



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der  
Strahlenschutzkommission  
Postfach 12 06 29  
D-53048 Bonn  
<http://www.ssk.de>

---

**Strahlennotfallmedizin**  
**Handbuch für die medizinische Versorgung**  
**und Ausbildung**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

---

Verabschiedet im Umlaufverfahren am 28. August 2022

## Vorwort

Das vorliegende Handbuch der Strahlenschutzkommission (SSK) fasst zwei frühere Publikationen Band 4 „Leitfaden für medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen“ (SSK 2006a) und Band 32 „Der Strahlenunfall“ (SSK 2006b) zusammen und stellt den heutigen Stand des Wissens dar. Die Bände 4 und 32 sind zuletzt 2006 aktualisiert und nach redaktioneller Anpassung 2007 bzw. 2008 veröffentlicht worden. Bei der jetzt vorliegenden Überarbeitung werden die Vorgaben des neuen Strahlenschutzrechts ebenso berücksichtigt wie die Notfallszenarien, auf die sich Bund und Länder vorbereiten. Damit soll dieses Handbuch auch als operationeller Leitfaden dienen.

In ihren Empfehlungen „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall“ (SSK 2017a) und „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall – Ausbildungsqualifikation –“ (SSK 2017b) hält die SSK unter anderem eine strukturierte und zertifizierte Aus-, Fort- und Weiterbildung des eingesetzten Personals und der zugezogenen medizinischen Notfallexpert\*innen für erforderlich. In diesem Rahmen kann das vorliegende Handbuch als notwendige, aktuelle Wissensgrundlage dienen. Die von Bund und Ländern formulierten Notfallpläne können ebenfalls auf diese Grundlagen zurückgreifen und sie integrieren. Weiterhin soll die Empfehlung die Wissensgrundlage für all diejenigen zusammenfassen, die in der radiologischen Notfallvorsorge und -reaktion (im Weiteren: radiologischer Notfallschutz) tätig sind.

Der Arbeitsgruppe des Ausschusses „Notfallschutz“, die von der SSK mit der Erarbeitung dieses Handbuches beauftragt wurde, gehörten an:

- Frau Dr. Natascha Behrens, Biblis
- Herr Prof. Dr. Wolfgang Burchert, Bad Oeynhausen
- Herr Dipl.-Phys. Franz Fehringer, Köln
- Herr Thomas Heise, Kiel
- Herr Dr. Werner Kirchinger, Neuherberg
- Herr Dipl.-Phys. Jürgen Kopp, Augsburg
- Herr Patrick Meschenmoser M. A., Wien
- Herr Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller, Essen
- Herr Prof. Dr. Matthias Port, München
- Herr Dipl.-Ing. Stefan Prüßmann, Leopoldshafen
- Herr Prof. Dr. Christoph Reiners, Würzburg
- Frau Dr. Rita Schneider, Würzburg

Unterstützt wurde die Arbeitsgruppe durch die Vertreter des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), Herrn Dr. Cornelius Bartels und Herrn Dipl.-Phys. Oliver Meisenberg.

<i>Dr. Werner Kirchinger</i>	<i>Prof. Dr. Matthias Port</i>	<i>Prof. Dr. Werner Rühm</i>
Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Überarbeitung der Bände 4 und 32 der Veröffentlichungen der SSK“	Vorsitzender des Ausschusses „Notfallschutz“ der SSK	Vorsitzender der Strahlenschutzkommission

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>9</b>
1.1	Hintergrund.....	9
1.2	Zielgruppe und Zielsetzung .....	10
1.3	Anwendungsbereich .....	10
1.4	Struktur .....	11
<b>A</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Arten der Strahlenexposition</b> .....	<b>13</b>
2.1	Externe Strahlenexposition.....	14
2.2	Interne Strahlenexposition .....	14
<b>3</b>	<b>Anwendungsbereiche und Notfallszenarien</b> .....	<b>16</b>
3.1	Beruflich überwachte Personen, Dosisüberschreitungen und Vorkommnisse.....	16
3.2	Unfallszenarien und Anwendungsbereiche.....	17
3.2.1	Kerntechnische Anlagen.....	17
3.2.2	Umgang mit radioaktiven Stoffen außerhalb kerntechnischer Anlagen .....	20
3.2.3	Transport von radioaktiven Stoffen .....	21
3.2.4	Verlust oder Diebstahl von Strahlenquellen .....	24
3.2.5	Terroristische oder anderweitig motivierte Freisetzung von radioaktiven Stoffen oder Exposition durch ionisierende Strahlung.....	24
3.3	Notfallszenarien und Abschätzung der Anzahl der Betroffenen und der erforderlichen Kapazitäten.....	25
<b>4</b>	<b>Strahlenphysik und Strahlenbiologie</b> .....	<b>28</b>
4.1	Ionisierende Strahlung.....	28
4.2	Größen und Einheiten.....	29
4.2.1	Aktivität.....	29
4.2.2	Dosisbegriffe .....	29
4.3	Weitere physikalische Grundlagen .....	34
4.3.1	Halbwertszeit.....	34
4.3.2	Umschlossene und offene radioaktive Stoffe .....	35
4.3.3	Schwächung / Abschirmung / Reichweite .....	35
4.4	Biologische Strahlenwirkungen.....	37
4.4.1	Molekulare und zelluläre Grundlagen .....	37
4.4.2	Strahlenwirkung auf Gewebe und Organe .....	39
<b>B</b>	<b>Medizinische und psychosoziale Versorgung</b> .....	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>Präklinische Maßnahmen</b> .....	<b>46</b>
5.1	Rettung und Präklinische Sichtung.....	46

5.2	Lebensrettende Sofortmaßnahmen zur Erstversorgung von Strahlennotfallpatient*innen.....	49
<b>6</b>	<b>Maßnahmen zur Dekontamination.....</b>	<b>52</b>
6.1	Kontaminationsmessung .....	52
6.2	Richtwerte für Dekontaminationsmaßnahmen.....	53
6.3	Allgemeine Hinweise zur Personendekontamination .....	56
6.4	Vorbereitung der Dekontamination .....	58
6.5	Durchführung der Personendekontamination .....	59
6.6	Vorgehen bei verbleibender Kontamination.....	61
6.7	Maßnahmen bei kontaminierten Wunden .....	61
<b>7</b>	<b>Dekorporationstherapie.....</b>	<b>64</b>
7.1	Unspezifische Dekorporationsmaßnahmen .....	64
7.2	Spezifische Dekorporationsmaßnahmen .....	65
<b>8</b>	<b>Klinische Verläufe der Strahlenschäden und medizinische Maßnahmen....</b>	<b>72</b>
8.1	Akute Strahlenschäden.....	72
8.1.1	Überblick über Manifestationen, Phasen und die Pathophysiologie des akuten Strahlensyndroms (ARS).....	72
8.1.2	Schweregrade des ARS .....	74
8.1.3	Die hämatopoetische Manifestation und deren Diagnostik.....	76
8.1.4	Die gastrointestinale Manifestation und deren Diagnostik.....	78
8.1.5	Die zerebrovaskuläre Manifestation und deren Diagnostik .....	79
8.1.6	Lokale Strahlenschäden und die kutane Manifestation der akuten Strahlenkrankheit sowie deren Diagnostik .....	79
8.1.7	Kombinationsschäden .....	82
8.2	Chronische Strahlenschäden.....	83
8.3	Frühdiagnostik: Klinische Dosimetrie und initiale Abschätzung der Prognose .....	83
8.4	Therapieprinzipien .....	86
8.4.1	Allgemeine Maßnahmen, supportive Therapie.....	86
8.4.2	Behandlung der hämatopoetischen Manifestation .....	87
8.4.3	Behandlung der gastrointestinalen Manifestation.....	88
8.4.4	Behandlung eines lokalen Strahlenschadens und des kutanen Strahlensyndroms.....	89
8.4.5	Behandlung der zerebrovaskulären Manifestation .....	91
8.4.6	Symptomorientierte Versorgung .....	91
8.4.7	Psychologische Betreuung .....	91
<b>9</b>	<b>Psychosoziale Versorgung von Betroffenen und Einsatzkräften .....</b>	<b>92</b>
9.1	Psychosoziale Notfallversorgung: Grundlagen und Stand.....	92

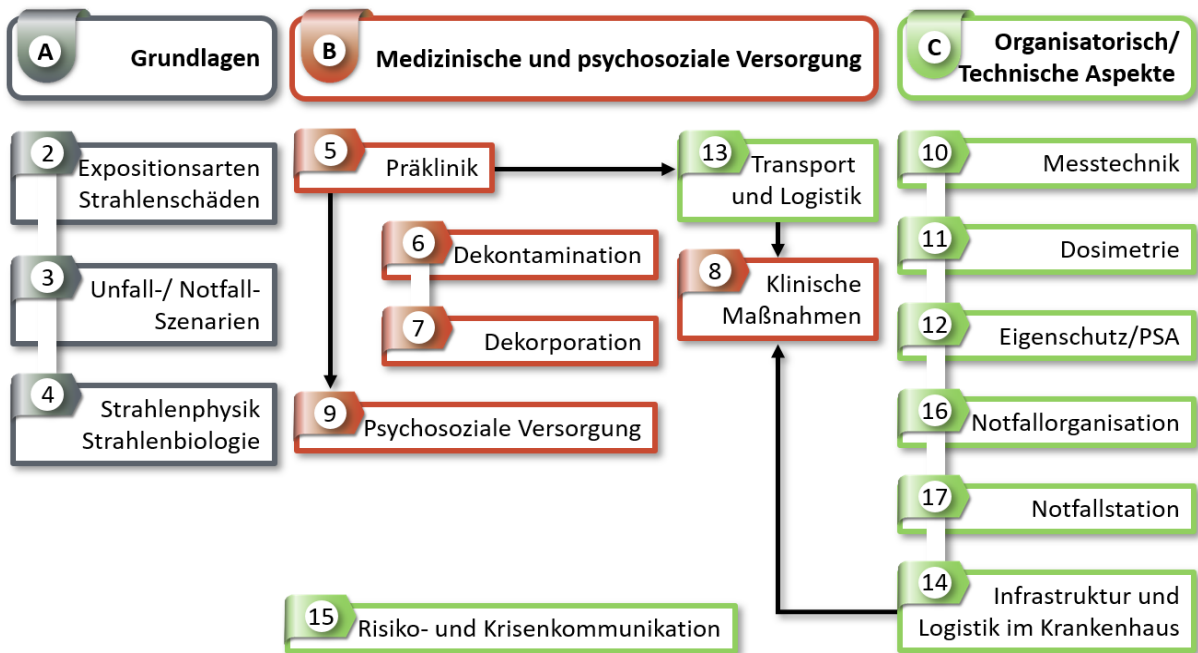
9.1.1 Betroffene Personen (exponierte und besorgte Personen) .....	92
9.1.2 Einsatzkräfte.....	94
9.2 Besonderheiten der psychosozialen Versorgung bei radiologischen Notfällen .....	96
<b>C Technische und Organisatorische Aspekte .....</b>	<b>99</b>
<b>10 Strahlungsmesstechnik.....</b>	<b>99</b>
10.1 Strahlungsmessgeräte und Anwendungen .....	99
10.2 Dosisleistungsmessgeräte.....	99
10.3 Kontaminationsnachweis .....	100
10.4 Personendosimetrie.....	102
10.5 Messung der Aerosolaktivität.....	103
<b>11 Biologische und physikalische Dosimetrie .....</b>	<b>104</b>
11.1 Biologische Dosimetrie .....	104
11.1.1 Chromosomenanalyse.....	104
11.1.2 Mikronukleus-Test .....	106
11.1.3 Sonstige Verfahren und Ansprechpartner .....	106
11.2 Probenasservierung .....	107
11.3 Inkorporationsmessungen .....	108
11.3.1 Allgemeine Aspekte.....	108
11.3.2 Direktmessung (In-vivo-Messung) .....	109
11.3.3 Ausscheidungsanalytik (In-vitro-Messung).....	110
11.3.4 Berechnung der inneren Dosis durch inkorporierte Radionuklide.....	110
11.3.5 Bestimmung von radioaktivem Iod in der Schilddrüse.....	110
11.4 Dosimetrie bei Einsatzkräften .....	113
11.4.1 Externe Strahlenexposition.....	113
11.4.2 Interne Strahlenexposition .....	114
<b>12 Eigenschutz und persönliche Schutzausrüstung .....</b>	<b>115</b>
12.1 Verhalten im Eigenschutz .....	115
12.2 Mögliche Gefährdungen .....	115
12.3 Persönliche Schutzausrüstungen (PSA).....	115
<b>13 Transport kontaminierter Personen .....</b>	<b>120</b>
<b>14 Infrastruktur und Logistik im Krankenhaus.....</b>	<b>122</b>
14.1 Alarmierungs- und Einsatzplanung, Maßnahmenplanung .....	122
14.1.1 Alarmierungsplan, Mitarbeiteralarmierung .....	123
14.1.2 Krankenhauseinsatzleitung.....	125
14.1.3 Maßnahmenplanung.....	126
14.2 Infrastruktur .....	127

14.2.1 Fachabteilungen, Behandlungsbereiche.....	127
14.2.2 Raumordnung und Wegeführung, Verkehrsführung.....	130
14.3 Personalplanung.....	131
14.3.1 Mitarbeiter*innen und Teams.....	131
14.3.2 Aufgaben.....	132
14.4 Ausrüstung, Gerätschaften, Material .....	132
14.5 Logistik .....	133
<b>15 Krisen- und Risikokommunikation .....</b>	<b>134</b>
15.1 Rollen in der Krisen- und Risikokommunikation .....	135
15.2 Vorkehrungen für eine effektive Krisen- und Risikokommunikation.....	135
15.3 Krisen- und Risikokommunikation im radiologischen Notfall.....	136
15.4 Spezifische Herausforderung bei der Kommunikation von Risiken im radiologischen Notfall.....	137
<b>16 Notfallorganisation .....</b>	<b>139</b>
16.1 Das Notfallmanagementsystem des Bundes und der Länder für radiologische Notfälle .....	141
16.2 Organisation bei radiologischen Notfällen mit wenigen Betroffenen.....	143
16.3 Organisation bei radiologischen Notfällen mit einer größeren Anzahl Betroffener.....	144
<b>17 Notfallstation – Schadenereignis mit einer größeren Anzahl Betroffener .</b>	<b>147</b>
17.1 Aufgaben einer Notfallstation.....	148
17.2 Betrieb einer Notfallstation.....	148
17.3 Strahlenexposition der Einsatzkräfte in der Notfallstation.....	151
<b>Literatur .....</b>	<b>152</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>164</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>168</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>178</b>
<b>A1 Biologische Dosimetrie .....</b>	<b>178</b>
A1-1 Merkblatt des BfS .....	178
A1-2 Merkblatt für eine Chromosomenanalyse des Instituts für Strahlenbiologie der Bundeswehr .....	180
A1-3 Kontaktdaten der nach § 169 StrlSchG behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen.....	182
A1-4 Liste der Regionalen Strahlenschutzzentren .....	186
<b>A2 Dekontaminationsmaßnahmen .....</b>	<b>188</b>
A2-1 Personendekontamination .....	188
A2-2 Wunddekontamination .....	195

---

A2-3 Schneideschema .....	199
<b>A3 Strahlenerhebungsbögen.....</b>	<b>200</b>
<b>A4 Zählraten des im Katastrophenschutz üblichen Kontaminations-</b> <b>messgerätes für unterschiedliche Kontaminationsstufen .....</b>	<b>204</b>
<b>A5 Faustformeln (RSZ Handbuch) .....</b>	<b>205</b>
<b>A6 Persönliche Schutzausrüstung (PSA).....</b>	<b>206</b>
A6-1 Relevante gesetzliche Vorgaben .....	206
A6-2 Check-Liste vor Verwendung von PSA.....	207
A6-3 Ausgewählte PSA-Komponenten für Einsatzkräfte im Strahlennotfall .....	208

### STRAHLENNOTFALL





# 1 Einführung

## 1.1 Hintergrund

Strahlenunfälle<sup>1</sup> mit medizinisch zu versorgenden Personen sind selten, insbesondere solche mit einer hohen Anzahl Betroffener. Die Reaktorunfälle von Tschernobyl und Fukushima haben aber gezeigt, dass Katastrophen möglich sind, bei denen eine Vielzahl Betroffener medizinischer Hilfe bedarf. Vor allem beim Reaktorunfall in Tschernobyl waren in der Akutsituation spezifische medizinische Maßnahmen erforderlich, auf die man nicht genügend vorbereitet war. Mit einem ähnlichen Szenario ist in Deutschland nicht zu rechnen, da ab Ende 2022 Kernkraftwerke (KKW) in Deutschland nicht mehr betrieben werden sollen. Allerdings ist mit dem Abschalten der KKW in Deutschland die Gefahr kerntechnischer Unfälle nicht vollständig ausgeschlossen. So sind bis zur Verladung der hochradioaktiven Brennelemente in die Standortzwischenlager auch schwere Unfälle weiterhin möglich. In der sich anschließenden über Jahrzehnte dauernden Rückbauphase kann es zu Unfällen kommen, die mit externen und internen Expositionen des Personals verbunden sein können. Weiterhin sind im grenznahen Ausland Kernkraftwerke in Betrieb, deren Entfernung zur deutschen Grenze weniger als 100 km beträgt. Nach dem Ausstieg aus der Kernenergie rücken weitere Szenarien in den Vordergrund der Vorsorge. Hier sind insbesondere die kriminellen oder terroristischen Handlungen und Transportunfälle zu Lande und zu Wasser zu nennen.

Die Entwicklung von Schutzstrategien zum Einsatz von Nuklearwaffen gehörte nicht zum Beratungsauftrag, hat aktuell aber unerwartet große Bedeutung bekommen. Eine separate Arbeitsgruppe der Strahlenschutzkommission (SSK) wurde 2022 eingerichtet, die hierzu eine eigene Empfehlung erarbeitet.

Trotzdem können Vorgehensweisen und Prinzipien dieses Handbuches auch in dem Szenario des Einsatzes einer Nuklearwaffe beachtet und angewendet werden. Dies gilt z. B. für die Behandlung von Patient\*innen beim Massenanfall von Verletzten oder dem Vorgehen bei Dekontaminationsmaßnahmen.

Band 4 der Veröffentlichungen der SSK als einer der Vorläufer dieses Handbuches fokussierte sich auf nukleare Unfälle in Kernkraftwerken mit massiver Freisetzung von Radioaktivität. Erfahrungsgemäß sind auch Unfälle mit deutlich weniger Betroffenen zwar nicht häufig, kommen aber immer wieder vor. Band 32 der Veröffentlichungen der SSK befasste sich mit unfallbedingt erhöhten Strahleneinwirkungen mit wenigen Beteiligten, gegen die individuelle Maßnahmen ergriffen werden können (z. B. radiologische Unfälle beim Umgang mit Strahlenquellen in der Materialprüfung). In diesem Handbuch soll das notwendige Grundwissen zu den im Allgemeinen Notfallplan des Bundes (ANoPl) genannten radiologischen Szenarien behandelt werden, für deren Management Vorbereitungsmaßnahmen getroffen werden können. Dieses Handbuch gibt demnach eine Übersicht über Unfall- und Notfallszenarien mit wenigen Betroffenen bis zu Notfällen mit einer Vielzahl von Betroffenen. Medizinische Überexpositionen von Patient\*innen finden in diesem Handbuch keine Berücksichtigung.

---

<sup>1</sup> In diesem Handbuch wird der Begriff Notfall/Unfall verwendet, wenn ein Ereignis erhebliche gesundheitliche Auswirkung auf Menschen zur Folge hat.

## 1.2 Zielgruppe und Zielsetzung

Dieses Handbuch richtet sich an Ärzt\*innen – im folgenden Strahlennotfallärzt\*innen genannt – und im radiologischen Notfallschutz ausgebildetes weiteres Einsatzpersonal, das zur Bewältigung von Strahlennotfällen erforderlich ist (SSK 2017a). Dabei ist davon auszugehen, dass diese Vorschläge der SSK umfänglich umgesetzt sind, was zum Zeitpunkt des Entstehens dieses Handbuches noch nicht der Fall ist.

Strahlennotfallärzte und -ärztinnen rekrutieren sich aus verschiedenen Fachgruppen, wie z. B. der Notfall- und Intensivmedizin, Strahlentherapie, Nuklearmedizin, Hämatologie, Dermatologie, ergänzt durch ermächtigte Ärzte und Ärztinnen. Diese Personen arbeiten in Teams, die durch Fachpersonal aus der Rettungsmedizin, Technik und den medizinischen Assistenzberufen verstärkt werden. Zur psychosozialen Betreuung der Betroffenen und der Einsatzkräfte bedarf es im Notfallschutz darüber hinaus Personen mit Expertise in der Krisenhilfe, Seelsorge, Psychologie, Psychotherapie und Psychiatrie.

Dieses Handbuch stellt auch einen Leitfaden dar, um das operativ tätige Personal in der akuten Unfallsituation zu unterstützen. Dazu werden für die Einsatzsituation wichtige Entscheidungshilfen und Zusammenfassungen im Druck hervorgehoben.

## 1.3 Anwendungsbereich

Im Folgenden werden Ereignisse betrachtet, die sowohl bei Einzelpersonen als auch bei einer großen Anzahl an Personen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch eine vermutete oder tatsächlich erhaltene Strahlenexposition führen können.

Im deutschen Strahlenschutzrecht wird unterschieden zwischen dem (**radiologischen**) **Notfall** (§ 5 Abs. 26 StrlSchG) und dem **bedeutsamen Vorkommnis** (§ 1 Abs. 22 StrlSchV). Der nukleare Unfall (z. B. Unfall in einer kerntechnischen Anlage) stellt eine Unterkategorie des radiologischen Notfalls dar.

Als **nukleare Notfälle** werden die Ereignisse definiert, bei denen die Gefährdung spezifisch von Kernbrennstoffen und/oder den Auswirkungen einer nuklearen Kettenreaktion ausgeht (nach BBK 2011a, IAEA 2019). Nukleare Notfallszenarien können z. B. in kerntechnischen Anlagen und Forschungsreaktoren auftreten oder beim Einsatz einer improvisierten nuklearen Waffe (Improvised Nuclear Device (IND) (Donnelly et al. 2007, IRFC 2015).

Unter **radiologischen Notfällen** versteht man Ereignisse, die durch alle anderen radioaktiven Stoffe oder Quellen verursacht werden (BBK 2011b, IAEA 2019). Radiologische Notfälle können etwa im Zusammenhang mit einer Reihe von Strahlenquellen in der medizinischen und industriellen Anwendung (z. B. Röntgeneinrichtungen, Linearbeschleuniger, Materialprüfungsquellen), beim Transport radioaktiver Stoffe, durch herrenlose Quellen oder im Rahmen von terroristischen Handlungen vorkommen (Donnelly et al. 2007, IRFC 2015).

Dieses Handbuch gilt sowohl für radiologische als auch für nukleare Notfallereignisse. International sind die Begriffe „radiologisch“ und „nuklear“ nicht immer eindeutig definiert (IAEA 2019). In diesem Handbuch wird der Term „radiologisch“ verwendet, wenn es darum geht, die gesamte Breite der zwar unterschiedlichen, aber dennoch ähnlichen Gefährdungen abzudecken (IRFC 2015) und wenn die explizite Unterscheidung zwischen radiologisch und nuklear unerheblich ist (IAEA 2019).

Der Verteidigungs- oder Spannungsfall wird in diesem Handbuch nicht betrachtet.

**Unfälle** können nach den Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzung von Radionukliden (SSK 2014a) in vier Phasen eingeteilt werden:

- 1) die Vorfreisetzungsphase,
- 2) die Freisetzungsphase,
- 3) die Übergangsphase,
- 4) die Nachunfallphase.

Dieses Handbuch widmet sich speziell der Vorfreisetzungsphase und der Freisetzungsphase (Dringlichkeitsphasen), einem Stunden bis Tage dauernden Zeitabschnitt, in dem medizinische Notfallmaßnahmen dringend erforderlich sein können. Aber auch in der Übergangsphase und der Nachunfallphase können medizinische und psychosoziale Maßnahmen erforderlich sein.

Es wird auf nötige Vorsorgemaßnahmen in der Phase 1 hingewiesen, (z. B. in Zusammenhang mit der Vorbereitung des Einsatzes von Strahlungsmessgeräten und persönlicher Schutzausrüstung, der Krankenseinsatzplanung und der Notfallstation), ebenso auf wichtige Nachsorgemaßnahmen in der Phase 3, wie die Betreuung von Patient\*innen mit posttraumatischer Belastungsstörung oder die langfristige medizinische Beobachtung von exponierten Patient\*innen.

## 1.4 Struktur

Dieses Handbuch ist in drei Hauptteile gegliedert, die mit „A Grundlagen“, „B Medizinische und psychosoziale Versorgung“ und „C Organisatorische und technische Aspekte“ überschrieben sind. Zur Veranschaulichung der teils komplexen Sachverhalte dienen zahlreiche Diagramme, Fotos und Tabellen. Weiterhin werden für die Praxis besonders relevante Handlungsanweisungen in Form von Merksätzen im Text hervorgehoben.

Teil A „**Grundlagen**“ beginnt mit einer einleitenden Darstellung der unterschiedlichen Arten der notfallbedingten externen und internen Strahlenexpositionen. Es folgt eine Übersicht über mögliche Unfall- und Notfallszenarien in verschiedenen Anwendungsbereichen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung, mit einer Abschätzung der Anzahl der Betroffenen und der erforderlichen Kapazitäten für deren Versorgung. Dieses Kapitel ist für die Umsetzung der in Teil B folgenden Handlungsanweisungen besonders relevant und schließt die einleitenden Darstellungen ab.

Bei dem folgenden ausführlichen Kapitel mit kurzen Abrissen zu Strahlenphysik und Strahlenbiologie wird Wert gelegt auf eine prägnante und verständliche Darstellung der für die Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen und den Selbstschutz notwendigen Sachverhalte. Dies betrifft bei den physikalischen Grundlagen z. B. die unterschiedlichen Strahlenarten, deren Schwächung und Reichweite sowie die verschiedenen Dosisbegriffe. Bei den biologischen Grundlagen sind die Unterscheidung zwischen deterministischen<sup>2</sup> und stochastischen Strahlenwirkungen sowie Schwellendosen für deterministische Wirkungen von besonderer Relevanz für die Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen.

Teil B „**Medizinische und psychosoziale Versorgung**“ beginnt mit den präklinischen Maßnahmen am Ort des Strahlennotfalls, gefolgt von ausführlichen Kapiteln zu Dekontaminationsmaßnahmen und zur Dekorporationstherapie. Das umfangreichste Kapitel dieses Handbuchs befasst sich mit den klinischen Verläufen der akuten und chronischen Strahlenschäden und den dabei erforderlichen medizinischen Maßnahmen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die klinische Dosimetrie zur Abschätzung der Prognose des Erkrankungsverlaufs. Wie die Erfahrungen

---

<sup>2</sup> Die ICRP bezeichnet einen Schaden in Zellpopulationen, der durch eine Schwellendosis und eine Zunahme des Schweregrads der Wirkung mit zunehmender Dosis gekennzeichnet ist, seit der ICRP-Publikation 103 (ICRP 2007) auch als Gewebereaktion (tissue reaction) und hat den Vorschlag, diesen Begriff an Stelle von „deterministischer Effekt“ zu verwenden, in der ICRP-Publikation 118 (ICRP 2012) bekräftigt.

der Reaktorunfälle von Tschernobyl und Fukushima deutlich gemacht haben, ist neben den medizinischen Maßnahmen auch die psychosoziale Betreuung der Betroffenen für ihre Versorgung von großer Bedeutung.

Teil C „**Organisatorische und technische Aspekte**“ beginnt mit einer Übersicht über die bei Strahlennotfällen zum Einsatz kommenden Strahlungsmessgeräte und ihre unterschiedlichen Anwendungsbereiche. Im Kapitel zur Dosimetrie werden zunächst die biologischen Verfahren abgehandelt, die zwar nicht die Bestimmung der physikalischen Dosis im Organismus selbst erlauben, aber zur Abschätzung der für die medizinische Versorgung besonders relevanten Wirkung einer solchen Dosis dienen können. Bei den physikalischen Verfahren zur Dosimetrie wird auf die Inkorporationsmessungen eingegangen, insbesondere auch auf Schilddrüsenmessungen bei Unfällen in kerntechnischen Anlagen.

Ein für die Einsatzkräfte besonders wichtiges Kapitel befasst sich mit dem Eigenschutz und der persönlichen Schutzausrüstung. Es folgen Kapitel zur Notfallorganisation, dem Einsatz einer Notfallstation bei einem Schadensereignis mit zahlreichen Betroffenen, dem Transport und der Logistik von kontaminierten Personen, der Infrastruktur und Logistik im Krankenhaus sowie ein Kapitel zur Krisen- und Risikokommunikation.

Aus didaktischen Gründen werden für das Verständnis besonders wichtige Textpassagen als grün unterlegte „Textboxen“ und Warnhinweise oder besonders zu beachtende Textblöcke orange unterlegt dargestellt.

Abgerundet wird das Handbuch durch ein Verzeichnis der themenspezifischen Literatur und Regelwerke, ein Glossar sowie eine Reihe von Anhängen zur biologischen Dosimetrie, zu Inkorporationsmessstellen, einer Liste der Regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ), zu Dekontaminationsmaßnahmen und Strahlenerhebungsbögen.

## A Grundlagen

### 2 Arten der Strahlenexposition

Strahlenwirkungen können sowohl in Folge einer externen Exposition durch ionisierende Strahlung als auch einer internen Exposition nach Inkorporation radioaktiver Stoffe auftreten (Abb. 2-1).

Dadurch verursachte Strahlenschäden bei betroffenen Personen reichen von lokalen Akutreaktionen bis zu lebensbedrohlichen Zuständen, die eine frühe und spezifische Diagnostik und Therapie erfordern. Darüber hinaus können Spätschäden auftreten, die sich erst in der Zukunft manifestieren können (vgl. Abschnitt 4.4, Kapitel 8).

Von einem Kombinationsschaden spricht man, wenn zusätzlich zu einer externen lokalen Strahlenexposition, einer Teil- oder Ganzkörperexposition, einer Kontamination oder Inkorporation eine konventionelle Verletzung infolge thermischer, chemischer oder traumatischer Einwirkungen auftritt.

	Externe Strahlenexposition			Interne Strahlenexposition	
Verursacht durch...	Umschlossene oder offene radioaktive Quelle, Röntgenanlage, Beschleuniger	Umgebungs-kontamination Gegenstände, Boden, Wasser, Luft	Kontamination des Körpers mit nicht resorbierbarem radioaktiven Stoff Haut, Kleidung	Kontamination des Körpers mit resorbierbarem radioaktivem Stoff Haut, Wunde	Inkorporation Ingestion, Inhalation, Injektion
Was tun?	Quelle sofort abschalten bzw. abschirmen;  Schnell Patient*innen aus dem Gefahrenbereich entfernen	Kontaminierte Zone rasch verlassen!	Dekontaminieren	möglichst zeitnah dekontaminieren	Radionuklid/chemische Verbindung frühzeitig identifizieren;  Dekorporation
Achtung!	Aufenthaltszeit im Strahlenfeld minimieren	Verschleppung der Kontamination möglich	Verschleppung der Kontamination möglich	Verschleppung der Kontamination möglich	Verschleppung der Kontamination durch Ausscheidung möglich
Risiko für Notfallpersonal	ggf. hoch, solange Quelle nicht abgeschaltet bzw. geborgen ist	ggf. hoch	gering	gering	sehr gering

Abb. 2-1: Externe und interne Strahlenexposition, Sofortmaßnahmen und assoziierte Risiken für Notfallpersonal.



Es werden zwei Arten der Strahlenexposition unterschieden:

- die **externe** Exposition (Ganz- und Teilkörperbestrahlung) und
- die **interne** Exposition (Inkorporation durch eine Inhalation, Ingestion oder Aufnahme über Wunde/ intakte Haut).



**Kontaminationen** können sowohl zu einer externen als auch internen Exposition führen.

## 2.1 Externe Strahlenexposition

Als externe Strahlenexposition bezeichnet man einen Strahlungseintritt von außen, beispielsweise durch umschlossene oder offene Strahlenquellen, luftgetragene Radionuklide oder durch Deposition von Radionukliden auf Gegenständen, Boden und Wasser.

Je nach bestrahltem Körpervolumen oder exponierter Körperfläche kann eine externe Strahlenexposition zu einer Teil- oder Ganzkörperexposition oder einer lokalen Strahlenexposition führen. Das Gesundheitsrisiko durch eine umschlossene Quelle hängt von der Höhe der Strahlendosis ab, von der Aufenthaltsdauer und dem Abstand zur Quelle. Die frühen Folgen einer hohen Ganzkörperexposition werden unter dem Begriff „akutes Strahlensyndrom“ (akute Strahlenkrankheit) zusammengefasst (vgl. Kapitel 8).

Bei einer externen Strahlenexposition durch eine umschlossene radioaktive Quelle wird kein radioaktiver Stoff übertragen. Eine extern exponierte Person stellt daher kein Risiko für Hilfskräfte oder andere Personen dar (IAEA 2020c).

Zu einer externen Strahlenexposition kann es auch durch eine Kontamination kommen, wenn offene radioaktive Stoffe (fest, flüssig oder gasförmig) auf Haut, Haaren, Nägeln oder der Kleidung deponiert werden (Abb. 2-1) (BfS 2018, IAEA 2020a).

Obwohl Kontaminationen in der Regel nur geringe oder keine gesundheitlichen Auswirkungen haben, können starke externe Kontaminationen mit Betastrahlern schwere Hautverbrennungen verursachen (IAEA 2020c). Starke, unfallbedingte Kontaminationen sind äußerst selten.

Sowohl bei vorliegender als auch vermuteter Kontamination müssen lebensrettende Sofortmaßnahmen umgehend erfolgen, unter Beachtung des Eigenschutzes (vgl. Kapitel 12). Eine angemessene, möglichst vollständige Dekontamination ist auch zur Verhinderung von möglichen Folgeschäden (Gewebeschädigung, Krebsentstehung, etc.) geboten. Bei einer Kontamination ist bei Einhaltung allgemeiner Schutzmaßnahmen das Risiko für Hilfskräfte begrenzt (IAEA 2020c). Kontaminationsverschleppungen können durch entsprechende Schutzmaßnahmen (vgl. Abschnitt 12.3) verhindert werden.

## 2.2 Interne Strahlenexposition

Eine interne Strahlenexposition resultiert aus der Aufnahme radioaktiver Substanzen in den Körper und ihrer (teilweisen) Deposition in bestimmten Organen (Inkorporation), abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung. Die Aufnahme kann über unterschiedliche Pfade erfol-

gen, z. B. den Magen-Darm-Trakt (Ingestion) oder die Atemwege (Inhalation). Auch bei oberflächlicher Kontamination des Körpers ist eine Aufnahme über die intakte Haut möglich, wenn die radioaktiven Stoffe resorbierbar sind. Offene Wunden erleichtern die Aufnahme zusätzlich (Abb. 2-1) (BfS 2018).

Unabhängig von ihrer Anwendung birgt jeder Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen die Möglichkeit einer Inkorporation (IAEA 2018). Das Gefahrenpotenzial einer Inkorporation von radioaktiven Stoffen hängt von zahlreichen Einflussgrößen ab:

- Radionuklid, Aktivität, Strahlungsart, physikalische Halbwertszeit,
- Art der chemischen Verbindung, bei flüchtigen Verbindungen Gas- oder Aerosolform, bei festen Verbindungen Partikelgröße und Löslichkeit und bei Flüssigkeiten Hautresorbierbarkeit,
- bei Inkorporation durch Inhalation von Atemrate und Atemzugvolumen,
- bei Ingestion vom Füllungszustand des Magen-Darm-Trakts,
- bei Aufnahme über Wunden von Art und Größe der Verletzung,
- Verteilung der Radionuklide im Körper,
- Art und Geschwindigkeit der Ausscheidung des inkorporierten radioaktiven Stoffes (Niere/Darm, biologische Halbwertszeit).

Alle hierzu verfügbaren Informationen sollten durch das behandelnde Team frühzeitig erfasst und dokumentiert werden, um gezielte Gegenmaßnahmen zu ermöglichen.

Hohe Aktivitäten inkorporierter radioaktiver Stoffe können schwere deterministische, möglicherweise letale Effekte verursachen (IAEA 2020c).

Eine alleinige Inkorporation stellt kein direktes Risiko für andere dar, es sei denn es handelt sich um eine sehr hohe interne Kontamination mit Radionukliden, die Gammastrahlung emittieren. In diesem Fall sind die Hilfskräfte und andere Personen also einer externen Strahlenexposition als Folge der internen Kontamination des/der Patient\*in ausgesetzt (IAEA 2020c). Dessen ungeachtet können inkorporierte Radionuklide ausgeschieden werden und auf diesem Weg andere Personen kontaminieren, falls diese mit den Ausscheidungen in Kontakt kommen.



Nach einer externen Exposition durch umschlossene radioaktive Quelle wird kein radioaktiver Stoff übertragen. Hilfskräfte oder andere Personen werden durch eine extern exponierte Person nicht selbst radioaktiv.

Bei einer Kontamination oder Inkorporation ist unter Einhaltung allgemeiner Schutzmaßnahmen (Hygieneregeln) das Risiko für Hilfskräfte begrenzt.

### 3 Anwendungsbereiche und Notfallszenarien

Radiologische Notfälle können in Bereichen auftreten, in denen Strahlenquellen benutzt oder offene Radionuklide gehandhabt werden. Dies sind Anlagen der kerntechnischen Industrie, sonstige Anwendungen in Industrie und Technik sowie in der Medizin und Wissenschaft (eingeschlossen Transportunfälle und Verlust/Diebstahl von Strahlenquellen). Eine besondere Situation ergibt sich bei terroristisch oder anderweitig motivierten Freisetzungen von Radionukliden oder Expositionen durch ionisierende Strahlung.

#### 3.1 Beruflich überwachte Personen, Dosisüberschreitungen und Vorkommnisse

In Deutschland waren 2017 etwa 418 000 beruflich exponierte Personen beschäftigt (BMU 2020). Davon arbeiteten rund 72 % der Personen in der Medizin, 4 % in der Kerntechnik, 9 % in der Industrie, 5 % in Forschung und Entwicklung und 10 % gehörten zum strahlenschutzüberwachten fliegenden Personal.

Dosisgrenzwertüberschreitungen über 20 mSv pro Kalenderjahr sind sehr selten (Abb. 3-1). Dabei können die Dosisüberschreitungen durch eine einmalige Strahlenexposition oder kumulativ über ein Kalenderjahr sein.

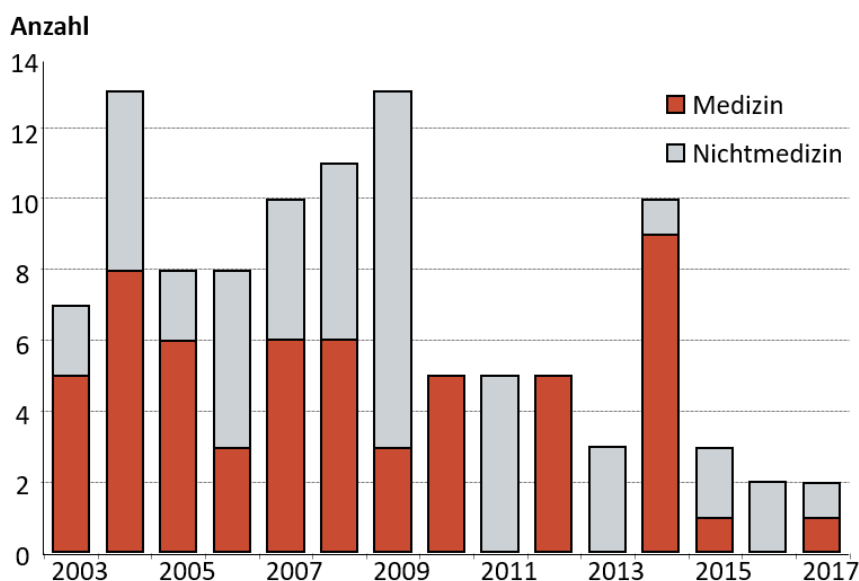


Abb. 3-1: Überwachte Personen mit Ganzkörperdosen über 20 mSv pro Kalenderjahr (BMU 2020).

Zusätzlich zu den Überschreitungen von Grenzwerten bei überwachten Personen werden auch Vorkommnisse bei einer geplanten Expositionssituation, die zu einer unbeabsichtigten Strahlenexposition geführt haben oder haben könnten (nach § 1 Abs. 22 StrlSchV), an die zuständige Behörde gemeldet. In den Jahren 2005 bis 2016 wurden insgesamt 1 155 derartige Vorkommnisse registriert, also etwa 100 pro Kalenderjahr. Ein Großteil der gemeldeten Vorkommnisse betraf Funde von radioaktivem Material, meist infolge nicht ordnungsgemäßer Entsorgung (Czarwinski und Häusler 2018). Im genannten Studienzeitraum (elf Jahre) traten etwa bei 50 Personen zusätzliche Strahlenexpositionen auf. In der Mehrzahl der Vorkommnisse waren die Strahlenexpositionen gering. Bei 13 Vorkommnissen mit 15 Personen wurde eine Dosis oberhalb der Grenzwerte für beruflich exponierte Personen erreicht (Ganzkörper  $> 20 \text{ mSv a}^{-1}$ ,



effektive Dosis; Teilkörper  $> 500 \text{ mSv a}^{-1}$ ). Dabei kam es in keinem Fall zu einer gesundheitsbeeinträchtigenden radiologischen Gefährdung.



Dosisgrenzwertüberschreitungen bei beruflich exponierten Personen und bedeutsame Vorkommnisse sind sehr seltene Ereignisse.

## 3.2 Unfallszenarien und Anwendungsbereiche

### 3.2.1 Kerntechnische Anlagen

In kerntechnischen Anlagen (Uran-Anreicherung, Herstellung von Brennelementen, Kernkraftwerke, Entsorgung und Rückbau) waren in Deutschland im Jahr 2017 etwas über 15 000 Personen strahlenschutzüberwacht (BMU 2020).

Für gravierende Unfälle in Kernkraftwerken (KKW) soll hier auf die beiden Unfälle in Tschernobyl, Ukraine und Fukushima, Japan eingegangen werden

Am 26. April 1986 ereignete sich auf der Anlage in **Tschernobyl** der folgenschwerste Unfall in der Geschichte der Kernenergiegewinnung. Während eines Tests kam es zu einer Instabilität des Reaktors mit der Folge eines unkontrollierten Leistungsanstiegs und Explosion des Reaktors mit anschließender Kernschmelze. Es folgte ein zehn Tage andauernder Brand des Graphit-Moderators, der zur kontinuierlichen Freisetzung von großen Mengen an Radioaktivität führte. Diese wurden in höhere Schichten der Atmosphäre verfrachtet und verteilten sich entsprechend der vorherrschenden Windrichtungen über große Gebiete von Belarus, der Ukraine und der westlichen Teile Russlands. Vergleichsweise geringe, nicht gesundheitsrelevante Mengen an Radioaktivität erreichten nach einer Woche auch Deutschland (vorwiegend die südlichen Gebiete).

Die gesundheitlichen Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl wurden vom United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) im Jahr 2008 zusammengefasst (UNSCEAR 2008a). Aufgrund der sehr hohen Expositionen im Bereich der Anlage wurde bei 134 von ca. 600 Exponierten des Mitarbeiterstabs und des Rettungspersonals ein akutes Strahlensyndrom (ARS) diagnostiziert. In der Folgezeit verstarben 29 dieser Hochexponierten (trotz des Versuchs der Stammzelltransplantation in einer Spezialklinik in Moskau). Bis 2006 verstarben weitere 19 ARS-Überlebende aus unterschiedlichen Gründen; ein eindeutiger Bezug zur Strahlenexposition war bei diesen Personen nicht herstellbar. Die Hauptfolgen der Strahlenexposition bei den ARS-Überlebenden zeigten sich in häufigen Hautschäden und Katarakten.

Eine weitere zu betrachtende Gruppe sind die rund 120 000 Einwohner der 30 km-Zone. Diese wurden relativ spät – z. T. erst nach mehreren Wochen – evakuiert. Etwas geringere Strahlendosen erhielten ca. 6 Mio. Personen aus der Bevölkerung, die auf kontaminierten Gebieten lebte. Die Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl in diesen beiden Gruppen sind im Wesentlichen die gleichen und auf hohe Schilddrüsendosen durch freigesetztes  $^{131}\text{I}$  zurückzuführen. Die Bevölkerung wurde erst nach Wochen über den Unfall informiert; übliche Schutzmaßnahmen wie das Verbleiben im Haus beim Durchzug der Wolke, der Verzicht auf kontaminierte Milch und Nahrung und auch die Ausgabe von Iodtabletten zur Blockade der Schilddrüse unterblieben. In der Folge kam es in der besonders vulnerablen Gruppe der  $< 12$ -Jährigen mit einer Latenz von ca. fünf Jahren zu einem deutlichen, bis zu 15-fachen Anstieg der Häufigkeit von Schilddrüsenkrebs. Es ist heute davon auszugehen, dass mindestens 6 000 Fälle von kindlichem Schilddrüsenkrebs durch die Reaktorkatastrophe verursacht wurden

(UNSCEAR 2008b). Generell ist die Prognose des kindlichen Schilddrüsenkrebses als günstig zu bewerten (Reiners et al. 2013).

Am 11. März 2011 kam es in Japan in Folge des großen Erdbebens und Tsunamis zu einer riesigen Flutwelle, die die Sicherheitsvorkehrungen auf der **Fukushima-Daiichi Reaktor-anlage** überwand, und zu massiven Schäden an den vier dort in Betrieb befindlichen Reaktorblöcken führte.

