strahlung (Medizin, Industrie, Forschung und Lehre); Strahlenschutz von Personal und Bevölkerung; Überwachung der Konformität der Einrichtungen und der Sicherheit der in diesem Bereich tätigen Personen; Durchführung von Messungen der Umweltradioaktivität; REMPAN Collaborative Center	Bundesamt für Gesundheit Abteilung Strahlenschutz 3003 Bern Tel: +41 58 462 96 14 Fax: +41 58 462 83 83 str@bag.admin.ch
Eidgenössisches Nuklear-Sicherheitsinspektorat (ENSI) Aufsichtsbehörde für Kernanlagen	Beaufsichtigung der schweizerischen Kernanlagen (Kernkraftwerke, Zwischenlager für radioaktive Abfälle, nukleare Forschungseinrichtungen); Strahlenschutz von Personal und Bevölkerung; Sicherung (Schutz vor Sabotage und Terrorismus). Überwachung von Transporten radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen.	Eidgenössisches Nuklear-Sicherheitsinspektorat Industriestrasse 19 5200 Brugg Tel: +41 56 460 84 00 Fax: +41 56 460 84 99 info@ensi.ch
Suva Aufsichtsbehörde für Industrie	Beaufsichtigung der Industrie- und Gewerbebetriebe; Überwachung der Konformität der Einrichtungen und der Sicherheit der in diesem Bereich tätigen Personen; Durchführung von radiologischen Messungen.	Suva Bereich Physik Postfach 4258 6002 Luzern Tel: +41 41 419 61 33 Fax: +41 41 419 62 13 physik@suva.ch
Suva Arbeitsmedizin	Anzeigen der beruflichen Tätigkeiten, die ein erhöhtes Risiko für Unfälle, Berufskrankheiten und arbeitsplatzassoziierte Gesundheitsprobleme darstellen; Unterstützung bei der Organisation einer biologischen Dosimetrie	Suva Abteilung Arbeitsmedizin Postfach 4358 6002 Luzern Tel: +41 41 419 52 78 Fax: +41 41 419 62 05 arbeitsmedizin@suva.ch

Anhang 2

Häufig verwendete Radionukleide

Radionuklid	Physikalische Halbwertszeit	Biologische Halbwertszeit	Strahlenart	Kritisches Organ
Americium-241 (Am-241)	457,7 Jahre	83,9 Jahre	Alpha, Gamma	Knochen
Blei-210 (Pb-210)	21,4 Jahre	1,2 Jahre 6,8 Jahre	Beta, Gamma	Niere Knochen
Cäsium-137 (Cs-137)	30 Jahre	70 Tage	Beta, Gamma	Ganzkörper
Californium-252 (Cf-252)	2,6 Jahre	2,5 Jahre	Alpha, Gamma, Neutronen	Knochen
Eisen-55 (Fe-55)	2,6 Jahre	388 Tage	Beta, Gamma	Milz (RES)
Iod-125 (I-125)	60,2 Tage	41,8 Tage	Beta, Gamma	Schilddrüse
Iod-131 (I-131)	8,5 Tage	7,6 Tage	Beta, Gamma	Schilddrüse
Kobalt-60 (Co-60)	5,27 Jahre	117 Tage	Beta, Gamma	Lunge
Kohlenstoff-14 (C-14)	5730 Jahre	40 Tage	Beta	Ganzkörper
Natrium-22 (Na-22)	2,6 Jahre	11 Tage	Beta, Gamma	Ganzkörper
Phosphor-32 (P-32)	14,3 Tage	14,1 Tage	Beta	Knochen
Plutonium-238 (Pu-238)	86 Jahre	46,2 Jahre	Alpha, Gamma	Knochen
Plutonium-239 (Pu-239)	24360 Jahre	100 Jahre	Alpha, Gamma	Knochen
Polonium-210 (Po-210)	138,4 Tage	31,7 Tage 66,7 Tage	Alpha	Niere Lunge
Schwefel-35 (S-35)	88 Tage	7 Tage	Beta	Ganzkörper
Selen-75 (Se-75)	120 Tage	61 Tage	Gamma	Lunge
Strontium-90 (Sr-90)	28,1 Jahre	6400 Tage	Beta	Knochen
Technetium-99m (Tc-99m)	6 Stunden		Gamma	Schilddrüse Gastrointestinal- trakt
Tritium (H-3)	12,3 Jahre	10 Tage	Beta	Ganzkörper
Uran-235 (U-235)	710 Millionen Jahre	15 Tage	Alpha, Gamma	Niere
Uran-238 (U-238)	4,5 Milliarden Jahre	15 Tage	Alpha, Gamma	Niere

Weiterführende Informationen

Bundesamtes für Gesundheit (BAG), www.bag.admin.ch/themen/strahlung

- Grundlegende Informationen
- Jahresberichte

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, www.ensi.ch

- Grundlegende Informationen
- Jahresberichte

Suva, www.suva.ch

- Factsheet «Ionisierende Strahlung»

Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP), www.icrp.org

- Wissenschaftliche Publikationen und Empfehlungen
- ICRP 84 «Pregnancy and medical radiation»

Weltgesundheitsorganisation (WHO), www.who.int

- Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN):
Basierend auf einem WHO-Mandat von 1987 hat sich ein internationales Netzwerk von Institutionen etabliert mit dem Ziel, alle Mitgliedsländer beim Aufbau von Kapazitäten zu unterstützen, die für die Behandlung und das Management von Strahlenunfällen notwendig sind. Dieses Netzwerk wurde umso wichtiger, als 2005 die «International Health Regulations» von 196 Mitgliedstaaten der WHO ratifiziert wurden, die unter anderem eine Verpflichtung beinhalten, Strahlenunfälle adäquat zu versorgen.
- Dieses Netzwerk «Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network» umfasst Behörden, Forschungseinrichtungen und auch spezialisierte Kliniken weltweit. Das Netzwerk publiziert einen Newsletter, der im Internet abrufbar ist (www.rempan.ukw.de).
Für die Schweiz ist das Bundesamt für Gesundheit BAG als «REMPAN Collaborating Partner» zuständig. Das Netzwerk ermöglicht eine internationale Zusammenarbeit, auch bei der Betreuung von Einzelfällen. Verletzte können gegebenenfalls sogar rasch in eine Partnerklinik verlegt werden.

Gesetzliche Grundlagen

- SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG)
- SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV)
- SR 520.17 Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung)
- SR 732.33 Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV)

Suva

Postfach, 6002 Luzern
Telefon 041 419 58 51
www.suva.ch

Bestellnummer

2869/21.d

Das Modell Suva**Die vier Grundpfeiler der Suva**

- Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.
- Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung im Suva-Rat aus Arbeitgeber-, Arbeitnehmer- und Bundesvertretern ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.
- Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.
- Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.