Die Unfallabläufe und deren Folgen wurden von UNSCEAR im Jahr 2020 zusammengefasst unter dem Titel: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Powerplant: Implications of Information Published since the UNSCEAR 2013 Report (UNSCEAR 2020). Danach kam es am 12. März 2011 vorwiegend aufgrund der unterbrochenen Kühlung zu ersten Freisetzungen aus drei Reaktorblöcken durch Wasserstoffexplosionen, gezielte Druckentlastung und Leckage infolge Kernschmelze, die in den folgenden 14 Tagen nicht kontinuierlich, sondern mehrfach sporadisch auftraten. Im Gegensatz zur Anlage in Tschernobyl verfügten die Reaktorblöcke in Fukushima über Sicherheitsbehälter. Aufgrund der unterschiedlichen Unfallabläufe und Sicherheitsbedingungen wurden bei dem Unfall in Fukushima im Vergleich zu Tschernobyl nur etwa 10 % bis 20 % des radioaktiven Inventars freigesetzt. Als günstig in Hinblick auf die Exposition der Bevölkerung erwies sich auch, dass etwa 80 % der Freisetzungen von Fukushima nach Osten über den Pazifischen Ozean verfrachtet wurden und insoweit besiedelte Regionen weniger betroffen waren.

Mit der Evakuierung der Bevölkerung aus der 2 km-Zone wurde bereits am Unfalltag begonnen; die Evakuierungszone wurde sukzessive bis zum 15. März 2011 von 2 km über 20 km auf 30 km erweitert. Insgesamt wurden rund 200 000 Einwohner evakuiert. Am 16. März 2011 wurde mit einem systematischen Food-Monitoring begonnen und kontaminierte Nahrung (inklusive der Meeresfrüchte), Milch und Trinkwasser aus dem Verkehr gezogen. Iodtabletten wurden zur Verteilung bereitgehalten, nach Vorliegen verlässlicher Dosisabschätzungen aber nicht ausgegeben, da die Werte nicht die in Japan gültigen Eingreifrichtwerte überschritten. Zu erwähnen ist, dass der Bevölkerung angeraten wurde, die in Japan während Erkältungszeiten üblichen Atemschutzmasken zu tragen.

Aufgrund der im Vergleich zum Reaktorunfall in Tschernobyl um etwa drei Größenordnungen geringeren Strahlenexposition kam es weder bei Anlagenarbeitern noch Personen aus der Bevölkerung zu statistisch nachweisbaren somatischen Schäden, die strahlenbedingt sein könnten. Dies betrifft alle exponierten Gruppen von den Anlagenarbeitern, dem Aufräumpersonal, den evakuierten Bewohnern der 30 km-Zone bis hin zu den Bewohnern der übrigen an die Fukushima-Daiichi Anlage angrenzenden Gebiete. Allerdings verstarben etwa 100 ältere z. T. intensivpflichtige Krankenhauspatienten infolge der unzureichenden medizinischen Versorgung während der Evakuierung und kurz danach. Dies kann als indirekte Folge des Strahlenunfalls betrachtet werden, wobei allerdings die Evakuierung massiv durch die Folgen des Tsunamis und des Erdbebens erschwert wurde.



Die Zahl der Betroffenen bei Notfällen in Kernkraftwerken kann stark variieren in Abhängigkeit vom Beladungszustand der Reaktoren, dem Ablauf des Unfalls, dem Abstand bewohnter Gebiete vom Unfallort und deren Bevölkerungsdichte. Die Zahl der Exponierten auf der havarierten Anlage liegt typischerweise bei einigen hundert; besondere Herausforderungen bzgl. der Notfallversorgung stellen die zu Evakuierenden mit bis zu einigen 100 000 dar.

Die japanische Regierung beschloss frühzeitig, Untersuchungen zum Gesundheitsstatus der exponierten Bevölkerung durchzuführen. Als erste Maßnahme wurde im Rahmen des „**Fukushima Health Management Surveys**“<sup>3</sup> eine Basiserhebung bei rund 2 Mio. Einwohnern im Herbst 2011 durchgeführt, mit der für die retrospektive Dosimetrie wichtige Fakten erhoben wurden (wie Aufenthaltsorte und -dauern).

Es folgte ein Schilddrüsencreening ab Oktober 2011 bis März 2018 in drei Phasen, die sich über jeweils rund zwei Jahre erstreckten. Zielpersonen waren rund 380 000 Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren, die sich zum Zeitpunkt des Unfalls in der Präfektur Fukushima aufgehalten hatten. Im Ergebnis fanden sich bei den drei Ultraschall-Screeningrunden mit stark abnehmender Häufigkeit insgesamt 202 Fälle von Schilddrüsenkarzinomen, die erhebliche Unruhe in der Bevölkerung verursachten. Es wurde zu wenig beachtet, dass aufgrund der natürlichen Prävalenz der Erkrankung (ohne Screening) ca. 100 Fälle zu erwarten gewesen wären. Die Schilddrüsendosen durch <sup>131</sup>I lagen nach dem Reaktorunfall in Fukushima um zwei bis drei Größenordnungen niedriger als nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl; es fand sich keine Korrelation der Häufigkeit der entdeckten Fälle mit den vom Aufenthaltsort abhängigen Schilddrüsendosen. Auch das im Vergleich zu Tschernobyl höhere Erkrankungsalter der Fukushima-Fälle sprach gegen eine Strahleninduktion. Somit besteht Konsens unter den Expert\*innen, dass die beobachteten Fälle auf das systematische Screening zurückzuführen sind.

Wesentlicher Bestandteil des Health Management Surveys waren Befragungen zur psychischen Gesundheit, die mittels Fragebögen ebenfalls am oben beschriebenen Kollektiv von 210 000 Evakuierten durchgeführt wurden. Danach verlangten im Jahr des Unfalls 2011 rund 15 % der Befragten nach Unterstützung wegen Depressionen und/oder Angstsymptomen; diese Häufigkeit nahm in der Befragungsrunde 2016 auf rund 7 % ab, war aber immer noch gegenüber dem Erwartungswert von 3 % in Japan deutlich erhöht. Es bestand eine deutliche Altersabhängigkeit der Symptomatik mit einem Maximum von rund 25 % bei Kindern im Alter von vier bis sechs Jahren.

---

<sup>3</sup> [http://kenko-kanri.jp/en/pdf/report\\_e.pdf](http://kenko-kanri.jp/en/pdf/report_e.pdf)



Der Health Management Survey von Fukushima lehrt uns:

- Die Evakuierung von Krankenhäusern und insbesondere Intensivpatienten sorgfältigst zu planen und zu üben.
- Auffällige Befunde in Hinblick auf ihre Strahlengenese immer in Relation zu ihrer Spontanhäufigkeit zu setzen und eine Dosisabhängigkeit als Beweis der Strahleninduktion zu fordern.
- Psychische Belastungen ernst zu nehmen und für eine gute Versorgung zu sorgen.

### 3.2.2 Umgang mit radioaktiven Stoffen außerhalb kerntechnischer Anlagen

#### **Industrie und Technik**

Beispiele für den Umgang mit radioaktiven Stoffen oder mit ionisierender Strahlung in der Industrie sind z. B.:

- Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung,
- industrielle Bestrahlungseinrichtungen (Sterilisation, Änderung von Materialeigenschaften),
- Messen von Füllstand, Durchfluss, Dicke oder Massenbelegung (Flächengewicht von Fördergut),
- Uranhexafluorid (UF<sub>6</sub>) als Bestandteil des Brennstoffkreislaufes,
- Thorium in Glühstrümpfen für Gaslaternen oder als Beimischung in Schweißelektroden,
- Tritiumaktivierte Leuchtfarben (z. B. in Uhren),
- Statik-Eliminatoren (z. B. an Papiermaschinen),
- Ionisationsrauchmelder.

Daneben können noch Relikte aus früheren Anwendungen in Betracht kommen (z. B. u. U. im Trödel auffindbare Radiumquellen, -Kompressen, -Antiseptika). Diese wurden mit der ersten Strahlenschutzverordnung von 1960 und dem Arzneimittelgesetz von 1961 verboten.

Ein vergleichsweise häufiges Unfallszenario in Industrie und Technik mit wenigen Betroffenen kann sich bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (der sog. Gammadiagnostik) ergeben. Dabei werden hochradioaktive Strahlenquellen verwendet, die bei korrektem Einsatz und intakten Strahlenschutzvorrichtungen des Geräts kein Risiko für das Personal darstellen. Bei einer typischen Anwendung der Gammadiagnostik zur Schweißnahtprüfung bei Überland-Rohrleitungen auf der Baustelle kann es jedoch dazu kommen, dass die ferngesteuerte Quelle nicht ordnungsgemäß aus dem Applikator in das Schutzgehäuse zurückfährt. Dies führt zu unbeabsichtigten Expositionen, die u. U. mit hohen lokalen Strahlendosen und dadurch bedingten Schäden an der Haut und am darunterliegenden Gewebe verbunden sind. Die Zahl der davon Betroffenen ist meist gering und bewegt sich zwischen eins und zehn (IAEA 1998).

Obwohl Strahlenunfälle in Deutschland selten auftreten, sind in der Industrie Inkorporationen nicht ausgeschlossen, da im Falle von Verletzungen trotz Schutzkleidung radioaktive Stoffe aufgenommen werden können.

## Medizin und Wissenschaft

Strahlenunfälle mit wenigen Betroffenen können in Forschungslaboratorien sowie in Abteilungen für Nuklearmedizin, Strahlentherapie oder Radiologie in Krankenhäusern und Arztpraxen auftreten. Bei Unfällen in Forschungseinrichtungen ist zu beachten, dass dort manchmal mit Radionukliden umgegangen wird, deren Nachweis schwierig ist. Zusätzlich zu Verletzungen können dabei folgende Einwirkungen ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe auftreten:

- Teilkörperbestrahlungen (meist Hände) durch Röntgenstrahlung oder Quellen bei geringem Abstand oder fokussiertem Strahl.
- Ganzkörperbestrahlung durch Quellen oder Beschleuniger in größerem Abstand,
- Kontamination durch radioaktive Stoffe, evtl. auch deren Inhalation oder Inkorporation (auch über Wunden).

Bei derartigen Unfällen sind die Risiken durch ionisierende Strahlung für das Einsatzpersonal gering; keinesfalls darf die Furcht vor Strahlung und Radioaktivität zu Verzögerungen bei notwendigen medizinischen Maßnahmen führen.

Besondere Vorkommnisse nach §§ 108 und 109 StrlSchV können bei der Anwendung ionisierender Strahlung am Menschen und Handhabung von offenen radioaktiven Stoffen in Diagnostik und Therapie auftreten (z. B. durch Kontamination in der Nuklearmedizin, bei der Herstellung und Zubereitung von radioaktiven Therapeutika, in der interventionellen Radiologie). Seit 2019 erfasst das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) derartige Vorkommnisse in einem Register<sup>4</sup>. Im Berichtsjahr 2020 wurden dort 102 besondere Vorkommnisse gemeldet, die aufgearbeitet werden konnten. In 47 Fällen stammten diese aus therapeutischen Strahlenanwendungen in der Radioonkologie und Nuklearmedizin, wobei es sich in 70 % dieser Fälle um Namens- bzw. Therapieplan-Verwechslungen handelte. In der Häufigkeitsskala folgten Dosisüberschreitungen bei der Computertomographie (27/102 Fälle) und bei interventionell radiologischen Maßnahmen (13/102 Fälle).

### 3.2.3 Transport von radioaktiven Stoffen

Transporte von radioaktiven Stoffen unterliegen der Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB 2009) Ihr Ziel ist, die Freisetzung radioaktiver Stoffe während des Transportes und bei etwaigen Unfällen zu verhindern und Gefahren durch die Strahlung von intakten oder bei einem Unfall beschädigten Versandstücken zu minimieren.

Hierfür werden Art und Menge des radioaktiven Stoffs nach Typ der Verpackung begrenzt und Anforderungen an die Verpackung und Regeln für die Handhabung während des Transportes festgelegt.

Bei den wenigen bisherigen Transportunfällen sind keine schwerwiegenden Folgen ionisierender Strahlung oder Radioaktivität aufgetreten.

Bei der Mehrzahl der Transporte von radioaktivem Material handelt es sich um Stückgutsendungen für medizinische Anwender, Forschungseinrichtungen und Industrie. Die Zahl der Transporte von unbestrahlten oder bestrahlten Brennelementen aus dem Brennstoffkreislauf der Kernreaktoren ist weit geringer, doch sind dabei die Aktivitäten und damit das Gefahrenpotenzial größer, weshalb hierfür geeignete Behälter (z. B. Castor<sup>®</sup>) verwendet werden. Diese

---

<sup>4</sup> [https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/jahresbericht/jahresbericht\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/jahresbericht/jahresbericht_node.html)

Transporte unterliegen besonderen Bedingungen und werden häufig zur Sicherung gegen Einwirkungen Dritter von der Polizei begleitet.

### *Lagebeurteilung*

Bei Transportunfällen kommt der **Lagebeurteilung** eine besondere Bedeutung zu, da es für die sichere Durchführung von Hilfeleistungen notwendig ist, Informationen über die vorhandenen radioaktiven Stoffe und die Intensität der ionisierenden Strahlung zu gewinnen. Mögliche Informationsquellen sind:

### *Gefahrzettel, Placards (Großzettel), Schriftliche Weisungen*




Der Gefahrzettel gibt die Kategorie des Versandstückes an. Daraus lässt sich im Groben die Dosisleistung an der Oberfläche eines – unbeschädigten – Versandstückes einordnen. Art und Menge des Radionuklides sind zusätzlich vermerkt (Tab. 3-1).

Auf den an Fahrzeugen angebrachten Placards ist unter dem Strahlenwarnzeichen (Flügelrad) das Wort „RADIOACTIVE“ angegeben (Abb. 3-2). Weitere Hinweise geben die Beförderungspapiere sowie die schriftlichen Weisungen.



Abb. 3-2: Lieferfahrzeug für den Transport gefährlicher Güter mit den Placards der Klasse 7 „Radioaktive Stoffe“ und orange Warntafel nach ADR

Tab. 3-1: Kategorien zur Kennzeichnung von Versandstücken und Fahrzeugen, die radioaktive Stoffe enthalten (entsprechend GGVSEB<sup>5</sup>, ADR<sup>6</sup>)

Kennzeichnung	Kategorie	max. zulässige Dosisleistung	
		an der Oberfläche	in 1 m Abstand
	I WEISS	5 µSv h <sup>-1</sup>	–
	II GELB	500 µSv h <sup>-1</sup>	10 µSv h <sup>-1</sup>
	III GELB	2000 µSv h <sup>-1</sup>	100 µSv h <sup>-1</sup>
		(10 000 µSv h <sup>-1</sup> )*	(>100 µSv h <sup>-1</sup> )*

\* Werte nur zulässig bei Beförderung unter ausschließlicher Verwendung.

#### Vorgaben für die Feuerwehr

Bei Einsätzen im Zusammenhang mit Transporten radioaktiver Stoffe ist zunächst wie bei Einsätzen der Gefahrengruppe IIA (Tab. 3-2) zu verfahren (siehe Feuerwehrdienstvorschrift (FwDV 500, AKFzV 2022)).

Tab. 3-2: Gefahrengruppen für die Feuerwehren mit Angaben über die Bedingungen für den Einsatz (vergl. § 54 StrlSchV)

Gefahrengruppe	Bedingungen für den Einsatz
IA	ohne Sonderausrüstung, bei Inkorporationsgefahr Atemschutz
IIA	nur mit Strahlenschutzsonderausrüstung und unter Strahlenschutzüberwachung und Dekontaminationsmöglichkeit
IIIA	wie IIA und zusätzlich unter Hinzuziehung einer sachkundigen Person

Für zusätzlich benötigte Auskünfte sind Informationen und ggf. Unterlagen in den Rettungsleitstellen bzw. Einsatzzentralen vor Ort verfügbar.

<sup>5</sup> GGVSEB: Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern\*) (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB)

<sup>6</sup> ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße).



Transporte mit radioaktivem Material sind entsprechend der Gefahrenkategorie gekennzeichnet. Der sichere Transport wird durch die Regelungen der GGVSEB und der ADR gewährleistet.



Die Zahl der Betroffenen bei Unfällen im geplanten Umgang mit Strahlenquellen oder offenen radioaktiven Stoffen in Industrie und Technik, in Medizin und Wissenschaft sowie beim Transport von radioaktiven Stoffen ist meist gering.

### 3.2.4 Verlust oder Diebstahl von Strahlenquellen

Der Umgang mit verlorenen oder entwendeten Strahlenquellen birgt Gefahren sowohl für Nichtbeteiligte als auch für Diebe und illegale Händler.

Es sind weitreichende Folgen denkbar, wie einige Unfälle vor Jahren in Juarez (Mexiko, 1962), Goiânia (Brasilien, 1987), Yanango (Peru, 1999), Cochabamba (Bolivien, 2002) gezeigt haben, bei denen es auch zu Todesfällen gekommen ist. Bei den Vorfällen wurden entweder ausgesonderte Bestrahlungsanlagen aus Krankenhäusern gestohlen und zerlegt bzw. illegal entsorgt oder es wurden verloren gegangene Strahlenquellen gefunden, aber nicht als solche erkannt.

Vagabundierende Strahlenquellen können sowohl durch äußere Bestrahlung als auch durch Inkorporation gefährlich werden und – wie der Unfall von Goiânia 1987 mit  $^{137}\text{Cs}$  in Form von Cäsiumchlorid-Salz aus einer verschrotteten Teletherapieanlage gezeigt hat – Kontaminations- und Inkorporationsmessungen von tausenden Betroffenen erforderlich machen (IAEA 1988).



Die Zahl der Betroffenen bei Notfällen durch Verlust oder Diebstahl von Strahlenquellen kann hoch sein.

### 3.2.5 Terroristische oder anderweitig motivierte Freisetzung von radioaktiven Stoffen oder Exposition durch ionisierende Strahlung

Das Ziel böswilliger Handlungen mit radioaktivem Material ist es, wirtschaftliche, politische oder gesundheitliche Auswirkungen, einschließlich psychischen Stresses, herbeizuführen. In gewissem Sinne können Ziele und Folgen eines Angriffs mit Nuklearwaffen vergleichbar sein.

Je nach Ereignis kann die Zahl der Betroffenen von wenigen bis zu sehr vielen variieren (d. h. einer hohen Zahl von exponierten oder verletzten Personen), wobei die Gefahr hoher Strahlendosen bis hin zur Möglichkeit eines Akuten Strahlensyndroms (ARS) je nach Szenario variieren kann. Strahlenschäden könnten auch mit konventionellen Verletzungen kombiniert auftreten.





Ein nicht zu vernachlässigendes Szenario mit vielen Betroffenen sind terroristische oder anderweitig motivierte Anschläge mit radioaktiven Stoffen oder Quellen.

Mögliche Szenarien sind unter anderem:

- Einsatz von Geräten für radiologische Exposition, z. B. als versteckte Strahlenquelle (Radiological Exposure Device),
- Einsatz einer Vorrichtung zur radiologischen Dispersion (Radiological Dispersion Device, z. B. sogenannte schmutzige Bombe),
- Angriff auf einen regulären Transport von radioaktivem Material,
- Kontamination von Nahrungsmitteln und Wasservorräten,
- Angriff auf eine kerntechnische Einrichtung oder eine anderweitige Einrichtung, die radioaktives Material enthält,
- Improvisierte Nuklearwaffe (Improvised Nuclear Device).

Wenn eines der vorstehend genannten Szenarien anzunehmen ist, ist bis zur Klärung der tatsächlichen Gefährdungslage von den oben genannten Lagen auszugehen, und entsprechende Maßnahmen sind zu ergreifen.

### **3.3 Notfallszenarien und Abschätzung der Anzahl der Betroffenen und der erforderlichen Kapazitäten**

Erhöhte Expositionen durch ionisierende Strahlung sind im Rahmen von Unfallereignissen möglich, aber auch durch terroristische Handlungen oder anderweitig motivierte Handlungen. Die Detektion der Strahlenexposition kann insbesondere bei verdeckten Ereignissen mit Radionukliden sehr verzögert sein, sodass aufgrund von Kontaminationsverschleppung eine große Anzahl betroffener Personen auftreten kann. Darunter wird auch eine Vielzahl von Personen zu berücksichtigen sein, die nicht exponiert waren, die jedoch in Sorge um ihre Gesundheit medizinischen Rat und Hilfe suchen.

Abhängig vom Szenario ist die gesamte Bandbreite von einzelnen oder wenigen Betroffenen bis hin zu Massenanfällen von betroffenen Personen denkbar. Die SSK hat sich 2017 mit der Abschätzung der Zahl der Betroffenen für verschiedene Szenarien befasst (SSK 2017a).

Für die meisten dieser Szenarien gilt, dass die Anzahl der exponierten Personen, welche ein ARS entwickeln können, niedrig ist. Es existieren nur sehr wenige Szenarien, bei denen eine größere Anzahl an akut und hoch exponierten Personen denkbar ist (SSK 2017a).

In Tab. 3-3 wird die geschätzte Anzahl Betroffener in Deutschland für die verschiedenen Szenarien dargestellt.



Abhängig von den Szenarien kann die Anzahl der betroffenen Personen sehr unterschiedlich sein.

Schwere Strahlensyndrome sind selten.

Der Bedarf an psychologischer Betreuung kann sehr hoch sein.

Tab. 3-3: *Geschätzte Anzahl Betroffener in Deutschland, die medizinische Maßnahmen erfordern könnten, bei verschiedenen radiologischen Notfallszenarien (modifiziert aus SSK 2017a)*

Szenarien	Leichtes Strahlensyndrom	Schweres Strahlensyndrom Spezialbehandlung	Lokales Strahlensyndrom	Kombiniertes Trauma	Kontamination	Inkorporation <sup>1</sup>	Psycholog. Effekte
Unfall in einem deutschen KKW vor Brennelementfreiheit	100-1 000	10-100	10-100	10-100	200 000	1 000 000	+++
Unfall in einem KKW im grenznahen Ausland	–	–	–	–	50 000 bis 200 000	100 000 bis 1 000 000	+++
Unfall in einem KKW im übrigen Europa	–	–	–	–	–	10 000 bis 50 000	++
Unfall in einem KKW außerhalb Europas	–	–	–	–	–	–	++
Unfall in kerntechnischer Anlage oder Einrichtung, die kein KKW ist	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	+
Transportunfall	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	+
Unfälle im Zusammenhang mit dem Umgang mit radioaktiven Stoffen (auch vagabundierende Quellen)	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	+
Terroristische oder anderweitig motivierte Straftat	bis zu 1 000	1-10	10-100	10-100	bis zu 1 000	bis zu 1 000	+++
Satellitenabsturz	-	-	1-5	1-5	1-5	1-5	+

<sup>1</sup> Einschließlich möglicher Iodinkorporation

+ wenige, ++ viele, +++ sehr viele betroffene Personen; - keine betroffenen Personen erwartet

## 4 Strahlenphysik und Strahlenbiologie

### 4.1 Ionisierende Strahlung

Alle Stoffe, ob fest, flüssig oder gasförmig bestehen aus Atomen. Dem Aufbau aller Atome liegen gemeinsame Gesetzmäßigkeiten zugrunde. Jedes Atom besteht aus einem Kern und einer Hülle, beide sind aus Elementarteilchen zusammengesetzt. Zur Veranschaulichung dient das Bohr'sche Atommodell: Der Atomkern ist aus Protonen und Neutronen aufgebaut und positiv geladen, um ihn kreisen die negativ geladenen Elektronen in der Hülle (Abb. 4-1).

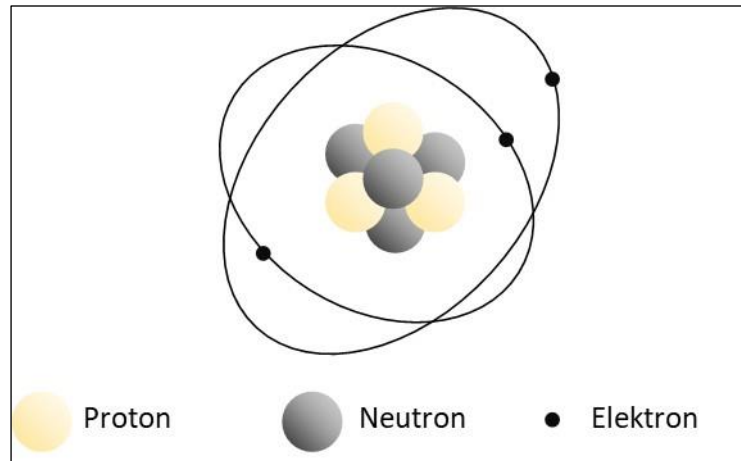


Abb. 4-1: Bohr'sches Atommodell (hier am Beispiel von Lithium)

Ist die Zahl der Protonen im Kern gleich der Zahl der Elektronen in der Hülle, ist ein Atom elektrisch neutral. Jedes Elektron besitzt dabei eine bestimmte Energie und kann den Kern nur auf bestimmten Bahnen umlaufen. Der Übergang eines Elektrons von einer kernferneren zu einer kernnäheren Bahn erfolgt unter Abgabe von Energie. Die Energiedifferenz (Strahlungsquant) wird in Form einer elektromagnetischen Welle abgestrahlt. Der umgekehrte Prozess des Übergangs eines Elektrons von einer kernnäheren Bahn auf eine, die weiter vom Kern entfernt ist, ist nur unter Zufuhr von Energie möglich. Dies wird als Anregung bezeichnet.

Werden aus der Hülle Elektronen entfernt oder ihr zugefügt, so entsteht ein geladenes Teilchen (Ion). Dieser Prozess wird als **Ionisation** bezeichnet.

Unter **Strahlung** versteht man den Energie- und Massentransport. Strahlung, die in der Lage ist, Elektronen aus den Atomhüllen bestrahlter Materie herauszulösen, nennt man **ionisierende Strahlung**. Jede ionisierende Strahlung lässt sich sowohl als Teilchenstrahlung als auch als Wellenstrahlung beschreiben (Welle-Teilchen-Dualismus). Strahlung, die sowohl Energie als auch Masse transportiert, wird in der Regel als **Teilchenstrahlung** (auch Korpuskularstrahlung genannt) beschrieben. Die **elektromagnetischen Strahlungen**, zu denen auch die Photonenstrahlung gehört, transportieren keine Masse, sondern ausschließlich Energie.

Die wichtigsten Arten ionisierender Strahlung sind  $\alpha$ -(Alpha-),  $\beta$ -(Beta-),  $\gamma$ -(Gamma-), Röntgen- und Neutronenstrahlung. Alphateilchen bestehen aus zwei Protonen und zwei Neutronen; es handelt sich um positiv geladene Teilchen. Betateilchen sind entweder Positronen (positiv geladene Elektronen) oder Elektronen. Neutronen sind elektrisch neutrale Teilchen.

**Alpha- und Betateilchen** entstehen bei dem Zerfall radioaktiver Atomkerne. Im Zusammenhang mit einem Alphazerfall oder Betazerfall tritt in den meisten Fällen auch Gammastrahlung auf.

Im Gegensatz zur **Gammastrahlung**, die vom Kern ausgeht, entsteht **Röntgenstrahlung** aufgrund von Wechselwirkungsprozessen in der Hülle. Bei beiden handelt es sich um elektromagnetische Wellenstrahlung (Photonenstrahlung).



Ionisierende Strahlung unterteilt man in

- Teilchenstrahlung wie Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung und
- Photonenstrahlung (elektromagnetische Wellenstrahlung) wie Gamma- und Röntgenstrahlung.

Im Folgenden wird mit „Strahlung“ ausschließlich ionisierende Strahlung gemeint.

## 4.2 Größen und Einheiten

### 4.2.1 Aktivität

Die **Aktivität** eines radioaktiven Stoffes ist definiert als die Anzahl der Kernumwandlungen pro Zeit. Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq):

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ Zerfall pro Sekunde}$$

Die veraltete Einheit von 1 Curie (Ci) entspricht einer Aktivität von 37 Milliarden Becquerel.



Unter Radioaktivität versteht man den Zerfall instabiler Atomkerne. Dabei entsteht Alpha- oder Betastrahlung, häufig in Kombination mit Gammastrahlung.

Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq).

$$1 \text{ Becquerel} = 1 \text{ Zerfall pro Sekunde}$$

### 4.2.2 Dosisbegriffe

Die Begriffe „Dosis“ oder „Strahlendosis“ sind Sammelbegriffe für eine Reihe von definierten spezifischen Dosisgrößen, von denen die wichtigsten die Energiedosis, die Äquivalentdosis und die effektive Dosis sind.

Es gibt keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Aktivität und Strahlendosis. Eine sehr hohe Aktivität kann zu einer niedrigen Dosis führen und ebenso eine niedrige Aktivität zu einer hohen Dosis. Viele Faktoren (wie z. B. Art der Strahlung, ob von außen auf den Körper einwirkend oder nach einer Inkorporation von innen, das Alter der betroffenen Person) haben Einfluss auf den Wert der Dosis, so dass bei Bedarf nur aus umfangreichen Tabellenwerken<sup>7</sup> die Dosis bei bekannter Aktivität ermittelt werden kann.

<sup>7</sup> <https://www.base.bund.de/DE/base/gesetze-regelungen/dosiskoeffizienten/dosiskoeffizienten.html>



Es gibt keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Aktivität und Strahlendosis!

Die **Energiedosis**  $D$  ist definiert als absorbierte Energie pro Masse. Im internationalen Einheitensystem (SI) ist die Einheit das Gray (Gy):

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}.$$

Diese rein physikalische Definition einer Strahlendosis ist in vielen Fällen im Strahlenschutz für die Risikobeschreibung unzureichend. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass die einzelnen Strahlenarten biologisch unterschiedlich wirksam sind. Man unterscheidet **locker und dicht ionisierende Strahlung**. Letztere ist biologisch wirksamer, da die durch sie hervorgerufenen Wirkungen in biologischen Strukturen enger beieinander liegen und erheblich schlechter vom Körper repariert werden können.

Wegen ihrer dichten Energiedeposition entlang ihrer Bahnspur hat z. B. Alphastrahlung (dicht-ionisierend) bei gleicher Energiedosis (gemessen in Gray, Gy) eine wesentlich höhere biologische Wirkung als z. B. Betastrahlung (locker-ionisierend). Daher wurden weitere Dosisgrößen (gemessen in Sievert, Sv) eingeführt.

Die **Äquivalentdosis**  $H$  entspricht dem Produkt aus der Energiedosis und einem dimensionslosen Faktor.

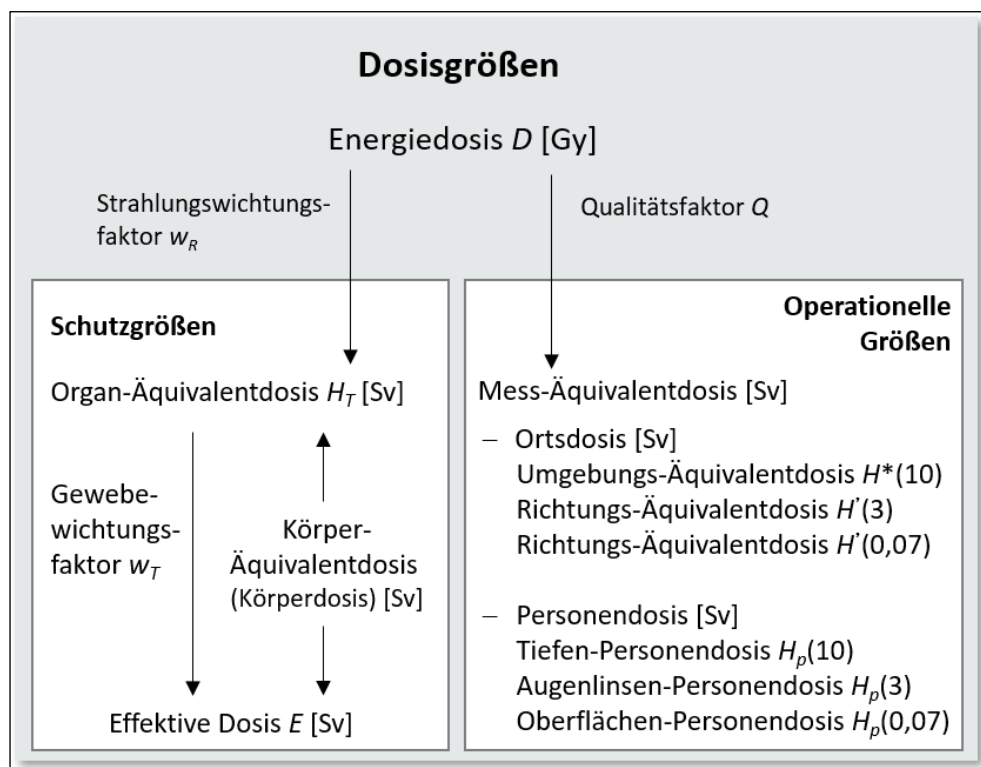


Abb. 4-2: Dosisgrößen nach StrlSchV 2018

Im Bereich der operationellen Messgrößen handelt es sich hierbei um den Qualitätsfaktor<sup>8</sup>  $Q$ , der vom linearen Energieübertragungsvermögen der Strahlung in Wasser abhängig ist. Die als Mess-Äquivalentdosis<sup>9</sup> bezeichnete Größe  $H$  wird definiert als:

$$H = Q \cdot D$$

wobei  $D$  die Energiedosis im ICRU-Weichteilgewebe ist.

Neben den operationellen Messgrößen werden Schutzgrößen verwendet, die eine Begrenzung des Strahlenrisikos erlauben. In diesem Fall wird die Energiedosis für ein bestimmtes Organ oder Gewebe mit dem dimensionslosen Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$  (siehe Tab. 4-1) multipliziert. Die auf diese Weise bestimmte Äquivalentdosis erhält die Bezeichnung Organ-Äquivalentdosis (früher: Organdosis).

Es gilt: Die durch die Strahlung  $R$  erzeugte Organ-Äquivalentdosis  $H_{T,R}$  ist das Produkt aus der über das Gewebe oder Organ  $T$  gemittelten Energiedosis (der Organ-Energiedosis  $D_{T,R}$ ), die durch die Strahlung  $R$  erzeugt wird, und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$ :

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

Weiterhin gilt:

Die Organ-Äquivalentdosis  $H_T$  ist die Summe der Produkte aus strahlenart-spezifischer Organ-Energiedosis  $D_{T,R}$  und zugehörigem strahlenart-spezifischen Wichtungsfaktor  $w_R$  über alle Strahlenarten  $R$ :

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Für locker ionisierende Strahlung ist der Zahlenwert des Strahlungs-Wichtungsfaktors gleich dem des Qualitätsfaktors gleich 1.

Demgegenüber geht man davon aus, dass dicht ionisierende Strahlung, wie Alphastrahlung oder Neutronen unbekannter Energie, 20-fach wirksamer als locker ionisierende Strahlung ist. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass Dosisangaben in Sievert (Sv), wenn es sich nicht um locker ionisierende Strahlung handelt, nur sinnvoll im Zusammenhang mit stochastischen Effekten (Krebs, Leukämie und Erbschäden) sind, da die zur Umrechnung benutzten Wichtungsfaktoren nur hierfür abgeleitet wurden. Immer wenn es um Zelltod geht (also bei den deterministischen Effekten<sup>10</sup> (siehe auch Abschnitt 4.4.2)), sollte die Energiedosis verwendet und dementsprechend in Gray (Gy) unter Nennung der einwirkenden Strahlenart angegeben werden. Begründung: Die Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind abgeleitet von den Werten der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW), die für stochastische Effekte beobachtet werden. Für Effekte, die mit dem Zelltod zu tun haben, liegen die RBW-Werte jedoch im Allgemeinen deutlich niedriger als für stochastische Effekte.

<sup>8</sup> Die Werte des Qualitätsfaktors  $Q$  können der Anlage 18, Tab. D StrlSchV entnommen werden (StrlSchV 2018).

<sup>9</sup> Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG 2017) verwendet als Gegensatzpaar die Begriffe „Äquivalentdosis“ und „Organ-Äquivalentdosis“ anstelle des DIN (DIN 6814-3:2016-08) konformen Begriffspaars „Mess-Äquivalentdosis“ und „Organ-Äquivalentdosis“.

<sup>10</sup> Die ICRP bezeichnet einen Schaden in Zellpopulationen, der durch eine Schwellendosis und eine Zunahme des Schweregrads der Wirkung mit zunehmender Dosis gekennzeichnet ist, seit der ICRP-Publikation 103 (ICRP 2007) auch als Gewebereaktion (tissue reactions) und hat den Vorschlag, diesen Begriff an Stelle von „deterministischer Effekt“ zu verwenden, in der ICRP-Publikation 118 (ICRP 2012) bekräftigt.

Tab. 4-1: Strahlungs-Wichtungsfaktoren  $w_R$  (nach Anlage 18, Tab. C 1 StrlSchV) für verschiedene Strahlungsarten

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktor $w_R$
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen, Energie $E_n < 1$	$2,5 + 18,2 e^{-\frac{[\ln(E_n)]^2}{6}}$
Neutronen, $1 \leq$ Energie $E_n \leq 50$	$5,0 + 17,0 e^{-\frac{[\ln(2 E_n)]^2}{6}}$
Neutronen, Energie $E_n > 50$	$2,5 + 3,25 e^{-\frac{[\ln(0,04 E_n)]^2}{6}}$

$E_n$  ist der Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV; ist die Energie unbekannt, so wird der Faktor 20 verwendet.

Zur Bewertung des stochastischen Strahlenrisikos (Krebs, Leukämie, Erbschäden) dient die effektive Dosis. Die **effektive Dosis**  $E$  ist die Summe der mit den zugehörigen Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  (siehe Tab. 4-2) multiplizierten Organ-Äquivalentdosen  $H_T$  in relevanten Organen und Geweben:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T.$$

Die effektive Dosis hat ebenfalls die Einheit Sievert (Sv).



Tab. 4-2: Gewebe-Wichtungsfaktoren  $w_T$  (nach Anlage 18 Tab. C 2 StrlSchV) für verschiedene Gewebe und Organe

Gewebe oder Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor $w_T$
1. Knochenmark (rot)	0,12
2. Dickdarm	0,12
3. Lunge	0,12
4. Magen	0,12
5. Brust	0,12
6. Keimdrüsen	0,08
7. Blase	0,04
8. Speiseröhre	0,04
9. Leber	0,04
10. Schilddrüse	0,04
11. Haut	0,01
12. Knochenoberfläche	0,01
13. Gehirn	0,01
14. Speicheldrüsen	0,01
15. Andere Organe und Gewebe <sup>1</sup>	0,12

<sup>1</sup> Der Gewebe-Wichtungsfaktor für Nr. 15 (andere Organe und Gewebe) bezieht sich auf das arithmetische Mittel der Dosen der 13 Organe und Gewebe für jedes Geschlecht, die nachfolgend aufgelistet sind: Nebennieren, obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (Männer), Dünndarm, Milz, Thymus, Gebärmutter/Gebärmutterhals (Frauen).

Durch die Gewebe-Wichtungsfaktoren  $w_T$  werden die einzelnen Organ-Äquivalentdosen  $H_T$  entsprechend ihren relativen Beiträgen zu den stochastischen Strahlenwirkungen gewichtet. Die Faktoren  $w_T$  spiegeln u. a. die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen Organe und Gewebe gegenüber stochastischen Strahlenwirkungen wider. Das Konzept der effektiven Dosis ermöglicht eine Abschätzung des Gesamtrisikos, auch bei Teilkörper-Expositionen.

Die **Ortsdosis** ist die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort. Strahlenschutzmessgeräte (Ortsdosimeter) messen in der Regel die Ortsdosis. Sie gibt eine Abschätzung für die effektive Dosis aus externer Strahlung, die eine Person erhalten würde, wenn sie an diesem Messort stünde.

Unter **Dosisleistung** versteht man die Dosis pro Zeit.

Die **effektive Folgedosis**  $E(\tau)$  ist die Summe der Produkte aus den über den Zeitraum der Inkorporation aufsummierten Organ-Äquivalentdosen und den zugehörigen Gewebe-Wichtungsfaktoren ( $w_T$ ), wobei  $\tau$  die Integrationszeit in Jahren nach der Aktivitätszufuhr ist. Der Folgezeitraum beträgt 50 Jahre für Erwachsene und erstreckt sich bis zum Alter von 70 Jahren für Kinder.



Im Strahlenschutz unterscheidet man verschiedene Dosisgrößen:

- Die **Energiedosis** gibt die von einer Masse (Gewebe) aufgenommene Energie an. Ihre Einheit ist das Gray (Gy).
- Die **Äquivalentdosis** berücksichtigt die biologische Wirksamkeit der vom Gewebe aufgenommenen Energie. Ihre Einheit ist das Sievert (Sv).
- Die **effektive Dosis** dient der Bewertung des stochastischen Strahlenrisikos. Sie ist die Summe gewichteter Organ-Äquivalentdosen. Ihre Einheit ist ebenfalls das Sievert (Sv).

Achtung: bei Angabe einer Dosis in der Einheit Sv geht aus der Einheit nicht hervor, um welche Dosisgröße es sich handelt (Mess-Äquivalentdosis, Organ-Äquivalentdosis, effektive Dosis)!

- Die **Dosisleistung** ist die Dosis pro Zeit. Ihre Einheit ist z. B. Gy pro Stunde oder Sv pro Stunde.
- Die **effektive Folgedosis** ist die Dosis, die sich aufgrund einer Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper in einem Folgezeitraum ergibt. Dieser wird für Erwachsene mit 50 Jahren angenommen und beträgt bei Kindern die Zeit zwischen der Aufnahme radioaktiver Stoffe bis zum 70. Lebensjahr.

### 4.3 Weitere physikalische Grundlagen

Im Folgenden werden die Begriffe Halbwertszeit, umschlossene und offene radioaktive Stoffe, Abschirmung, Schwächung, Kontamination und Inkorporation erläutert.

#### 4.3.1 Halbwertszeit

Im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen unterscheidet man zwischen der physikalischen, der biologischen und der effektiven Halbwertszeit.

Die **physikalische Halbwertszeit** ( $t_R$ ) ist die Zeit, in der von einer vorhandenen Menge radioaktiver Atomkerne die Hälfte zerfällt. Sie ist charakteristisch für das jeweilige Radionuklid. Nach 10 Halbwertszeiten ist ein radioaktiver Stoff bis auf einen Rest von weniger als 1 % seiner Ausgangsaktivität zerfallen.

Die **biologische Halbwertszeit** ( $t_{\text{biol}}$ ) ist die Zeit, in der ein Stoff nach Aufnahme in den Körper durch Stoffwechsel- und Ausscheidungsvorgänge zur Hälfte wieder ausgeschieden wird.

Die **effektive Halbwertszeit** ( $t_{\text{eff}}$ ) ist die Zeit, in der die Aktivität eines inkorporierten radioaktiven Stoffes im Körper durch physikalischen Zerfall und Ausscheidungsprozesse auf die Hälfte abgefallen ist. Sie hängt ab von der physikalischen und biologischen Halbwertszeit und ist kürzer oder höchstens so lang wie die kürzere von beiden:

$$\frac{1}{t_{\text{eff}}} = \frac{1}{t_R} + \frac{1}{t_{\text{biol}}}$$

### 4.3.2 Umschlossene und offene radioaktive Stoffe

Das Gefährdungspotenzial beim Umgang mit radioaktiven Stoffen hängt unter anderem davon ab, ob es sich um umschlossene oder offene radioaktive Stoffe handelt.

**Umschlossene radioaktive Stoffe** sind ständig von einer allseitig dichten, festen, nicht zerstörungsfrei zu öffnenden, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen, inaktiven Stoffen ständig so eingebettet, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird; eine Abmessung des radioaktiven Stoffes mit Hülle muss mindestens 0,2 cm betragen (§ 5 Abs. 35 StrlSchG).

In diesen Fällen beschränkt sich die Gefährdung auf eine mögliche externe Strahlenexposition, vorausgesetzt die Hülle der Quelle ist unversehrt und der radioaktive Stoff gelangt nicht in den Körper.

**Offene radioaktive Stoffe** sind alle radioaktiven Stoffe mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe (§ 5 Abs. 34 StrlSchG).

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind neben der externen Strahlenexposition auch eine Kontamination (siehe Abschnitt 0) und eine Inkorporation (siehe Abschnitt 2.2) möglich.



Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen muss immer mit einer Kontamination oder einer Inkorporation gerechnet werden.

### 4.3.3 Schwächung / Abschirmung / Reichweite

Beim Durchgang durch Materie wird Strahlung geschwächt. Alpha- und Betastrahlung lassen sich durch unterschiedlich starke Materialien vollständig abschirmen (Abb. 4-3), Photonenstrahlung (Gamma- und Röntgenstrahlung) sowie Neutronenstrahlung lassen sich dagegen nur schwächen. Die Schwächung folgt einem Exponentialgesetz. Die **Halbwertsschichtdicke** ist die Dicke einer Materieschicht, in der die Strahlung auf die Hälfte geschwächt wird. Neben der Halbwertsschicht verwendet man auch analog die **Zehntelwertsschichtdicke**.

Bei hochenergetischer Gammastrahlung benötigt man z. B. mehrere Zentimeter Blei, um die Strahlung auf die Hälfte zu schwächen.

Aufgrund ihrer Ladung weist Alpha- und Betastrahlung beim Durchdringen von Materie eine begrenzte (maximale) Reichweite auf. Je nach Reichweite der Strahlung werden die Energiebeträge entlang der Wegstrecke in unterschiedlicher Dichte, z. B. auch auf die Biomaterie übertragen (sog. linearer Energietransfer LET), wobei es sowohl zu Anregungen als auch zu Ionisationen kommt. Die mittlere Zahl der Ionisationen pro Volumenelement wird als Ionisationsdichte bezeichnet. Da Alphateilchen eine größere Masse und Ladung als Betateilchen besitzen, ist der Energieverlust pro Wegstrecke der Alphateilchen bei gleicher Gesamtenergie etwa 10000-mal größer; sie erzeugen also bei der Energieübertragung, z. B. auf feste Stoffe, eine sehr viel dichtere „Bremsspur“. Entsprechend geringer ist ihre Reichweite.

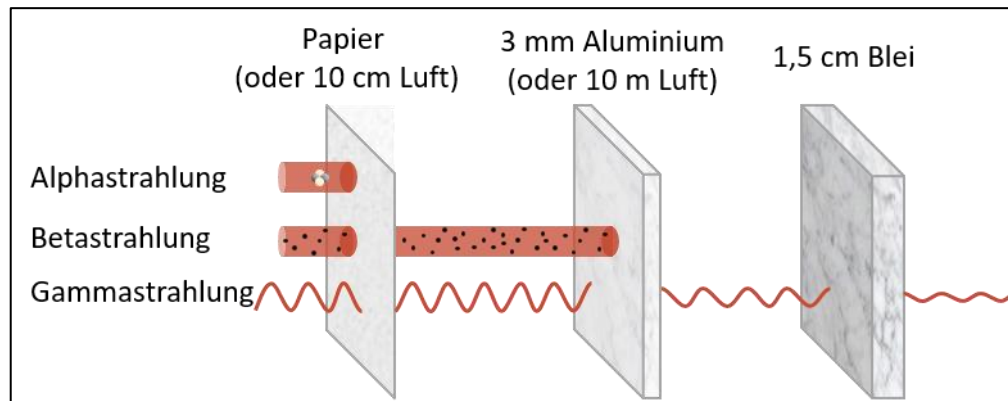


Abb. 4-3: Schwächung, Abschirmung und Reichweite ionisierender Strahlung in Luft

Die Reichweite von Alphastrahlung beträgt in Luft wenige Zentimeter, in Wasser einige tausendstel Millimeter (einige  $\mu\text{m}$ ). Für Betastrahlung ergeben sich maximale Reichweiten bis zu 10 m in Luft und 2 cm in Wasser. Energieverlust und Reichweite in organischen Geweben entsprechen in etwa denen in Wasser.

Geladene Teilchen können einfach abgeschirmt werden: Alphastrahlung z. B. durch ein Blatt Papier, Betastrahlung z. B. durch 3 mm Aluminium.

Gelangen Alpha- oder Betastrahler aber in den Körper, können sie zu einer hohen Dosis im betroffenen Organ führen, da sie die gesamte Energie innerhalb ihrer Reichweite von wenigen  $\mu\text{m}$  bis cm an das Gewebe abgeben. Dagegen ergibt sich bei Strahlenexposition der Haut von außen mit Alphastrahlung in der Regel keine biologisch wirksame Dosis, da sie die äußeren, nicht mehr vitalen verhornten Epithelschichten nicht zu durchdringen vermag (Tab. 4-3). Die Gefahr einer Kontamination der Haut besteht vielmehr in einer Verschleppung mit den Händen und Aufnahme über Mund und Nase.

Anders als die (geladenen) Teilchen der Alpha- und Betastrahlung verhalten sich die (ungeladenen) Photonen (Röntgen- und Gammastrahlung) und höherenergetischen Neutronen. Die Schwächung dieser Strahlung besteht im Wesentlichen aus einer exponentiellen Abnahme der Photonen- bzw. Neutronenzahl. Man kann keine maximale Reichweite angeben.

Die Halb- bzw. Zehntelwertsschichtdicke hängt von der Energie der Strahlung sowie von der durchstrahlten Materie ab.

Für Neutronen mittlerer Energie liegt die Halbwertsschichtdicke in Wasser und Beton zwischen 6 cm und 9 cm, für Gammastrahlung des  $^{60}\text{Co}$  liegt sie bei knapp 15 cm in Wasser und etwa 15 mm in Blei. Röntgenstrahlung lässt sich mit einer Röntgenschürze von 0,5 mm Bleigleichwert<sup>11</sup> auf etwa 1 % abschwächen.

<sup>11</sup> Der Bleigleichwert wird in Millimetern Blei (mm Pb) angegeben und sagt aus, dass ein bestimmtes Material dieselbe Dosisabschwächung bewirkt wie eine Bleiabschirmung in der Dicke des Bleigleichwertes.

Tab. 4-3: Dicke der Epidermis (Oberhaut) und Reichweite von Alpha- und Betastrahlung im biologischen Gewebe

Dicke der Epidermis (obere Hornschicht bis Basalzellschicht)	
Mittelwert	0,07 mm (7 mg cm <sup>-2</sup> )
Schwankungsbreite	0,01-0,3 mm (1-30 mg cm <sup>-2</sup> )
Maximale Reichweite im Gewebe	
Alphastrahlung	0,033-0,046 mm
Betastrahlung	max. bis 20 mm
– <sup>3</sup> H	≈ 0,01 mm
– <sup>137</sup> Cs	≈ 2,5 mm
– <sup>131</sup> I	≈ 2 mm
– <sup>90</sup> Sr	≈ 3 mm
– <sup>32</sup> P	≈ 9 mm



Alpha- und Betastrahlung lassen sich vollständig abschirmen. Daher kann man für sie eine maximale Reichweite angeben.

Gamma-, Röntgen- und Neutronenstrahlung können lediglich geschwächt werden. Der Schwächungsgrad ist vom durchdrungenen Material (Gewebe) abhängig und wird in Einheiten der Halbwerts- bzw. Zehntelwertsschichtdicke angegeben.



Im Strahlenschutz gelten die 3 A-Regeln:

- Aufenthaltsdauer** so kurz wie möglich halten,
- Abstand** so groß wie möglich wählen (Abnahme der Strahlenintensität nach dem Abstandsgesetz) und
- Abschirmung** ausreichend dimensioniert verwenden.

## 4.4 Biologische Strahlenwirkungen

### 4.4.1 Molekulare und zelluläre Grundlagen



Ausgangspunkt der Strahlenwirkung im Organismus ist die Energieabsorption in essenziellen Biomolekülen, vor allem der Desoxyribonukleinsäure (DNA), der Trägerin der genetischen Information.

Die Strahlung bewirkt in den essenziellen Biomolekülen Ionisations- und/oder Anregungsvorgänge, die zu einer Veränderung der molekularen Struktur führen. Wenn auch die Beträge der insgesamt absorbierten Energie selbst bei hohen Strahlendosen klein sind, so ruft die

Konzentration auf räumlich enge Bereiche doch zahlreiche molekulare Primär- und Sekundärprozesse hervor. Diese setzen eine Reaktionskette im subzellulären, zellulären sowie im Organ- und Organsystem-Bereich und schließlich im Gesamtorganismus in Gang, die erhebliche biologische Auswirkungen nach sich ziehen kann. Die biophysikalischen Vorgänge im subzellulären Bereich führen über direkte und indirekte Prozesse, im letzteren Falle z. B. unter Bildung von Wasserradikalen und Wasserstoffperoxid, u. a. zu biologisch bedeutsamen Veränderungen an der DNA des Zellkernes, die für die Übertragung der Erbinformationen auf die nachfolgenden Zellgenerationen verantwortlich ist. Dabei entstehen insbesondere Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie Basenschäden an den DNA-Molekülen (Abb. 4-4).

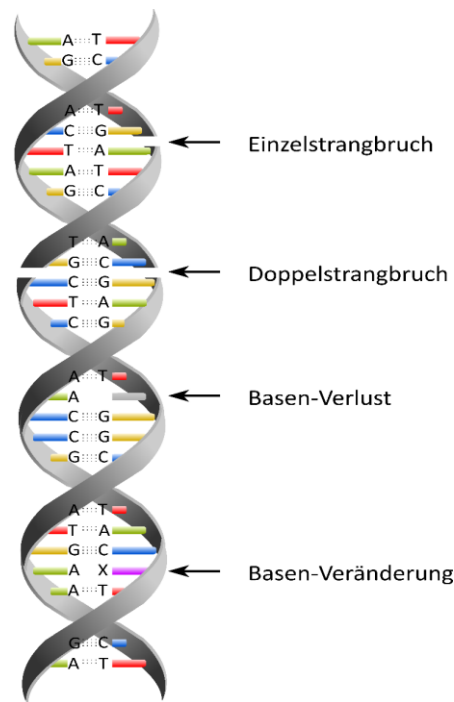


Abb. 4-4: Schematische, vereinfachte Darstellung von DNA-Schäden

Diese können unrepariert bestehen bleiben oder über verschiedene Mechanismen fehlerfrei oder auch fehlerhaft repariert werden. Mögliche Folgen dieser zellulären Strahlenwirkung sind entweder vorzeitiger Zelltod, Zellwachstums- und Zellfunktionsstörungen oder bleibende Veränderungen an der DNA des Zellkerns der Körperzellen (Induktion von somatischen Mutationen; mögliche Krebsentwicklung) oder der Keimzellen (Induktion von genetischen Mutationen; mögliche Erbkrankheiten).



Ausmaß und Qualität der Strahlenwirkung hängen von einer Vielzahl physikalischer, biologischer und expositionsspezifischer Einflussgrößen ab (siehe Tab. 4-4). Von besonderer Bedeutung sind vor allem die lokale Dosis und die Strahlenempfindlichkeit der betroffenen Zelle.

Tab. 4-4: Wichtige Einflussgrößen für die biologische Variabilität der Strahlenwirkung

<b>Wichtige Einflussgrößen für die biologische Variabilität der Strahlenwirkung</b>		
Physikalische Faktoren	Strahlenexpositions- oder spezifische Bedingungen	Biologische Faktoren
Strahlenart Strahlenqualität, LET Reichweite, Durchdringungsvermögen Energiedosis	Zeitliche Dosisverteilung: – Dosisleistung – Dosisfraktionierung – Gesamt Expositionszeit Räumliche Dosisverteilung: – bestrahlte Körperregion – bestrahltes Volumen – Bestrahlungsgeometrie/ Tiefendosisverlauf - Mikrodosimetrie	Alter, Geschlecht, weitere individuelle Faktoren: – Gewebeart – Erholungsprozesse – Zellproliferation – Milieubedingungen – genetische Disposition – Bestehende Vorerkrankungen
<b>Zusätzliche Einflussgrößen bei Kontamination/Inkorporation</b>		
Physikalische Halbwertszeit Aktivität Physikalische und chemische Eigenschaften (Löslichkeit, Partikelgröße, Form der Radionuklidbindung)	Inkorporationspfad (inhalativ, ingestiv, perkutan bzw. Wunde) Verteilungsmuster	Biologische Halbwertszeit, Stoffwechsel- und Transferprozesse (Deposition, Diffusion, Penetration, Resorption, Persorption, Retention)

#### 4.4.2 Strahlenwirkung auf Gewebe und Organe

##### 4.4.2.1 Grundlegende Anmerkungen zur Strahlenwirkung auf Gewebe und Organe

Strahlenwirkungen auf den lebenden Organismus werden als somatisch bezeichnet, wenn sie sich auf die Körperzellen des exponierten Organismus selbst beziehen. Betreffen sie hingegen die bestrahlten Keimzellen des Individuums und damit möglicherweise die Nachkommenschaft, werden sie genetisch (vererbbar, hereditär) genannt.

Weiterhin werden im Strahlenschutz stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden (Abb. 4-5).

	Stochastischer Effekt	Deterministischer Effekt
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es reicht die Veränderung <b>einer</b> Zelle.</li> <li>• Vermutlich keine Schwellendosis.</li> <li>• Lineare Zunahme der Anzahl betroffener Personen mit zunehmender Dosis.</li> <li>• Keine Dosisabhängigkeit des Schweregrads der Erkrankung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es müssen <b>viele</b> Zellen getötet bzw. funktionell inaktiviert werden.</li> <li>• Eindeutig Schwellendosen vorhanden</li> <li>• Zunahme des Schweregrads mit zunehmender Strahlendosis</li> </ul>
Beispiel:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maligne und benigne Tumoren</li> <li>• Leukämien</li> <li>• Erbkrankheiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlensyndrome</li> <li>• Haarausfall (Epilation)</li> <li>• Fertilitätsstörungen</li> </ul>
Zuordnung unklar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katarakte</li> <li>• Herz-Kreislauf-Probleme</li> </ul>	

Abb. 4-5: Im Strahlenschutz verwendete Einteilung von Strahleneffekten.

Allerdings ist zurzeit in einigen Fällen unklar, ob es sich um einen stochastischen oder einen deterministischen Effekt handelt; dies betrifft z. B. die Linsentrübung des Auges (Katarakt) oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Möglicherweise ist die strikte, für den Strahlenschutz praktische Unterteilung zu einfach, um alle Effekte in diesem Konzept unterbringen zu können.

Bei den stochastischen Strahleneffekten, zu denen beispielsweise die Induktion von Mutationen mit der möglichen Folge von Tumoren oder Erbkrankheiten zählen, ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dosisabhängig, nicht aber die Schwere des Schadens. Stochastische Strahlenwirkungen sind immer Spätwirkungen, so wird z. B. eine Krebserkrankung erst nach jahre- oder jahrzehntelanger Latenzzeit klinisch manifestiert.

Bei Kausalitätserwägungen ist zu berücksichtigen, dass die für das strahlenbedingte Krebsrisiko aufgestellten Dosis-Risiko-Kurven und die daraus berechneten Risikoeffizienten auf epidemiologischen Erkenntnissen beruhen und nicht auf biologischen Mechanismen. Die epidemiologischen Erkenntnisse basieren insbesondere auf Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki sowie an Strahlentherapiepatient\*innen und an beruflich strahlenexponierten Personen. Zumindest ein erheblicher Teil der Personen der untersuchten Gruppen waren mit mittleren bis hohen Dosen exponiert worden ( $> 0,1$  Sv). Vom stochastischen Risiko in dem mittleren ( $0,1$  Sv bis  $1$  Sv) bis hohen ( $> 1$  Sv) Dosisbereich



wird im Strahlenschutz linear, ohne Annahme einer Schwellendosis, in den niedrigen ( $<0,1$  Sv)<sup>12</sup>, strahlenschutzrelevanten Dosisbereich extrapoliert (Abb. 4-6A).

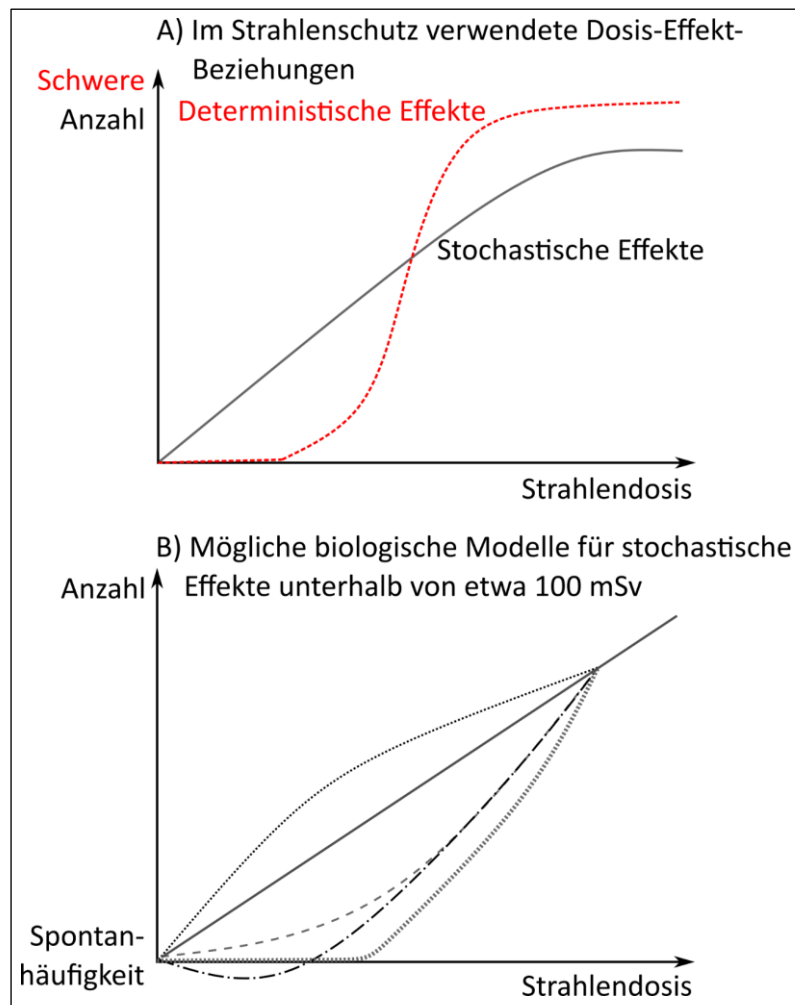


Abb. 4-6: A) Das LNT-Modell für stochastische und das Schwellendosis-Modell für deterministische Effekte. B) Vergrößerung des Niedrig-Dosisbereichs der stochastischen Effekte unterhalb von etwa 100 mSv, um die auf biologischen Mechanismen beruhenden möglichen Kurvenverläufe darzustellen. Die Gerade steht für das angenommene LNT-Modell, unterbrochene Linien repräsentieren schematisch mögliche, alternative Dosis-Wirkungsbeziehungen.

Dabei ist die durch den Nullpunkt des Koordinatensystems gelegte Gerade als eine auf einer Konvention basierende Konstruktion anzusehen (Linear Non-Threshold, LNT). Da direkte Daten über Dosis-Effekt-Beziehungen im niedrigen Dosisbereich wegen der starken Variabilität der Spontanhäufigkeiten sehr schwierig zu erheben sind, sind Aussagen zum Strahlenrisiko infolge Einwirkung kleiner Dosen nur auf der Basis der soeben beschriebenen Extrapolation möglich und daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass die bekannten biologischen Mechanismen zu ganz anderen Kurvenverläufen führen können (Abb. 4-6B).

<sup>12</sup> Die Einteilung in niedrige, mittlere und hohe Dosen erfolgte gemäß [UNSCEAR 2012 Annex A: Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks. In: Sources, effects and risks of ionizing radiation, New York: United Nations, 2012, p. 17-90].

Im Bereich kleiner Strahlendosen können nur stochastische Wirkungen auftreten, deren Folgen sich somatisch in Form von Krebs oder sehr selten genetisch in Form von Erbkrankheiten ausprägen können. Damit können sie auch Folge einer Strahlenexposition natürlichen Ursprungs sein.



Ionisierende Strahlung natürlichen Ursprungs wirkt in gleicher Weise wie diejenige künstlichen Ursprungs.

Der nach Lebensstil und -ort quantitativ erheblich variierenden Wirkung der natürlichen Strahlung (mittlere effektive Jahresdosis in Deutschland etwa 2 mSv) kommt für die Einschätzung zusätzlicher Strahlenexpositionen große Bedeutung zu. Das Leben auf der Erde hat sich unter der natürlichen Strahleneinwirkung entwickelt.



Da ein strahlenspezifischer Biomarker nach heutigem Wissensstand nicht bekannt ist, kann im Individualfall nicht unterschieden werden, ob eine Krebserkrankung durch ionisierende Strahlung oder andere Einwirkungen verursacht wurde.

Anders liegen die Verhältnisse bei den deterministischen Strahleneffekten. Bei diesen sind Art und Schweregrad des Gesundheitsschadens eine Funktion der Dosis. Ihre klinische Manifestation ist erst ab einem bestimmten Dosisbereich (Dosischwelle) zu erwarten, da das Auftreten deterministischer Effekte voraussetzt, dass zahlreiche Zellen sterben oder ihre Funktion nicht mehr erfüllen können; dazu kommt es erst oberhalb von etwa 0,5 Gy bis 1 Gy. Zu den deterministischen Strahleneffekten zählen das akute Strahlensyndrom (Acute Radiation Syndrom, ARS) nach Ganzkörperexposition (siehe Kapitel 8) sowie akute Gewebsreaktionen nach hoher Teilkörperexposition, wie z. B. die akute Radiodermatitis oder die Strahlenpneumonitis.

Als chronische oder späte deterministische Strahleneffekte sind beispielsweise chronische Strahlenreaktionen der Haut (sog. Radioderm) sowie Strahlenfibrosen in verschiedenen Organen zu nennen. Dabei können die Latenzzeiten mehrere Jahre bis Jahrzehnte betragen und sich somit die späten deterministischen und die stochastischen Strahleneffekte überlagern.

Tab. 4-5: Schwellendosen für ausgewählte klinische Erscheinungsbilder nach akuter Strahlenexposition (unter Berücksichtigung ICRP 1991, 2012, UNSCEAR 1993)

Expositionsart	Art des Strahleneffektes	Schwellendosis in Gy für locker ionisierende Strahlung
Ganzkörperexposition	– Schädigung des Knochenmarks mit klinisch signifikanter Herabsetzung der Blutbildung	ca. 0,5
	– akute Strahlenkrankheit	ca. 1
Teilkörperexposition	– Epilation der Haut (nach ca. 3 Wochen) vorübergehend	> 4
	bleibend	ca. 10
	Hauterythem und Desquamation (nach ca. 2 bis 4 Wochen)	3-5
	– feuchte Epitheliolyse und Hautulzera	10-20
	– Strahlendermatitis mit Blasenbildung (nach ca. 1 Monat)	ca. 20
	– Hautnekrosen	> 50
	– Fibrose/Nekrose in der Blase	15
	– Störungen der Spermienbildung	0,1
	– Bleibende Sterilität männlich	3,5-6
	weiblich*	2,5-6
– Linsentrübung (Manifestation als Strahlenschaden nach Jahren)	0,5**	

Schwellendosen für Hautschäden nach (Arndt 1995, Wagner et al. 1994)

\* altersabhängig,

\*\* Nominelle Schwellendosis<sup>13</sup> laut ICRP 118 (ICRP 2012)

Für einige deterministische Effekte sind in Tab. 4-5 Schwellendosen zusammengestellt. Solche und höhere Dosiswerte können bei Personen, die in einem Strahlenunfall exponiert wurden, durchaus auftreten.



Dosiswerte, die zu deterministischen Effekten führen, sind jedoch bei Erste Hilfe leistenden Ärzten und Helfern äußerst unwahrscheinlich, allerdings unter der Voraussetzung, dass diese sich bei ihren Hilfsmaßnahmen nicht längere Zeit und unkontrolliert im Strahlenfeld aufhalten.

<sup>13</sup> D. h. es wurde abgeschätzt, dass weniger als 1 % der Personen, die eine Dosis unterhalb von 0,5 Gy erhielten, eine strahleninduzierte Katarakt entwickeln.

#### 4.4.2.2 Spezielle Anmerkungen zu Gonaden, Embryo/Fetus und Augenlinse

##### *Deterministische Strahlenwirkung auf die Gonaden*

Die schädigende Wirkung ionisierender Strahlung auf die männliche und weibliche Fertilität (Fruchtbarkeit) wurde in zahlreichen Experimenten an verschiedenen Tierspezies nachgewiesen und auch durch Beobachtungen am Menschen bestätigt.

Beim Mann: Eine temporäre und partielle Abnahme der Spermienzahl kann bereits ab Dosen von 0,1 Gy auftreten. Höhere Dosen führen zu einem kompletten Verlust der Spermienproduktion (Tab. 4-5).

Bei der Frau: Schon beim Fetus ist die Entwicklung als sehr strahlenempfindlich zu bezeichnen. Weniger strahlensensibel sind dagegen die primären und sekundären Oozyten (Eizellen). Eine hohe Strahlenempfindlichkeit besitzen jedoch ab der Pubertät – insbesondere im Stadium der Vermehrung – die Granulosazellen des Follikels (spezifische Zellen des Eibläschens), die für die Existenz der befruchtungsfähigen Eizelle verantwortlich sind. Da die Anzahl der Follikel mit zunehmendem Alter stetig abnimmt, nimmt die Störung von Fertilität und Hormonproduktion durch ionisierende Strahlung mit dem Alter zu.

##### *Strahlenwirkung auf den Embryo/Fetus*

Umfang, Art und Schwere der Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf den menschlichen Embryo/Fetus hängen in entscheidendem Maße von der Phase der Keimentwicklung, in der die Strahlung einwirkt, und von der Strahlendosis im Bereich des Ungeborenen ab (ICRP 2003, SSK 1989).

Besonders strahlenempfindlich im Hinblick auf letale Effekte sind die embryonalen Zellen in der Präimplantationsphase, also vor der Einnistung in den Uterus (in den ersten etwa zehn Tagen der Schwangerschaft, vom Zeitpunkt der Konzeption angerechnet). Hier kommt es in erster Linie zum Absterben des Embryos und zur Resorption der Zellen.

In der Hauptorganbildungsphase (bis Ende der 7. Schwangerschaftswoche) können durch Strahleneinwirkung (ab 100 mGy bis 200 mGy) verschiedene Formen von Fehlbildungen entstehen, wobei meist Skelettanomalien, vorwiegend im Schädelbereich, zu beobachten sind. Diese Veränderungen treten beim Menschen auch nach hohen Dosen vergleichsweise selten auf.

Eine Strahlenexposition in der sich anschließenden Fetalphase (ab etwa 50. Tag), in der sich das Organ- und Körperwachstum vollzieht, hinterlässt keine Fehlbildungen mehr, sondern vorwiegend Wachstumsstörungen. Anzumerken ist jedoch, dass die Ausbildung der Großhirnrinde vor allem in diesem Zeitraum abläuft, wodurch die Strahlenempfindlichkeit in der 8. bis 15. Schwangerschaftswoche und – etwas geringer – in der 16. bis 25. Woche mit den Folgen schwerer geistiger Entwicklungsstörungen vergleichsweise hoch ist.

Besonders zu beachten ist die Empfindlichkeit des sich entwickelnden Lebens im Hinblick auf die Auslösung von Tumorerkrankungen, die sich im Kindesalter bemerkbar machen. Nach einem Übersichtsartikel (Doll und Wakeford 1997) deutet sich an, dass bereits nach einer Strahlendosis von 10 mSv während der Schwangerschaft eine Erhöhung von malignen Erkrankungen, insbesondere von Leukämien, im Kindesalter eintreten könnte.



Die Verdopplungsdosis von Leukämien im Kindesalter liegt bei etwa 50 mSv. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass die Spontanhäufigkeit bei etwa fünf Leukämiefällen pro 100 000 Kindern pro Kalenderjahr liegt, so dass das absolute Strahlenrisiko im niedrigen Dosisbereich klein ist.

#### *Strahlenwirkung auf die Augenlinse*



Mehrere große epidemiologische Studien haben gezeigt, dass die ursprüngliche Annahme von Schwellendosen im Bereich mehrerer Gray für die Auslösung einer Katarakt (Linsentrübung) nicht richtig ist (SSK 2009).

Die ICRP hat in der Publikation 118 (ICRP 2012) eine nominelle Schwellendosis für die Kataraktentstehung von 0,5 Gy vorgeschlagen. Allerdings ist zurzeit nicht klar, ob überhaupt eine Schwellendosis existiert, da der genaue Mechanismus, der nach Strahlenexposition zu Katarakten führt, nach wie vor nicht bekannt ist (Ainsbury et al. 2016). Die Latenzzeit ist abhängig von der Höhe der Strahlendosis und weiteren Faktoren (z. B. vom Lebensalter), beträgt aber mindestens ein halbes Jahr bis zwei Jahre. Der operative Linsenersatz ist heute eine Routinemaßnahme, so dass die Folgen der Strahlenkatarakte für die persönliche Lebensführung abgemildert werden. Dennoch wurde der ursprüngliche Grenzwert für die Augenlinse beruflich exponierter Personen von 150 mSv im Kalenderjahr auf 20 mSv herabgesetzt.

## B Medizinische und psychosoziale Versorgung

### 5 Präklinische Maßnahmen

#### 5.1 Rettung und Präklinische Sichtung

Das Vorgehen bei der Rettung entspricht der Vorgehensweise bei allen anderen Notfall- und Katastrophensituationen, wobei der Selbstschutz des Einsatzpersonals nicht außer Acht gelassen werden soll (siehe auch Kapitel 12).



Die radiologische Sichtung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt (siehe auch Abschnitt 8.3).

Die in Kapitel 3 dargestellten Szenarien betreffen einerseits Ereignisse, die mit einer großen Anzahl von Betroffenen einhergehen (z. B. auch Massenanfall von Verletzten = MANV<sup>14</sup>). Dazu können Unfälle in kerntechnischen Anlagen, Unfälle mit radioaktiven Quellen, terroristische Handlungen oder der Verteidigungs-/Spannungsfall zählen. Unfälle in kerntechnischen Anlagen, Transportunfälle, Unfälle mit radioaktiven Quellen oder Abstürze von Satelliten mit Radionuklidbatterien können aber auch nur wenige Personen betreffen.

#### *Wenige betroffene Personen*

Bei Verdacht einer erhöhten Strahlenwirkung ist der Gefahrenbereich sofort zu verlassen und ggf. der betriebliche Strahlenschutz zu verständigen. Unter Beachtung des Selbstschutzes sind verletzte Personen aus dem Bereich der erhöhten Einwirkung zu bringen.



Bei lebensbedrohlichen Zuständen hat die konventionelle Notfallhilfe absoluten Vorrang.

Eine gut dokumentierte Strahlenanamnese/ ärztliche Untersuchung und ggf. Blutentnahmen helfen bei der Einschätzung der Schwere und des Ausmaßes der Strahlenexposition und für das weitere Management bezüglich Dekontamination, Transport und ggf. erforderliche Behandlungsoptionen.

Dabei sollen zeitnah folgende Parameter der Strahlenexposition erhoben und dokumentiert werden:

- Strahlenquelle, Strahlenart, Energie, Intensität, Aktivität, Betriebsart etc.,
- Strahlungsfeld (Art und Umfang der Abschirmung, Streu- und Sekundärstrahlung),
- Abstand und Position der exponierten Person zur Strahlenquelle,
- Dauer der Bestrahlung, Dosisverteilung auf der Körperoberfläche,

<sup>14</sup> Siehe BBK-Glossar –Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes: MANV: Notfall mit einer größeren Anzahl von Verletzten sowie anderen Geschädigten oder Betroffenen, der besondere planerische und organisatorische Maßnahmen erfordert, weil er mit der vorhandenen und einsetzbaren Vorhaltung der präklinischen und klinischen Versorgung nicht bewältigt werden kann.

- ggf. Dosimeterart und Dosimeteranordnung am Körper,
- ggf. Personendosis, Schätzwert der Körperdosis.

Bei Kontamination und Inkorporation sind zusätzlich festzustellen:

- Nuklidart und Eigenschaft,
- chemische Verbindung und Löslichkeit,
- kontaminierter Körperteil,
- Fläche der Kontamination in Quadratzentimeter,
- flächenbezogene Aktivität,
- Nuklidzusammensetzung,
- resultierende Hautdosen,
- ggf. Inkorporationsmechanismen.



Diese Angaben zur Strahlenanamnese sind sobald und soweit möglich zu dokumentieren und für die weitere Versorgung zur Verfügung zu stellen (GDGUV 2019). Dies kann mit Hilfe des Erhebungsbogens der DGUV erfolgen (Anhang A3-1).

### ***Massenanfall von Verletzten***

Die folgenden Ausführungen sind den Empfehlungen der 7. und 8. Sichtungskonferenz des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) entnommen (BBK 2017, 2019) und ggf. bzgl. der speziellen Anforderungen bei Strahlenunfällen modifiziert.

#### Sichtungsprozess

Unter **Sichtungsprozess** versteht man einen standardisierten Handlungsablauf zur Festlegung medizinischer Behandlungsprioritäten, bei dem eine individualmedizinische Behandlung von Patient\*innen zunächst nicht möglich ist.



**Ziel des Sichtungsprozesses** in einer CBRN<sup>16</sup> (CBRN-E) Lage ist eine bestmögliche Rettung und medizinische Versorgung der Betroffenen bei minimierter Gefährdung der Einsatzkräfte.

Das bedeutet ggf. bei einem Anfall von vielen Betroffenen aufgrund von Dekontaminationsmaßnahmen eine Abweichung von den üblichen Versorgungsabläufen.

Die Prozessschritte der Sichtung sind Ersteinschätzung, Vorsichtung und Sichtung. Die Ergebnisse der Prozessschritte tragen zu taktischen Entscheidungen bei.

---

<sup>15</sup> Chemisch, Biologisch, Radiologisch und Nuklear

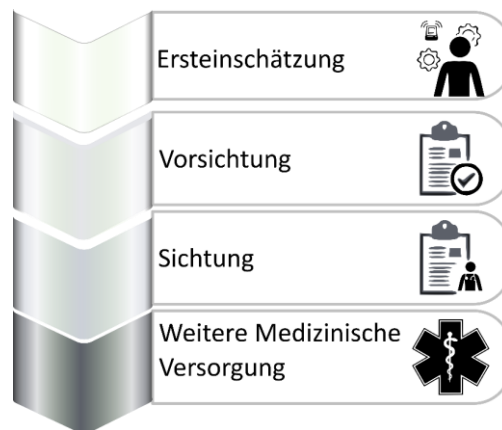


Abb. 5-1: Schritte des Sichtungsprozesses

Unter **Ersteinschätzung** versteht man den Ersteindruck der Lage durch eine Einsatzkraft in der Phase des ersten Augenscheins, mit Abschätzung der Anzahl der exponierten Personen und einer Gefahrenanalyse als Grundlage für eine Lagemeldung an eine übergeordnete Stelle.



Bei Strahlenunfällen sollte in die Gefahrenanalyse – wenn möglich – bereits ein Experte mit Kenntnissen im Strahlennotfallmanagement einbezogen werden.

Bei der **Vorsichtung** handelt es sich um eine standardisierte medizinische Zustandsbeurteilung, die von Ärzt\*innen oder hierfür geschulten nichtärztlichen Einsatzkräften durchgeführt wird und der eine ärztliche Sichtung folgt.



Das Ziel der Vorsichtung ist die schnellstmögliche Identifizierung von vital bedrohten Patient\*innen. Lagebedingt werden Lebensrettende Sofortmaßnahmen (LSM) begonnen.



In die eigentliche **Sichtung** fallen die ärztliche Beurteilung und Entscheidung über die Priorität der medizinischen Versorgung von Patient\*innen hinsichtlich Art und Umfang der Behandlung sowie Zeitpunkt, Art und Ziel des Transportes.

**Sichtung** ist ein dynamischer Prozess und erfordert eine regelmäßige Reevaluation. Hierbei werden alle – auch noch nicht vorgesehene exponierte Personen – gesichtet, gekennzeichnet, registriert und dokumentiert.

Im Sichtungsprozess werden die Patient\*innen nach der Dringlichkeit der medizinischen Versorgung in **Kategorien** eingeteilt. Zusätzlich werden entsprechend der Abb. 5-2 ggf. **Kennzeichnungen** vergeben.



Kategorie	<b>I</b>	Vital bedroht	Sofort behandeln
	<b>II</b>	Schwer verletzt/ erkrankt	Dringliche Behandlung
	<b>III</b>	Leicht verletzt/ erkrankt	Nicht- dringliche Behandlung
	<b>IV</b>	Ohne Überlebenschance	Palliative Versorgung
Kennzeichnung	<b>EX</b>	Tote	
	<b>K</b>	Kontaminierte	Dekontaminationsmaßnahmen
	<b>B</b>	Übrige Betroffene (Nicht kontaminierte)	Betreuung

Zusatzkennzeichnungen sind möglich.

Abb. 5-2: Zuordnung eines Betroffenen nach Sichtungskategorie und Kennzeichnung nach (BBK 2019)

Die strukturierte medizinische Versorgung und ggf. Dekontamination beginnt in der Regel in der Patientenablage außerhalb des Gefahrenbereichs. Bei Unfällen in kerntechnischen Anlagen ist dafür die Notfallstation vorgesehen (s. Kapitel 17).

## 5.2 Lebensrettende Sofortmaßnahmen zur Erstversorgung von Strahlennotfallpatient\*innen

Eine schnelle Rettung, also das Herausbringen des/der Patient\*in aus dem Gefahrenbereich hat Vorrang.



Sichtung mittels etablierter medizinischer Klassifikationssysteme ist zwingend erforderlich.

Lebensrettende Sofortmaßnahmen sind vorrangig zu allen strahlenbedingten Prozeduren durchzuführen.

Nach der medizinischen Sichtung können ein Trauma-Check und lebensrettende Sofortmaßnahmen nach dem c-ABCDE-Prinzip ohne Zeitverlust erforderlich sein. Die Buchstaben stehen für

- c: Critical Bleeding – kritische Blutungen,
- A: Airway – Atemwege (z. B. Verlegung der Atemwege, Verletzungen der Halswirbelsäule),
- B: Breathing – Respiratorische Probleme,
- C: Circulation – Kreislaufinsuffizienz,
- D: Disability – Einschränkungen des zentralen Nervensystems,
- E: Exposure – Ausgesetztsein z. B. Kälte.

Zur korrekten Durchführung der Ersten Hilfe und medizinischer Sofortmaßnahmen dienen als Orientierung die jeweils aktuellen Empfehlungen der Bundesarbeitsgemeinschaft Erste Hilfe bzw. der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Die Leitlinien des European Resuscitation Councils (Olasveengen et al. 2021) enthalten die aktuellen Standards zur Reanimation.

In Bereichen mit hoher Dosisleistung kann – bei adäquaten Schutzmaßnahmen – eine Sofortrettung notwendig werden. Länger dauernde Maßnahmen an Verletzten, die sich in einem Bereich hoher Dosisleistung befinden, sind so weit als möglich zum Schutz der Einsatzkräfte (und des/der Patient\*in) zu unterlassen.



Eine schnelle Rettung des/der Patient\*in aus dem Gefahrenbereich hat Vorrang.

In Bereichen mit hoher Dosisleistung kann eine Sofortrettung notwendig werden.

Die weiteren medizinischen Maßnahmen entsprechen der Erstversorgung, die auch ohne Strahleneinwirkung durchzuführen wäre, z. B. Lagerung, Versorgung mit Medikamenten, Anlegen von venösen Zugängen, Verbände. Ihr Ziel ist, eine Verschlechterung des gesundheitlichen Zustandes sowie medizinische Komplikationen zu verhindern, Schmerzen zu lindern und den/die Patient\*in transportfähig zu machen.

Gegenüber konventionellen Unfällen weisen die medizinischen Erstmaßnahmen bei einem Strahlenunfall einige Besonderheiten auf, die zu beachten sind, sofern nicht der Zustand des/der Patient\*in unmittelbare, lebensrettende Sofortmaßnahmen erfordert:

### **1) Informationen über die Strahlenquelle und die Art der Exposition**

Informationen über die Strahlenquelle und die Art der Exposition sind, soweit sie vorliegen oder ohne Zeitverzögerung erfasst werden können, an das für die weitere Versorgung zuständige Team weiterzugeben.

### **2) Grobdekontamination**

Im Zusammenhang mit lebensrettenden Sofortmaßnahmen wird gegebenenfalls nur eine Grobdekontamination durchgeführt:

- Personen, bei denen Verdacht auf eine Kontamination vorliegt, wird vor Entfernen der Kleidung eine partikelfiltrierende Halbmaske (FFP-Maske) möglichst mit Ausatemventil angelegt.
- Kontaminierte Kleidung ist zu entfernen (ggf. durch Aufschneiden).

- Wunden müssen vorher wasserdicht abgeklebt werden.
- Dekontaminationsmaßnahmen sollten von geschultem Personal vorgenommen werden.
- Eine Grobdekontamination der Haut durch Abwaschen mit lauwarmem Wasser sollte – soweit möglich und medizinisch vertretbar – vor dem Transport erfolgen.
- Auf mögliche Unterkühlung achten und Patient\*innen durch z. B. Ersatzkleidung oder Rettungsdecken wärmen! Cave: Wärmestau. Keine Plastikfolien verwenden.

Einzelheiten zur fachgerechten Dekontamination siehe Kapitel 6.



Lebensrettende Sofortmaßnahmen haben immer Vorrang vor jeglicher Art der Dekontamination.

### 3) Erstversorgung von Wunden (Siehe auch Abschnitt 6.7)

Bei jeder kontaminierten Wunde ist, bis eine Inkorporationsmessung erfolgt ist, von einer Inkorporation radioaktiver Substanzen auszugehen.

- Wunden sollten mit steriler Kochsalzlösung oder sterilen Elektrolyt-Lösungen, ansonsten auch mit Leitungswasser, gespült werden (Spot-Dekontamination).
- Offene Wunden sollten, soweit möglich, wasserdicht verbunden werden, um eine nachträgliche Inkorporation durch Dekontaminationsmaßnahmen an den umliegenden Hautarealen zu verhindern.
- Die Ausbreitung einer Wundkontamination kann durch Ruhigstellung vermindert werden.
- Je nach inkorporiertem Radionuklid kann eine zeitnahe Gabe von Antidot sinnvoll sein (siehe auch Abschnitt 7.2).

Diese Maßnahmen dienen auch der Vorbereitung des Transports des/der Patient\*in (siehe Kapitel 13).

### 4) Kontaminationskontrolle

Die Kontaminationskontrolle bedarf der Unterstützung durch geschultes Personal. Messungen sollen nur durchgeführt werden, wenn notwendige lebensrettende Sofortmaßnahmen nicht verzögert werden.

## 6 Maßnahmen zur Dekontamination

Für alle Formen der Kontamination gilt, dass eine angemessene, möglichst vollständige Dekontamination auch zur Verhinderung von möglichen Folgeschäden (Verschleppung, Gewebeschädigung, Krebsentstehung) geboten ist.



Eine Kontamination darf nicht dazu führen, dass einem/einer Patient\*in vor der Dekontamination dringliche lebenserhaltende Maßnahmen vorenthalten werden.

Die organisatorische Gestaltung ist kontextabhängig und wird sich bei einem Arbeitsunfall in einem Betrieb, in dem radioaktive Stoffe genutzt werden, deutlich von einer Situation bei einem Anschlag mit ionisierender Strahlung unterscheiden. Es können daher nur Behandlungsprinzipien angegeben werden, die im Einzelfall der Lage anzupassen sind.

### 6.1 Kontaminationsmessung

Zur Feststellung einer eventuellen Kontamination bedarf es dafür geeigneter Messgeräte, z. B.:

- Messgerät mit Szintillationsdetektor (CoMo 170 Zs, Nuvia, in großer Anzahl für den Notfallschutz beschafft),
- Messgeräte mit Durchflusszählrohr,
- Messgeräte mit Festgasfüllung.

Ausmaß und Ausdehnung von Kontaminationen der Körperoberfläche können ohne solche Messgeräte nicht beurteilt werden. Die erforderliche Messung sollte durch geschultes Personal erfolgen, welches über geeignete Messgeräte verfügt. Bei Unfällen im beruflichen Umfeld ist häufig die Einrichtung, aus der die kontaminierte Person stammt, in der Lage, die erforderlichen Messungen vorzunehmen. Weiterhin verfügen Hilfsorganisationen, wie die Feuerwehr, evtl. nuklearmedizinische Abteilungen und behördliche Stellen, über geeignete Messgeräte.

Die Messung muss systematisch und mit langsamer Bewegung des Detektors erfolgen (Abb. 6-1). Hat die Messung an einer bekleideten Person einen positiven Messeffekt gezeigt, muss die Person noch einmal in unbedecktem Zustand nachgemessen werden. Zeigt sich dann immer noch ein positiver Messeffekt muss eine möglichst gezielte Dekontamination durchgeführt werden, eine Ganzkörperdekontamination ist in der Regel nicht erforderlich. Zur Notwendigkeit einer Inkorporationsmessung siehe Abschnitt 11.3.

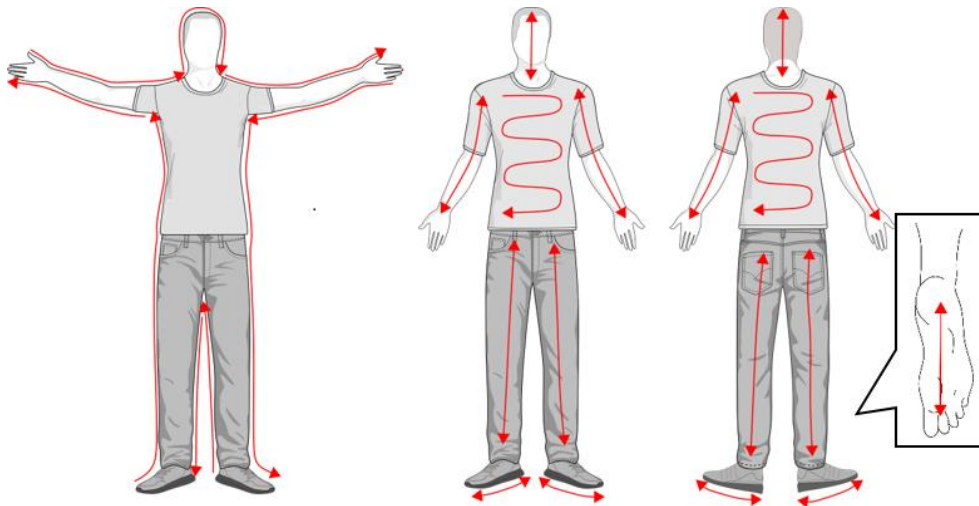


Abb. 6-1: Schema zur Messung der Personenkontamination. Die Pfeile zeigen, wie das Messgerät zu führen ist.

Je nach Stärke und Ausdehnung der Kontamination ist zu entscheiden, ob und wie dekontaminiert werden soll (siehe Abschnitt 6.5).



Für die orientierende Dosisabschätzung bieten sich einfache Abschätzungsformeln an:

- Eine Flächenkontamination von 1 Bq pro  $\text{cm}^2$  eines Beta/Gammastrahlers ruft eine maximale Beta-Hautdosisleistung von  $2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  hervor.
- Die Gamma-Hautdosisleistung beträgt dabei nur ca. 1/100 dieses Wertes, d. h. in der Größenordnung von  $0,01 \mu\text{Sv h}^{-1}$ .

## 6.2 Richtwerte für Dekontaminationsmaßnahmen

Ab welcher Stärke einer Kontamination eine Person dekontaminiert werden muss, hängt von den rechtlichen und praktischen Umständen ab, unter denen die Versorgung der kontaminierten Person erfolgt. Für die Festlegung der Richtwerte werden dementsprechend unterschiedliche Vorschriften und Empfehlungen angewendet (Tab. 6-1, Tab. 6-2). Je kleiner die anzuwendenden Grenz- bzw. Richtwerte der Dosis der betroffenen Personen sind, aber auch je mehr Zeit und Personalkapazität für die Versorgung einzelner Personen zur Verfügung stehen, desto kleinere Richtwerte gelten für die Personendekontamination.

Dekontaminationen im Bereich der geplanten Expositionssituationen dienen vornehmlich der Dosisvermeidung im Sinne der Optimierung. Akute, aber in der Regel auch langfristige, Schäden sind bei solchen Werten nicht zu erwarten. Unterhalb der dafür genannten Richtwerte ist eine Dekontamination nicht erforderlich. Im Gegensatz dazu kann nach einer erheblichen großflächigen Freisetzung radioaktiver Stoffe in einer Notfallexpositionssituation mit eventuell vielen Betroffenen aus Kapazitätsgründen in der Regel nicht die Einhaltung solcher Richtwerte der Hautkontamination sichergestellt werden. Das Ziel der Dekontaminationsmaßnahmen ist dann, akute Strahlenschäden zu verhindern und das Auftreten stochastischer Schäden zu minimieren. In keinem Fall darf jedoch die Messung einer Hautkontamination den Einsatz evtl. zeitkritischer lebenserhaltender medizinischer Maßnahmen verzögern.

Die in Tab. 6-2 genannten Schwellenwerte der Zählrate gelten für großflächige Kontaminationsnachweisgeräte mit einer üblichen Detektorfläche von etwa 170 cm<sup>2</sup>. Wenn andere Messgeräte, insbesondere solche mit deutlich kleinerer Messfläche, verwendet werden, muss das bei der Berechnung der Schwellenwerte der Zählrate aus den Richtwerten der Hautdosis berücksichtigt werden.

Eine standardisierte Dokumentation bei einer kleinen Anzahl an Betroffenen wird über den Erfassungsbogen der Berufsgenossenschaft durchgeführt (Anhang A3-1). Bei einer großen Anzahl von Betroffenen wird der Erfassungsbogen Notfallstation verwendet (Anhang A3-2).



Bei Notfallexpositionssituationen mit vielen Betroffenen ist eine auf individuelle Minimierung ausgelegte Dekontamination zumeist nicht möglich. Hier greifen höhere Auslöseschwellen für die Dekontamination des/der einzelnen Betroffenen.

Bei Messwerten unter 30 lps Beta/Gammastrahlung oder 1 lps für Alphastrahlung mit einem Standardmessgerät und sorgfältiger, korrekter Durchführung der Messung ist eine Dekontamination in der Notfallsituation nicht erforderlich (vgl. Tab. 6 2).

Tab. 6-1: Anwendung rechtlicher Rahmenbedingungen in verschiedenen Expositionssituationen

	Definition	Geltende Grenz-, Referenz- und Richtwerte	
<b>Geplante Expositionssituation (§ 5 Abs. 26 StrlSchG)</b>	Grundlage: geplante Tätigkeit Durch vorausgeplante Maßnahmen zu bewältigen Entspricht einem Vorkommnis nach § 1 Abs. 22 StrlSchV	Grenzwerte für die Bevölkerung (§ 80 StrlSchG)	- Effektive Dosis 1 mSv/Jahr - Organ-Äquivalentdosis – Augenlinse 15 mSv/Jahr, – lokale Hautdosis 50 mSv/Jahr
		Grenzwerte für beruflich exponierte Personen (§ 78 StrlSchG)	- Effektive Dosis 20 mSv/Jahr - Im Einzelfall effektive Dosis bis 50 mSv/Jahr - Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosis (§ 78 Abs. 2 StrlSchG), für Personen unter 18 Jahren (§ 78 Abs. 3 StrlSchG), für gebärfähige und schwangere Personen (§ 78 Abs. 4 StrlSchG)
<b>Notfall-expositionssituation (§ 5 Abs. 26 StrlSchG)</b>	Erhebliche nachteilige Auswirkungen auf Mensch, Umwelt oder Sachgüter a. Überregionaler Notfall b. Regionaler Notfall c. Lokaler Notfall	Referenzwerte für Einsatzkräfte (§ 114 StrlSchG)	Referenzwerte der Dosis in Höhe der Grenzwerte für beruflich exponierte Personen - Einsatz dient dem Schutz des Lebens oder der Gesundheit <sup>16</sup> – effektive Dosis 100 mSv möglichst nicht überschreiten - Einsatz dient der Rettung von Leben, der Vermeidung schwerer strahlungsbedingter Gesundheitsschäden oder der Vermeidung oder Bekämpfung einer Katastrophe <sup>17</sup> – effektive Dosis 250 mSv möglichst nicht überschreiten – Einsatzleitung kann einen erhöhten Referenzwert von 500 mSv festlegen
		Für die Bevölkerung: Notfall-Dosiswerte-Verordnung Allgemeiner Notfallplan des Bundes	Abgestufte Richtwerte der Dosis und abgeleitete Richtwerte (sog. OIL-Werte) je nach Schutzmaßnahme, z. B. für die Aufforderung zum Aufenthalt in Gebäuden 10 mSv effektive Dosis innerhalb von sieben Tagen bei einem angenommenen Daueraufenthalt im Freien
<b>Sondersituation Notfallstation Rahmenempfehlung-Notfallstation (RE-NFS)</b>	Ereignisse mit möglicher Kontamination einer größeren Personenanzahl (Bevölkerung und Einsatzkräften)	Vgl. Notfall	Vgl. Notfall

<sup>16</sup> Die Einsatzkräfte müssen vor dem jeweiligen Einsatz über die mit ihm verbundenen gesundheitlichen Risiken und die zu treffenden Schutz- und Überwachungsmaßnahmen angemessen unterrichtet werden (§ 114 Abs 2 StrlSchG).

<sup>17</sup> Die Einsätze dürfen nur von Freiwilligen ausgeführt werden, die vor dem jeweiligen Einsatz über die Möglichkeit einer solchen Exposition informiert wurden. (§ 114 Abs. 3 StrlSchG).

Tab. 6-2: Anwendung von Schwellenwerten für die Durchführung einer Personendekontamination

	<b>Angewandte Grundlage für die Festlegung des Schwellenwerts</b>	<b>Schwellenwert für die Durchführung einer Dekontamination</b>
<b>Geplante Expositionssituation (§ 5 Abs. 26 StrlSchG)</b>	§ 57 Abs. 2 Nr. 3 i. V. m. Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV	Alpha: 1 Ips Beta/Gamma: 30 Ips (Minimierungsgebot auch unterhalb der Dosisgrenzwerte beachten)  (darunter mit großer Wahrscheinlichkeit Alpha < 0,1 Bq cm <sup>-2</sup> , Beta/Gamma < 1 Bq cm <sup>-2</sup> )
<b>Notfallexpositionssituation (§ 5 Abs. 26 StrlSchG)</b>	SSK-Empfehlung Abgeleitete Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2019b), Tabelle 5.7	Alpha: 300 Ips Beta/Gamma: 6000 Ips  (darunter Alpha < 10 Bq cm <sup>-2</sup> , Beta/Gamma < 100 Bq cm <sup>-2</sup> )
<b>Sondersituation Notfallstation</b> Rahmenempfehlung-Notfallstation (RE-NFS)	SSK-Stellungnahme Fragestellungen zu Aufbau und Betrieb von Notfallstationen (SSK 2014a), Tabelle 1	Höhere Dekontaminationswerte als „Notfall“, siehe Tabelle im Anhang A4

### 6.3 Allgemeine Hinweise zur Personendekontamination

Zunächst gilt, dass vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung oder zur Einschränkung einer Kontamination den wirkungsvollsten Schutz darstellen. Grundsätzlich bietet die gesunde Haut einen guten Schutz vor perkutaner Inkorporation radioaktiver Stoffe. Die Versorgung von potenziell kontaminierten Strahlennotfallpatient\*innen sollte einem systematischen Ablaufschema folgen, das in Abb. 6-2 dargestellt ist.



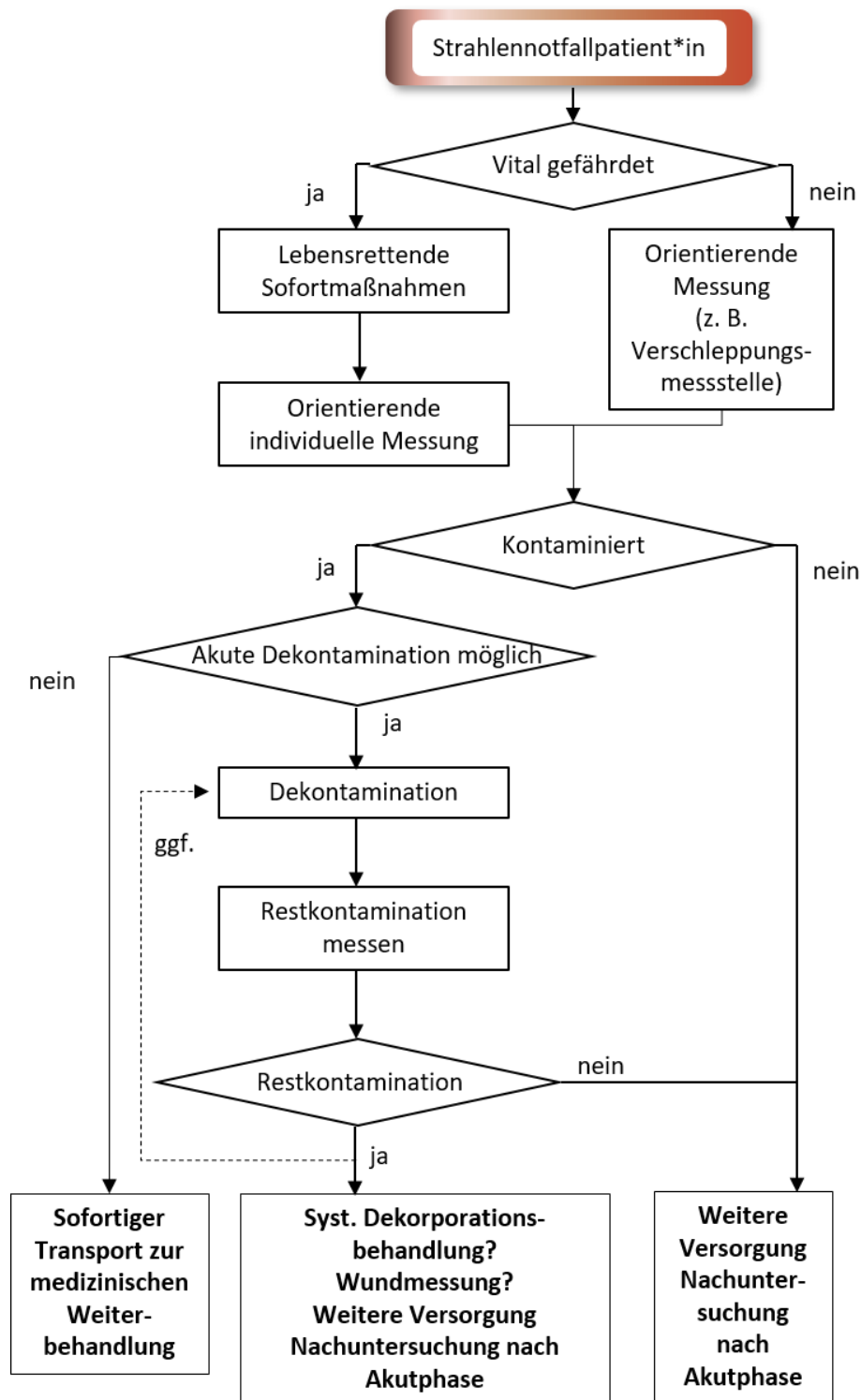


Abb. 6-2: Versorgung von kontaminiertem Strahlennotfallpatient\*innen

Eine systematische Dekontamination besteht aus folgenden Maßnahmen, die regelmäßig geübt werden (siehe 6.5 und Anhang A2-1 und A2-3) müssen:

1. Entfernung kontaminierter Kleidung,
2. hautschonendes Abwaschen des kontaminierten Bereiches, wenn verfügbar unter Benutzung einer schonenden, im schwach sauren pH-Bereich gepufferten Flüssigseife,
3. Verhinderung der Kontaminationsverschleppung,

4. Vermeidung der sekundären Inkorporation,
5. psychosoziale Betreuung von Beginn an.



Entfernung kontaminierter Kleidung reduziert erfahrungsgemäß die Kontamination um bis zu 90 %.

Wenn aufgrund einer großen Anzahl von Betroffenen (Massenanfall von Verletzten oder Erkrankten (MANV)) eine individuelle Dekontamination nicht möglich ist, sollten die folgenden Hinweise zur Personenselbstdekontamination gegeben werden:

- Vor Dekontamination nicht essen, trinken oder rauchen,
- die eigene Wohnung unverzüglich aufsuchen,
- Schuhe vor Betreten der Wohnung ausziehen,
- Ablegen möglicherweise kontaminierter Kleidung (Aufbewahrung von Schuhen und Kleidung in einem beschrifteten Plastiksack außerhalb des Wohnbereiches),
- die zuvor unbedeckten Körperteile waschen (Hände, Gesicht, Hals, Haare), dabei beachten, dass durch herabfließendes, kontaminiertes Wasser die Schleimhäute (Mund, Nase, Bindehäute) nicht kontaminiert werden (Gefahr der Inkorporation),
- anschließend Duschen inklusive Waschen der Haare,
- nicht kontaminierte Kleidung anziehen.

Die psychosoziale Betreuung stellt vor allem bei einer Vielzahl zu dekontaminierender Personen eine große Herausforderung dar. Hier sollte frühzeitig auf die Unterstützung durch für Strahlennotfälle speziell geschulte Kriseninterventionskräfte (siehe auch Kapitel 9) zurückgegriffen werden (SSK 2017a, 2017b).

#### 6.4 Vorbereitung der Dekontamination

Der zu dekontaminierende Personenkreis ist grob abzuschätzen. Eine erste Sichtung dient dazu, akut behandlungsbedürftige Patient\*innen und deren Kontamination zu erfassen und die Inkorporationsgefahr zu minimieren.

Eine geeignete Dekontaminationseinrichtung ist auszuwählen oder aufzubauen. Diese soll außerhalb des kontaminierten Bereiches liegen. Eine Kreuz- und Rekontamination muss verhindert werden. Wichtig ist bei der Dekontamination die Einrichtung eines gelenkten Personenflusses. Es sind ausreichende Sammelbehältnisse für den kontaminierten Abfall, wie genutzte Dekontaminationsmittel und Abwasser, bereitzustellen, dies gilt auch für die personalisierte und gesicherte Aufbewahrung von kontaminierter Kleidung oder sonstiger persönlicher Besitztümer. In der Wartezone ist sicherzustellen, dass die Personen nicht auskühlen; dazu gehört das Vorhandensein ausreichender Ersatzkleidung und das Vorhalten von temperiertem Dekontaminationsmittel (warmes Wasser).

Alle Personen müssen registriert werden. Die obligate Kontaminationsmessung muss detailliert mit der Angabe der kontaminierten Körperstellen dokumentiert werden. Anhand nachvollziehbarer Kriterien ist die Entscheidung zur Dekontamination oder für einen Verzicht zu treffen. Hilfsbedürftige Personen sind zu unterstützen. Soziale, kulturelle und geschlechtsspezifische Bedürfnisse sollen respektiert werden. Allen Personen sind Informationen über den weiteren Ablauf und personalisierte Kunststoffbeutel für ihre Wertsachen auszuhändigen.

In der Wartzone darf weder gegessen, getrunken noch geraucht werden. Der Hand-Mund-Kontakt ist zur Vermeidung einer Inkorporation zu unterlassen. Das Gesicht kann mittels Feuchttüchern grob dekontaminiert werden. Die Dekontamination des Mundes erfolgt durch Ausspülen. Für Inkorporationsabschätzungen und zur Dokumentation sollten, sofern möglich, Schnäuz-, Speichel- bzw. Wischproben vom Gesicht asserviert werden.

## 6.5 Durchführung der Personendekontamination

Um Inkorporationen zu vermeiden, sollte eine Personendekontamination in folgender Reihenfolge durchgeführt werden: Wunden → Körperöffnungen → intakte Haut. Es ist von zentral nach peripher, ggf. unter Schutzabdeckung nicht kontaminierter Körperteile, zu dekontaminieren.

Personal ist angehalten, während der Dekontamination ein Dosimeter, einen Schutzanzug, Handschuhe, adäquaten Atemschutz (mindestens FFP2-Masken) und eine Schutzbrille zu tragen, um die Inkorporation von Radionukliden zu verhindern. Eine relevante Gefährdung des Personals durch kontaminierte Personen ist bei Einhalten des Selbstschutzes in aller Regel nicht gegeben.



Bei Einhalten von gängigen und einfachen Strahlenschutzmaßnahmen stellt eine kontaminierte Person keine Gefahr für das Behandlungsteam dar.



Grundsätzlich beinhaltet der Dekontaminationsvorgang die Reduktion von gesundheitsgefährdenden Substanzen bzw. Partikeln auf Oberflächen mit physikalischen Mitteln.

- Mit der Dekontamination soll so früh wie möglich begonnen werden. Kontaminierte Personen sind mit mindestens FFP2-Masken und Schutzbrille auszustatten.
- Das Entfernen der Kleidung soll durch aktive Assistenz durch Einsatzkräfte durchgeführt werden, um Aufwirbeln von radioaktiven Stoffen so weit wie möglich zu vermeiden. Dabei kann das Aufschneiden von geschlossener Oberbekleidung notwendig sein. Allein das Ausziehen der kontaminierten Kleidung erbringt in der Regel einen Dekontaminationseffekt von bis zu 90 % (Anhang A2-1 und A2-3).
- Kontaminierte Kleidung wird in markiertem und personalisiertem Plastiksack an geeigneter Stelle (kein Personenverkehr) bis zur weiteren Untersuchung zwischengelagert.
- Für die Dekontamination von Personen, bei denen eine Kontamination der Haut mit Radionukliden gemessen wurde, bietet sich das Abwaschen mit idealerweise lauwarmen Wasser in Form eines weichen Duschstrahls an, um eine sekundäre Aerosolisierung der Partikel zu verhindern.
- Sofern vorhanden, kann der zusätzliche Einsatz von Seife, alkalifreier Waschlösung oder anderen Detergenzien (bspw. Geschirrspülmittel) die Ablösung von Partikeln unterstützen. Ergänzend kann die Anwendung mild abrasiver Reiniger erwogen werden.

- Der Vorgang sollte gezielt auf exponierte Hautareale, die zuvor nicht durch dichte Kleidung abgeschirmt waren (bspw. Kopf und Hände), beschränkt werden („Spot-Dekontamination“).
- Eine Spot-Dekontamination kann auch mit Feuchttüchern, die mit kreisenden Bewegungen über kontaminierte Areale geführt und im Anschluss gesondert entsorgt werden, durchgeführt werden.
- Eine grundsätzliche Alternative kann die sogenannte „Trocken-Dekontamination“ lokal begrenzter Hautareale darstellen. Dabei werden mittels Klebestreifen Partikel in den oberen Hornschichten kontaminierter Haut entfernt.
- Bei speziellen Lagen, wie etwa bei lokal begrenzten Kontaminationen in nuklearmedizinischen Einrichtungen, kann die Dekontamination durch lokale Anwendung von nuklidspezifischen Komplexbildner-Lösungen mit EDTA oder DTPA bzw. bei Radioiodverbindungen durch Kaliumiodidlösung ergänzt werden.
- Wenn die Messungen auf eine diffuse oder generalisierte Kontamination hinweisen, sollte eine Ganzkörperdusche durchgeführt werden.
- Bei sämtlichen Personen-Dekontaminationsverfahren haben der Erhalt der Barrierefunktion der Haut sowie die Vermeidung sekundärer Kontaminationsverschleppung oder gar Inkorporation oberste Priorität.

Spätestens bei beginnender Hautrötung ist die Dekontamination einzustellen. Keinesfalls darf die intakte Haut durch Dekontaminationsmaßnahmen verletzt werden, da sonst ihre Barrierefunktion beeinträchtigt wäre. Die dekontaminierte Haut ist mit saugfähigem Material zu trocknen (tupfen, nicht wischen). Nach jedem Dekontaminationsvorgang ist der Erfolg in Form der Messwerte aus den Kontrollmessungen zu dokumentieren.

Nach Beendigung der Dekontamination und messtechnischer Freigabe sollten Hautpflegemittel benutzt werden.

Dekontamination spezifischer Körperteile:

- Die **Haare** mit nach hinten geneigtem Kopf von einem Helfer (mit Handschuhen) waschen und gut nachspülen lassen. Dabei kein kontaminiertes Wasser ins Gesicht oder die Ohren gelangen lassen. Dazu den Gehörgang mit z. B. Vaseline-Tupfer verschließen. Vor dem Trocknen ist eine Kontrollmessung mit einem Kontaminationsmonitor empfehlenswert (Cave. Alphastrahler). Sollte das Kürzen der Haare im Gegensatz zum Waschen deutliche Vorteile haben oder keine ausreichende Waschkapazität zur Verfügung stehen, sollte dies mit dem Betroffenen zeitnah vereinbart werden.
- Spülen der **Augen** mit geeigneter Spülflüssigkeit vom inneren Augenwinkel nach außen.
- Die Dekontamination des **Mundes** erfolgt durch Ausspülen mit reichlich Wasser, die Dekontamination der Nase durch Schnäuzen.
- Eine Kontamination der **Ohren** kann durch Ohrspülung oder Austupfen mit Wasser entfernt werden.



Bei Kontamination von Mund, Nase und Ohren besteht immer Inkorporationsgefahr, ihre Dekontamination hat Priorität. Zur Erfassung müssen ggf. nuklidabhängig erforderliche diagnostische Maßnahmen veranlasst werden.

- Spülflüssigkeiten und Körpersekrete sowie Schleimhautwischproben ggfs. zur Nachmessung aufbewahren.
- Wenn in **Hautfalten**, im **Nagelfalz** oder unter den **Fingernägeln** eine Kontamination nachgewiesen wird, ist diese gezielt zu entfernen. Hierfür sind einfache Instrumente wie Nagelreiniger, weiche Bürste oder Klebestreifen geeignet.

Bei jeder Personenkontamination ist sorgfältig zu prüfen, ob weitere Maßnahmen zur Feststellung einer Inkorporation notwendig sind (vgl. Abschnitt 11.3).

## 6.6 Vorgehen bei verbleibender Kontamination

Falls der erste Dekontaminationsvorgang nicht zum Erfolg führt, kann die Maßnahme wiederholt werden; der jeweilige Dekontaminationseffekt ist an der Person zu messen. Dabei muss bedacht werden, dass eine intensive Dekontamination ihrerseits die Haut schädigen und eine Inkorporation begünstigen kann.



Wenn es die Einsatzlage zulässt, sollte die Dekontamination gezielt fortgeführt werden, so lange der Dekontaminationseffekt größer als 10 % ist, und der Hautzustand es erlaubt.

Ist der Dekontaminationseffekt kleiner als 10 % und die verbleibende flächenbezogene Aktivität geringer als  $10 \text{ Bq cm}^{-2}$  (vgl. Tab. 6-2) (gemittelt über  $100 \text{ cm}^2$  bei einer überwiegend über die gesamte Fläche verteilten Kontamination mit Beta- oder Gammastrahlern), kann die Dekontamination beendet werden.

Falls der Dekontaminationseffekt zwar kleiner als 10 % ist, aber die flächenbezogene Aktivität weiterhin mehr als  $10 \text{ Bq cm}^{-2}$  beträgt, ist wie folgt vorzugehen:

Nach Hinzuziehen von im Strahlennotfallmanagement ausgebildeten Expert\*innen und des/der Strahlennotfallarzt\*in ist die Hautdosis abzuschätzen und über erweiterte Dekontaminationsmaßnahmen zu entscheiden. Dazu können der Einsatz von Komplexbildnern ebenso wie abrasive Verfahren gehören.

Erforderlich ist die Aufzeichnung auf einem speziellen Protokoll (Muster für einen Notfall mit wenigen Betroffenen siehe Anhang A3-1, Muster für einen Notfall mit vielen Betroffenen siehe Anhang A3-2).

## 6.7 Maßnahmen bei kontaminierten Wunden

Kombinationsverletzungen mit einer konventionellen Verletzung bei gleichzeitiger Kontamination, insbesondere mit kontaminierten Wunden, stellen die versorgenden Teams vor besondere Herausforderungen (Anhang A2-2). Bei einer Kombinationsverletzung hat die Behandlung der lebens- oder funktionsbedrohenden konventionellen Verletzung immer Vorrang. Dekontaminationsmaßnahmen dürfen die erforderlichen Notfallbehandlungsmaßnahmen nicht verzögern. Der Zugang zu einer Behandlungseinrichtung ist sicherzustellen. Dekontaminationsmaßnahmen können daher ggf. nur grob (lediglich Entfernung der kontaminierten Kleidung) bzw. müssen parallel zu lebenserhaltenden Stabilisierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Grundsätzlich ist eine offene Verletzung beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen wegen der damit erhöhten Inkorporationsgefahr als radioaktiv verunreinigt anzusehen, solange dies nicht durch Messung ausgeschlossen wurde. Eine grobe und zügige Kontaminationsmessung

reicht, um hochgradige Kontaminationen orientierend zu erfassen. Im Rahmen der Ersten Hilfe sollte die Wunde mit sterilen Kompressen gedeckt werden (ggf. getränkt mit Ca(DTPA)-Lösung zur Bindung zahlreicher Metalle (Ionen); empfohlen werden 3 g bis 4 g, d. h. drei bis vier Ampullen 25 %, die nicht verdünnt werden sollten).

Im Falle einer Explosion können multiple Verletzungen durch zahlreiche Fragmente oder Partikel entstehen (sekundäre Explosionsverletzung). Eine differenzierte Betrachtung jeder einzelnen kleinen Wunde ist ggf. nicht mehr praktikabel. Die Aktivitätsmessung sollte dennoch über allen Wundarealen stattfinden und dabei als konservativer Ansatz die höchste gemessene Aktivität pro Flächeneinheit zugrunde gelegt werden. Zur vorläufigen Abschätzung der Gesamtexposition (eingesprengte Aktivität) und ggf. für nachfolgende Berechnungen der internen Dosis nach Radionuklidabsorption, kann die höchste gemessene Aktivität/Fläche mit der gesamten Wundfläche, ermittelt nach der Neuner-Regel aus der Verbrennungsmedizin (Sefrin und Schua 2012), multipliziert werden.

### Vorgehen bei gesicherter Wundkontamination

Während die gesunde Haut in der Regel eine gute Barriere gegen die Inkorporation von Radionukliden darstellt, können durch Wunden rasch Radionuklide in den Körper gelangen. Eine sichere und schnelle Wunddekontamination vermindert die Folgedosis für die betroffene Person. Folgendes pragmatisches Vorgehen ist angeraten:

- Klärung der Indikation zur dringlichen chirurgischen Intervention,
- Schnelldekontamination der an die Wunde angrenzenden Haut mit Feuchttüchern (weg von der Wunde wischen),
- Abkleben der Wundränder,
- Nassdekontamination der Wunde (vorsichtig) unter anderem mit Sprühdekontamination; Verwendung von primär steriler Kochsalzlösung, alternativ Wasser,
- Handschuhwechsel sobald die Möglichkeit einer Rekontamination besteht,
- Auffangen von gebrauchter Spüllösung und kontaminierten Materialien (Tücher, Verbandsstoffe, Handschuhe, ...) in dichtem Gefäß, das gesondert gekennzeichnet ist; ggf. Einsatz von Absorptionsmaterial zur Verfestigung kontaminierter Flüssigkeiten,
- Abdecken der Wunde,
- Entfernung der Abklebung,
- Erneute Evaluation/Messung (bei Alphastrahlern zuvor Wunde trocknen),
- ggf. Wiederholung,
- Suche nach Fremdkörpern,
- ggf. Debridement oder auch apparative Debridementverfahren.

Ob eine chirurgische Intervention indiziert ist, hängt weitgehend von dem durch die Wunde aufgenommenen radioaktiven Stoff und dem Zustand der Wunde ab. Radioaktive Stoffe, die leicht löslich sind und damit vom Körper schnell aufgenommen und gelöst in ihm transportiert werden, können eine lokale und eine allgemeine Behandlung erfordern. Im Gegensatz dazu ist bei schwer löslichen Radionukliden eine chirurgische Entfernung zu erwägen. Unter Umständen müssen stark kontaminierte Gewebeteile entfernt werden. Grundsätzlich ist es wichtiger, die Funktion der Organe und deren Struktur und Aussehen zu bewahren, als die vollständige Entfernung der Kontamination anzustreben, sofern nicht im Einzelfall mit deterministischen

Gesundheitsschäden durch eine Langzeitwirkung radioaktiver Stoffe im Körper gerechnet werden muss.

Bestehen Zweifel, ob die Wunde vollständig dekontaminiert werden konnte, kann diese wiederum, wie oben beschrieben, mit Kompressen abgedeckt werden, die auch mit Dekorporationsmitteln (z. B. Ca(DTPA)) getränkt sind, die für das Radionuklid passen.

Bei stark verunreinigten Wunden ist auf allgemeine Prinzipien der Wundversorgung wie Tetanusschutz oder antibiotische Abdeckung zu achten. Nach der (auch chirurgischen) Versorgung einer radioaktiv kontaminierten Wunde ist eine besonders engmaschige fachchirurgische Betreuung des/der Patient\*in sicherzustellen, da das Risiko für Wundheilungsstörungen möglicherweise erhöht ist.

Bei allen Personen mit bedeutsamen Wundkontaminationen sollten abhängig von infrage kommenden Radionukliden Urin- (24 h-Sammelurin) und Stuhlproben sowie das ggf. exzidierte Gewebe asserviert werden, um eine eventuelle Aktivitätsaufnahme mit Hilfe einer geeigneten Inkorporationsmessstelle nachweisen zu können.



Offene Wunden können zu einer Inkorporation von Radionukliden führen. Die komplexeren Dekontaminationsverfahren mittels Feuchttüchern, Nassdekontamination oder sogar chirurgisches Debridement müssen trainiert werden. Die Erfolgskontrolle mit lokaler Dosimetrie schließt im Verlauf auch Ausscheidungsanalytik, klinische und biologische Dosimetrie mit ein.

## 7 Dekorporationstherapie

Die Dekorporationstherapie kann die mit einer Inkorporation verbundene Dosis für Patient\*innen reduzieren. Falls eine nennenswerte oder erhebliche Inkorporation von Radionukliden anzunehmen ist, sollte zeitnah (möglichst innerhalb von zwei Stunden) eine systemische Dekorporationsbehandlung begonnen werden. Die spezifische Dekorporationsbehandlung setzt voraus, dass das Radionuklid identifiziert ist: Eine universelle Dekorporationstherapie existiert nicht.



Eine systemische Dekorporationstherapie sollte, wenn indiziert, frühzeitig erfolgen, setzt aber die Identifikation des Radionuklids voraus.

Das Vorgehen hängt primär vom Szenario und der radiologischen Lage ab. Die Dekorporationstherapie sollte interdisziplinär gesteuert werden (unter Beteiligung u. a. von Dosimetrieexpert\*innen und klinischen Pharmakolog\*innen/Toxikolog\*innen).

Bei Unfällen mit einer oder wenigen möglicherweise kontaminierten Personen in einer kern-technischen Einrichtung oder einem radiochemischen Labor, wo mit definierten Radionukliden umgegangen wird und deren chemische Verbindungen sowie physikochemischen Eigenschaften ebenfalls bekannt sind, stellen sich das Expositionsszenario und die radiologische Lage verhältnismäßig übersichtlich dar; die betroffenen Einzelpersonen können gezielt unter Leitung des/der Strahlennotfallärzt\*in behandelt werden. Es können unspezifische Maßnahmen sowie frühzeitig gezielt einzusetzende Therapeutika zum Einsatz kommen.

Ganz anders ist die Situation bei einem Ereignis mit vielen Betroffenen und möglicherweise kontaminierten Personen, wie z. B. bei einem schweren Unfall in einem KKW oder einem terroristischen Anschlag. Bei letzterem fehlen zudem ausreichende Informationen über die Art des inkorporierten Radionuklids, dessen chemischer Verbindung, physikochemischer Form sowie die damit verbundene Dosis. Es wird einige Zeit dauern, bis die Lage ausreichend sicher beurteilt werden kann und Ärzt\*innen mit Fachkunde im Strahlennotfallmanagement vor Ort sind. Hier wird sich die Dekorporationsbehandlung in der Regel zunächst auf unspezifische Maßnahmen beschränken.

Liegen später Dosisabschätzungen (abgeschätzte 50 Jahre effektive Folgedosis ( $E_{50}$ ) für Erwachsene) vor, können folgende Richtwerte für die Intervention verwendet werden:

- Abgeschätzte Folgedosis ( $E_{50}$ ) < 20 mSv: Keine Dekorporation,
- abgeschätzte Folgedosis ( $E_{50}$ ) = 20 mSv bis 200 mSv: Individuelle Entscheidung,
- abgeschätzte Folgedosis ( $E_{50}$ ) > 200 mSv: Dekorporationstherapie.
- Bei Kindern sind engere Grenzwerte mit einer Folgedosis bis zum 70. Lebensjahr um 20 mSv bereits als Indikation für eine Dekorporationstherapie zu sehen.

Die Entscheidung zur Beendigung der Therapie setzt eine intensive Diagnostik inklusive der Abschätzung der Folgedosis voraus.

### 7.1 Unspezifische Dekorporationsmaßnahmen

Es handelt sich hierbei um Maßnahmen, die typischerweise auch bei Vergiftungen Anwendung finden und von jedem/jeder Ärzt\*in auch ohne Fachkunde im Strahlennotfallmanagement angewendet werden können.



Die Wirksamkeit und die Nebenwirkungen einiger in der Vergangenheit genutzter Allgemeinmaßnahmen werden in der Literatur allerdings kontrovers diskutiert. Bei der Inkorporation über den Magen-Darmtrakt ist an Medikamente zur Beschleunigung der Darmpassage ebenso wie an resorptionsmindernde Substanzen (z. B. Aktivkohle) zu denken. Emetika werden nicht mehr empfohlen; auch die früher häufig durchgeführten Magenspülungen sind nur bei sehr engem Zeitfenster und hoher aufgenommener Radioaktivitätsmenge zu erwägen. Bei nierengängigen Substanzen kann die Ausscheidung durch ausreichende, ggf. gesteigerte Flüssigkeitszufuhr, beschleunigt werden. In Kliniken können bei hohen aufgenommenen Radioaktivitätsmengen, detaillierter Informationen zum Unfall, ausreichend frühem Zeitfenster und detaillierter Kenntnis der invasiven Techniken auch dedizierte Verfahren wie Absaugen mit dem Gastroskop, bronchoalveoläre Lavage, forcierte Diurese oder chirurgische Interventionen indiziert sein.

## 7.2 Spezifische Dekorpositionsmaßnahmen

Die medikamentöse Therapie mit den wenigen dafür vorgesehenen (und zugelassenen) Dekorpositionstherapeutika ist eine ärztliche Aufgabe, die Kenntnisse im Strahlennotfallmanagement voraussetzt. Die Therapie ist umso effektiver, je früher sie begonnen wird. Sie kann sich über einen langen Zeitraum erstrecken und muss sorgfältig klinisch und laborchemisch überwacht werden. Kontraindikationen der Medikamente und Nebenwirkungen sind ebenso zu beachten wie das Bestehen einer Schwangerschaft und Besonderheiten bei Kindern und Jugendlichen.



Spezifische Dekorpositionsmaßnahmen sollten so früh wie möglich begonnen werden, setzen aber neben der Dosisbestimmung auch die Kenntnis des Nuklids voraus. Kontraindikationen und Nebenwirkungen der Medikamente sind ebenso zu beachten wie die Besonderheiten bei Schwangerschaft, Kindern und Jugendlichen.

Bei der folgenden Auflistung handelt es sich um eine verkürzte Darstellung der Eigenschaften der aufgeführten Medikamente, die für den/die Ärzt\*in im Strahlennotfall besonders relevant sind. Sie kann nicht das sorgfältige Studium der jeweiligen Fachinformationen ersetzen. Bezüglich der Schilddrüsenblockade mit Kaliumiodid wird auch auf die Iodmerkblätter der SSK (SSK 2019b) hingewiesen (s. a. [www.iodblockade.de](http://www.iodblockade.de)).

Von besonderer Bedeutung ist insbesondere der frühzeitige Beginn der Behandlung bei Verdacht auf eine Radionuklid-Inkorporation (innerhalb von wenigen Stunden bis Tagen), da die Wirksamkeit der Dekorposition bei Verzögerungen abnimmt, was auch durch eine Verlängerung der Behandlung nur in Grenzen kompensiert werden kann. Weiterhin ist zu beachten, dass diese Medikamente nicht unbedingt in größeren Mengen vorrätig sind, so dass sie frühzeitig über Leitstellen angefordert werden sollten, um Lieferverzögerungen möglichst gering zu halten.

<b>Preußisch Blau (Eisenhexacyanoferrat) p. o</b>	
<b>wirksam bei</b>	Cäsium-Inkorporation (auch bei Thallium, Indium oder Spaltproduktemischung (Off-Label))
<b>Handelspräparat</b>	Radiogardase® -Cs
<b>Darreichungsform</b>	Oral, 1 Hartkapsel enthält 500 mg Eisen(III)hexacyanoferrat(II)
<b>Dosierungsschema</b>	Erwachsene, Jugendliche und Kinder: So schnell wie möglich bei akuter Inkorporation initial 3 g (6 Kps.), dann 3 x 1 g (3 x 2 Kps/d p. o. mit der Nahrung). Dosissteigerung bis zu 40 Kapseln (20 g) tgl. möglich, auch per Magen- oder Duodenalsonde.
<b>Einnahmedauer</b>	i. d. R. mindestens 30 Tage, abhängig von Laborergebnissen deutlich länger (wöchentliche Nachkontrolle der Kontamination in Stuhl und Urin)
<b>Gegenanzeigen</b>	Überempfindlichkeit gegenüber Wirkstoff oder Hilfsstoffen (Gelatine, Indigo-carmin (E132), Natriumdodecylsulfat)
<b>Nebenwirkungen</b>	Hypokaliämie, Obstipation, unspezifische Magen-Darm-Beschwerden, harmlose Dunkelfärbung des Stuhls
<b>Wechselwirkungen</b>	Bindung oder Resorptionsverminderung einiger oral eingenommener Medikamente (z. B. verminderte Resorption von Tetracyclinen); Wirksamkeit der Preußisch Blau-Therapie durch Interaktionen kaum beeinflusst
<b>Schwangerschaft, Kindes- und Jugendalter</b>	keine Bedenken gegen die Anwendung von Radiogardase®-Cs. Kontaminierte Mütter sollten generell nicht stillen

<b>Ca(DTPA) Calcium-Trinatrium-Pentetat i. v.</b>		
<b>wirksam bei</b>	Inkorporationen mit Americium, Plutonium, Curium, Californium, Berkelium (auch wahrscheinlich wirksam in unterschiedlichem Maße bei zahlreichen weitere bi- bis pentavalente Kationen)	
<b>Handelspräparat</b>	Ditripentat-Heyl®	
<b>Darreichungsform</b>	Intravenös, 1 Ampulle à 5 ml enthält 1 000 mg Calcium-Trinatrium-Pentetat Art der Anwendung: idealerweise als i. v. Infusion in 250 ml physiol. Kochsalzlösung über 30 min bis 120 min	
<b>Dosierungsschema</b>	erste Woche	je 1 Ampulle pro Tag für 5 Tage
	folgende 6 Wochen	1 Ampulle 2- bis 3-mal pro Woche
	anschließend 6 Wochen	Therapiepause
	Weiter alternierend 3 Wochen	1 Ampulle 2- bis 3-mal wöchentlich und 3 Wochen Therapiepause oder 1 Ampulle alle 2 Wochen, im Einzelfall längere Therapiepause von 4 bis 6 Monaten
	Das Therapieschema sollte sich im Einzelfall an den laboranalytischen Befunden orientieren.	
<b>Gegenanzeigen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Überempfindlichkeit gegenüber Wirkstoff oder Hilfsstoffen (Calciumcarbonat, Natriumhydroxid, Pentetsäure),</li> <li>– Orale Radionuklidaufnahme, solange sich das Radionuklid noch im Magen-Darmtrakt befindet (das komplexierte Radionuklid wird im Vergleich zum unkomplexierten besser resorbiert),</li> <li>– Inkorporationen von Uran, Neptunium oder Cadmium.</li> <li>– Hypercalcämie, Schädigungen der Niere (Niereninsuffizienz, nephrotisches Syndrom),</li> <li>– Schädigungen des Knochenmarks</li> </ul>	
<b>Nebenwirkungen</b>	Stoffwechsel- und Ernährungsstörungen aufgrund von Zinkmangel, Erkrankungen der Nieren (nephrotisches Syndrom und Niereninsuffizienz). Bei wiederholter Gabe von Ca(DTPA) mit zu kurzen Regenerationsintervallen zwischen den einzelnen Applikationen können auftreten: verzögerte Fieberreaktion, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Frösteln, Kopfschmerzen, Pruritus, Muskelkrämpfe	
<b>Wechselwirkungen</b>	mit essentiellen Schwermetallen wie Zink oder Eisen (ggf. substituieren)	
<b>Schwangerschaft, Kindes- und Jugendalter</b>	Das Präparat ist nicht zur Behandlung von Schwangeren, Kindern und Jugendlichen zugelassen.	

<b>Zn(DTPA) Zink-Trinatrium-Pentetat i. v.</b>		
<b>wirksam bei</b>	Inkorporationen mit Americium, Plutonium, Curium, Californium, Berkelium (Alternative zum kontraindizierten Ca(DTPA) insb. bei Schwangerschaft)	
<b>Handelspräparat</b>	Zink-Trinatrium-Pentetat®	
<b>Anmerkung</b>	Bei akuter Radionuklidexposition ist in der Frühphase dem Ca(DTPA) wegen seiner besseren Wirksamkeit der Vorzug zu geben (Ausnahme: Schwangere, Kinder und Jugendliche, siehe Kontraindikationen oben). Bei länger dauernder Therapie kann auf Zn(DTPA) umgestellt werden.	
<b>Darreichungsform</b>	Intravenös, 1 Ampulle à 5 ml enthält 1 055 mg Zink-Trinatrium-Pentetat Art der Anwendung: idealerweise als i. v. Infusion in 250 ml physiol. Kochsalzlösung über 30 min bis 120 min	
<b>Dosierungsschema</b>	Erwachsene	
	erste Woche	je 1 Ampulle pro Tag für 5 Tage
	folgende 6 Wochen	1 Ampulle 2- bis 3-mal pro Woche
	anschließend 6 Wochen	Therapiepause
	Weiter alternierend 3 Wochen	1 Ampulle 2- bis 3-mal wöchentlich und 3 Wochen Therapiepause oder 1 Ampulle alle 2 Wochen
<b>Dosierung bei Kindern</b>	25 mg bis 50 mg pro kg Körpergewicht und Tag	
<b>Gegenanzeigen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Überempfindlichkeit gegenüber Wirkstoff oder Hilfsstoffen.</li> <li>– Orale Radionuklidaufnahme, solange sich das Radionuklid noch im Magen-Darmtrakt befindet (das komplexierte Radionuklid wird im Vergleich zum unkomplexierten besser resorbiert).</li> <li>– Inkorporationen von Uran, Neptunium oder Cadmium</li> </ul>	
<b>Nebenwirkungen</b>	Bei wiederholter Gabe von Zn(DTPA) mit zu kurzen Regenerationsintervallen zwischen den einzelnen Applikationen können auftreten: verzögerte Fieberreaktion, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Frösteln, Kopfschmerzen, Pruritus, Muskelkrämpfe	
<b>Wechselwirkungen</b>	keine	
<b>Schwangerschaft, Kindes- und Jugendalter</b>	keine Kontraindikation, aber besonders sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung; strenge Kontrolle des Mineralhaushalts	

<b>DMPS (Dimercaptopropansulfonsäure) i. v. oder oral</b>						
<b>wirksam bei</b>	Off-Label bei Inkorporationen von Polonium als individueller Heilversuch (zugelassen aber nur für Quecksilbervergiftungen)					
<b>Handelspräparat</b>	Dimaval®					
<b>Darreichungsform</b>	Intravenös: 1 Ampulle à 5 ml enthält 271,4 mg (RS)-2,3-Bis(sulfanyl)propan-1-sulfonsäure-Natriumsalz-1-H <sub>2</sub> O (DMPS-Natriumsalz-1-H <sub>2</sub> O) entsprechend 250 mg (RS)-2,3-Bis(sulfanyl)propan-1-sulfonsäure-Natriumsalz (DMPS-Na) zur langsamen i. v. Injektion oder Infusion. Oral: 1 Hartkapsel enthält 108,56 mg (RS)-2,3-Bis(sulfanyl)propan-1-sulfonsäure-Natriumsalz-1-H <sub>2</sub> O (DMPS-Natriumsalz-1-H <sub>2</sub> O) entsprechend 100 mg DMPS-Natriumsalz					
<b>i. v. Dosierungsschema bei akuten Quecksilbervergiftungen</b>	Erwachsene					
	<b>Behandlungstag</b>	<b>Einzeldosis</b>		<b>Dosierungsintervall pro Einzeldosis</b>	<b>Max Tagesdosis</b>	
		<b>DMPS-Na</b>	<b>Anzahl Ampullen</b>		<b>DMPS-Na</b>	<b>Anzahl Ampullen</b>
	1	250 mg	1	3 – 4 h	1 500 – 2 000 mg	6 – 8
	2	250 mg	1	4 – 6 h	1 000 – 1 500 mg	4 – 6
	3	250 mg	1	6 – 8 h	750 – 1 000 mg	3 – 4
4	250 mg	1	8 – 12 h	500 – 750 mg	2 – 3	
<b>orale Dosierung bei akuten Schwermetallvergiftungen</b>	Anfänglich eine tägliche Dosis von 12 bis 24 Hartkapseln Dimaval (DMPS) 100 mg Hartkapseln in Einzeldosen gleichmäßig über den Tag verteilt (z. B. 12 mal 1 bis 2 Hartkapseln pro Tag).					
<b>Gegenanzeigen</b>	Überempfindlichkeit gegenüber dem Wirkstoff oder Hilfsstoffen					
<b>Nebenwirkungen</b>	Schüttelfrost, Fieber, allergische Hautreaktionen, insbesondere bei zu schneller Gabe: Blutdruckabfall, Schwindel, Schwäche, Asthmaanfall während oder kurz nach der Injektion; Leukozytenreduktion um bis zu 50 % (sehr selten). Cave: bei allergischen Reaktionen Gefahr eines Stevens-Johnson-Syndroms (einer schweren und möglicherweise lebensbedrohlichen Hautreaktion)					
<b>Wechselwirkungen</b>	Aufhebung der Wirkung von Spurenelementen wie Zink oder Kupfer bei gleichzeitiger Gabe von Dimaval.					
<b>Schwangerschaft, Kindes- und Jugendalter</b>	In der Schwangerschaft Anwendung von Dimaval nur bei vitaler Indikation unter strenger Kontrolle des Mineralstoffwechsels. Für Kinder und Jugendliche liegen keine Dosierungsempfehlungen vor					

<b>KI (Kaliumiodid) p. o.</b>				
<b>wirksam zur</b>	Iodblockade der Schilddrüse			
<b>Handelspräparat</b>	Kaliumiodid „Lannacher“			
<b>Anmerkung</b>	KI in hoher Dosis von etwa dem 1 000-fachen der täglichen Nahrungszufuhr wird üblicherweise präventiv zur Iodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Iod verwendet und für die Bevölkerung vorgehalten (SSK 2019b). Der Blockadeeffekt liegt bei Einnahme kurz vor bzw. nach akuter Radioiodexposition nahe bei 100 %. Aber auch 8 h nach erfolgter Inkorporation kann KI die Aufnahme von noch im Blutkreislauf zirkulierende Radioiod in die Schilddrüse um etwa 50 % hemmen, so dass die Einnahme von KI auch innerhalb der ersten 24 Stunden nach Radioiodexposition zur Inhibition der Aufnahme in die Schilddrüse angeraten ist. Später als 24 Stunden nach akuter Radioiodexposition ist die Iodblockade praktisch wirkungslos.			
<b>Darreichungsform</b>	Oral, 1 Tablette enthält 65 mg Kaliumiodid entsprechende 50 mg Iod. (Bei Tabletten mit anderen Kaliumiodidgehalten bitte die jeweiligen Dosisangaben beachten.)			
<b>Art der Anwendung</b>	In der Regel einmalig oral mit Flüssigkeit auf nicht nüchternen Magen. Zur Verabreichung an Kinder können die Tabletten geteilt und in Flüssigkeit aufgelöst werden.			
<b>Dosierungsschema</b>	Personengruppe	Tabletten à 65 mg KI	Tagesgabe in mg KI	Tagesgabe in mg Iod
	Geburt bis 1 Monat	¼	16,25	12,5
	1 Monat bis 3 Jahre	½	32,5	25
	3 Jahre bis 12 Jahre	1	65	50
	älter als 12 Jahre bis 45 Jahre	2	130	100
	Bei wiederholter oder länger andauernder Radioiodexposition (ggf. nach einem Notfall in einer kerntechnischen Anlage) sind unter Berücksichtigung der konkreten Lage ggf. wiederholte Iodgaben indiziert.			
<b>Gegenanzeigen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Überempfindlichkeit gegenüber Iod (sehr selten, darf nicht mit der häufigen Allergie gegen iodhaltigen Röntgenkontrastmitteln verwechselt werden), schwere Schilddrüsenüberfunktion, Dermatitis herpetiformis Duhring, hypo-komplementämische Vasculitis.</li> <li>– Alter &gt; 45 Jahre (negative Nutzen-/Risikobewertung, Ausnahme: Personen, &gt; 45 Jahre, die großen Mengen von radioaktivem Iod ausgesetzt sind (z. B. während eines Notfalls bzw. unmittelbar danach in einer kerntechnischen Anlage), sollten Iodtabletten unabhängig von dieser Altersgrenze erhalten, um eine Zerstörung von Schilddrüsengewebe zu verhindern.</li> </ul>			
<b>Nebenwirkungen</b>	Reizung der Magenschleimhaut, Auslösung einer Schilddrüsenüberfunktion bei vorerkrankter Schilddrüse (sehr selten thyreotoxische Krise), bei Neugeborenen und Kleinkindern dagegen überwiegt Hemmung der Schilddrüsenfunktion, sehr selten allergische Reaktionen.			
<b>Wechselwirkungen</b>	mit Schilddrüsenhemmstoffen wie Perchlorat oder Thiamazol im Sinne der wechselseitigen Hemmung mit Kaliumiodid			

<b>Schwangerschaft, Kindes- und Jugendalter</b>	Schwangere, das Ungeborene, Stillende, Kinder und Jugendliche reagieren auf Radioiod besonders empfindlich. Eine Iodblockade ist daher unter Beachtung der altersabhängigen Dosierungen absolut indiziert. Dosierung bei Schwangeren wie bei anderen Erwachsenen.
---	---

## 8 Klinische Verläufe der Strahlenschäden und medizinische Maßnahmen

### 8.1 Akute Strahlenschäden

#### 8.1.1 Überblick über Manifestationen, Phasen und die Pathophysiologie des akuten Strahlensyndroms (ARS)

Die Wirkung einer Ganzkörper- oder großvolumigen Teilkörperexposition des menschlichen Organismus durch ionisierende Strahlung mit einer kurzen Expositionszeit ist aus zahlreichen Strahlennotfällen, den Expositionen nach den Nuklearwaffeneinsätzen von Hiroshima und Nagasaki sowie aus den Erfahrungen bei therapeutischer Ganzkörperexposition (z. B. Konditionierungsbehandlung bei Leukämiepatient\*innen zur Vorbereitung einer Stammzelltransplantation) medizinisch gut charakterisiert. Die frühen Folgen einer solchen Strahlenexposition werden unter dem Begriff akutes Strahlensyndrom (akute Strahlenkrankheit, „acute radiation syndrome“, ARS) zusammengefasst. Im Folgenden werden einzelne Manifestationen der Erkrankung beschrieben, die auf jeweils verschiedene Weise diagnostiziert und behandelt werden.

Je höher die Ganzkörperdosis ist, desto mehr Organsysteme werden geschädigt, wobei der Übergang fließend ist (Abb. 8-1). Der hämatologischen Manifestation des ARS (H-ARS) folgt die Beteiligung des gastrointestinalen Systems (G-ARS) und schließlich die zerebrovaskuläre Manifestation (N-ARS). Das ARS ist nicht als Kombination isolierter Organerkrankungen anzusehen, sondern als eine Multiorganerkrankung, die bis zum Multiorganversagen fortschreiten kann und nach dem Schweregrad der Erkrankung des führenden Organsystem klassifiziert wird. Wichtige weitere Manifestationen betreffen die Haut (C-ARS), die Lunge, die Leber und die Niere.

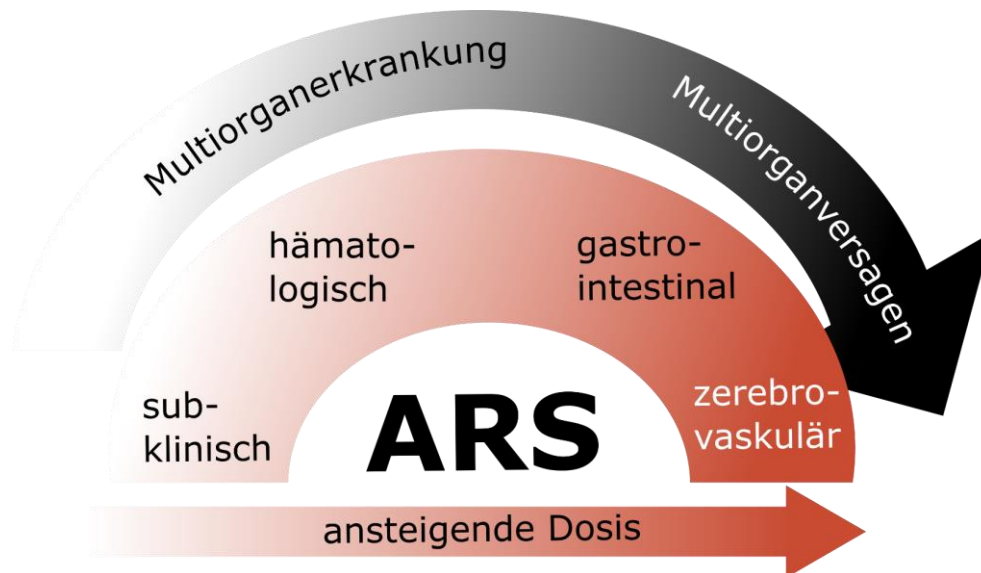


Abb. 8-1: Klassische Manifestationen des ARS und die Entstehung des Multiorganversagens

In Abhängigkeit von der Dosis und dem betroffenen Organsystem können vier verschiedene, klassische, ineinander übergehende Erscheinungsbilder des ARS beobachtet werden (Abb. 8-1), wobei die nachfolgenden aufgeführten Dosisgrenzen nur als grobe Orientierung zu verstehen sind:

- Im Bereich ab ca. 0,5 Gy zeigen sich charakteristische Veränderungen im Blutbild. Als symptomatische hämatopoetische Manifestation entwickeln sie sich üblicherweise erst ab ca. 1 Gy.



- Im Dosisbereich ab ca. 5 Gy entwickelt sich die gastrointestinale Manifestation, welche auf Strahleneffekten an der Magen-Darm-Schleimhaut beruht.
- Bei vergleichbaren (lokalen) Dosen werden Schäden von Haut und Schleimhäuten (Mundhöhle) beobachtet, die als (muko)kutane Manifestation zusammengefasst werden.
- Bei Strahlenexpositionen ab ca. 20 Gy tritt die zerebrovaskuläre Manifestation des ARS auf.



Das akute Strahlensyndrom ist eine Multiorganerkrankung, die nach Ganzkörper- oder großvolumiger Teilkörperexposition ab ca. 1 Gy auftritt.

Das ARS verläuft klassisch in vier Phasen: Prodromalphase, Latenzphase, Manifestationsphase und schließlich Erholungsphase oder Tod (Abb. 8-2). Die Erkrankung erstreckt sich über ca. 60 bis 90 Tage. Das ARS kann nach Fliedner in vier „Response Categories“ (RC) eingeteilt werden (Fliedner et al. 2001) und auf der möglichen Regenerationsfähigkeit der betroffenen Gewebe nach Strahlenexposition beruhen (siehe Abschnitt 8.1.2).

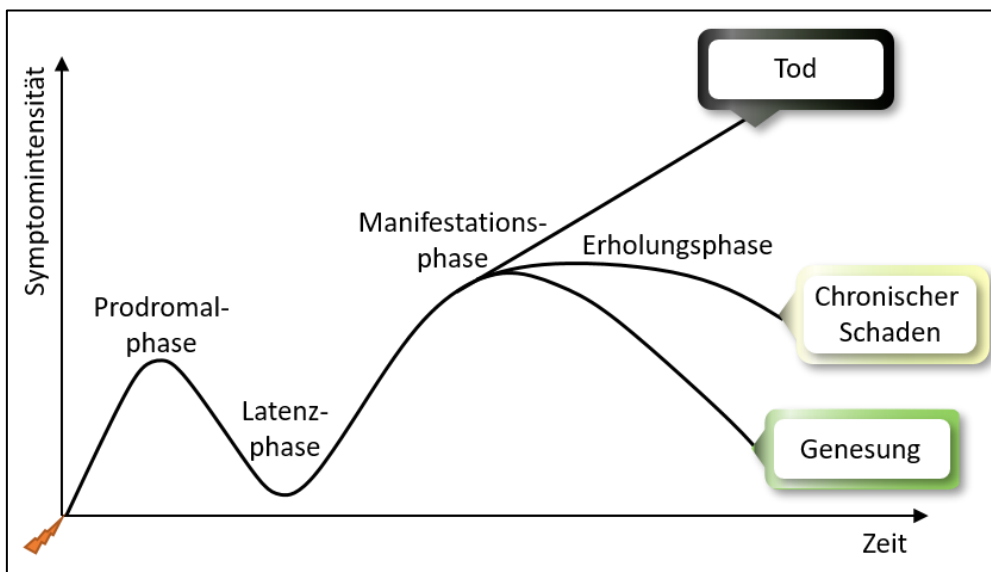


Abb. 8-2: Phasen des ARS

Die Prodromalphase, als erste klinische Erscheinung nach Strahlenexposition, entspricht den ersten 48 Stunden, kann aber auch bis zu sechs Tagen andauern. Sie ist durch unspezifische Frühsymptome, wie Übelkeit, Erbrechen, Diarrhoe, Erythem, Temperaturanstieg, Blutdruckabfall oder neurologische Symptome charakterisiert. Ihr kann eine Erholung mit anschließender symptomverminderter oder symptomloser Latenzphase folgen. Die Dauer der Latenzphase nimmt mit steigenden Dosen ab.

Die Frühsymptome sind als charakteristische Befunde der Prodromalphase des ARS essenziell für die Sichtung der strahlenexponierten Personen, wobei Beginn, Dauer und Häufigkeit des Erbrechens, aber auch Temperaturveränderungen wichtige Informationen für die klinische Graduierung der Schwere des sich entwickelnden ARS darstellen. Da die Symptome jedoch unspezifisch sind, erfordert sowohl die Früh- wie auch die weiterführende Diagnostik einen

integrierten Ansatz aus Anamnese und einer Kombination von klinischer, biologischer und physikalischer Dosimetrie sowie der sogenannten Sequentialdiagnostik (siehe Abschnitt 8.1.3). Eine initiale Sichtung bzw. Arbeitsdiagnose ist bereits innerhalb der ersten drei Tage möglich, für eine sichere Diagnose werden bis zu drei Wochen benötigt.



Frühsymptome sind wertvolle diagnostische Hilfen zum Erkennen des Strahlensyndroms. Verringerung oder Verschwinden der klinischen Zeichen darf nicht mit Heilung gleichgesetzt werden.

Das Stadium der manifesten Erkrankung ist durch eine schwere Immunsuppression charakterisiert. Eine intensive supportive Therapie kann zur Überbrückung (Bridging) erforderlich sein. Wird dieses Stadium überlebt, ist eine Genesung sehr wahrscheinlich, aber in der anschließenden Erholungsphase ist die Gefahr opportunistischer Infektionen erhöht. Ein intensives Monitoring des/der Patient\*in und eine lebenslange Nachsorge sind erforderlich, insbesondere zur frühzeitigen Diagnose stochastischer Strahlenfolgen (z. B. Entstehung maligner Tumore und Leukämie).

Mit Ausnahme des zerebrovaskulären Syndroms ist die Ausbildung des ARS vor allem Folge der Umsatzkinetik der Zellerneuerungssysteme der Epidermis und der Schleimhäute sowie der Blutbildung im Knochenmark und in den lymphatischen Organen. Hierbei spielt insbesondere die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Zellkompartimente eine Rolle. Eine sehr hohe Strahlenempfindlichkeit haben Lymphozyten, deren Zahl im Blutbild somit sehr gut diagnostisch genutzt werden kann. Generell gilt: Differenzierte Zellen (Granulozyten, Erythrozyten und Keratinozyten) haben eine niedrige Strahlensensibilität, während die proliferativen Zellpopulationen und insbesondere die hämatopoetischen Vorläuferzellen relativ strahlenempfindlich sind. Bei einer strahlenbedingten Sterilisation der proliferierenden Zellen kommt es nach Strahleneinwirkung zum Versiegen des Zellnachschiebens in die differenzierten Kompartimente. Dahingegen ist der Zellverlust durch den physiologischen Zellumsatz bedingt und damit über weite Dosisbereiche unabhängig von der Strahlenexposition. Dadurch tritt die Symptomatik erst auf, wenn durch das Ungleichgewicht zwischen Zellproduktion und Zellverlust die Abnahme der differenzierten Funktionszellen manifest wird. Die Latenzzeit ist damit Resultat der physiologischen Umsatzprozesse in den Geweben. Erst bei hohen Dosen, die auch differenzierte Zellen beeinträchtigen, verkürzt sich die Latenz. Wesentlich zum Verständnis der Erkrankung sind u. a. deregulierte Entzündungsprozesse, die schwer zu behandeln sind, aber auch Behandlungspotenziale, die sich durch die Entwicklung neuer Therapeutika bieten.

### 8.1.2 Schweregrade des ARS

Anhand der strahleninduzierten Störungen der o. g. verschiedenen Organsysteme wird die Schwere der Schädigung sowie die Früh- und Langzeitprognose abgeschätzt, und über eine notwendige stationäre Behandlung und geeignete, auch eingreifende therapeutische Maßnahmen entschieden.

Unter der Schirmherrschaft der Europäischen Union wurde 2001 das Manual METREPOL (MEDical TREatment ProtocOLs for Radiation Accident Victims) (Fliedner et al. 2001a) entwickelt, das basierend auf der Pathophysiologie der genannten Organsysteme diagnostische und therapeutische Leitlinien nach akuter akzidenteller Strahlenexposition definiert und eine organbezogene Schweregradeinteilung ermöglicht. Schweregrade werden nach METREPOL als „response categories“ (RC) bezeichnet. Die Schweregrade lassen sich zumeist erst im Verlauf der Krankheit (bis ca. drei Wochen) verlässlich differenzieren. Da die Klassifizierung

auf den klinischen Endpunkt der Regeneration eines spezifischen Organsystems ausgerichtet ist (siehe Abb. 8-6), erfordert dieses System auch eine individuelle Betrachtung der für die Erkrankung führenden Organsysteme.

Nach METREPOL werden die Organsysteme hämatopoetisches System (H), gastrointestinales System (G), kutanes System (C) und zerebrovaskuläres System (N) einzeln klassifiziert und dann gemeinsam eine RC festgelegt nach dem schwersten betroffenen Einzelsystem.

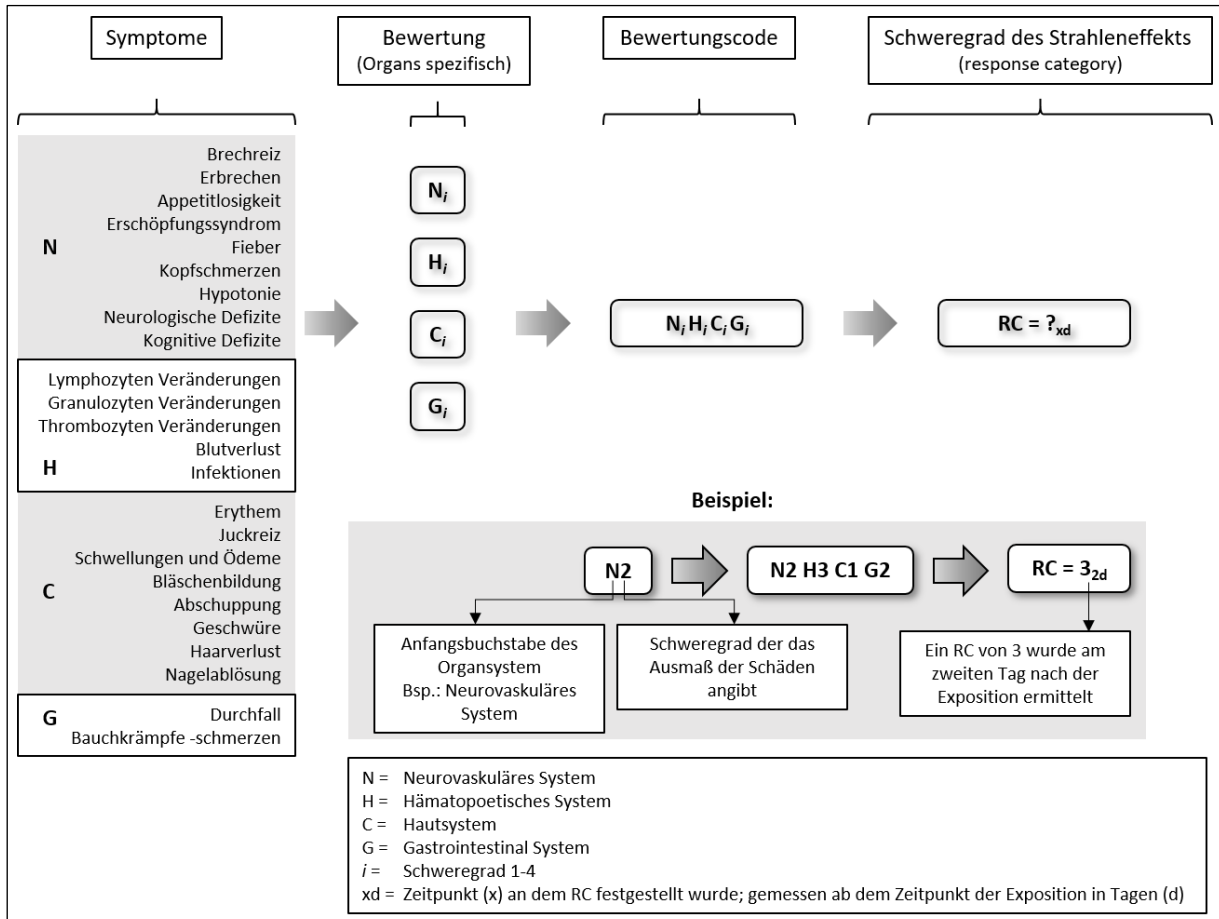


Abb. 8-3: Terminologie des Konzepts der Response Categories (RC) nach METREPOL: vom organspezifischen Grading zum Grading Code und den korrespondierenden RC (Fliedner et al. 2001a).

Jedes der vier für das ARS klassischen Organsysteme wird in die Schweregrade 1 bis 4 kategorisiert. Schweregrad 1 steht für einen milden Schaden, in dem die Wiederherstellung der ursprünglichen Organfunktion sicher ist, Schweregrad 2 für einen moderaten Schaden mit einer wahrscheinlichen Herstellung der Organfunktion, Schweregrad 3 für einen schweren Schaden mit zumindest noch möglicher Wiederherstellung und Grad 4 für einen sehr schweren oder gar irreparablen Strahlenschaden mit einer minimalen Wahrscheinlichkeit für eine Wiederherstellung der Organfunktion (siehe auch Abb. 8-7).

Für die Beispielklassifikation „ $N_2 H_3 C_1 G_2$ “ wäre die Schädigung des hämatologischen Systems (H-ARS Grad 3) führend und würde in die Klassifikation RC3 münden. Der Schweregrad 0 für nicht oder nur geringfügig exponierte Personen ohne Ausbildung eines Strahlensyndroms existiert in der ursprünglichen Klassifizierung nach METREPOL nicht.

### 8.1.3 Die hämatopoetische Manifestation und deren Diagnostik

Die klinisch relevante hämatopoetische Manifestation des ARS erfolgt ab akuten Ganzkörperdosen von ca. 1 Gy (Gammastrahlung oder Röntgenstrahlung mit hoher Photonenenergie). Erste, noch klinisch asymptomatische Veränderungen des Blutbildes sind allerdings bereits ab ca. 0,5 Gy nachweisbar. Beim Vollbild bestehen die wesentlichen klinischen Probleme in der massiven Beeinträchtigung des gesamten Immunsystems, der Blutungsgefahr und bei längerem Verlauf auch Beeinträchtigung des Sauerstofftransports. Bei Infektionen spielen insbesondere atypische Erreger opportunistischer Infektionen eine relevante Rolle. Entscheidend für den klinischen Verlauf und die Prognose dieser Manifestation des ARS ist, ob der im Skelettsystem verteilte hämatopoetische Stammzellspeicher mit seinem hohen Regenerationspotenzial nur reversibel oder irreversibel geschädigt ist. Somit muss geklärt werden, ob die strahlenexponierte Person noch über ausreichend vitale Stammzellen verfügt, die eine autochthone Regeneration der Hämatopoese bewirken können. Auch bei hohen Dosen kann sich die Stammzellfunktion erholen, weil die „Ganzkörperexposition“ in Wirklichkeit inhomogen war, oder die tatsächlich akquirierte Strahlendosis im Knochenmark niedriger war als geschätzt. Zudem weisen spezifische Gruppen von Vorläuferzellen und Stammzellen eine sehr individuelle Sensitivität auf.

Indikatoren für eine Spontanregeneration der Blutbildung sind das Verhalten der Lymphozyten-, Granulozyten- und Thrombozytenzahlen in den ersten 10 bis 20 Tagen nach Strahlenexposition. Der „typische“ Verlauf kann orientierend Abb. 8-4 entnommen werden. Da es sich um durchschnittliche Verläufe handelt, ist für jede/n einzelne/n Patient\*in zusätzlich eine individuelle Abschätzung des Krankheitsverlaufes erforderlich.

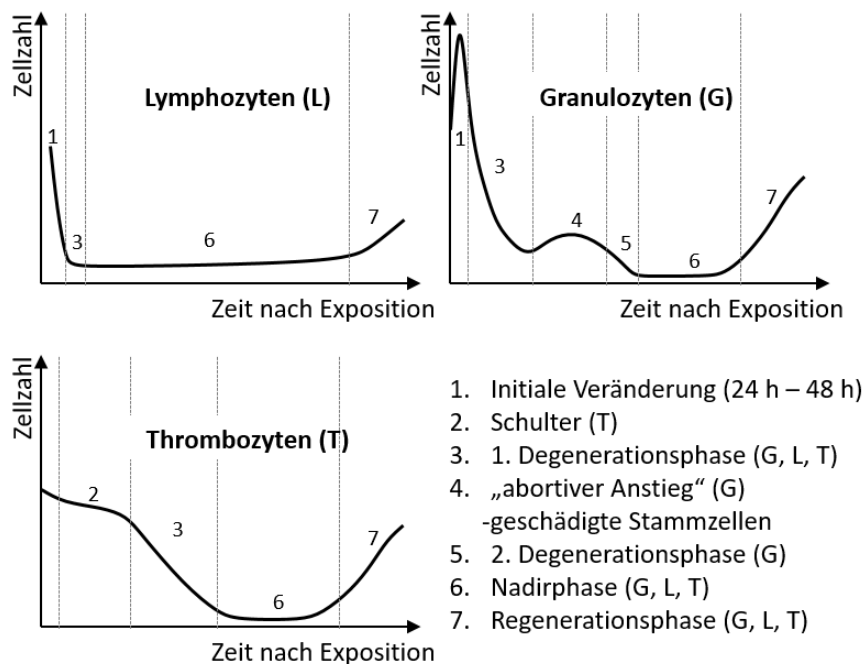


Abb. 8-4: Schematischer Verlauf der Lymphozyten-, Granulozyten- und Thrombozytenwerte im Verlauf des ARS (nach Fliedner et al. 2001a)



Von den Parametern des Differentialblutbildes ist der frühe Lymphozytenabfall die wesentliche diagnostische Information nach Strahlenexposition.

Typische Hinweise auf eine autochthone Regeneration trotz hoher Strahlenexposition sind initiale Granulozytose (Tag 1 bis 2), ein nur moderater Granulozytenabfall (typischerweise nicht unter 200 bis 500 pro  $\mu\text{l}$ ), ein „abortive rise“ (ein verzögerter und vorübergehender Anstieg in der absoluten Anzahl der Granulozyten) und langsamer Abfall der Thrombozyten mit einem Tiefpunkt (Nadir) zwischen Tag 20 und 30.

Zur Sicherung der Diagnose und bei Erwägung einer Stammzelltransplantation wird in der Woche 2 bis 3 nach Strahlenexposition eine Knochenmarksuntersuchung empfohlen. Die Überwachung des/der Patient\*in mit Sequentialdiagnostik (u. a. regelmäßige Blutbildkontrollen) ist erforderlich, um den klinischen Verlauf abzubilden und insbesondere die Entwicklung des hämatologischen Syndroms oder anderer Organschäden zu erfassen. Erst dieses kontinuierliche Monitoring erlaubt ein sicheres Grading und eine optimale Steuerung der Behandlung.



Die hämatologische Manifestation des ARS kann über den typischen Blutbildverlauf gut klassifiziert werden. Neben einer frühen Ersteinschätzung erlaubt die Sequenzialdiagnostik eine sehr präzise Bestimmung der Schweregrade der Erkrankung.

#### Sequentialdiagnostik:

Zur Abschätzung des zu erwartenden Schweregrades des hämatopoetischen Syndroms und Einteilung in die Response Categories H-ARS-RC1 bis RC4 nach METREPOL (Tab. 8-1) muss in der Initialphase (24 Stunden) nach Strahlenexposition möglichst alle vier Stunden (mindestens aber alle acht Stunden) ein komplettes Differentialblutbild bestimmt werden, anschließend zweimal täglich.

Tab. 8-1: Einteilung der hämatologischen Manifestation des ARS in die Schweregrade H1 bis H4 der Response Categories aus METREPOL (vgl. Abschnitt 8.1.2)

H-ARS				
RC	H1	H2	H3	H4
Lymphozytenwerte	$\geq 1,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 1,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 1 - 0,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 0,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$
Granulozytenwerte	$\geq 2 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 2 - 1 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 1 - 0,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 0,5 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$ Oder initiale Granulozytose
Thrombozytenwerte	$\geq 100 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 100 - 50 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 50 - 20 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$	$< 20 \cdot 10^9 \text{ l}^{-1}$
Infektionen	Lokal, keine antibiotische Therapie erforderlich	Lokal, nur lokale Antibiotikatherapie	Systemisch, p. o. antibiotische Behandlung	Sepsis, i. v. Antibiotika erforderlich
Blutverlust	Petechien, leichte Hämatome, normaler Hb	Geringer Blutverlust, $< 10\%$ Abfall Hb	Blutverlust mit $10\% - 20\%$ Abfall Hb	Spontane Blutungen oder Hb-Abfall $> 20\%$

Zeichen der abortiven Regeneration zwischen dem 5. und 15. Tag sind ein wichtiger Hinweis, dass die Schädigung der Hämatopoese reversibel ist (Abb. 8-4). Die „Krise“ stellt sich zwischen dem 15. und 30. Tag nach Strahleneinwirkung ein und geht einher mit der Entwicklung einer Granulozytopenie und Thrombozytopenie mit der Gefahr von bakteriellen Infektionen und thrombozytopenischen Blutungen, begleitet von deutlichem Haarausfall. Die Spontanregeneration der Hämatopoese führt zwischen dem 30. und 35. Tag zu einer Erholung der Granulozyten- und Thrombozytenzahlen im Blut.

#### 8.1.4 Die gastrointestinale Manifestation und deren Diagnostik

Die gastrointestinale Manifestation des ARS resultiert ab akuten Ganzkörperdosen von ca. 5 Gy und wird in die Schweregrade G1 bis G4 eingeteilt. Nach einer Latenzzeit von ca. fünf Tagen treten unspezifische Befunde (Fieber, Tachykardie) und schwerste gastrointestinale Symptome mit Durchfall auf, die im weiteren Verlauf blutig werden, sich bis zum Ileus entwickeln und von abdominalen Krämpfen begleitet werden. Folge ist eine erhebliche Störung des Flüssigkeits- und Elektrolythaushalts. Begünstigt durch die hämatopoetischen Störungen entsteht durch den Verlust der epithelialen Barriere eine Eintrittspforte für Infektionen, häufig durch opportunistische Keime.



Die gastrointestinale Manifestation des ARS tritt etwa ab Ganzkörperdosen von 5 Gy auf. Die Prognose ist ernst.

Das Krankheitsbild der gastrointestinalen Manifestation des ARS beruht auf der Schädigung der intestinalen Schleimhaut. Diese basiert auf der Störung der Zellneubildung in den

Darmkrypten und damit des Zellnachschiebs in die differenzierten Gewebekompartimente. Mikroskopisch imponiert ein massiver Zottenverlust.

Die Ultraschalluntersuchung des Abdomens mit Bestimmung der Dicke der intestinalen Schleimhaut sowie mikrobielle Stuhlkulturen gehören zur klinischen Basisdiagnostik. Weitergehende Untersuchungen wie Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) sind dem Stand der Technik folgend durchzuführen. Die Prognose der Schweregrade 3 bis 4 ist – auch bei optimaler Therapie – ernst.

#### 8.1.5 Die zerebrovaskuläre Manifestation und deren Diagnostik

Die zerebrovaskuläre Manifestation des ARS (in den Schweregraden N1 bis N4) ist ebenfalls dosisabhängig. Bei niedrigen Dosen wird das Brechzentrum aktiviert. Bei höheren Dosen versagen dann zunehmend zentralnervöse Regulationsmechanismen, die sich neben den Beeinflussungen des Gastrointestinalsystems auch auf Temperaturregulation, Herz-Kreislaufsystem oder Atmung auswirken können.

Die initiale Symptomatik umfasst Übelkeit, Erbrechen und Appetitlosigkeit. Bei steigender Strahlendosis tritt Fatigue (Ermüdung) hinzu. Zunehmende Fatiguesymptomatik ist Hinweis auf die Verschlimmerung des zerebrovaskulären Syndroms. Auch Diarrhoe in dieser Phase ist Ausdruck einer zentralen Schädigung. Die Gefäßstörungen bedingen Kopfschmerzen, Hypotension und Verwirrtheit. Sensomotorische Störungen manifestieren sich in Ataxie und Bewusstseinsverlust.

Das akute Auftreten von Übelkeit ist in allen Phasen des zerebrovaskulären Syndroms zu beobachten, wobei die Schwere mit zunehmender Dosis zunimmt. Nach hohen Dosen (> 10 Gy) ist der Brechreflex unterdrückt und wird überlagert durch eine allgemeine Unterdrückung zentralnervöser Funktionen. Führend ist die zerebrale Manifestation bei Dosen über 20 Gy. Eine gesonderte Prodromalphase oder eine Latenzzeit sind dann nicht mehr erkennbar.

Kurative therapeutische Ansätze existieren nicht; leichtere Formen der Schweregrade N1 bis N2 bilden sich meist spontan zurück. Symptomatische Therapien gegen die Übelkeit, Schmerzen oder Diarrhoe sollten großzügig und insbesondere bei der Übelkeit auch vorbeugend eingesetzt werden.



Eine ausgeprägte zerebrovaskuläre Manifestation (N4) ist derzeit nicht kurativ behandelbar. Bei Ganzkörperdosen über 20 Gy ist eine frühpalliative Versorgung indiziert.

Neben der genauen Erfassung der Symptomatik dienen im klinischen Bereich die Ableitung des Elektroenzephalogramm (EEG) und die Anfertigung eines Schädel-CT oder -MRT zur Quantifizierung der ZNS-Schädigung (Zentrales Nervensystem) bzw. zur Erfassung eines Hirnödems.

Das Auftreten von schwerer Übelkeit und Erbrechen, schweren Kopfschmerzen, Somnolenz, Fieber und Hypotension und die vollständige Ausprägung des zerebrovaskulären Syndroms bei Dosen > 20 Gy weisen auf eine infauste Prognose hin.

#### 8.1.6 Lokale Strahlenschäden und die kutane Manifestation der akuten Strahlenkrankheit sowie deren Diagnostik

Lokale Strahlenschäden sind die häufigste Folge radiologischer Arbeitsunfälle weltweit (IAEA 2020c). International werden sie als LRI, „local radiation injury“ bezeichnet. Neben der Haut

sind insbesondere bei externer Strahlenexposition durch Gammastrahler das Bindegewebe, aber auch tiefer liegende Strukturen, u. a. Knochen und Muskeln betroffen (Iddins et al. 2022b). Erfahrungen mit diesem Krankheitsbild beruhen auch auf akzidentellen Überdosierungen bei Strahlentherapiepatient\*innen, wobei dieses Szenario nicht Teil dieses Handbuchs ist. Ein ARS ist selbst bei Schädigungen durch Dosen in deutlich zweistelligem Graybereich nicht zu erwarten, außer wenn ein größeres Körpervolumen exponiert wurde. LRI ähneln thermischen oder elektrischen Verbrennungen und können mit diesen auch initial leicht verwechselt werden. Allerdings sind aufgrund der Eindringtiefe insbesondere bei Gammastrahlern die Schädigungen des tiefen Gewebes (wie z. B. Muskeln, Knochen) von großer Bedeutung.



Lokale Strahlenschäden der Haut und des darunterliegenden Gewebes sind die häufigsten Unfallfolgen im Umgang mit ionisierender Strahlung.

Das kutane Strahlensyndrom hingegen ist ein Teilsyndrom des ARS, das nach Ganzkörperexposition oder einer großflächigen Strahlenexposition der Haut mit hohen Strahlendosen auftritt und vom lokalen Strahlenschaden abzugrenzen ist.

Zur Sicherung der Diagnose und zur Abschätzung des Schweregrades der LRI und des kutanen Syndroms ist eine wiederholte Farbfotodokumentation erforderlich. Bildgebende Untersuchungen wie Sonographie und Thermographie liefern weitere Hinweise für das klinische Vorgehen (Iddins et al. 2022b).

Beide kutanen Manifestationen zeigen sich durch charakteristische Reaktionen der Haut auf ionisierende Strahlung.

Je nach Größe der bestrahlten Hautoberfläche, umschrieben oder auch großflächig, treten nach Strahlenexposition Hautreaktionen auf, deren lokaler Schweregrad und das zeitliche Auftreten u. a. von der Höhe der Hautdosis, der Art der Strahlung und der Dosisleistung bestimmt werden. Dabei ist zu bedenken, dass gerade an der Haut, z. B. durch Kontamination mit Betastrahlung emittierenden Radionukliden, sehr hohe lokale Dosen entstehen können. Diese müssen in Folge der Dosisverteilung nicht zu systemischen (gastrointestinalen, hämatopoetischen) Effekten führen. Die Beeinträchtigung des Betroffenen hängt dabei sowohl von der Stärke der lokalen Reaktion als auch von der Größe der betroffenen Hautoberfläche ab.

Bei sehr hohen Dosen können bereits innerhalb von Stunden nach Strahlenexposition sichtbare akute Hautläsionen (Erythem, Ödem, Blasen, Desquamation) auftreten, bei moderaten Dosen sind diese akuten Veränderungen erst ab fünf Tagen bis acht Wochen nach Strahlenexposition zu erwarten. Spätschäden benötigen zur vollen Entwicklung Monate bis Jahre.



Symptome an der Haut zeigen sich bei lokalen Strahlenschäden oft erst nach Tagen oder Wochen. Wenn erste Zeichen schon nach wenigen Stunden auftreten, deutet dies auf eine hohe Dosisbelastung hin.

Die Pathophysiologie des kutanen Syndroms und der LRI ist komplex und in vielen Aspekten nicht gänzlich verstanden. Sie beinhaltet zytokinvermittelte antiproliferative und lokale wie systemische Entzündungsreaktionen sowie Schäden der Mikrozirkulation. Der Verlauf der Erkrankung ist ebenfalls sehr komplex, selbst nach vermeintlicher Heilung nach akuter Reaktion können progrediente Spätschäden sehr lange Zeit nach Strahlenexposition auftreten.



Zeitlich lassen sich verschiedene Reaktionsphasen abgrenzen: Gefäßreaktionen können zunächst zu erythematösen Veränderungen und Ödemen führen. Dabei kann ein Früherythem (Primärerithem) innerhalb weniger Stunden nach der Strahlenexposition eintreten. Das Haupterythem zeigt sich in der Regel nach einigen Tagen. Eine Phase der trockenen Schuppung wird gefolgt von Blasenbildung/feuchter Desquamation, die nach einer Latenzzeit von ca. zwei Wochen abheilt oder aber in Ulzerationen bis hin zu tiefen Nekrosen münden kann.

Die Höhe der Dosis, die Dosisleistung und die Art und Qualität der Strahlung beeinflussen hierbei vor allem die lokale Ausprägung, teilweise auch den zeitlichen Verlauf des Schadens. Bei niedrigen und moderaten Dosen wird im Wesentlichen die epidermale Regenerationsfähigkeit beeinträchtigt. Diese oft nur vorübergehenden Effekte führen zu protrahierten Reaktionen von klinisch geringerem Schweregrad mit der Chance einer weitgehenden Restitution. Höhere Dosen, die auch differenzierte Zellen abtöten können, führen zu einem schnelleren Zellverlust, damit zu kürzeren Latenzzeiten und zu einer stärkeren Gewebszerstörung. Kurzfristige Blasenbildung und sehr frühe bläuliche Verfärbung der Haut kann daher z. B. als Hinweis auf die Entstehung von akuten Nekrosen bei sehr hohen Dosen gelten.

Die Pathogenese ist vielfältig und abhängig von der Art der betroffenen Zellpopulation. Bei der Nekrose durch hohe Strahlendosen sind alle dermalen Gewebe betroffen. Bei moderaten Strahlendosen steht klinisch zunächst die Epithelreaktion im Vordergrund. Prinzipiell entspricht sie derjenigen des gastrointestinalen Syndroms, mit einer Beeinträchtigung der Zellneubildung bei fortbestehendem Zellverlust. Gefäßschäden sind im akuten und im chronischen Stadium der Strahlenreaktion relevant. Zudem sind Strahleneffekte an den Adnexen der Haut zu beachten: So führen Strahleneffekte an den Haarfollikeln ab 3 Gy bis 5 Gy nach ca. drei Wochen (kürzer bei höheren Dosen) zur Epilation. Diese kann – dosisabhängig – irreversibel (ab ca. 10 Gy) oder reversibel sein, wobei nachwachsende Haare häufig Pigmentveränderungen zeigen. Wichtig vor allem für die Spätfolgen der Schädigung ist, dass die Strahlensensibilität von Schweiß- und Talgdrüsen sehr hoch ist; die irreversible Schädigung führt zu einer Austrocknung der Haut und zum Verlust der Transpiration.

Nach der METREPOL-Graduierung (siehe Abschnitt 8.1.2) können kutane Strahlenreaktionen in vier Schweregrade (C1 bis C4) eingeteilt werden. Diese Einteilung entspricht nicht der klinisch üblichen Schweregrad-Einteilung von Strahlenfolgen, wie sie z. B. in der Radiotherapie oder der Toxizitätsbeurteilung für klinische Radiotherapiestudien verwendet wird. Bei jener werden frühe und späte Strahlenreaktionen unterschieden, und das Ausmaß der betroffenen Körperoberfläche spielt eine eher untergeordnete Rolle. Die Graduierung nach METREPOL dagegen bezieht dies mit ein und schafft zudem eine Verbindung zur Heilungschance und zur Notwendigkeit einer stationären Behandlung.

- Hautreaktion C1

Charakterisiert eine geringe Schädigung mit sicherer Erholung. Der zeitliche Verlauf ist protrahiert (z. B.: flüchtiges Früherythem, nach ca. fünf Tagen Sekundärerithem, nach 20 bis 30 symptomfreien Tagen Auftreten von milden Veränderungen (z. B. Epilation, trockene Epitheliolyse); Abheilung mit zarter Haut und geringer Pigmentstörung. Eine ambulante Behandlung bzw. Überwachung ist ausreichend.

- Hautreaktion C2

Charakterisiert eine moderate Schädigung einer kleineren Hautregion mit wahrscheinlicher Erholung. Der zeitliche Verlauf ist protrahiert, die Reaktionen sind aber stärker ausgeprägt als bei C1, z. B. deutliches Früherythem und Sekundärerithem mit leichtem Hautödem und ggf. Blasenbildung fünf bis zehn Tage nach Strahlenexposition. Feuchte Epitheliolyse, Epilation. Die betroffene Region umfasst nicht mehr als 10 % der Körperoberfläche und einzelne Flächen

sind nicht größer als 10 cm<sup>2</sup>. Abheilung wie oben, etwas stärkere Pigmentstörung. Eine ambulante Behandlung ist ausreichend, erfordert regelhaft medikamentöse Therapie, z. B. Kortikoid-Salben.

– Hautreaktion C3

Charakterisiert die schwere Schädigung einer größeren Wundfläche, eine Erholung mit Defizit ist wahrscheinlich möglich. Der zeitliche Verlauf ist ebenfalls noch protrahiert, jedoch rascher und mit stärkeren Reaktionen als bei C2. So zeigen sich z. B. fokale und konfluente Reaktionen in bis zu 40 % der Hautoberfläche. Kräftiges Sekundärerithem mit massivem Ödem und trockener Epitheliolyse. Blasenbildung ca. fünf Tage nach Strahlenexposition bis hin zu feuchter Epitheliolyse und Ulzeration/Nekrose. Längerfristig entstehen im Rahmen der Defektheilung irreparable Schäden am Kapillarsystem des Korioms (Lederhaut) sowie am Talgdrüsen- und Haarbalgapparat. Pigmentierung und Übergang in das Radiumderm, mit den klinischen Zeichen Atrophie (Gewebschwund), Hyper- und Depigmentierung (Pigmentstörung), Fibrose (Bindegewebsvermehrung) und Teleangiektasie (Gefäßerweiterung). Eine stationäre Behandlung ist angebracht, möglicherweise sind ein Debridement und eine systemische Medikamentengabe erforderlich.

– Hautreaktion C4

Charakterisiert eine kritische, möglicherweise fatale Schädigung einer sehr großen und tiefen Wundfläche. Bezüglich des Lokalbefundes ist eine Erholung unmöglich oder mit schweren Einschränkungen verbunden. Es liegen konfluente Reaktionen in mehr als 40 % der Hautoberfläche mit Beteiligung tieferliegender Strukturen vor. Zunächst kann ein ausgeprägtes Früherithem mit üblicherweise direktem Übergang in das Sekundärerithem bestehen. Dies geht einher mit ausgeprägtem Ödem, Blasenbildung sowie starken Schmerzen. Akute Nekrosen manifestieren sich etwa nach 10 bis 14 Tagen, erfordern ggf. eine chirurgische Behandlung und können zu Multi-Organversagen führen. Hier spielt die Interaktion mit anderen evtl. bestehenden Manifestationen des ARS eine prognostisch wesentliche Rolle. Eine Heilung ist nur nach spezieller stationärer Behandlung möglich. Schwere Einschränkungen bestehen dann durch Fibrosen mit Alopezie und Pigmentstörungen. Es besteht das Risiko einer erhöhten Sensitivität gegenüber Sekundärtraumata, subkutaner Sklerose und Keratose.

### 8.1.7 Kombinationsschäden

Strahleneffekte können als Kombinationsschäden nach mechanischem oder thermischem Trauma oder nach begleitender chemischer Exposition auftreten. Im Falle der Nuklearwaffeneinsätze von Hiroshima und Nagasaki (Japan) verstarben rund 60 % der Betroffenen an den mechanischen Verletzungen, etwa 30 % an Verbrennungen und 10 % bis 20 % an den isolierten Folgen der Strahlenkrankheit. Für diese Szenarien ist eine gemeinsame Betrachtung der Erkrankungen unerlässlich. Noch mehr als bei den Strahlensyndromen ist bei Kombinationsschäden eine interdisziplinäre Vorgehensweise erforderlich.

Lebenserhaltende Maßnahmen sind unverzüglich durchzuführen. Die Evaluation eines möglichen Strahleneffektes oder eine Dekontamination des/der Patient\*in darf dabei die Therapie eines akut lebensbedrohlichen Zustandes weder verzögern noch beeinträchtigen.

Aufgrund der Zytopenie, der Immunschwäche und der Störungen der Mikrozirkulation nach Strahlennotfällen sind chirurgische Versorgungungen sehr früh durchzuführen, elektive<sup>18</sup> Maßnahmen müssen bis zur Ausheilung des ARS verschoben werden.

## 8.2 Chronische Strahlenschäden

Chronische Strahlenschäden sind am besten für den Bereich der Haut und des muskuloskeletalen Systems beschrieben, können aber prinzipiell in allen Organsystemen auftreten. Klassische Manifestationen sind Radiodermatitis oder Radioderm, Strahlenfibrose der Lunge oder die Strahlenkatarakt. Höhere, auch nur rein lokale, Strahlendosen erfordern eine intensive Nachsorge. Die Notwendigkeit der Behandlung wird im Verlauf der Erkrankung festgestellt und ist nicht Gegenstand dieses auf die Frühphase der Versorgung ausgelegten Handbuchs.

## 8.3 Frühdiagnostik: Klinische Dosimetrie und initiale Abschätzung der Prognose

Das klinische Management des ARS setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen (Abb. 8-5). In der Sichtung- oder Triagephase (erforderlich bei Massenansturm) ist eine klinische Verdachtsdiagnose zu stellen, die bereits Implikationen für das organisatorische und therapeutische Vorgehen beinhaltet. In der eigentlichen diagnostischen Phase werden umfassende klinische Daten zu einer Diagnose vereint und die RC festgelegt (siehe Abschnitt 8.1.2). In diese Phase fällt insbesondere die „Sequentialdiagnostik“, in der wiederkehrend klinische Daten, vor allem Differentialblutbilder, erhoben werden, um den Verlauf möglichst detailliert abzubilden.

Die Messung oder Abschätzung der Strahlendosis dient dazu, den klinischen Verlauf eines/einer Patient\*in vorherzusagen. Neben der klassischen physikalischen Messung stehen auch Abschätzungsverfahren, z. B. über den Aufenthalt einer/eines Patient\*in während einer Strahlenexposition oder durch Rekonstruktion eines Unfallgeschehens zur Verfügung. Verfahren der Biodosimetrie und der retrospektiven physikalischen Dosimetrie erlauben auch das präzise Abschätzen einer Dosis oder eines Strahlenschadens nach einem abgelaufenen Unfallereignis, nähere Angaben dazu finden sich auch im Kapitel 11.

Primäres Ziel der klinischen Dosimetrie sind nicht die Messung oder Rekonstruktion der Strahlendosis, sondern die prognostische Abschätzung des Strahleneffektes und die Ermittlung des Schweregrades des ARS. Sie dient zur Unterstützung des Behandlungsteams.

Wichtige initiale Fragestellungen für das medizinische Management von Strahlennotfällen sind:

1. Kann eine klinisch relevante Strahlenexposition mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden (prognostiziert wird RC0; besorgte Person)?
2. Ist eine primäre ambulante Versorgung von exponierten Personen gerechtfertigt (prognostiziert wird RC1)?
3. Ist eine medizinische Intervention, insbesondere stationär, in der Frühphase erforderlich (prognostiziert wird RC2 bis RC4)?
4. Ist eine Akutintervention erforderlich und werden intensive stationäre Behandlungskapazitäten benötigt (prognostiziert wird RC3 bis RC4)?

---

<sup>18</sup> Elektive medizinische Maßnahmen sind diejenigen, die aufgeschoben werden können, also nicht sofort durchgeführt werden müssen. Daher ist es möglich abzuwarten, bis das akute Strahlensyndrom in eine stabile Phase der Regeneration übergegangen ist.

Diese Prognosen können mit Dosismessungen, Dosisabschätzungen, mit klinischer Dosimetrie und Laboruntersuchungen erstellt werden.

Die klinische Dosimetrie beruht auf der Anamnese, den Symptomen und Laborparametern inklusive der Bildgebung. Der Übergang von der klinischen zur biologischen Dosimetrie mit u. a. dizentrischer Chromosomenanalyse ist fließend.

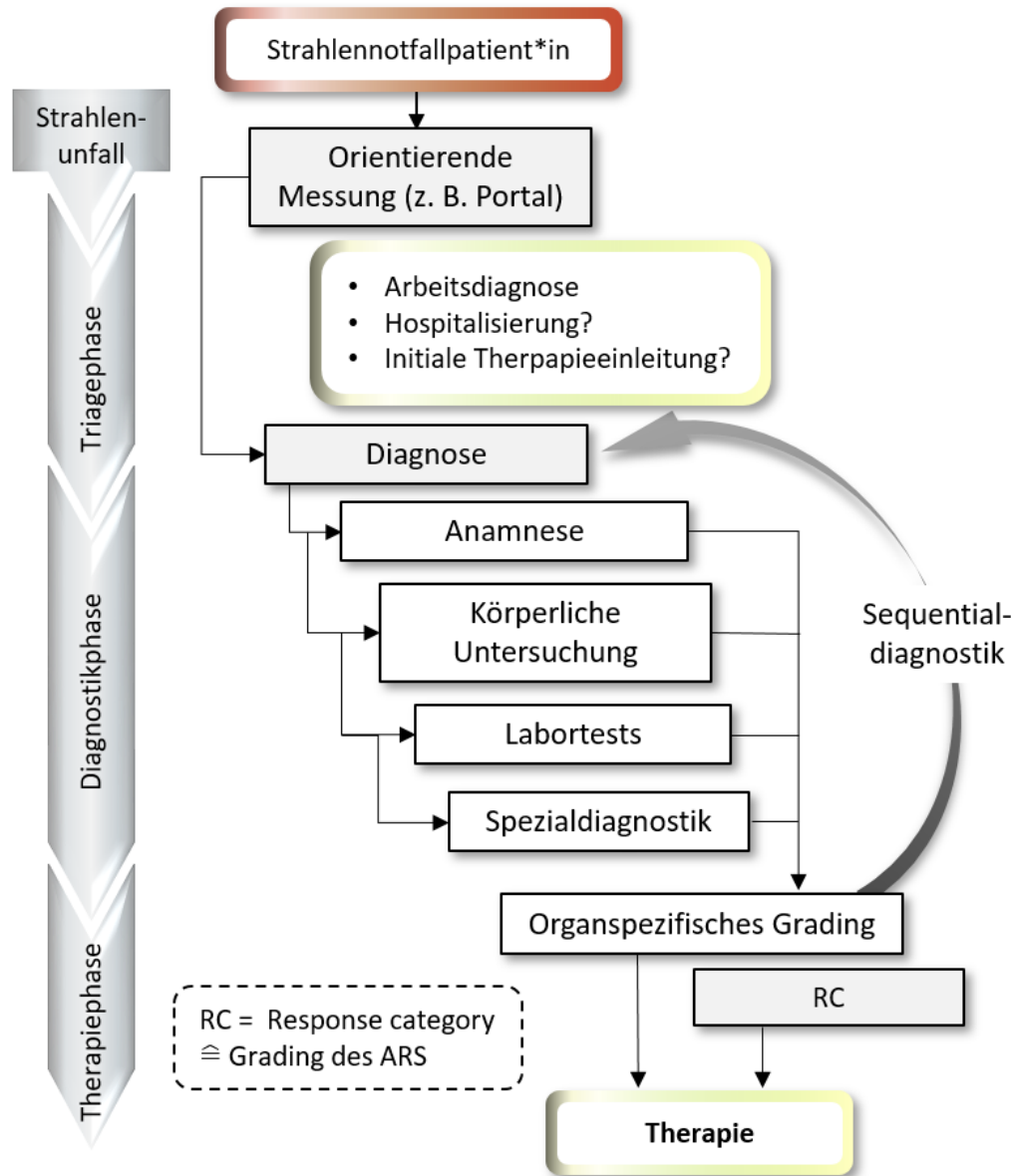


Abb. 8-5: Management des ARS

Die frühe Diagnostik (während der ersten beiden Tage) ist unerlässlich zur Steuerung des Patientenflusses und zur zeitgerechten Einleitung moderner Therapieverfahren wie der Zytokintherapie.



Frühe orientierende Diagnostik verbessert durch sehr schnelle Therapieeinleitung die Prognose und dient der Steuerung des Patientenflusses.

Prodromalsyndrome und Routinelaborparameter, wie Differentialblutbild, aber auch Entzündungsparameter sowie komplexere Methoden der biologischen Dosimetrie können in den ersten Tagen nach Strahlenexposition für eine vorläufige Diagnose herangezogen werden (Tab. 8-1).

Einige spezielle Untersuchungen sind insbesondere bei hoher Strahlenexposition sehr früh erforderlich, beispielsweise fachgerechte Blutentnahmen für die Zytogenetik-basierte Dosimetrie oder die Typisierung für eine ggf. erforderliche Stammzelltransplantation.

Prodromalsymptome nach Strahlenexposition				
Erbrechen, Beginn	> 2 h	1 h - 2 h	< 1 h	< 30 min
Erbrechen, Dauer	< 24 h		24 h – 48 h	> 48 h
Diarrhoe, Beginn		3 h – 8 h	1 h – 3 h	< 1 h
Diarrhoe, Frequenz	1 x – 3 x	3 x – 5 x	> 5 x	
Temperatur, Höhe		38 °C - 39 °C	39 °C – 40 °C	> 40 °C
Erhöhte Temperatur, Beginn	> 3 h	1 – 3 h	< 1 h	
Empfehlung Hospitalisation	Nein	Ja	Ja	Ja
Prognose (Abschätzung)	Gut	Moderat	Kritisch	Infaust
Prognostizierter ARS-Grad	RC1	RC2 – RC3	RC2 – RC3	RC3 – RC4
Prognose (Abschätzung)	< 1 Gy	1 Gy – 4 Gy	1 Gy – 4 Gy	> 8 Gy

Tab. 8-2: Prodromalsymptome „Hospitalisationsempfehlung und Abschätzung der Prognose (basierend auf u. a. (Fliedner et al. 2001b) – modifiziert nach (Port et al. 2017))

Ähnliche Tabellen und Klassifikationen sowie Therapiehinweise finden sich sowohl im TMT-Handbuch (Rojas-Palma et al. 2009) wie auch in einem Kurzleitfaden des „Nuclear Accident Committee“ der europäischen Stammzelltransplantationsgesellschaft (EBMT<sup>19</sup>).

Neue IT-basierte Werkzeuge (H-Modul des Institutes für Radiobiologie der Bundeswehr (Port und Abend 2018) oder Biodosimetry Assessment Tool (BAT) und das Windows™ basierte „first-responders radiological assessment triage program“ (WinFrat, Blakely et al. 2021) des Armed Forces Radiobiological Research Institute, USA) können mit hoher Sensitivität und Spezifität mittels früher Eingangsparameter (Prodromalsyndrome und Differentialblutbilder der Tage 1 bis 3) eine klinische Frühdiagnostik ermöglichen (Port et al. 2017, Port et al. 2021):

1. Abschätzung des Schweregrades des ARS nach RC,
2. Empfehlung zu geeigneter Versorgungsstruktur,
3. Empfehlung zu therapeutischen Maßnahmen.

Die Werkzeuge sind über die Autoren<sup>20</sup> oder bei Teilnahme am Workshop „Software tools for Triage of the Acute Radiation Syndrome“ (StTARS) des Instituts für Radiobiologie der Bundeswehr (InstRadBioBw) erhältlich. Das H-Modul kann zudem sowohl über den Google Play Store<sup>21</sup> als auch über den Apple App Store<sup>22</sup> kostenfrei geladen werden.

<sup>19</sup> <https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

<sup>20</sup> [InstitutfuerRadiobiologie@bundeswehr.org](mailto:InstitutfuerRadiobiologie@bundeswehr.org); [william.blakely@usuhs.edu](mailto:william.blakely@usuhs.edu)

<sup>21</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=bir.app.hmodule>

<sup>22</sup> <https://apps.apple.com/de/app/h-module/id1572867850>



Abb. 8-6: H-Module im Google Play Store (links) und im Apple App Store (rechts).

Bei einer größeren Anzahl von Strahlennotfallpatient\*innen ist es zunächst erforderlich, die zur Verfügung stehende Kapazität an Krankenhausbetten für Personen freizuhalten, bei denen mit einem ARS (RC2-4) gerechnet werden muss. Die Patient\*innen der RC0 und RC1 können zunächst in ambulante Betreuung entlassen werden. Auch ihnen kann empfohlen werden, sich zur diagnostischen Abklärung und Dokumentation der Befunde vorübergehend in stationäre Beobachtung zu begeben, sofern die Anzahl von Strahlennotfallpatient\*innen entsprechend gering ist.

Bei den LRI (local radiation injury, siehe Abschnitt 8.1.6) sind neben einer wiederholten Farbbilddokumentation auch – je nach betroffenen Organen – weitere bildgebende Verfahren nötig, wie Sonographie, Dopplersonographie, CT und MRT, ferner eher klinisch seltener angewandte Verfahren wie die Thermographie. Bei hohen Dosen ist die frühe Bestimmung der Dosisverteilung im Gewebe zur Steuerung chirurgischer Maßnahmen zwingend erforderlich, auch mittels Simulation.

## 8.4 Therapieprinzipien

### 8.4.1 Allgemeine Maßnahmen, supportive Therapie

Entscheidende Fortschritte in der Therapie des ARS beruhen auf einer „State of the Art“ durchgeführten supportiven Therapie inklusive Flüssigkeits- und Elektrolytsubstitution, antimikrobieller Therapie und Prophylaxe, Transfusionstherapie und parenteraler Ernährung. Die einzelnen Therapiebausteine müssen entsprechend der aktuellen Empfehlungen der Fachgesellschaften für vergleichbare Krankheitssyndrome angewendet werden. Beispielhaft seien Leitlinien zur Behandlung von Intensivpatient\*innen, immunsupprimierten Patient\*innen, Behandlung von Brandverletzten oder zur Transfusionstherapie genannt. Im Folgenden werden neben spezifischeren Empfehlungen auch Auszüge solcher Therapieansätze dargestellt.

Generell können Patient\*innen, die lediglich ein ARS RC1 nach METREPOL entwickeln, ambulant versorgt werden. Ab RC2 ist eine stationäre Aufnahme angezeigt, die Versorgung von RC3- und RC4-Patient\*innen sollte in Kliniken mit umfangreicher Erfahrung in der Intensivtherapie auch von Immunsupprimierten oder in der Verbrennungstherapie erfolgen, wie in der Abb. 8-7 am Beispiel der hämatologischen Manifestation des ARS gezeigt. Auf die angemessene Gabe von Antiemetika, Schmerzmedikation, Anxiolytika oder Sedativa ist zu achten.

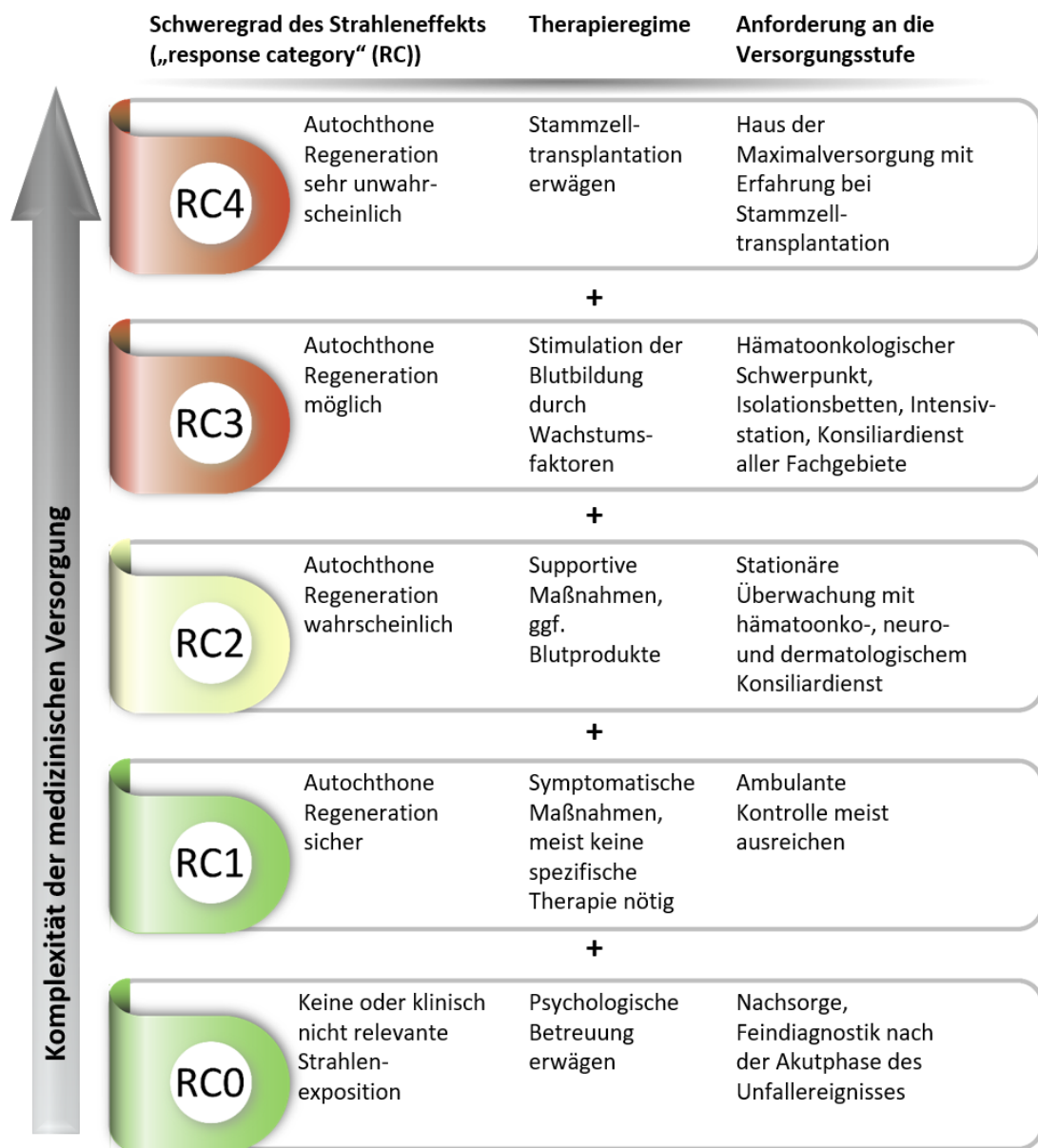


Abb. 8-7: Versorgungsstufenabhängige Therapie der hämatologischen Form des ARS in Abhängigkeit von „Response Categories“ (RC-H) adaptiert nach METREPOL. In den Therapieregimen ist zu beachten, dass die Maßnahmen aller niedrigeren Schweregrade immer zusätzlich zur RC-H-spezifischen Therapie durchzuführen sind (symbolisiert durch „+“). RC0 nicht in METREPOL enthalten, entspricht der Gruppe der nicht oder nicht relevant exponierten Personen (worried well).

#### 8.4.2 Behandlung der hämatopoetischen Manifestation

Die Therapieprinzipien des hämatopoetischen Syndroms zielen auf die Wiederherstellung der Organfunktion und die Überbrückung (Bridging) der Funktionseinschränkungen. Im Fokus steht dabei die Therapie der Immunsuppression, der Blutungsgefahr und der Aufrechterhaltung eines angemessenen Sauerstofftransportes. Eine Standardtherapie bei Strahlenschäden im Sinne einer Leitlinie konnte bisher nicht etabliert werden. Im Jahr 2011 wurden unter Leitung der WHO zwei Publikationen veröffentlicht, die das Wissen und die Therapieprinzipien für die hämatopoetische Manifestation zu diesem Zeitpunkt beschrieben, es folgten weitere Reviews (Dainiak et al. 2011a, 2011b, Dainiak 2018, Singh et al. 2015).

Neuere Daten belegen, dass eine unmittelbare Gabe von Zytokinen (G-CSF, GM-CSF) bei zu erwartendem ARS die Prognose verbessert. Sie sollten innerhalb der ersten beiden Tage nach Strahlenexposition verabreicht und bei Patient\*innen eingesetzt werden, die ein H-ARS RC2 oder höher ausbilden. Entsprechend frühzeitig muss die Diagnostik erfolgen; eine Gabe von Thrombopoetin-Rezeptor-Agonisten sollte erwogen werden (Singh und Seed 2021).

Patient\*innen mit einer längeren Neutropeniephase ( $< 0,5$  Granulozyten pro  $\mu\text{l}$ ) haben ein erhöhtes Risiko für opportunistische und nosokomiale Infektionen. Prophylaktische Antibiose ist empfohlen und orientiert sich an immunsupprimierten Patient\*innen nach Chemotherapie oder vor Stammzelltherapie<sup>23</sup>. Zusätzlich sollten antivirale Prophylaxen (siehe Virusinfektionen bei Organ- und allogenen Stammzell-Transplantierten: Diagnostik, Prävention und Therapie<sup>24</sup>) in Betracht gezogen werden. Eine Umkehrisolation (protektive Isolierung des/der Patient\*in) ist anzustreben.

Transfusionen mit bestrahlten Blutprodukten (Thrombozyten/Erythrozyten) sind bei bestehender Zytopenie indiziert.

Eine Stammzelltransplantation stellt keine Notfallindikation dar; sie ist indiziert bei einer prolongierten (14 bis 21 Tage) Aplasie des Knochenmarks trotz Zytokingabe. Voraussetzung ist, dass das Fehlen einer residuellen Hämatopoese durch Knochenmarksbiopsie (H-ARS-RC4) nachgewiesen ist. Des Weiteren müssen bestehende Infektionen therapiert und unter Kontrolle sein und es darf kein sonstiger irreversibler Organschaden vorliegen. Als Transplantate kommen Knochenmark, periphere Stammzellen oder Nabelschnurblut in Frage.



Die hämatologische Form des ARS kann mit Zytokinen und supportiven Maßnahmen wie Transfusionen, Virostatika oder Antibiotikagaben sehr gut therapiert werden. Als weitere Therapie steht für ausgewählte Patient\*innen die Stammzelltransplantation zur Verfügung.

#### 8.4.3 Behandlung der gastrointestinalen Manifestation

Therapiefortschritte zur Überbrückung der gastrointestinalen Manifestation sind nach wie vor sehr limitiert.

Es wird empfohlen, eine weitgehend an das Individuum und die lokale Antibiotikaresistenz angepasste prophylaktische Antibiose durchzuführen. Diese sollte mit erfahrenen klinischen Mikrobiologen vor Ort abgestimmt werden.

Die Abdeckung der Antibiose sollte breit gegen gramnegative wie grampositive Erreger gerichtet sein und auch eine Pilzprophylaxe beinhalten.

Eine Darmdekontamination sollte nur in Einzelfällen durchgeführt werden, dann auch kombiniert mit einer systemischen Antibiose.

<sup>23</sup> <https://www.onkopedia.com/de/onkopedia/guidelines/infektionen-bei-haematologischen-und-onkologischen-patienten-uebersicht/@guideline/html/index.html>

<sup>24</sup> <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/093-002.html>





Die gastrointestinale Manifestation wird zurzeit überwiegend supportiv behandelt. Spezifische Therapien sind weiterhin Gegenstand aktueller Forschung.

Supportive Therapieoptionen sind Flüssigkeits- und Elektrolytgabe, für den Fall, dass keine enterale Ernährung mehr möglich ist, auch parenterale Ernährung. Symptomatische Therapien beinhalten antidiarrhöische Medikamente (z. B. Loperamid) und Antiemetika sowie einen adäquaten Magensäureschutz mit Protonenpumpeninhibitoren.

Für die antibiotische Therapie empfiehlt es sich, auf aktuelle Therapieschemata von bestrahlten Patient\*innen und Stammzelltransplantationspatient\*innen zurückzugreifen. Umfangreiche Erfahrungen zur symptomorientierten Therapie liegen derzeit in der Palliativmedizin vor.

#### 8.4.4 Behandlung eines lokalen Strahlenschadens und des kutanen Strahlensyndroms

Das therapeutische Vorgehen bei LRI ist primär auf die Versorgung lokaler Schäden ausgerichtet, während beim kutanen Strahlensyndrom ein deutlich breiterer, die anderen Organsysteme inkludierender Ansatz gewählt werden muss.

Generell können in der Prodromalphase hautschützende Cremes eingesetzt werden; später sind topische oder auch systemische Kortikosteroide zu erwägen. Verbände auf Hydrokolloidbasis, die Prophylaxe und ggf. Behandlung lokaler Infektionen sowie durchblutungsverbessernde Medikamente wie Pentoxifyllin gehören zu den gängigen Therapieprinzipien. Eine Therapie mit Steroiden, Antibiotika und Antihistaminika zielt auf die Unterbrechung der Entzündungsreaktion nach einer Strahlenexposition, welche in Wellen verlaufen kann.

Allen kutanen Manifestationsformen ist gemeinsam, dass sie oft mit einer schwerwiegenden akuten Schmerzsymptomatik einhergehen. Im Rahmen protrahierter Verläufe können sich chronifizierte Schmerzsyndrome entwickeln, die zu schweren psychischen Beeinträchtigungen bei den Betroffenen führen können und einen multimodalen schmerztherapeutischen Ansatz durch eine spezialisierte Einrichtung erfordern.

Leichte und moderate Schweregrade des LRI (C1 bis C2) können in der Regel von einer dermatologischen oder strahlentherapeutischen Klinik versorgt werden. Bei Schweregraden von C3 oder gar C4 hingegen ist die Beteiligung von nationalen Expert\*innen und oft sogar internationale Unterstützung (z. B. über die IAEA) aus den wenigen weltweit erfahrenen Zentren unumgänglich. Da die Verläufe insbesondere der höheren Schweregrade eines LRI sehr individuell und die Therapieverfahren sehr speziell sind, können die Therapieprinzipien hier nur orientierend dargestellt werden.

Patient\*innen mit einem C1 LRI können ambulant therapiert werden. Antientzündliche und antiproliferative Ansätze beinhalten wässrige Lösungen oder Puder, topische Steroide und systemische Antihistaminika.

Im Stadium C2 LRI sind auftretende Blasenbildungen zu punktieren, nicht adhärente Verbände zu nutzen und eine geeignete Infektionsprävention durchzuführen. Auch das C2 LRI kann in der Regel noch ambulant versorgt werden.



Die Unterbrechung der Entzündungsreaktion ist ein Schlüsselprinzip der LRI-Therapie. Bei schwerer Schädigung kommen neben dosisgesteuerten chirurgischen Verfahren auch die Therapie mit mesenchymalen Stammzellen in Betracht.

Patient\*innen mit einem C3 LRI müssen stationär versorgt werden. Neben der Aspiration von Blasenbildungen sind Debridements von nekrotischem Gewebe, topische Antibiotika, antiinflammatorische Medikamente einschließlich Steroiden und eine effektive Analgesie erforderlich.

Patient\*innen mit einem C4 LRI benötigen die Versorgung in einer Spezialklinik mit Erfahrung bei Verbrennungspatient\*innen und in rekonstruktiver Chirurgie, in der Regel auch eine frühe chirurgische Versorgung (Iddins et al. 2022a).

Für C3 und C4 sind folgende therapeutische Vorgehensweisen zu prüfen:

Oberflächliche Läsionen: konservative Behandlung

Tiefe Ulzerationen und Nekrosen:

- Ulzerektomie,
- Nekrektomie,
- Wundverschluss mittel Schwenklappen,
- Amputation,
- Hauttransplantation auch unter Nutzung künstlicher Transplantate, Xenograft-Transplantate und getunnelter Hautlappen.

Zur Festlegung der Exzisionstiefe stehen heute für Schäden durch hohe Dosen ionisierender Strahlung und hier insbesondere durch Gammastrahlung die Dosimetrie-assistierte Chirurgie zur Verfügung. Basierend auf bildgebenden Verfahren und Dosisverteilungs-Simulation kann zum Erreichen des Zieles der Heilung das zu entfernende Gewebe (meist über die chirurgisch bzw. klinisch erkennbare Schädigung hinausgehend) ermittelt werden. Gewebe mit Dosisbelastungen von >25 Gray muss ggf. prophylaktisch reseziert werden.

Zu den erweiterten Verfahren zählen seit wenigen Jahren auch die lokale Anwendung von mesenchymalen Stammzellen (MSC) (Iddins et al. 2022a) oder verwandte Verfahren. Wegen der ausgesprochen schlechten Heilungsrate sollte dies auch frühzeitig erwogen werden. MSC sind heterogene, multipotente Stammzellen. Sie können aus verschiedenen Organsystemen (z. B. Knochenmark, Nabelschnurblut oder Fettgewebe) entnommen werden. Der exakte Wirkmechanismus ist noch nicht abschließend geklärt. Lokal applizierte MSCs stimulieren die Rekrutierung, Migration und Proliferation von endogenen Zellen in der Wundumgebung und besitzen immunmodulatorische sowie pro-angiogene Eigenschaften, welche sie hauptsächlich über einen parakrinen Sekretionsmechanismus vermitteln. Die parakrine Sekretion sowie die Differenzierung der MSCs hin zu für die Wundheilung essenziellen Zellen führen schließlich zu einer verbesserten Angiogenese, Granulation und Reepithelisierung der Wunde. Die Applikation der ex-vivo expandierten Zellen erfolgt im Umfeld des dermatologischen Defektes oder ggf. auch systemisch.

Bei den häufig chronisch verlaufenden lokalen Schädigungen kommen zudem Medikamente zur Verbesserung der Mikrozirkulation wie Pentoxifyllin, antioxidative Substanzen oder hyperbare Oxygenierung zum Einsatz.

#### 8.4.5 Behandlung der zerebrovaskulären Manifestation

Eine zerebrovaskuläre Manifestation tritt erst bei äußerst hohen Strahlendosen auf, hat eine sehr schlechte Prognose und kann derzeit nicht kausal behandelt werden. Die Behandlung beschränkt sich auf allein supportive und palliative Maßnahmen, vermag aber am tödlichen Ausgang wenig auszurichten. Ziel der Therapiemaßnahmen ist die Reduktion von belastenden Symptomen (Schmerzen, Übelkeit, Angst, ...). Therapieprinzipien sollten sich an aktuellen Leitlinien, z. B. der Palliativmedizin, orientieren.

#### 8.4.6 Symptomorientierte Versorgung

Die symptomatische Versorgung von inkurablen Formen des ARS sollte nach palliativmedizinischen Kriterien erfolgen. Die symptomorientierte Therapie ist begleitend auch bei geringer Ausprägung des ARS indiziert. Eine ausschließlich palliativmedizinische Versorgung ist bei fehlender Möglichkeit des Überlebens durchzuführen (siehe Abschnitt 8.4.5).

#### 8.4.7 Psychologische Betreuung

Eine angemessene psychologische Betreuung ist bei allen Formen der Strahlenkrankheit angezeigt (siehe auch Kapitel 9).

Die Intensität richtet sich hierbei nach der individuellen Schädigung und psychischen Belastung unter Berücksichtigung der Gesamtverfassung des/der Patient\*in sowie der Angehörigen. Der richtige Einsatz begleitender psychologischer Maßnahmen kann kooperatives Verhalten fördern, Angst mindern und Folgeschäden minimieren. Im Rahmen der Betreuung soll weiterhin fehlendes Wissen glaubhaft und objektiv vermittelt werden. Angst – auch vor Spätfolgen – muss angemessen adressiert werden.

## 9 Psychosoziale Versorgung von Betroffenen und Einsatzkräften

### 9.1 Psychosoziale Notfallversorgung: Grundlagen und Stand

Seit rund 20 Jahren ist die Psychosoziale Notfallversorgung (PSNV) integraler Bestandteil des Krisenmanagements und der Katastrophenhilfe. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) und die Schutzkommission (SK) beim Bundesministerium des Inneren (BMI) stellten dazu umfangreiches Informations- und Lehrmaterial zur Verfügung (u. a. BBK Konsensuskonferenz 2008 und 2010, BBK 2011b, BBK Qualitätsstandards 2012, BBK 2013). Zielgruppen für die PSNV sind die betroffenen Personen (Geschädigte, Überlebende, Angehörige (auch von vermissten Personen), Hinterbliebene, Zeug\*innen) einerseits und die Einsatzkräfte andererseits.



Die Zielgruppen für die psychosoziale Notfallversorgung bei radiologischen Notfällen unterscheiden sich nicht von anderen, konventionellen Notfällen.



Die PSNV-Maßnahmen sollen den betroffenen Personen und den Einsatzkräften dazu verhelfen, das belastende Ereignis psychisch so gut wie möglich zu verarbeiten und anhaltende Folgen – wie eine posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) – nach Möglichkeit zu verhindern oder zumindest zu mildern.

Dazu wurden bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Leitlinien der PSNV erarbeitet, die hier auszugsweise wiedergegeben werden und auf den Internetseiten<sup>25</sup> des BBK heruntergeladen werden können.

#### 9.1.1 Betroffene Personen (exponierte und besorgte Personen)

Nach dem zeitlichen Ablauf des Ereignisses lassen sich die PSNV-Maßnahmen bei betroffenen Personen drei Zeitsegmenten zuordnen (Abb. 9-1, BBK 2013). Diese Gliederung ist in erster Linie für Großschadensereignisse entwickelt worden; sie kann aber auch Anwendung für Notfälle mit wenigen Betroffenen finden.

<sup>25</sup> [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Krisenmanagement/Mensch-und-Gesellschaft/psnv-qualitaetssicherung/psnv-qualitaetssicherung\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Krisenmanagement/Mensch-und-Gesellschaft/psnv-qualitaetssicherung/psnv-qualitaetssicherung_node.html)

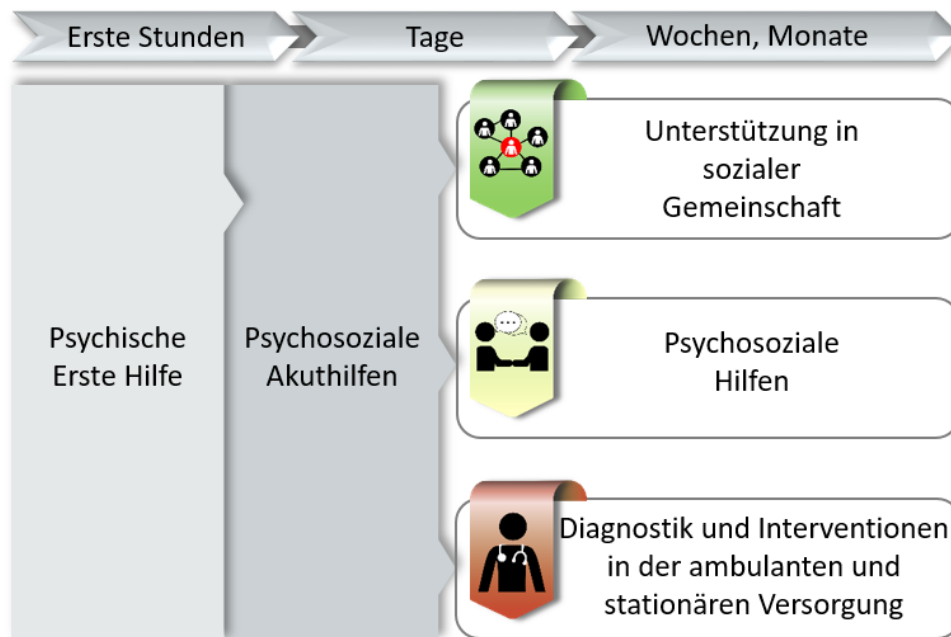


Abb. 9-1: PSNV-Maßnahmen für Überlebende, Angehörige, Hinterbliebene, Zeugen und/oder Vermisste (nach BBK 2013)

In der ersten Phase der psychischen Ersten Hilfe spielen folgende Elemente eine große Rolle (BBK 2013):

- Sicherheit: Abschirmung vor unliebsamen Blicken, kompetent erlebte verlässliche Hilfe, ein sicherer Ort, glaubwürdige Information.
- Beruhigung: Verstehen eigener Reaktionen und Verständnis anderer, Wissen um den Verbleib von Angehörigen, Wissen um weitere geplante Hilfsmaßnahmen.
- Wirksamkeit erfahren: Allein oder mit anderen bei der Bewältigung der Situation – auch auf der Ebene der betroffenen Gemeinde – mitwirken dürfen.
- Verbunden sein: Mit Nahestehenden/anderen Betroffenen, Solidarität erfahren.
- Hoffnung: Zuversicht auf eine Wendung zum Besseren, Stärken entdecken.

Einsatzkräfte haben den Erstkontakt zu den betroffenen Personen und sollten daher in ihrer Ausbildung bereits eine Basiskompetenz in psychischer Erster Hilfe und Strahlennotfallmanagement erwerben.

Die nachfolgende **psychosoziale Akuthilfe** (siehe Abb. 9-1) setzt unmittelbar nach dem Ereignis ein und wird in der Regel bei Großschadensereignissen von ausgebildeten Mitarbeiter\*innen der Kriseninterventionsteams (KIT), Notfallseelsorger\*innen und/oder Notfallpsycholog\*innen übernommen.

Nach dem Leitfaden der Schutzkommission für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall (BBK 2013) kann die psychosoziale Akuthilfe an unterschiedlichen Orten erforderlich werden:

- primär in Betreuungsstellen und der Notfallstation (Achtung: vorab ist die Abstimmung mit Betreuungsdiensten der Hilfsorganisationen erforderlich!),
- seltener am Behandlungsplatz (Achtung: hier ist rettungsdienstliche Qualifikation oder umfassende notfallseelsorgerliche Erfahrung bei alltagsnahen Notfallereignissen erforderlich, Aufgabenschwerpunkt: Betreuung der Patient\*innen der Sichtungskategorie IV, siehe Abb. 5-2),

- an der Totensammelstelle/am Leichenablageplatz,
- in Angehörigen-/Zeugensammelstellen,
- an den Hotlines/Bürgertelefonen.



Unmittelbar nach dem Eintreten eines Großschadenereignisses ist die organisierte psychosoziale Akuthilfe (durch Kriseninterventionsteams, Notfallseelsorger\*innen, Notfallpsycholog\*innen) zu alarmieren. Dazu sind einsatzvorbereitend tragfähige regionale Strukturen der Alarmierung und Zusammenarbeit zu verabreden, umzusetzen und zu üben (BBK 2013). Die Ausbildung für Strahlennotfälle soll entsprechend der SSK-Empfehlungen stattfinden (SSK 2017a, StrlSchG 2017).

An die psychosoziale Akuthilfe schließt sich eine u. U. Wochen und Monate in Anspruch nehmende mittel- und langfristige psychosoziale Nachsorge an (siehe Abb. 9-1).



Speziell bei radiologischen Notfällen und den damit verbundenen Unsicherheiten, Informationsdefiziten und Ängsten vor gesundheitlichen Spätfolgen ist eine derartige langfristige psychosoziale Versorgung von großer Bedeutung.

Dabei kann die feste Einbindung in der sozialen Gemeinschaft u. U. dazu führen, dass sich bei den betroffenen Personen kein Bedürfnis nach weitergehender Hilfe ergibt. Häufig werden aber psychosoziale Hilfen in persönlichen, familiären und beruflichen Problemlagen erforderlich sein. Wichtig sind die frühzeitige Erfassung posttraumatischer Belastungsstörungen und deren psychiatrische Behandlung.

### 9.1.2 Einsatzkräfte

Die psychischen Belastungen für die Einsatzkräfte unterscheiden sich von denen der Betroffenen dadurch, dass die Einsatzkräfte mit zeitlicher Distanz ins Geschehen kommen und durch Schutzkleidung, Ausbildung und Trainings sowie Einsatztaktiken und die Einhaltung von Unfallverhütungsvorschriften geschützt sind.

Außerdem können bei den Einsatzkräften frühzeitig bereits im Rahmen der Aus- und Weiterbildung begonnene Präventionsmaßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Spätfolgen im Sinne des PTBS beitragen.



Die frühzeitige Aufklärung und Beschäftigung mit radiologischen und nuklearen Notfallszenarien ist für die Prävention von psychischen Spätfolgen bei Einsatzkräften unerlässlich.

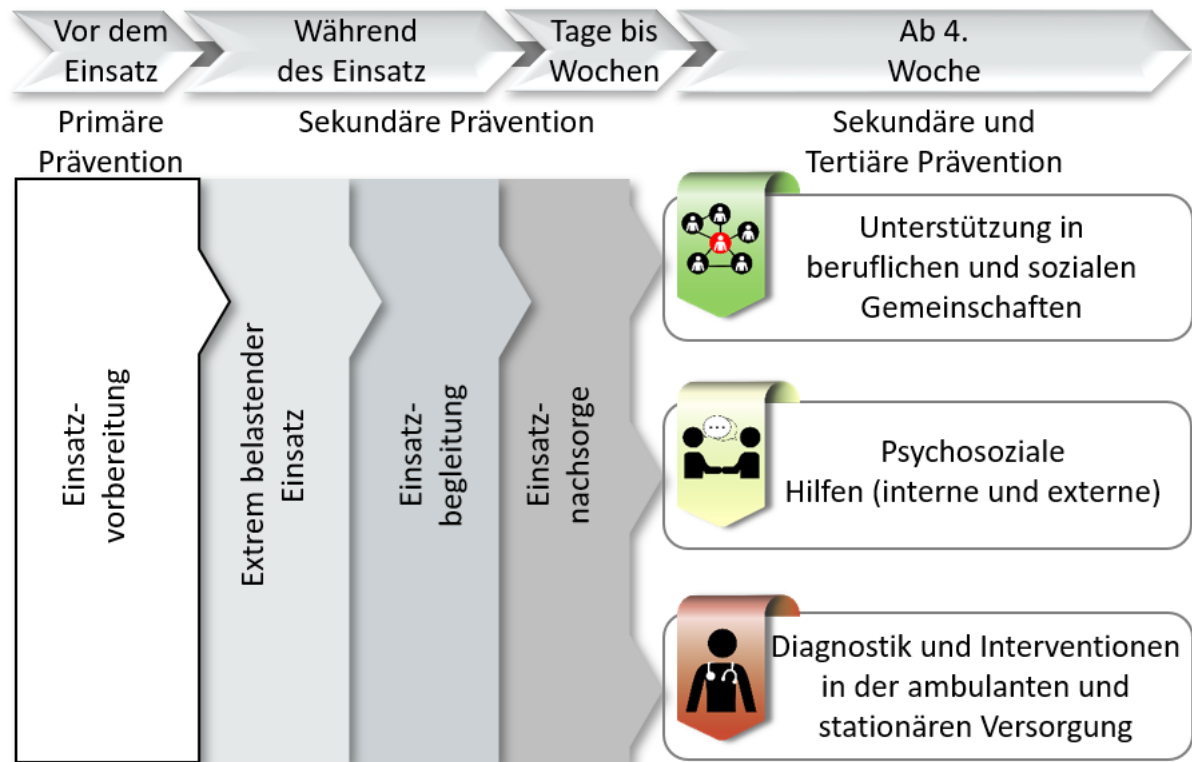


Abb. 9-2: PSNV-Maßnahmen für Einsatzkräfte vor, während und nach belastenden Einsätzen (nach BBK 2013)

PSNV-Maßnahmen für haupt- und ehrenamtliche Einsatzkräfte umfassen in Umsetzung der Fürsorgepflicht der Arbeitgeber\*innen bzw. der jeweiligen Organisationen (Abb. 9-2, BBK 2013, BBK 2012):

- Die Einsatzvorbereitung sowie eine umfassende Primärprävention. Die Primärprävention beginnt bereits in der Ausbildung und umfasst organisationsbezogene Gesundheitsförderung als Maßnahmen zur Senkung des Belastungsausmaßes in künftigen (extremen) Einsatzsituationen. Eine wichtige Rolle spielen hierbei Ausbilder\*innen, Vorgesetzte, Peers (psychosozial speziell geschulte Einsatzkräfte) und Vertrauenspersonen aus dem sozialen Umfeld.
- Die Einsatzbegleitung durch Führungskräfte, Peers und psychosoziale Fachkräfte als sekundäre Prävention während des Einsatzes.
- Die Einsatznachsorge als sekundäre Prävention einige Tage bis Wochen nach dem Einsatz durch Vorgesetzte, Peers; insbesondere sind hier zum einen Einsatz(kräfte)-nachsorgeteams (ENT) zu nennen, sowie Seelsorger\*innen in Feuerwehr, Rettungsdienst, Polizei und Militär.
- Die mittel- und langfristige Einsatznachsorge, untergliedert in Beratungsangebote innerhalb und außerhalb der Behörden und Organisationen (als sekundäre Prävention) sowie (Früh-)Interventionen als Maßnahmen der Feststellung, Behandlung oder Linderung psychischer Störungen mit Krankheitswert.
- Das Wiedereingliederungsmanagement (als tertiäre Prävention).

## 9.2 Besonderheiten der psychosozialen Versorgung bei radiologischen Notfällen

Der radiologische Notfall ist dadurch bestimmt, dass man die Strahlung und deren Risikopotenzial mit den menschlichen Sinnen nicht erfassen kann. Die Bedrohung wird grundsätzlich als groß bis sehr groß erlebt; entsprechend hoch ist die damit verbundene Verunsicherung.



Die Bedrohung durch ionisierende Strahlung wird grundsätzlich als groß empfunden, weil man sie mit den menschlichen Sinnen nicht erfassen kann.

Eine große Rolle spielt auch die Tatsache, dass Betroffene in der Regel wenig bis gar nicht über Strahlung und deren Risiken informiert sind, zusätzlich aber die Gefahr möglicher Strahlenfolgeerkrankungen wie strahleninduzierte Tumoren, kindliche Fehlbildungen und Erbschäden direkt und häufig stark überschätzen und mit jeglicher notfallbedingten radiologischen Exposition verbinden. Auch bei kleineren Unfällen trägt die Erinnerung an nukleare Unfälle in der Vergangenheit zu weiterer Verunsicherung bei. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass sich auch bei Notfallszenarien mit wenigen möglicherweise oder tatsächlich exponierten Personen eine große Zahl von Personen betroffen fühlt und deshalb Hilfe sucht.



Im englischen Sprachraum bezeichnet man gesunde Personen, die ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen oder das Krankenhaus aufsuchen, weil sie glauben, eine Krankheit oder ein gesundheitliches Problem zu haben, als „worried well“ (besorgte Personen).

Auch somatisch gesunde, aber besorgte Personen bedürfen einer aufklärenden und angepassten Krisen- und Risikokommunikation (siehe Kapitel 15). Die Organisation der PSNV in der Notfallstation und im Krankenhaus stellt in dieser Hinsicht eine große Herausforderung dar. Es muss durch geeignete Lenkung der Hilfesuchenden unbedingt vermieden werden, dass ein Ansturm von besorgten Personen nicht nur die Versorgung von exponierten Personen behindert, die einer spezifischen strahlenmedizinischen Behandlung bedürfen, sondern auch den gesamten Betrieb der Notfallstation bzw. des Krankenhauses massiv beeinträchtigt.



Bei radiologischen oder nuklearen Notfällen können sich zahlreiche nicht oder wenig exponierte Personen betroffen fühlen, nach Hilfe suchen und deshalb die Versorgung der höher exponierten Personen behindern, die der medizinischen Versorgung bedürfen.

Die Phasen des Versorgungsbedarfs (siehe Abb. 9-1) bei radiologischen Notfällen unterscheiden sich nicht von denjenigen bei „konventionellen“ Großschadensereignissen. Allerdings können sich auch bei „kleineren“ radiologischen Notfällen wegen der besorgten Personen hohe Anforderungen an eine aufklärende und angepasste Krisenkommunikation ergeben (s. o.).



Auch die Einteilung der präventiven Maßnahmen für die Einsatzkräfte (siehe Abb. 9-2) ist ähnlich. Allerdings ist die primäre Prävention, die bereits in der Ausbildung beginnt, von besonders großer Bedeutung. Üblicherweise erfahren Notärzt\*innen, Mitarbeiter\*innen der Rettungsdienste, der Feuerwehr und des Katastrophenschutzes in ihrer Aus- und Weiterbildung wenig über radiologische Notfälle; zusätzlich werden die individuellen Folgen kleiner Strahlenexpositionen tendenziell deutlich überschätzt.

Dies gilt auch für niedergelassene Ärzt\*innen und Krankenhauspersonal. So ist es beispielsweise vorgekommen, dass die Behandlung einer Person, die sich eine konventionelle Verletzung im Rahmen eines Arbeitsunfalls ohne Strahleneinwirkung in einem KKW zugezogen hatte, von mehreren Krankenhäusern abgelehnt wurde.

In der Auswertung der bisherigen radiologischen Großschadensereignisse hat sich gezeigt, dass auf mehrere vulnerable Gruppen besonders zu achten ist. Dazu gehören insbesondere exponierte Personen, Kinder und Schwangere aus kontaminierten Gebieten, Personen mit Vorerkrankungen, Personen, die der Risikokommunikation mental nicht folgen können, Ersthelfer\*innen und Aufräumarbeiter\*innen, Evakuierte, Personen mit vorbestehenden psychischen Gesundheitseinschränkungen sowie auch mögliche Beschäftigte der das Unfallereignis verursachenden Einrichtungen und deren Familien (WHO 2020).



Personen aus vulnerablen Gruppen wie Kinder, Schwangere, Personen mit (psychischen) Vorerkrankungen, Ersthelfer\*innen und Aufräumarbeiter\*innen bedürfen bei radiologischen oder nuklearen Notfällen der besonderen Beachtung. Auch die Sorgen von vermeintlich strahlengeschädigten Personen müssen ernst genommen werden.

Wesentliche Bausteine für eine erfolgreiche psychosoziale Unterstützung und Hilfe sind die sektorübergreifende Koordination und die Implementierung einer Krisen- und Risikokommunikation (siehe Kapitel 15) inklusive möglicher schützender Maßnahmen. Die Sorgen exponierter und besorgter Personen müssen vorhergesehen und aktiv bei ihnen angesprochen werden. Betroffene Kollektive und Gemeinden sind in die Entscheidungsprozesse zu Hilfen einzubinden. Die psychosoziale Kompetenz ist für Notfallpersonal und langfristige Unterstützungsgruppen vorab auszubilden. Ferner sollen ethisch fundierte Handlungsoptionen gruppenübergreifend etabliert werden, insbesondere in Hinblick auf die Vorbeugung und Abwehr von Ausbeutung, Missbrauch und Diskriminierung (WHO 2020).

Die Vorbereitung der PSNV der Einsatzkräfte für radiologische Notfallszenarien sollte eine mitarbeiterzentrierte Kultur zur Stressbewältigung in Notfallsituationen beinhalten (wie z. B. Feuerwehr, Rettungsdienst, Polizei, Bundeswehr, weitere Hilfsorganisationen); dies schließt auch idealerweise die Familien der Einsatzkräfte mit ein. Psychosoziales Fachpersonal ist durch Vermittlung der Grundlagen im medizinischen Strahlennotfallmanagement zu qualifizieren. Das medizinische (Notfall-) Personal soll in psychosozialen Hilfeleistungen qualifiziert werden, und für alle Ersthelfer\*innen und Hilfsgruppen ist eine elementare Ausbildung in psychosozialer Nothilfe sicherzustellen (WHO 2020).

Abschließend ist nochmals hervorzuheben, dass es von herausragender Bedeutung ist, dass psychosoziales Fachpersonal angemessen in Hinblick auf radiologische Notfälle ausgebildet ist. Ansonsten ist zu befürchten, dass sich eigene Ängste der Fachkräfte bei der PSNV auf die Betroffenen übertragen.



Generell gilt, dass nur spezifisch ausgebildetes und trainiertes Fachpersonal bei radiologischen Notfällen eingesetzt werden sollte.

## C Technische und Organisatorische Aspekte

### 10 Strahlungsmesstechnik

#### 10.1 Strahlungsmessgeräte und Anwendungen

Um ionisierende Strahlung nachweisen zu können, bedarf es geeigneter Messgeräte. Dabei ist die Spezifikation des Messgerätes abhängig von der Art und der Energie der Strahlung sowie vom Einsatzzweck.

Die **Ortsdosisleistung** wird mit **Dosisleistungsmessgeräten** ermittelt.

Die Menge und die Verteilung von **Kontaminationen**, d. h. auf Oberflächen abgelagerten radioaktiven Stoffen, werden direkt mit Kontaminationsmonitoren oder indirekt mittels Wischtests gemessen.

Die **Personendosis** kann mit **Personendosimetern** erfasst oder aus dem Produkt der Ortsdosisleistung und der Einwirkzeit ermittelt werden.

Radioaktive Stoffe können an Aerosole gebunden luftgetragen vorhanden sein. Diese **Aerosolaktivität** wird gemessen, indem die Aerosole auf Filtern gesammelt und dann entweder direkt, während der Sammlung oder nach der Sammlung an geeigneten Messplätzen gemessen werden.

Die Auswahl des für den jeweiligen Fall geeigneten Messgerätes sowie die Auswertung der Messergebnisse muss von einer Person mit Erfahrungen in der Strahlenmesstechnik durchgeführt werden. In die Auswertung sollten, wenn vorhanden, auch die Messergebnisse früherer Messungen der natürlichen Umgebungsstrahlung am Messort eingehen.

#### 10.2 Dosisleistungsmessgeräte

Mit Dosisleistungsmessgeräten wird eine Dosis pro Zeiteinheit gemessen. Bei bekannter Einwirkzeit kann hieraus die erhaltene Dosis errechnet werden.



Die Dosisleistungsmessgeräte werden nach der zu messenden Strahlenart ausgewählt. Die Messgeräte für Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung unterscheiden sich in ihrem Aufbau und den zu Grunde liegenden Messprinzipien. Sie sind jeweils nicht oder nur eingeschränkt für die Messung anderer Strahlenarten geeignet.

Als Detektoren kommen Proportionalzählrohre, Geiger-Müller- (GM-) Zählrohre ggf. mit Endfenster und Szintillationsdetektoren zum Einsatz.

Ein weiteres Auswahlkriterium ist die Höhe der zu messenden Dosisleistung. Messgeräte mit Szintillationsdetektoren und Proportionalzählrohren eignen sich zur Messung niedriger Dosisleistungen. Für höhere Dosisleistungen, wo ein Personaleinsatz in der Nähe der Quelle noch vertretbar ist, können handgeführte Geräte mit Geiger-Müller-Detektoren eingesetzt werden. Zur Dosisminimierung, oder wenn aus größerem Abstand gemessen werden muss, werden Messgeräte mit Teleskopsonden eingesetzt.



Die Messgeräte müssen vor ihrem Einsatz einer Sichtkontrolle und Funktionsprüfung unterzogen werden. Hiermit werden Beschädigungen ausgeschlossen, der Ladezustand der Batterien und die grundlegende Funktion geprüft.

Die Geräte müssen einer regelmäßigen Konstanzprüfung unterliegen. Zusätzlich sollten vor dem Einsatz die Geräte einer Funktionsprüfung unterzogen werden. Bei einem Einsatz in kontaminierter Umgebung muss der Kontaminationsschutz des Gerätes sichergestellt werden. Dieses kann durch ein Umhüllen des Gerätes mit Kunststofffolie (hierbei kann das Ansprechvermögen insbesondere für Betastrahlung verändert werden) oder durch entsprechend vorsichtiger Handhabung („Führen des Messgerätes nur mit nur einer sauberen Hand“) erreicht werden.

Bei der Messung einer Ortsdosisleistung zur Abschätzung einer Personendosis während eines Einsatzes wird nicht die maximale Dosisleistung an Strahlenquellen erfasst, sondern eine repräsentative Messung im Arbeitsbereich an Stellen durchgeführt, die der tatsächlichen Position des Rumpfes entsprechen (z. B. Brusthöhe und etwa 0,5 m Abstand zu Strahlenquellen).

### 10.3 Kontaminationsnachweis

Ein **Kontaminationsnachweisgerät** wird genutzt, um die Oberflächenkontamination, d. h. Verunreinigungen mit radioaktiven Stoffen, von Personen und Objekten festzustellen. Die Messgröße ist die Impulsrate (Impulse pro Zeit), in der Regel angegeben in Impulsen pro Sekunde ( $\text{Imp s}^{-1}$ ). Hieraus kann mit dem Wirkungsgrad des Gerätes und der gemessenen Fläche eine Aktivität (Bq) oder eine flächenbezogene Aktivität ( $\text{Bq cm}^{-2}$ ) errechnet werden. Der Wirkungsgrad ist nuklidabhängig.



Um Messfehler zu vermeiden, sollten durch die Einsatzkräfte immer Messungen der Impulsrate durchgeführt werden. Diese Messungen werden dann durch Strahlenschutzexpert\*innen ausgewertet und die Messergebnisse in Flächenkontaminationen umgerechnet.

#### *Messtechnische Grundlagen und Eignung*

Kontaminationsnachweisgeräte werden nach unterschiedlichen Messprinzipien aufgebaut. Dies beeinflusst die Eignung für den Nachweis unterschiedlicher Strahlenarten und die erforderlichen Randbedingungen für den Einsatz des Messgerätes. Die Detektoren sind möglichst großflächig, um größere Oberflächen einfach messen zu können. Die Detektoren sollten eine geringe Empfindlichkeit für Gammastrahlung haben, um den Einfluss von Fremdeinstrahlung zu minimieren. Für eine gute Unterscheidung zwischen Alpha- und Betastrahlung muss die Quersensitivität zwischen den Messkanälen möglichst gering sein.

Es kommen unterschiedliche Detektoren zum Einsatz. Bei gasgefüllten Detektoren mit Dauerfüllung ist vor der Messung keine Zählgasspülung erforderlich. Es kann durch die Dicke der Abdeckfolie keine Messung von Alphastrahlung erfolgen. Bei gasgespülten Detektoren (Argon/Methan oder Propan) ist vor der Messung eine Gasspülung erforderlich. Diese sollte

mehrfach erfolgen, da sonst Fehlmessungen möglich sind. Die Messgeräte können bei Umgebungstemperaturen unter 5 °C nicht eingesetzt werden.

Weiter werden Szintillationsdetektoren (Plastiksintillationsdetektoren oder ZnS-Detektoren) eingesetzt. Bei diesen Detektoren ist keine Gasspülung erforderlich. Sie können jedoch eine hohe Empfindlichkeit für Gammastrahlung und ein relativ hohes Übersprechen zwischen den Zählkanälen aufweisen. Das Messgerät muss nach Form und Größe geeignet sein, die Aktivität auf der jeweiligen Oberfläche zu messen. Im Idealfall ist die zu messende Fläche plan, und der Detektor hat immer den gleichen Abstand zu der zu messenden Oberfläche. Die zu messende Oberfläche selbst sollte möglichst glatt sein. Bei rauen Oberflächen muss eine mögliche Selbstabsorption der Strahlung in der Oberfläche berücksichtigt werden; sehr hoch ist diese Selbstabsorption bei der Messung von Alphastrahlung auf textilen Oberflächen.

### *Durchführung von Kontaminationsmessungen*

**Oberflächenkontaminationsmessungen** können auf zwei Arten durchgeführt werden. Bei der direkten Messung wird das Messgerät in möglichst geringem Abstand langsam kontinuierlich oder in Intervallen über die Messfläche geführt.



Bei Kontaminationsmessungen ist unbedingt zu beachten, dass Direktmessungen nicht möglich sind, wenn die Umgebungsstrahlung zu hoch ist. Diese wird mit Nulleffektmessungen ermittelt. In diesem Fall müssen sogenannte Wischtestmessungen durchgeführt werden.

Wenn die Umgebungsstrahlung zu hoch ist, werden sog. **Wischtestmessungen** durchgeführt. Hier wird die Kontamination mit einem geeigneten Wischtuch aufgenommen und danach dieser Wischtest ausgemessen. Bei der Auswertung ist zu beachten, dass ein Faktor für den Anteil der erfassten Kontamination eingerechnet werden muss, üblicherweise wird ein Abwischen von 10 % der vorhandenen Kontamination angenommen. Eingesetzt werden üblicherweise Baumwollpads mit 50 mm Durchmesser. Mit diesen Pads werden 100 cm<sup>2</sup> oder 300 cm<sup>2</sup> gewischt und dann das Pad ausgemessen. Wenn größere Flächen mit Wischtüchern gewischt werden, spricht man von „Screening-Wischtests“. Diese Wischtests sind ein sehr empfindliches Mittel zur Erfassung großer Flächen und zum Ausschluss sog. Hot-Spots. Zu beachten ist aber, dass eventuell vorhandene Kontamination mit dieser Messmethode über die gesamte Messfläche verteilt wird und dass festhaftende Kontamination, die nicht von der Oberfläche abgelöst werden kann, auf diese Weise nicht erfasst wird.

Bei dem Einsatz der Messgeräte wird vorab eine Sichtkontrolle auf Beschädigungen und den Ladezustand der Batterie durchgeführt. Hierbei ist im Besonderen auf Beschädigungen der empfindlichen Schutzfolie des Detektors zu achten, kleinste Beschädigungen machen das Messgerät unbenutzbar. Die Schutzabdeckung muss entfernt werden. Wenn ein Kontaminationsschutz angebracht wird, z. B. dünne Haushaltsfolie, verändert dies das Ansprechvermögen für Betastrahlung und verhindert u. U. das Messen von Alphastrahlung.

Nuklidspezifische Messungen mit speziellen Detektoren bleiben Spezialist\*innen vorbehalten. Der Einsatz und die Interpretation erfordern umfangreiche Kenntnisse und Erfahrung. Hiermit können sowohl große Flächen als auch geringste Aktivitäten mit der sog. „In-Situ-Spektrometrie“ nuklidspezifisch ausgemessen werden.

## 10.4 Personendosimetrie

Wenn die Möglichkeit einer Exposition durch ionisierende Strahlung besteht, sollte die Dosis erfasst werden. Hierfür werden Dosimeter eingesetzt. Abhängig von der Strahlenart und deren räumlicher Verteilung kommen unterschiedliche Typen von Dosimetern zum Einsatz. Zu Anforderungen an Dosimetern siehe auch (SSK 2011). Für alle Dosimeter gilt, dass sie an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle zu tragen sind und die Tragerichtung zu beachten ist. Das Dosimeter soll körpernah, nicht auf der Schutzkleidung selbst getragen werden.

Als Mindestausrüstung eingesetzt werden sollten sogenannte Dosiswarner, Personen zugeordnete Messgeräte für Dosis und Dosisleistung mit einstellbaren Alarmschwellen. Neben einer Überwachung der Dosis bieten diese auch einen Hinweis auf einen unbemerkten Aufenthalt in einem Strahlenfeld. Empfehlenswert ist, alle Einsatzkräfte mit solchen Messgeräten auszurüsten, die möglicherweise einer Strahlenexposition ausgesetzt sein könnten.



Als persönliches Messgerät ist mindestens ein Dosiswarner mit eingestellten Alarmen für Dosisleistung und Dosis erforderlich.

Darüber hinaus sollten alle Personen, die sich in Bereichen erhöhter Dosisleistung aufhalten, ein amtliches Dosimeter tragen. Hierbei handelt es sich um ein Personendosimeter, das von einer behördlich bestimmten Messstelle herausgegeben und ausgewertet wird. Üblicherweise benötigen solche Dosimeter keine Energieversorgung. Die Dosimeter müssen für die jeweilige Strahlenart geeignet sein. Nach einem Einsatz sind die Dosimeter zur Eilauswertung an die zuständige Messstelle zu geben. Diese Dosimeter liefern keine aktuelle Anzeige der erhaltenen Dosis. Hierfür werden Elektronische Personendosimeter (EPD) eingesetzt. Mit den EPD kann die aufgelaufene Dosis jederzeit gesehen werden und es können Alarmschwellen für Dosis und Dosisleistung eingestellt werden. EPD sollten geeicht sein. Wenn Neutronenstrahlung vermutet wird, müssen dafür geeignete Dosimeter eingesetzt werden.

Elektronische Dosimeter können auch mit einer Fernüberwachung, sogenannte Funkdosimeter, ausgestattet sein. Dies ermöglicht eine gute Führung der Einsatzkräfte.

Bei inhomogenen Strahlenfeldern können zusätzlich Dosimeter eingesetzt werden, mit denen die Strahlenexposition einzelner Körperteile erfasst wird, sogenannte Teilkörperdosimeter. Hierbei handelt es sich um kleinvolumige Detektoren, die mit einer entsprechenden Kapselung eine repräsentative Dosisanzeige liefern. Diese Teilkörperdosimeter können als amtliche Dosimeter von einer behördlich bestimmten Messstelle bezogen werden.

Auch für Personen, die kein Dosimeter getragen haben, lässt sich eine Personendosis durch retrospektive Dosimetrie ermitteln:

- dem Vergleich mit Dosiswerten von Einsatzkräften, die ähnliche Tätigkeiten durchgeführt und Dosimeter getragen haben,
- der Abschätzung über Ortsdosisleistungsmessungen und der Einsatzzeit und
- biologische Dosimetrie, speziellen Verfahren der physikalischen Dosimetrie (siehe Kapitel 11).

## 10.5 Messung der Aerosolaktivität

**Aerosolmessungen** sind notwendig, um eine Exposition durch inkorporierte Radioaktivität abzuschätzen. Auf der Basis der gemessenen Werte können entsprechende Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

Die Messungen können auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt werden.

Bei „Online-Messungen“ wird Luft durch einen Filter gezogen. Über dem Filter befindet sich ein geeigneter Detektor, mit dem der Anstieg der Radioaktivität auf dem Filter gemessen wird. Wenn kontaminierte Luft durch einen Filter gezogen wird, werden die radioaktiven Aerosole auf dem Filter abgeschieden. Die Beladung des Filters ist proportional zur Aerosolaktivität (Aktivität pro Volumeneinheit) der angesaugten Luft. Eine Alarmierung bei steigender Aerosolaktivität ist möglich. Die Nachweisgrenzen dieser Messmethode sind relativ hoch, da der Luftdurchsatz bauartbedingt niedrig ist.

Bei einer indirekten Messung wird ebenfalls Luft mit einem Gebläse durch einen Filter gezogen. Der Radioaktivitätsgehalt des Filters wird nach der Bestäubung im Messlabor gemessen. Eine Aussage über die Aerosolaktivität kann erst nach der Labormessung getroffen werden. Weil hier aber größere Luftdurchsätze möglich sind, kann eine niedrigere Nachweisgrenze erreicht werden. Allgemein gilt, dass der Aerosolmonitor an einer geeigneten, für den Aufenthalt von Personen (Einsatzkräften) repräsentativen Stelle aufgestellt werden muss. Der erfasste Bereich ist selbst bei hohen Luftdurchsätzen des Aerosolsammlers klein. Messungen vor Einsätzen haben nur dann Aussagekraft, wenn z. B. eine durchziehende Aerosolwolke beurteilt werden soll. Bei kontaminierten Flächen wird die Aerosolaktivität vor allem durch die Resuspension der Kontamination verursacht. Diese wird im Wesentlichen durch Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen hervorgerufen sowie durch Wettereinflüsse.

## 11 Biologische und physikalische Dosimetrie

### 11.1 Biologische Dosimetrie

Untersuchungen, die über die Sequentialdiagnostik und die Diagnostik bei den einzelnen klinischen Formen des akuten Strahlensyndroms hinausgehen, haben das Ziel, die Höhe der Strahlenexposition abzuschätzen. Dazu kann eine Reihe von Veränderungen als biologische Dosisindikatoren herangezogen werden. Im Gegensatz zur physikalischen Dosimetrie wird bei der Verwendung biologischer Indikatoren nicht die Dosis selbst erfasst, sondern die Wirkung dieser Dosis im Organismus. Damit wird die individuelle biologische Reaktion auf Strahlung mit-erfasst. Neuere Ansätze der biologischen Dosimetrie zielen auf die direkte Vorhersage des klinischen Verlaufes und können unmittelbar für klinische Entscheidungen herangezogen werden.



Die biologische Dosimetrie bietet die Möglichkeit zum Nachweis und retrospektiven Dosisabschätzung bei unklaren Strahlenexpositionen und unterstützt dadurch medizinische Entscheidungsfindung und Behandlungsverfahren. Zur optimalen Auswahl der verschiedenen Verfahren ist eine frühzeitige Kontaktaufnahme zu einem Speziallabor erforderlich, z. B. beim Bundesamt für Strahlenschutz und beim Institut für Radiobiologie der Bundeswehr.

#### 11.1.1 Chromosomenanalyse

Die Chromosomenanalyse liefert neben anderen biologischen Verfahren wertvolle Informationen, vor allem in Fällen, in denen keine physikalische Dosimetrie verfügbar ist. Sie wird üblicherweise an Lymphozyten durchgeführt.

Idealerweise sollte die Blutentnahme innerhalb von wenigen Tagen nach der Strahlenexposition erfolgen, da jedoch die mittlere Lebenszeit von Lymphozyten in der Größenordnung von ungefähr drei Jahren liegt, können die Proben auch noch mehrere Wochen nach der Strahlenexposition entnommen werden (Lloyd et al. 1980, ICRU 2019). Vor allem nach hohen Strahlenexpositionen ( $>> 1$  Gy) empfiehlt sich eine frühzeitige Abnahme in den ersten Stunden, da sonst die Gefahr besteht, dass die Lymphozytenanzahl so stark abfällt, dass die Chromosomenanalysen sehr zeitaufwendig oder sogar unmöglich werden können.

Für die Chromosomenanalyse werden 5 ml bis 10 ml venöses Blut (heparinisiertes Blut) benötigt. Wichtig ist immer ein gründliches Gespräch zwischen durchführendem Labor und behandelnder/m Ärzt\*in oder dem/der Betroffenen im Vorfeld, um die Modalitäten des Verfahrens sowie die Blutentnahme und den Versand zu koordinieren. Zudem sollten alle zur Verfügung stehenden Hintergrundinformation des Vorfalls besprochen werden, z. B. Ablauf des Vorfalls, Expositionsbedingungen, Strahlenart, eventuell vorliegende physikalische Dosisberechnungen etc., um eine angemessene Diagnostik und Befundung zu ermöglichen.



Für das biologische Dosimetrieverfahren der dizentrischen Chromosomenanalyse wird heparinisiertes Blut benötigt. Vorab muss eine Kontaktaufnahme mit dem messenden Labor erfolgen, unter anderem um die korrekte Probeentnahme und die Versandbedingungen zu besprechen.



Im Labor werden Lymphozytenkulturen angelegt und nach zwei bis drei Tagen die Chromosomenpräparate hergestellt. Daran schließt sich die morphologische Beurteilung der Chromosomen an.

Dizentrische Chromosomen sind in der Zellteilung an den zwei Zentromeren zu erkennen. Spontan treten sie nur selten auf. Die Häufigkeit dizentrischer Chromosomen nach Strahlenexposition folgt einer linear-quadratischen Dosiswirkungskurve. Die Lymphozyten werden zur Zellteilung angeregt (unter Verwendung des sog. Phythämagglutinin), die Anzahl an dizentrischen Chromosomen wird in den mitotischen Zellen lichtmikroskopisch ausgewertet und das Dosisäquivalent dann durch Vergleich mit entsprechenden Kalibrierkurven abgeschätzt. Der Dosisbereich, in dem das Verfahren anwendbar ist, liegt zwischen 0,1 Gy bis zu ca. 4 Gy. Diese Methode ist derzeit die Standardmethode der biologischen Dosimetrie.

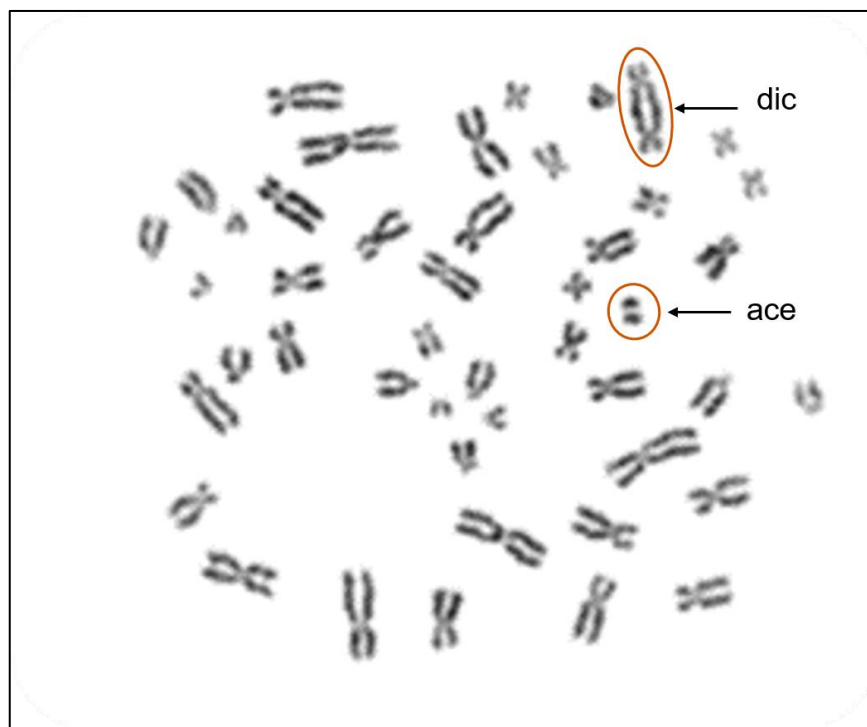


Abb. 11-1: Mikroskopische Aufnahme eines mit Röntgenstrahlen (4 Gy) bestrahlten humanen Lymphozyten in der Metaphase. Der veränderte (aberrante) Chromosomensatz zeigt zwei dizentrische Chromosomen (dic) und die zwei begleitenden azentrischen Fragmente (ace). Die Häufigkeit dizentrischer Chromosomen in strahlenexponierten Lymphozyten korreliert mit steigender Strahlendosis.

Eine alternative Methode ist der Nachweis stabiler, d. h. auch an die Tochterzellen weitergegebener Translokationen durch die sog. Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH). Dabei werden mit fluoreszierenden Farbstoffen markierte DNA-Sonden eingesetzt, die spezifisch an bestimmte Chromosomen binden und sie einheitlich mit einem Fluoreszenzfarbstoff markieren. Weitere Chromosomen des Genoms können mit anderen Sonden spezifisch angefärbt oder alle Chromosomen homogen markiert werden. Translokationen sind dann als Farbsprünge innerhalb der Chromosomen zu erkennen. Wiederum kann über entsprechende Kalibrierkurven das Dosisäquivalent bestimmt werden. Translokationen sind weniger spezifisch für die Einwirkung ionisierender Strahlung, dafür aber noch über mehrere Jahre nachweisbar.

Bei steigenden Strahlendosen sinkt die Fähigkeit der Zellen zur Teilung, so dass zunehmend weniger Mitosen zur Auswertung zur Verfügung stehen. Hier kann die sog. „Premature Chromosome Condensation“ (PCC, vorzeitige Chromosomenkondensation) eingesetzt werden, d. h.

die Kondensation des Chromatins in Interphasekernen. Dies erfolgt üblicherweise dadurch, dass die Lymphozyten mit mitotischen Zellen (in der Regel von etablierten Zellkulturen, z. B. vom Hamster) zusammengebracht werden. Letztere enthalten Faktoren, welche die Auflösung der Kernmembran und die Kondensation des Chromatins bewirken. Neben der Möglichkeit zur Auswertung nichtmitotischer Zellen kann mit dieser Methode auch die bei den anderen aufgeführten Verfahren notwendige Wartezeit zwischen Stimulation der Zellen und dem Eintreten von Mitosen (üblicherweise zwei Tage) vermieden werden. Bei der Methode muss allerdings die Reparaturkinetik der PCC Fragmente berücksichtigt werden. So ist 24 Stunden nach der Bestrahlung die normale spontane Häufigkeit wieder erreicht.

Die Chromosomenanalyse kann für einzelne Patient\*innen in entsprechenden Labors innerhalb weniger Tage durchgeführt werden. Ist die Zahl der Exponierten sehr hoch (einige Dutzend oder mehr), sollten Netzwerke wie das europäische Doismetrienetzwerk RENEB<sup>26</sup> aktiviert werden. Im Netzwerk ist auch die Bewältigung eines größeren Probenumfangs möglich, zudem bietet das Netzwerk verschiedene Untersuchungsverfahren an.

### 11.1.2 Mikronukleus-Test

Eine weniger spezifische, aber ebenso gut durchzuführende Methode zur biologischen Dosisindikation ist die Bestimmung von Mikronuklei. Diese entstehen, wenn Zellen mit Chromosomenaberrationen in die Mitose eintreten und die zentromerlosen Bruchstücke (seltener ganze Chromosomen) nicht zu den Zellpolen gelangen und deshalb nicht in die neu gebildeten Kerne integriert werden können. Die extranukleären Bruchstücke oder Chromosomen werden dann von einer eigenen Kernmembran umgeben und bilden so Mikronuklei.

Mikronuklei können somit nur dann beobachtet werden, wenn eine Teilung des Zellkernes bereits erfolgt ist. Alle Zellkerne, die sich nicht teilen, „verdünnen“ gewissermaßen den Effekt, weil sie in vielen Fällen irrtümlich als Zellen mit „0“ Mikronuklei gezählt werden. Da gerade die Teilungsaktivität von Lymphozyten, die häufig in der biologischen Dosimetrie eingesetzt werden, nach Stimulation mit beispielsweise Phythämagglutinin (PHA) von Mensch zu Mensch sehr unterschiedlich ist, ist es unbedingt erforderlich, Mikronuklei nur in solchen Zellen zu zählen, die sich genau einmal geteilt haben. Man identifiziert solche Zellen, indem man der Zellkultur Cytochalasin B zusetzt. Cytochalasin B lässt zwar eine Kernteilung zu, nicht jedoch die Zellteilung. Als Ergebnis erhält man Zellen mit zwei Kernen (binukleate Zellen), wenn eine Kernteilung erfolgt ist. Nur in diesen Zellen zählt man die Mikronuklei.

Der Dosisbereich, in dem der Mikronukleus-Test in Lymphozyten anwendbar ist, erstreckt sich in der Routine im individuellen Fall von etwa 0,3 Gy bis 5 Gy. Unter Verwendung sehr aufwendiger Verfahren, die für ein Screening großer Fallzahlen sicher nicht in Frage kommen, kann dieser Bereich auf etwa 0,1 Gy bis etwa 15 Gy erweitert werden.

Das Ergebnis der Mikronukleus-Analyse kann sowohl vom Alter, Geschlecht und dem Lebensstil, als auch durch Exposition durch andere Umweltmutagenen beeinflusst werden (Fenech et al. 1999).

### 11.1.3 Sonstige Verfahren und Ansprechpartner

Neben den beschriebenen „klassischen Verfahren“ der biologischen Dosimetrie (dizentrische Chromosomen (DIC), und Mikrokerne (MNC)) sind derzeit zahlreiche weitere Methoden etabliert und können zielgerichtet bei verschiedensten Fragestellungen eingesetzt werden. Zu diesen Verfahren der retrospektiven Dosimetrie gehören sowohl biologische (exemplarisch:

---

<sup>26</sup> Running the European Network of Biological and retrospective Physical dosimetry

Fluoreszenz in situ Hybridisierung (FISH), premature Chromosomen Kondensation (PCC), Genexpressionsmessung (Gene expr.), gamma-H2AX focus assay ( $\gamma$ -H2AX), zytologische Verfahren) wie auch physikalische (u. a. paramagnetische Elektronenresonanz Dosimetrie (EPR) oder Lumineszenzdosimetrie (OSL)) (Abb. 11-2).

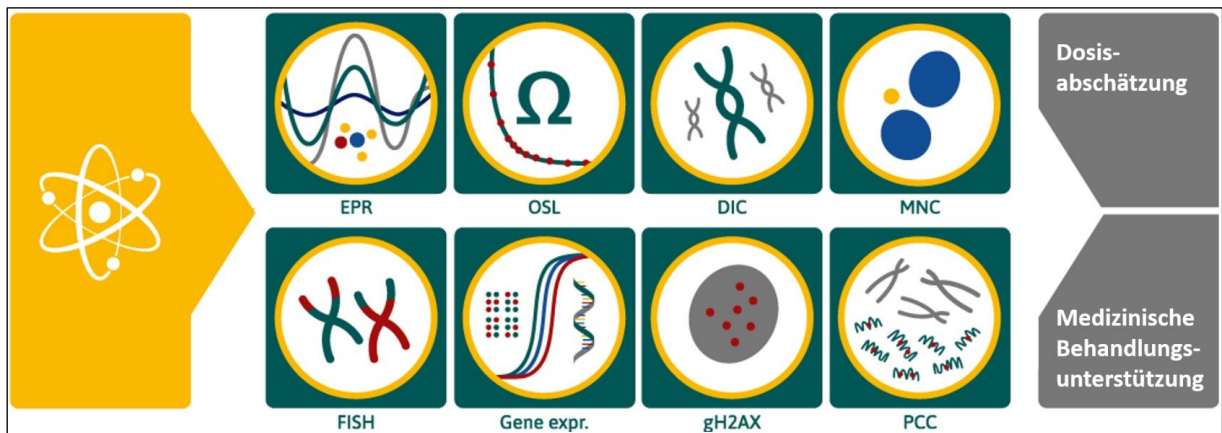


Abb. 11-2: Verfahren der biologischen und retrospektiven physikalischen Dosimetrie, die im europäischen Netzwerk RENEb zur Verfügung stehen ([www.reneb.net](http://www.reneb.net)).

Als Ansprechpartner für die biologische Dosimetrie stehen in Deutschland das Labor für Biologische Dosimetrie am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Institut für Radiobiologie der Bundeswehr zur Verfügung. Beide Labore sind Partner im europäischen Dosimetrie-netzwerk RENEb. Über den als Verein organisierten Verbund RENEb ist ein Zugang zu zahlreichen Laboren für biologische Dosimetrie und retrospektive physikalische Dosimetrie sichergestellt. RENEb führt mit seinen Laboren und Partnern regelmäßige internationale Übungen durch. Ziele dieser Übungen sind die Verfügbarkeit der Verfahren zu gewährleisten, sowie Qualitätssicherung, Standardisierung und Weiterentwicklung der Verfahren zu fördern.

## 11.2 Probenasservierung

### Allgemeine Grundlagen der Probenasservierung

Die Maßnahmen zur **Probenasservierung** im Krankenhaus dienen zum einen der Abschätzung des Schweregrades eines möglichen ARS (Diagnostik, siehe Kapitel 8) und andererseits der Dosimetrie durch physikalische und biologische Verfahren. In jedem Fall sollte ein/e Ärzt\*in mit Erfahrungen im Strahlenschutz (z. B. Strahlennotfallärzt\*in) hinzugezogen werden.

Als **Proben** gelten **bei einer möglichen Kontamination** die gesamte Kleidung und alle Gegenstände, Tupfer etc., die von dem/der Patient\*in stammen. Diese umfassen zunächst auch alle Gegenstände, die als „Abfall“ klassifiziert werden. Alle Proben müssen beschriftet und nach Möglichkeit gesammelt verwahrt werden.

Jeglicher Abfall, der bei der Grobdekontamination und der weiteren Ersten Hilfe anfällt, ist in geeigneten Behältnissen gesondert zu sammeln (Vermeidung einer Ausbreitung der Kontamination, Spurensicherung zur späteren Rekonstruktion der vorhandenen Kontamination). Die Entsorgung übernimmt ein dazu bestimmter Fachdienst, oder sie wird durch die zuständige Aufsichtsbehörde veranlasst.



Als Proben gelten alle Gegenstände, die von dem/der Patient\*in stammen. Sie müssen beschriftet und gesammelt verwahrt werden. Bei Speicherung der Daten ist auf die Bestimmung der jeweils aktuellen Version der Datenschutzgrundverordnung zu achten.

Bei Patient\*innen mit **Verdacht auf ein höhergradiges ARS** müssen sofort **Leukozyten** für die HLA<sup>27</sup>-Klasse I typisiert und weitere Zellen zur Klasse-II-Typisierung eingefroren werden.

**Zwei Blutproben**, abgenommen im Abstand von vier Stunden, müssen umgehend zur biologischen Dosimetrie (siehe Anhang A1-1 und A1-2) eingesandt werden.

Bei allen Personen mit bedeutsamen **Wundkontaminationen** sollten abhängig von infrage kommenden Radionukliden **Urin- und Stuhlproben** und das ggf. exzidierte Gewebe asserviert werden, um eine eventuelle Aktivitätsaufnahme nachweisen zu können (Anhang A1-3).

### 11.3 Inkorporationsmessungen

**Inkorporationsmessungen** sind Messungen der Aktivität radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper oder in dessen Ausscheidungen. Das primäre **Ziel von Inkorporationsmessungen** ist die Ermittlung der durch Inhalation, Ingestion oder Wundaufnahme zugeführten Aktivität und daraus die Berechnung der durch interne Exposition verursachten Dosis, die die jeweilige Person aufgrund der Aktivitätszufuhr erhält. Daraus soll insbesondere festgestellt werden, ob gegebenenfalls eine Dekorporationstherapie zur Senkung der Strahlendosis erforderlich ist (siehe Kapitel 7). Weitere Ziele der Dosisberechnung sind wie bei der Personendosimetrie die Feststellung, ob eine langfristige medizinische Nachsorge erforderlich ist, sowie bei beruflichen Strahlenexpositionen, zum Beispiel bei Einsatzkräften, die Dokumentation der Strahlendosis für etwaige zukünftige Ansprüche auf Sozialleistungen.

#### 11.3.1 Allgemeine Aspekte

Welches Messverfahren (Direktmessung oder verschiedene Verfahren der Ausscheidungsanalytik) geeignet ist, hängt vom vorliegenden Radionuklid ab. Über Inkorporationsmessstellen, die das für das jeweilige Radionuklid geeignete Verfahren anbieten, informieren unter anderem die Leitstelle Inkorporationsüberwachung beim Bundesamt für Strahlenschutz, die zuständigen Landesbehörden, die einzelnen Inkorporationsmessstellen und im Fall beruflich bedingter Inkorporationen die Regionalen Strahlenschutzzentren. Eine Liste der in Deutschland behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen befindet sich in Anhang A1-3.

Um abschätzen zu können, ob eine Dekorporationstherapie erforderlich ist, und diese gegebenenfalls frühzeitig beginnen zu können, sollte eine Inkorporationsmessung möglichst zeitnah nach der Zufuhr erfolgen. Unter Umständen sind für eine genauere Abschätzung der Dosis weitere Messungen zu späteren Zeitpunkten erforderlich. Für eine Messung in einer Inkorporationsmessstelle ist es jedoch in jedem Fall vor der Messung erforderlich, mit der Inkorporationsmessstelle zur Terminvereinbarung und Besprechung der Modalitäten Kontakt aufzunehmen. Wie bald nach der Zufuhr eine Messung erfolgen muss, hängt vom vorliegenden Radionuklid und vom Zufuhrpfad ab. Eine späte Messung, z. B. erst einige Jahre nach der Zufuhr, ist bei den meisten Radionukliden nicht mehr sinnvoll möglich.

---

<sup>27</sup> HLA: Humane Leukozyten-Antigene

Die Berechnung der effektiven Dosis aus dem Messergebnis, die von der Inkorporationsmessstelle durchgeführt wird, hängt unter anderem vom Zufuhrpfad ab, d. h. dem Weg des Eintritts des radioaktiven Stoffs in den Körper (Inhalation, Ingestion, Wundaufnahme, Aufnahme durch die intakte Haut). Zur Unterscheidung von Inhalation und Ingestion kann es sinnvoll sein, die betroffene Person sich den Mund ausspülen und sich schnäuzen zu lassen, die Proben aufzufangen und sie nach Rücksprache mit der Inkorporationsmessstelle mitzubringen (siehe Abschnitt 11.3). Auch die Kenntnis der chemischen Verbindung, in der das Radionuklid an der Einsatzstelle vorlag, kann zu einer genaueren Dosisberechnung beitragen. Unter Umständen sind für die Dosisberechnung mehrere Messungen über einen bestimmten Zeitraum erforderlich, insbesondere während einer langdauernden Dekorporationstherapie. Wenn bei einem Unfall in einer Einrichtung dort eine Raumluftüberwachung durchgeführt wird, sollten die Ergebnisse der Auswertung der Raumluftüberwachung der Inkorporationsmessstelle zur Verfügung gestellt werden.

Die Inkorporationsmessstellen melden die festgestellten Messergebnisse von Personen, die eine berufliche Strahlenexposition erhalten haben (also auch von Einsatzkräften), und die daraus berechneten effektiven Dosen dem Strahlenschutzregister.



Wenn eine Inkorporation radioaktiver Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann, sollte möglichst früh eine erste Inkorporationsmessung erfolgen.

### 11.3.2 Direktmessung (In-vivo-Messung)

Bei einer Direktmessung wird Strahlung, die von radioaktiven Stoffen im Körper einer Person ausgeht, direkt am Körper der Person gemessen. Die Messung findet in darauf spezialisierten Messeinrichtungen (Ganzkörperzähler, Teilkörperzähler) statt. Während der typischerweise 10 bis 30 Minuten dauernden Messung ist die Person im Sitzen oder Liegen von Detektoren zur Messung der vom Körper ausgehenden Strahlung umgeben. Ganzkörperzähler sind vor allem für Radionuklide, die sich homogen im Körper verteilen, geeignet, während mit Teilkörperzählern Radionuklide in einzelnen Organen oder Geweben (Lunge, insbesondere für die Messung kurz nach einer Inhalation radioaktiver Stoffe, Schilddrüse, Knochen) bestimmt werden. Um dem Erfordernis einer möglichst frühen Messung gerecht zu werden, sollten erste, orientierende Messungen bereits am Ort des Notfalls mit mobilen Messgeräten durchgeführt werden. Eine Vorhaltung solcher Messmöglichkeiten in den Inkorporationsmessstellen und eine Messbereitschaft rund um die Uhr sind wünschenswert. Mit üblichen Messgeräten der Organisationen des Katastrophenschutzes können Messungen der Dosisleistung, die durch die Radionuklide im Körper der zu messenden Person in deren Umgebung hervorgerufen wird, einen Hinweis auf die Größenordnung der Körperaktivität geben.

Direktmessungen sind geeignet für Radionuklide, die Photonenstrahlung (Gamma- und Röntgenstrahlung) oder Positronenstrahlung (aus dem Beta-plus-Zerfall) emittieren. Bei Nuklidgemischen reicht es aus, wenn eines der vorkommenden Radionuklide solche Strahlung emittiert, sofern das Verhältnis der Aktivitäten der Radionuklide bekannt ist. In Ganzkörperzählern können alle messbaren Radionuklide gleichzeitig bestimmt werden, sodass das vorliegende Radionuklid nicht spezifisch bekannt sein muss. Das Messergebnis steht unmittelbar nach der Messung fest.

Die Messung ist nicht mit einer zusätzlichen Strahlenexposition verbunden, sodass sie auch auf einen nur einfachen Verdacht einer Inkorporation hin durchgeführt werden kann. Es ist erforderlich, dass die zu messenden Personen während der Messung nicht äußerlich kontaminiert

sind, weil die Messeinrichtungen nicht zwischen einer äußeren Kontamination und der Aktivität radioaktiver Stoffe im Körper unterscheiden können, die effektive Dosis jedoch vor allem durch die Körperaktivität verursacht wird. Außerdem müssen die Messeinrichtungen von Inkorporationsmessstellen kontaminationsfrei bleiben. Zur Dekontamination stehen in vielen Messstellen notfalls Duschen zur Verfügung. Auch bei frühzeitigen Messungen am Ort des Notfalls ist auf eine möglichst gute Kontaminationsfreiheit der zu messenden Personen zu achten.

### 11.3.3 Ausscheidungsanalytik (In-vitro-Messung)

Inkorporationen von Radionukliden, die ausschließlich Alpha- oder Beta-minus-Strahlung emittieren, werden über die Messung der Aktivität in den Ausscheidungen (Urin oder Stuhl) der betroffenen Person ermittelt. In der Regel ist dazu die Sammlung der jeweiligen Probe über einen Zeitraum von 24 Stunden erforderlich. Geeignete Sammelbehälter oder Vorgaben hierzu können z. B. die Inkorporationsmessstellen im Ereignisfall zur Verfügung stellen. Wenn mit der Sammlung unmittelbar im Anschluss an eine Inkorporation begonnen wird, sind mindestens drei 24 Stunden-Proben über die ersten drei Tage nach der Zufuhr erforderlich.

Aufgrund der meist erforderlichen chemischen Aufbereitung der Proben im Labor mit anschließender Messung steht das Messergebnis unter Umständen erst nach einigen Tagen fest. Die Inkorporationsmessstellen können allerdings auch mehrere Proben gleichzeitig bearbeiten. Wenn vorhanden, können für den Einsatz in Notfällen Schnellmethoden eingesetzt werden.

Die Auswahl des chemischen und messtechnischen Verfahrens hängt vom zu bestimmenden Radionuklid ab, sodass das Radionuklid für die Durchführung des Verfahrens bekannt sein muss.

### 11.3.4 Berechnung der inneren Dosis durch inkorporierte Radionuklide

Die Berechnung der **inneren Dosis** aus den Ergebnissen einer Inkorporationsmessung erfolgt in einem zweistufigen Verfahren: In einem ersten Schritt wird die zugeführte Aktivität berechnet, auf die dann ein Dosiskoeffizient angewendet wird.

Mathematische Modelle beschreiben die Biokinetik radioaktiver Stoffe, d. h. deren Verhalten im menschlichen Körper nach einer Zufuhr. Daraus lassen sich Anteile der zugeführten Aktivität der radioaktiven Stoffe im gesamten Körper (Retention), in einzelnen Organen und in den Ausscheidungen zu beliebigen Zeitpunkten nach der Zufuhr berechnen. Diese Anteile sind tabelliert (BMU 2007) und können außerdem mit speziellen Computerprogrammen berechnet werden.

### 11.3.5 Bestimmung von radioaktivem Iod in der Schilddrüse

Bezüglich der Inkorporationsmessung stellt die Inkorporation von radioaktivem Iod eine besondere Situation dar. Radioaktive Isotope von Iod, insbesondere  $^{131}\text{I}$ , können bei Unfällen in kerntechnischen Anlagen freigesetzt werden. Sie reichern sich im Körper gesunder Menschen in der Schilddrüse an. Nach Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen kann eine große Anzahl an Personen aus der Bevölkerung von einer Inhalation radioaktiven Iods betroffen sein. Im Bedarfsfall sollte eine Messung deshalb bereits durch Einsatzkräfte in der Notfallstation erfolgen. Für eine umfassende Feststellung der Strahlenexposition der Bevölkerung ist es wichtig, Messungen an einem möglichst großen Anteil der betroffenen Personen durchzuführen. Auch bei anderen Freisetzungen von  $^{131}\text{I}$  kann das im Folgenden beschriebene Verfahren für eine erste orientierende Messung angewendet werden. Eine verlässliche Abschätzung der Folgeorgan-Äquivalentdosis der Schilddrüse (im Folgenden Schilddrüsenfolgedosis) ist aufgrund des Anreicherungsverhaltens frühestens vier Stunden nach Iodaufnahme möglich.

Eine einfache Bestimmung der Aktivität radioaktiver Iod-Isotope erfolgt durch Messung der Ortsdosisleistung in unmittelbarer Nähe zur Schilddrüse, d. h. an der Vorderseite des Halses direkt über den Schlüsselbeinen mit Berührung des Halses durch das Messgerät. Eine Beeinflussung des Messergebnisses durch in der Nähe befindliche kontaminierte Personen oder eine Kontamination der Umgebung muss minimiert werden. Die Verwendung von Kunststoffbeuteln zum Schutz des Messgeräts vor Kontamination ist unproblematisch. An die Messung ist mindestens die Anforderung zu stellen, eine Strahlenexposition, die zu einer Schilddrüsenfolgedosis in Höhe des Eingreifrichtwerts zur Einnahme von Iodtabletten führt (50 mSv für Kinder, Jugendliche und Schwangere, 250 mSv für Erwachsene), nachweisen zu können. Für Messungen an Säuglingen und Kleinkindern muss das Dosisleistungsmessgerät einen Anstieg der Ortsdosisleistung um wenige zehn Nanosievert pro Stunde nachweisen können. Die Verwendung von Messgeräten mit großvolumigen Detektoren und der Möglichkeit, Messungen über eine einstellbare Messzeit durchführen zu können, ist sinnvoll.



a)

b)

Abb. 11-3: a) Platzierung eines speziellen Dosisleistungsmessgeräts am unteren Ende des Halses knapp über den Schlüsselbeinen und direkt an der Körperoberfläche. Die nachzuweisenden Dosisleistungen reichen von wenigen  $10 \text{ nSv h}^{-1}$  bis zu einigen  $\mu\text{Sv h}^{-1}$  (Copyright: SciePro/Stock.adobe).

b) Lage der männlichen Schilddrüse in Frontalansicht (Copyright: SciePro/Stock.adobe))

Die Berechnung der Folge-Organ-Äquivalentdosis der Schilddrüse (Schilddrüsenfolgedosis) erfolgt aus der gemessenen Dosisleistung anhand von Umrechnungsfaktoren, die aus oben beschriebenen biokinetischen und dosimetrischen Modellen gewonnen wurden. Während eines Zeitraums ca. sechs Stunden bis ca. acht Tagen nach der Zufuhr gilt näherungsweise die in Tab. 11-1 folgende Umrechnung vom gemessenen Wert zur Dosisleistung in die Schilddrüsenfolgedosis gemäß folgender Gleichung:

$$H_{\text{Schilddrüse}} = \dot{H}^*(10) \cdot k$$

mit

$H_{\text{Schilddrüse}}$  als der Schilddrüsenfolgedosis (in mSv),

$\dot{H}^*(10)$  als der vor der Schilddrüse gemessenen Photonen-Äquivalentdosisleistung (in  $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ) und

$k$  als dem Dosiskonversionsfaktor aus Tab. 11-1, Spalte 2 (in mSv pro  $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ).

Außerhalb des genannten Zeitraums sind die bei gleicher Organdosis nachzuweisenden Dosisleistungen kleiner (Abb. 11-4).

Tab. 11-1: Umrechnung der an der Schilddrüse gemessenen Dosisleistung in die Organ-Äquivalentdosis der Schilddrüse (Schilddrüsenfolgedosis) für verschiedene Altersgruppen.

Altersgruppe	Dosiskonversionsfaktor (Schilddrüsenfolgedosis pro gemessener Dosisleistung, (in mSv/( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )))	Bei Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen nachzuweisende Schilddrüsenfolgedosis in Höhe des Eingriffswerts für die Einnahme von Iodtabletten (in mSv)	Der nachzuweisenden Schilddrüsenfolgedosis entsprechende Dosisleistung (in nSv $\text{h}^{-1}$ )
≤ 2 Jahre	900	50	60
2–7 Jahre	500	50	100
7–12 Jahre	210	50	240
12–17 Jahre	140	50	360
> 17 Jahre	90	250	2800
Schwangere	90	50	560

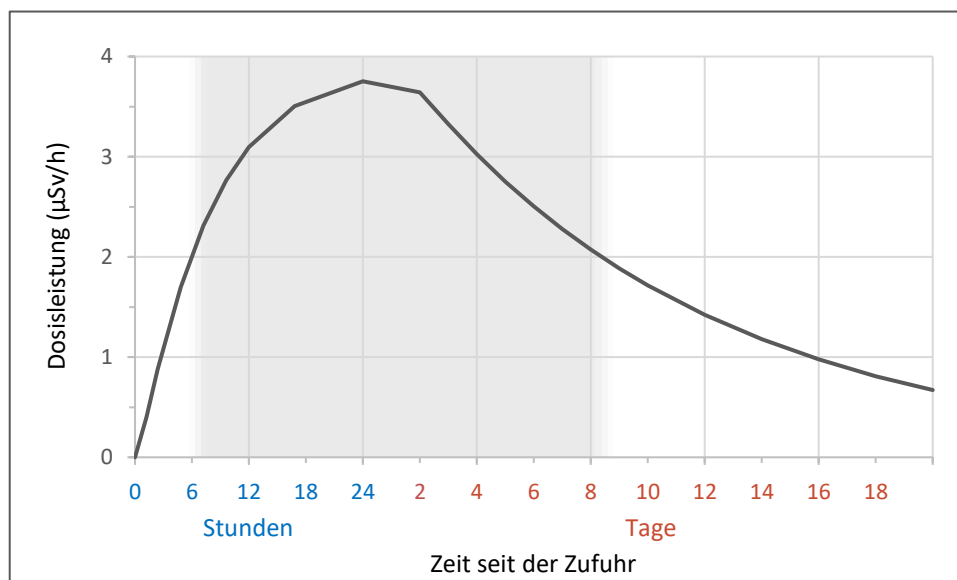


Abb. 11-4: Zeitverlauf der bei Erwachsenen an der Schilddrüse messbaren Dosisleistung für die nachzuweisende Schilddrüsenfolgedosis von 250 mSv. Im linken Teil Zeitskala in Stunden, im rechten Teil in Tagen. Grau hinterlegt ist der Zeitraum von sechs Stunden bis acht Tagen nach der Zufuhr, in dem näherungsweise ein Wert von konstant  $2,8 \mu\text{Sv h}^{-1}$  angewendet werden kann.

Eine genauere Messung kann in In-vivo-Inkorporationsmessstellen mit Teilkörperzählern für Schilddrüsenmessungen erfolgen.





Die korrekte Positionierung des Dosisleistungsmessgeräts direkt am Hals und knapp oberhalb der Schlüsselbeine ist wichtig.

## 11.4 Dosimetrie bei Einsatzkräften

Nach § 2 StrlSchG ist die Exposition von Einsatzkräften eine berufliche Strahlenexposition. Der/die gemäß § 115 StrlSchG für den Schutz der Einsatzkräfte Verantwortliche hat dafür zu sorgen, dass diese Strahlenexposition ermittelt oder abgeschätzt wird. § 150 StrlSchV regelt die Vorgehensweise hierbei.

Die Ermittlung oder Abschätzung soll erfolgen

- durch eine Messung der Personendosis der Einsatzkraft oder,
- wenn eine Messung nicht möglich ist, durch eine Übernahme der Ergebnisse der Messung der Personendosis einer anderen Person mit vergleichbaren Expositionsbedingungen oder
- ersatzweise durch eine Abschätzung der Körperdosis insbesondere auf Grundlage von Messungen der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung, der Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft oder der Kontamination der Umgebung oder anderer physikalischer Parameter jeweils in Verbindung mit der Aufenthaltszeit.

Eine Exposition kann durch externe Strahlenexposition oder durch Inkorporation radioaktiver Stoffe erfolgen. Das Ergebnis der Abschätzung ist bei Überschreiten der in § 150 Abs. 5 StrlSchV genannten Werte durch den/die für den Schutz der Notfalleinsatzkräfte Verantwortliche\*n an das Strahlenschutzregister zu melden.

### 11.4.1 Externe Strahlenexposition

Bei externer Strahlenexposition wird die Dosis mit Personendosimetern bestimmt (siehe Kapitel 10). Getragen werden häufig mehrere Dosimeter

- ein amtliches Dosimeter, das von einer behördlich bestimmten Messstelle bezogen und auch von dieser ausgewertet wird,
- ein sofort ablesbares, elektronisches Dosimeter,
- ggf. bei inhomogenen Strahlungsfeldern oder zu erwartender hoher Teilkörperexpositionen Teilkörperdosimeter (Hand, Kopf, Augenlinse, Fuß), diese Dosimeter stehen auch als amtliche Dosimeter zur Verfügung.

Die Dosimeter sind an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle zu tragen, üblicherweise vorne am Rumpf in Brusthöhe. Bei der Auswahl der Dosimeter ist darauf zu achten, dass sie für den Einsatzzweck geeignet sind. Berücksichtigt werden muss dabei die Strahlungsart (Gamma, Neutronen, Beta) und der Energiebereich. Elektronische Dosimeter sollten geeicht sein. Dabei ist zu beachten, dass in der Regel die Anzeige der Neutronendosis und die Dosis durch Betastrahlung nicht eichfähig sind.

Vor dem Einsatz der Dosimeter sind der Zustand des Messgerätes, der Ladezustand der Batterien und eine eventuelle Vordosis auf dem Gerät zu kontrollieren. Alarmwerte sind entsprechend der Erfordernisse des Einsatzes einzustellen. Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass keine fälschlicherweise zu niedrigen Warn- oder Alarmschwellen eingestellt werden.

Wenn das Gerät Warnungen oder Alarmer ausgibt, die nicht erforderlich sind, kann dies zu einer Verunsicherung der Einsatzkräfte führen.

Ein sehr gutes Mittel zur Expositionsüberwachung während Einsätzen sind Funkdosimeter. Es handelt sich um elektronische Dosimeter, deren Dosisanzeige an einen Leitstand übermittelt wird. Solche Systeme sind z. B. beim „UnterstützungsverBund“ CBRN (UVB-CBRN), einigen Landesbehörden für Umweltschutz, einigen Kernkraftwerken und beim Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH vorhanden.

#### 11.4.2 Interne Strahlenexposition

Bei Einsatzkräften ist gemäß § 150 Abs. 2 StrlSchV eine Inkorporationsmessung erforderlich, falls eine relevante Inkorporation radioaktiver Stoffe zu befürchten ist. Die Entscheidung darüber ist Aufgabe der nach § 115 Abs. 2 StrlSchG für den Schutz der Einsatzkräfte im Notfalleinsatz zuständigen Strahlenschutzverantwortlichen, Behörden und Organisationen. Eine Inkorporationsmessung kann insbesondere erforderlich sein nach Einsätzen mit offenen radioaktiven Stoffen (z. B. pulverförmigen Feststoffen, Flüssigkeiten, Gasen) oder umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Umhüllung beschädigt wurde. Ebenfalls erforderlich kann sie bei Personen sein, bei denen eine Kontamination der Haut festgestellt wurde (auch wenn diese Kontamination entfernt wurde), wenn sie sich ohne Atemschutz oder mit beschädigtem Atemschutz im Gefahrenbereich aufgehalten haben oder die im Gefahrenbereich verletzt wurden. Mit der Ausnahme orientierender Erstmessungen sollen die Messungen nach § 150 Abs. 2 StrlSchV durch eine nach § 169 StrlSchG bestimmte Inkorporationsmessstelle erfolgen.

## 12 Eigenschutz und persönliche Schutzausrüstung

### 12.1 Verhalten im Eigenschutz

Grundvoraussetzung des Eigenschutzes ist das Verständnis für die organisatorisch möglichen Maßnahmen der sog. „4As“ unter Berücksichtigung der GAMS-Regel (Gefahr erkennen, Absperren, Menschenrettung durchführen, Spezialkräfte alarmieren):

- Sofern möglich, **Abschalten** von stromführenden Geräten wie Röntgenröhren oder Beschleunigern. Bei radioaktiven Quellen an die Möglichkeit des Einfahrens der Quelle in einen vorhandenen Abschirmbehälter denken.
- Lage der Strahlenquelle beachten und möglichst großen **Abstand halten** (Quadratisches Abstandsgesetz).
- Die **Aufenthaltszeit** im Gefahrenbereich (auch bei lebensrettenden Sofortmaßnahmen) **so gering wie möglich halten**. Patient\*innen aus dem Gefahrenbereich bringen.
- Schon vorhandene **Abschirmungen** (Mauern, Geräteblöcke etc.) **nutzen**. Patient\*innen hinter Abschirmungen platzieren, um die Dosis bis zur endgültigen Transportfähigkeit zu reduzieren. Die Neuerrichtung von Abschirmungen ist zu zeitaufwendig und verzögert in der Regel notwendige Rettungsmaßnahmen.

### 12.2 Mögliche Gefährdungen

Besteht die Gefährdung durch ionisierende Strahlung ausschließlich durch eine externe Strahlenexposition und gibt es kein Kontaminations- oder Inkorporationsrisiko (z. B. Unfall mit einer umschlossenen, nicht abgeschirmten Materialprüfungsquelle), dann stellt der/die Verunfallte/Patient\*in selbst kein Risiko für die medizinischen Einsatzkräfte dar. Handelt es sich um eine externe Bestrahlung durch Röntgen- oder Beschleunigeranlagen, so besteht nach Abschaltung kein Gefahrenbereich mehr. Anderenfalls ist ein ausreichender Abstand zur Strahlenquelle sicherzustellen.



Bei bestrahlten Patient\*innen, die keine Kontamination/Inkorporation aufweisen, ist für die Einsatzkräfte keine spezifische PSA notwendig.

Beim Umgang mit kontaminierten Strahlennotfallpatient\*innen muss mit einer Kontamination und evtl. Inkorporation der Einsatzkräfte und des Einsatzmaterials gerechnet werden. Hier ist die Verwendung geeigneter persönlicher Schutzausrüstung durch Einsatzkräfte und Transportpersonal erforderlich. Kontaminierte Patient\*innen sollten nach den Empfehlungen der 7. und 8. Sichtungskonsensus-Konferenz mit einem schwarzem „K“ gekennzeichnet sein. Die klinische Weiterversorgung muss ebenfalls mit geeigneter Persönlicher Schutzausrüstung (PSA) erfolgen, solange Kontaminationen des/der Patient\*in nicht ausgeschlossen sind.

### 12.3 Persönliche Schutzausrüstungen (PSA)

Wenn die radiologische Lage auch das Vorhandensein offener radioaktiver Stoffe in verteilter Form umfasst, muss PSA unterschiedlicher Schutzstufen getragen werden, insbesondere zur Vermeidung der Verschleppung radioaktiver Stoffe und zum Schutz der Einsatzkräfte vor Kontamination und Inkorporation. PSA soll die Sicherheit und Handlungsfähigkeit von Einsatzkräften in radiologischen und nuklearen Gefahren- und Schadenslagen gewährleisten.

Um adäquaten PSA-Schutz zu gewährleisten, muss das An- und Ablegen der Schutzkleidung beständig im Team (SSK 2017a) geübt werden. Eine im Strahlennotfallmanagement ausgebildete Person sollte dafür zur Verfügung stehen. Dabei sind auch die Vorgaben des Arbeitsschutzes zu beachten.

Den Anforderungen an PSA sowie deren ordnungsgemäße Verwendung ist für alle EU-Mitgliedsländer grundsätzlich durch die EU-Verordnung 2016/425 (EU 2016) verbindlich geregelt und betrifft die PSA sämtlicher Einsatzkräfte, außer PSA, die speziell zur Verwendung durch Streit- oder Ordnungskräfte entworfen wurden.

Die Festlegung, welche PSA zu tragen ist, erfolgt abhängig von der radiologischen Lage durch den/die Einsatzleiter\*in idealerweise mit Unterstützung entsprechender Fachberater\*innen. Der/die Arbeitgeber\*in ist verpflichtet, vorab eine Arbeitsplatz- und Gefährdungsbeurteilung für jede Einsatzkraft durchzuführen und diese zu dokumentieren (§§ 5, 6 ArbSchG, ArbSchG 1996). Des Weiteren hat der/die Arbeitgeber\*in die Einsatzkräfte vor einer möglichen Verwendung von PSA im sicherheitsgerechten Gebrauch der PSA-Komponenten zu unterweisen. Ggf. sind derartige Schulungen regelmäßig zu wiederholen (§ 12 ArbSchG (ArbSchG 1996) und § 3 PSA-BV (PSA-BV 1996)).

Beispiele für PSA der Feuerwehren (Körperschutz Form 1 bis 3) zeigt Abb. 12-1.



Körperschutz Form 1  
(Feuerwehreinsatzkleidung  
plus Kontaminations-  
schutzhaube)



Körperschutz Form 2  
(Umluftunabhängiger  
Atemschutz plus Spritzschutz-  
anzug/Strahlenschutzanzug)



Körperschutz Form 3  
Chemieschutzanzug (CSA)

Abb. 12-1: Persönliche Schutzausrüstung der Feuerwehren (Körperschutz Form 1 bis 3 nach der Feuerwehrdienstvorschrift AKFzV 2022)



In allen radiologischen und nuklearen (RN-) Lagen gilt striktes Ess-, Trink-, Rauch- und Schminkverbot. Einsatzkräfte, bei denen eine verminderte Barrierefunktion der Haut zu befürchten ist (z. B. offene Wunden), sind wegen der Inkorporationsgefahr aus dem Einsatz zu nehmen. Das korrekte An- und Ablegen von PSA muss vorab trainiert werden, um einen adäquaten Schutz zu erreichen und eine Kontaminationsverschleppung zu vermeiden.

Normalerweise verfügt der Rettungsdienst einschließlich Notärzt\*innen nicht über eine spezielle PSA. Die Rettung von Verletzten aus Bereichen mit möglichen CBRN-Gefährdungen wird durch spezielle Einsatzkräfte, wie z. B. die Feuerwehr, das THW durchgeführt. Die Übergabe des/der Verletzten an den Rettungsdienst erfolgt an der Grenze des Gefahrenbereiches. Es sind jedoch Szenarien vorstellbar, bei denen aufgrund der medizinischen Situation auch der Rettungsdienst inkl. Notärzt\*in innerhalb des Gefahrenbereichs tätig werden muss, um lebensrettende Sofortmaßnahmen durchzuführen. Auch in diesen Fällen ist der notwendige Schutz des Personals durch den/die Einsatzleiter\*in festzulegen, unter Berücksichtigung der besonderen Situation.



Abb. 12-2: Persönliche Schutzausrüstung des medizinischen Einsatzpersonals in RN-Lagen (Bsp. Regionales Strahlenschutzzentrum Neuherberg)

Die Grundausrüstung erlaubt den gefahrlosen Umgang mit kontaminierten Personen. Darüber hinausgehende PSA ist für die medizinische Versorgung der Patient\*innen eher hinderlich und erhöht die Schutzwirkung für die Einsatzkräfte nicht wesentlich, das betrifft auch das Tragen von Röntgenschürzen bei Exposition durch Gammastrahlung.



PSA schützt vor Kontamination, aber nicht vor externer Gammastrahlung.

### *PSA für Einsatzkräfte*

PSA wird entsprechend dem bestehenden Risiko, der Praktikabilität und der Verfügbarkeit der Schutzmittel eingesetzt. Eine Auflistung der aktuellen Rechtsvorgaben und eine Tabelle mit ausgewählten Schutzmitteln finden sich im Anhang A6.

Die folgenden Varianten sollen bei der Entscheidung berücksichtigt werden:

#### PSA-Stufe 1:

- Das Inkorporationsrisiko ist gering (z. B. in Notfallstationen oder im Krankenhaus),
- Kontaminationsverschleppung soll vermieden werden,
- das Vorgehen kann unter Berücksichtigung der üblichen hygienischen Maßnahmen wie im Rettungsdienst bei Infektionsgefährdung üblich erfolgen:
  - Zertifizierte FFP2-Maske oder höhere Schutzklasse,
  - Ganzkörperschutzanzug etwa aus Kunststoffvlies,
  - Einmal-Nitrilhandschuhe (doppeltes Paar),
  - stabile, rutschsichere Überschuhe bzw. unter Feldbedingungen festes, flüssigkeitsdichtes Schuhwerk.

#### PSA-Stufe 2:

- Inkorporationsrisiko ist zu berücksichtigen, Atemschutz muss getragen werden (z. B. unter Feldbedingungen oder beim Rettungseinsatz),
- Atemschutz:
  - a) zertifizierte FFP3-Maske in Kombination mit einem dicht sitzenden Augenschutz,
  - b) Halbmaske plus dichtsitzendem Augenschutz sowie mit lageangepassten Filtern,
  - c) Vollmaske mit lageangepassten Filtern,
  - d) Gebläseschutzsysteme bestehend aus einer Gebläsehaube sowie einer batteriebetriebenen Gebläseeinheit mit lageangepassten Filtern
- Körperschutz,
- flüssigkeitsdichter Ganzkörperschutzanzug,
- Handschuhe doppelt; Außenhandschuhe an die jeweiligen Tätigkeiten angepasst. Die Verwendung von Handschuhen unterschiedlicher Farbe hat den Vorteil, dass Beschädigungen leichter erkannt werden,
- feste Schuhe, wenn möglich flüssigkeitsdicht.

Bei Einsätzen der Feuerwehr mit dem Risiko radioaktive Stoffe zu inkorporieren, gelten die Regelungen der FwDV 500. Die Entscheidung über die Art des Atemschutzes wird von der Einsatzleitung in Zusammenarbeit mit einer im Strahlennotfallmanagement erfahrenen Person getroffen.

Die für den jeweiligen Einsatz geeignete PSA der Rettungsdienstmitarbeiter\*innen inkl. Notärzt\*in sollte, wenn möglich, von dem/der Strahlennotfallarzt\*in (SSK 2017a) situationsangepasst vorgegeben werden. Die letztendliche Entscheidung trifft der Einsatzleiter. Dazu ist eine frühzeitige Einbeziehung von entsprechenden im Strahlennotfallmanagement erfahrenen Personen wünschenswert. (Die Alarmierung sollte über die Integrierten Leitstellen (ILST) oder Feuerwehreinsatzzentralen (FEZ) erfolgen).



Für die präklinische Behandlung kontaminierter Patient\*innen durch medizinisches Personal ist, nach Absprache mit der Einsatzleitung, PSA der Stufe 1 in der Regel ausreichend.

Kann eine derartige Beratung nicht erfolgen, sollte zumindest bei Kontaminations- und Inkorporationsgefahr PSA-Stufe 1 plus möglichst FFP3-Maske und eine dicht sitzende Schutzbrille getragen werden. Umluftunabhängiger Atemschutz ist in der Regel nicht erforderlich.

### 13 Transport kontaminierter Personen

Ein Transport kontaminierter Personen und Patient\*innen stellt besondere Anforderungen. Eine Gefährdung des Transportpersonals und eine Ausbreitung der Kontamination sollten vermieden werden. Besonders der Transport intensivpflichtiger Patient\*innen stellt hohe Anforderungen an das durchführende Personal, hier ist die Gefährdung durch die Kontamination gegenüber der medizinischen Versorgung nachrangig.



- Die medizinische Versorgung hat immer Vorrang vor der Vermeidung einer möglichen Kontamination des Fahrzeuges.
- Bei einem notwendigen Transport kontaminierter Personen müssen unterschiedliche Dringlichkeiten berücksichtigt werden. Die Anzahl der Personen und eine eventuelle medizinische Behandlungsbedürftigkeit entscheiden vordringlich über die Wahl der Transportmittel und deren Ausstattung.

Der Transport kontaminierter Personen sollte von im Strahlenschutz fachkundigem Personal organisiert werden. Dieses Personal muss in der Lage sein, eine Kontamination messtechnisch zu erfassen und die resultierende Gefährdung zu beurteilen.

Allgemein gilt, dass mit einer Kontamination des Transportfahrzeuges gerechnet werden muss, und dieses nach dem Transport dekontaminiert oder ggf. sogar als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss. Die Fahrzeuge und andere eventuell kontaminierte Gegenstände, wie z. B. Rettungstragen, EKG-Geräte etc. sind vor einem erneuten Gebrauch mit nicht kontaminierten Personen auf Kontaminationsfreiheit zu überprüfen.

Wenn es z. B. nach einem Unfall in einer kerntechnischen Anlage zu einer Kontamination großer Gebiete gekommen ist, können innerhalb dieses Gebietes Fahrzeuge eingesetzt werden, die ohnehin schon kontaminiert sind. Patient\*innen werden dann mit diesen Fahrzeugen zu Übergabepunkten gebracht.

Es sind, wenn möglich, Fahrzeuge zu wählen, die über eine einfach dekontaminierbare Innenausstattung verfügen, z. B. Kunstledersitzbezüge und glattflächige Kunststoffinnenverkleidung. Während der Fahrt durch kontaminierte Gebiete ist die Lüftungsanlage aus oder in den Umluftbetrieb zu schalten. In anderen Gebieten ist die Lüftungsanlage im Fahrerbereich in Maximalleistung zu betreiben. Dieses bewirkt einen möglichst großen Luftwechsel im Aufenthaltsbereich des Transportpersonals. Innenflächen des Fahrzeuges sollten nach Möglichkeit mit Kunststoffolie abgedeckt werden, um sie vor einer Kontamination zu schützen. Für Fahrzeugsitze eignen sich hier Schutzfolien, wie sie z. B. in Kfz-Werkstätten als Schutz vor Verschmutzungen eingesetzt werden oder Rettungsfolien aus dem Verbandskasten.



Zum Schutz der/des Fahrer\*in sollen möglichst Fahrzeuge verwendet werden, die über eine Trennung zwischen Fahrerbereich und Fahrgast- oder Patientenbereich verfügen.

Strahlenschutzspezialist\*innen entscheiden, ob das Transportpersonal mit PSA (Persönlicher Schutzausrüstung) ausgestattet werden muss.



Bei der Auswahl der PSA ist zu beachten, dass dadurch das Führen des Kraftfahrzeuges nicht beeinträchtigt werden darf. Zum Beispiel kommt es beim Tragen von Vollmasken zu Gesichtsfeldeinschränkungen, bei Halbmasken hingegen nicht.

Die kontaminierten Personen sollten, wenn möglich vor dem Transport, ausgekleidet werden. Kontaminierte Bekleidung ist in Kunststoffsäcke zu verpacken. Für den Transport sind die Patient\*innen mit leichter Schutzkleidung wie Papieroveralls, Handschuhen aus Baumwolle und Überschuhen auszustatten. Dieses minimiert das von dem/der Patient\*in ausgehende Kontaminationsrisiko.

Der Unterkühlung der Patient\*innen ist durch geeignete Maßnahmen vorzubeugen.

Der Einsatzzentrale oder der Rettungsleitstelle sind neben den medizinischen Informationen des/der Patient\*innen auch Angaben zur Expositionssituation und, falls vorhanden, Ergebnisse von Kontaminations- und Dosisleistungsmessungen mitzuteilen, damit die empfangende Organisationseinheit entsprechend vorbereitet werden kann. Der/die kontaminierte Patient\*in sollte neben der sonstigen Sichtungskategorie mit einem schwarzen „K“ gekennzeichnet sein (wichtig für die aufnehmende Klinik) (siehe auch Abb. 5-2).

Die Meldung umfasst

- Anzahl der Personen,
- medizinische Dringlichkeit,
- Kontaminationsniveau,
- Risiko und Potenzial einer Kontaminationsverschleppung,
- Gefährdungspotenzial,
- mit Strahlenschutzbegleitung ja/nein.

Tab. 13-1: Entscheidungsmatrix Fahrzeugauswahl

Transport von	Kontaminiert *	Leicht verletzt **	Schwer verletzt ***
Einzelpersonen	Personentransporter	KTW	RTW
Mehreren Personen	Personentransporter/Kleinbus	KTW	RTW
Massenanfall	Bus	KTW	RTW

KTW – Krankentransportwagen, RTW - Rettungstransportwagen

\* Die zu transportierenden Personen werden ausgekleidet und dann mit OP-Handschuhen, Überschuhen und Papieranzug ausgestattet

\*\* Transport, wenn möglich, wie (\*) Ärzt\*in oder Sanitäter\*in entscheiden

\*\*\* Kontamination ist von nachrangiger Bedeutung, eine medizinische Versorgung steht im Vordergrund.

Bei der Auswahl des geeigneten Transportmittels sind die Schwere der Verletzung und die Anzahl der zu transportierenden Personen zu beachten. Wenn eine medizinische Versorgung nachrangig ist, werden Fahrzeuge gewählt, die für die Anzahl der zu transportierenden Personen geeignet sind. Beim Transport verletzter Personen werden die gleichen Kriterien betrachtet, die auch im konventionellen Krankentransport Anwendung finden. Als Besonderheit sollten alle sicher nicht benötigten Einrichtungsgegenstände aus den Fahrzeugen entfernt werden, um sie keinem Kontaminationsrisiko auszusetzen.

## 14 Infrastruktur und Logistik im Krankenhaus

Bereits im Jahr 2015 empfahl die Strahlenschutzkommission eine ausreichende Anzahl über Deutschland verteilter Kliniken für die Versorgung von Strahlenunfallpatient\*innen verfügbar zu halten und die dafür benötigten Grundlagen zu schaffen (SSK 2015) und nachfolgend im Jahr 2017 die Erstellung eines abgestuften, integrierten Vorsorge- und Versorgungskonzepts (SSK 2017a).

Da beide Empfehlungen in Deutschland bisher nicht realisiert sind, wurde zur konkreten Umsetzung 2020 eine separate Arbeitsgruppe der SSK eingerichtet, die Mindestanforderungen für Kliniken hinsichtlich der strukturellen, personellen und apparativen Kapazitäten im Sinne eines verbindlichen Anforderungsprofil festlegen und ausarbeiten soll, um die Behandlung und Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen in dafür spezialisierten Krankenhäusern auf einem möglichst einheitlichen und hohen Standard durchführen zu können. Da Krankenhäusern als Schlusspunkt der Rettungskette bei der Bewältigung eines Strahlennotfalls eine Schlüsselfunktion zukommt (AGGB 2012, Bail et al. 2009, WHO 2011, 2014, Wurmb et al. 2017), sind an die künftige Infrastruktur und Logistik von Krankenhäusern spezielle Anforderungen zu stellen. Hierfür sollten ausreichende klinische Aufnahmekapazitäten und Behandlungskompetenzen bereitgestellt, entsprechende Planungen organisatorischer Maßnahmen vorgenommen sowie eine adäquate medizinische Infrastruktur aufgebaut werden (Belmont et al. 2004, BMI 2016). Insbesondere sollte auch eine detaillierte Alarm- und Einsatzplanung, die kontinuierliche Fortschreibung und Überarbeitung der vorhandenen Handlungsanweisungen sowie die regelmäßige Durchführung von Übungen zur Überprüfung der Alarm- und Einsatzpläne und zum Training des Personals umgesetzt werden (Scholl und Wagner 2010).

Die betreffenden Krankenhäuser sollten hinreichende Ausrüstung und Expertise vorhalten, um eine qualifizierte Behandlung und Betreuung von Patient\*innen mit unterschiedlichen Strahlenschäden (akutes Strahlensyndrom, lokale Strahlenschäden, Kontamination, Inkorporation oder kombinierte Verletzung, also konventionale Verletzung und Strahlenschaden) gewährleisten zu können (Rojas-Palma et al. 2009).

Bei der Planung und Organisation von ausreichenden klinischen Aufnahme- und Versorgungskapazitäten für die medizinische Versorgung bei einem Strahlennotfall sind Mindestanforderungen an strukturelle, personelle und apparative Kapazitäten und fachliche Kompetenzen zu stellen und vor allem die im Folgenden dargestellten Planungen zu berücksichtigen (Bail et al. 2009, SSK 2017a, 2017b).



Die qualifizierte klinische Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen setzt eine adäquate medizinische Infrastruktur und eine spezielle fachliche Kompetenz voraus, die noch aufgebaut werden müssen.

### 14.1 Alarmierungs- und Einsatzplanung, Maßnahmenplanung

Damit Krankenhäuser von Notfällen nicht unvorbereitet getroffen werden und in Schadenslagen sowohl ihre Behandlungskapazität als auch ihre Funktionalität aufrechterhalten können, ist eine umfassende Alarm- und Einsatzplanung von entscheidender Bedeutung (BBK 2020, Wurmb et al. 2017). Eine Verpflichtung zur Aufstellung, Fortschreibung und Übung von Alarm- und Einsatzplänen ergibt sich aus mehreren Gesetzen und rechtlichen Vorgaben der Länder (BBK 2020).

Der Krankenhausalarm- und Einsatzplan (KAEP) Strahlennotfall muss in den allgemeinen KAEP integriert werden und regelt Abläufe sowie vorbereitende und abwehrende Maßnahmen zur Verhinderung, Beseitigung oder Minderung von Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung innerhalb des Krankenhauses.

Der KAEP Strahlennotfall tritt in Kraft, wenn eine Behandlung von Strahlennotfallpatient\*innen erforderlich ist. Alle Maßnahmen des KAEP dienen dazu, die Patientenversorgung möglichst lange aufrecht zu erhalten.

Die Alarm- und Einsatzplanung sollte funktionsspezifisch zusammengestellt und um entsprechende Checklisten mit einer ausführlichen Darstellung der Verantwortlichkeiten, der Raumordnung und der Personalstruktur für den Einsatzfall ergänzt werden (BBK 2020, Scholl und Wagner 2010). Der KAEP umfasst den internen Alarmierungsplan sowie Ablaufschemata oder Flussdiagramme, die die Reihenfolge der einzelnen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen bestimmen.

#### 14.1.1 Alarmierungsplan, Mitarbeiteralarmierung

Den Schlüssel für die Aktivierung des ereignisspezifischen Alarmierungs- und Einsatzplans „Strahlennotfall“ stellt das Erkennen und die Meldung einer derartigen Lage dar (Martens 2009). Rettungsdienst, Feuerwehr und Polizei sowie Mitarbeiter\*innen der Rettungsstelle/Notaufnahme müssen daher für das Erkennen eines Strahlennotfalls sensibilisiert und ausgebildet sein.

Der Alarmierungsplan (Abb. 14-1) enthält einzelne Alarmierungsregeln (BBK 2014), setzt die Alarmierungskaskade in Gang und regelt die Bildung der Krankenhauseinsatzleitung (KEL) oder ggf. einer operativen Krankenhauseinsatzleitung (OpKEL) als erster Führungsstruktur aus der aktuellen Dienststruktur des Krankenhauses (BBK 2020).

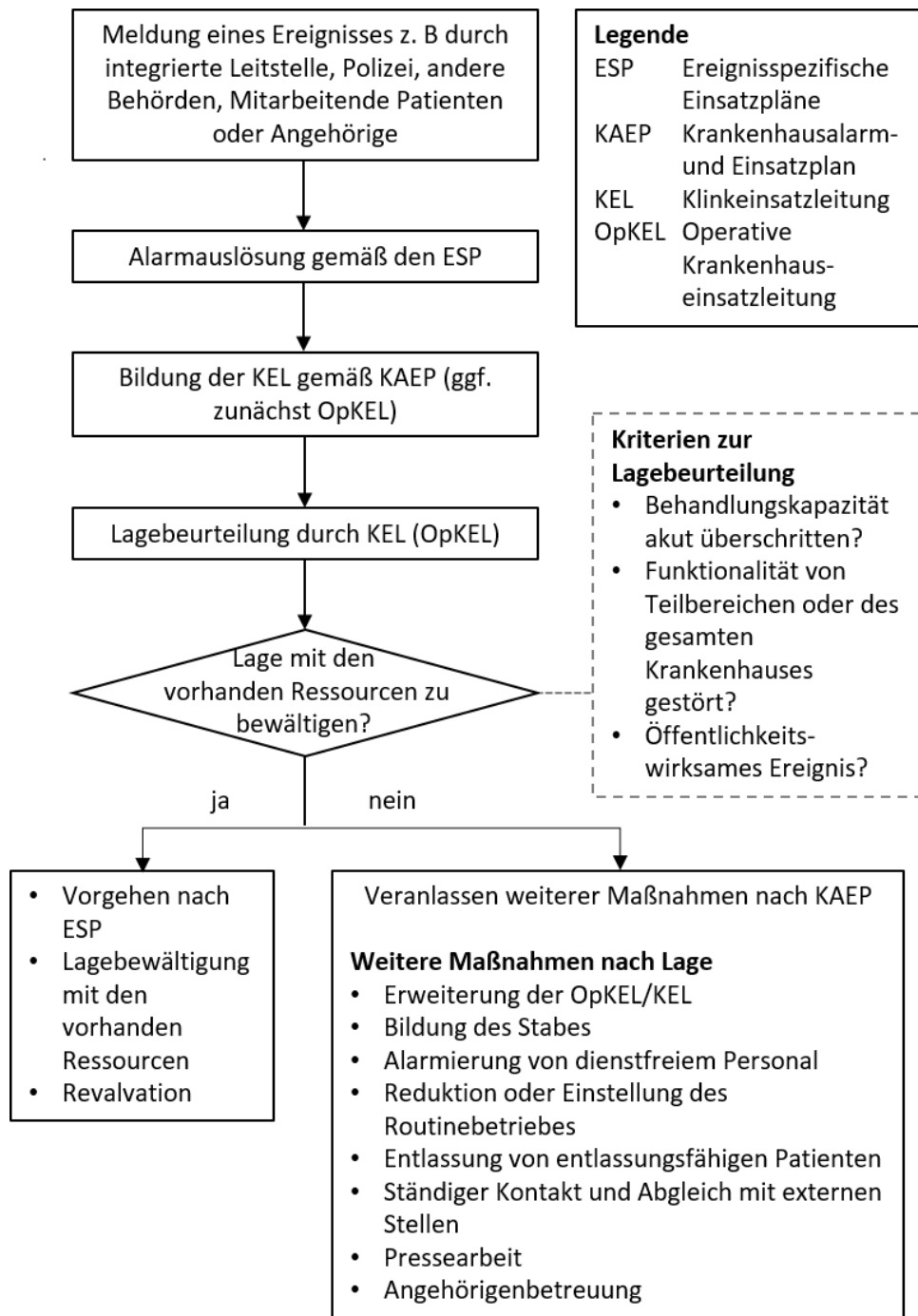


Abb. 14-1: Alarmierungsplan im Krankenhaus (BBK 2020)

Der Alarmierungsplan führt auf, in welcher Reihenfolge Mitarbeiter\*innen zu alarmieren sind, und welche Mitarbeiter\*innen bei entsprechendem Bedarf zusätzlich angefordert werden müssen, z. B. für Sichtung und Erstmaßnahmen, Aufbau und Inbetriebnahme der Dekontaminationsstelle sowie Sicherheit, Logistik etc. Er legt die Registrierung und Einsatzbereitschaft der alarmierten Mitarbeiter\*innen fest, ebenso die Organisation der Funktionsbereiche mit den entsprechenden Handlungsanweisungen (BSMI 2006).

Die Alarmierung dient der Verständigung und Information der Krankenhausmitarbeiter\*innen. Für eine effektive Alarmierung sind Mitarbeiterlisten und Kontaktdaten regelmäßig zu aktualisieren.



Zur Aufrechterhaltung der Behandlungskapazität und Funktionalität des Krankenhauses ist ein Krankenhausalarm- und Einsatzplan für den Strahlennotfall bereits im Voraus zu erstellen; der Ablauf muss geübt werden.

Die Aktivierung des Alarm- und Einsatzplans „Strahlennotfall“ setzt das Erkennen und die Meldung einer derartigen Lage voraus. Rettungsdienst, Feuerwehr und Polizei sowie Mitarbeiter\*innen der Rettungsstelle/Notaufnahme müssen für das Erkennen eines Strahlennotfalls sensibilisiert und ausgebildet sein.

#### 14.1.2 Krankenhauseinsatzleitung

Die Führungsorganisation besteht aus der Krankenhauseinsatzleitung (KEL) und der Medizinischen Einsatzleitung (MEL). Diese Struktur ermöglicht die Trennung der allgemeinen, administrativ-organisatorischen Aufgaben von den unmittelbar patientennahen medizinischen Aufgaben (Adams et al. 2015).

Die KEL besteht aus den Vorständen der Klinik und entspricht weitgehend der bei anderen inneren oder äußeren Gefahrenlagen allerdings unter Berücksichtigung einiger Besonderheiten des Strahlennotfalls.

Die KEL bereitet grundlegende strategische Entscheidungen vor, legt diese der Krankenhausleitung zur Entscheidung vor und koordiniert die Funktions- und Behandlungsbereiche des Krankenhauses (BBK 2020). Sie nimmt also administrativ-organisatorische Aufgaben wahr und ist verantwortlich für die Koordination des Einsatzablaufs, für Beratung und Kontakt mit allen Innen- und Außenstellen (Schadensort, Feuerwehr, zuständige Behörde, etc.), ebenso für die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, z. B. die Einrichtung einer Medieninformationsstelle oder eines Informationszentrums. Die Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation mit Vertreter\*innen der Presse liegt in der Verantwortung des Klinikvorstandes, ggf. in Abstimmung mit der zuständigen Behörde.

Der/die Leiter\*in der KEL ist nicht in die unmittelbare Versorgung der Strahlennotfallpatient\*innen involviert (Urban et al. 2006).

Die KEL koordiniert die erforderlichen Sofortmaßnahmen und bestimmt (Adams et al. 2015):

- Festlegung der Alarmstufe und die Alarmierung der Mitarbeiter\*innen und vorbereitende Maßnahmen,
- Lagebildführung und Dokumentation mit Personenauskunftsstelle,
- Verkehrsregelung und Gebäudesicherung,
- Ermittlung der freien und freizumachenden Normal- und Intensivbetten,
- Öffentlichkeitsarbeit und Angehörigenbetreuung,
- Sicherstellung der Logistik (insbesondere Medikamente, Blutprodukte, Material, Verpflegung sowie die dafür notwendigen IT-Systeme oder IT-Infrastruktur),
- Zusammenarbeit mit externen Führungsstäben, insbesondere Koordination der Verlegung von Patient\*innen,
- Einrichtung eines Schichtbetriebs und des Personalersatzes,
- Demobilisierung mit Übergang vom Notfallbetrieb zum Regelbetrieb,

- Entsorgung radioaktiver Abfälle,
- ggf. die Hinzuziehung weiterer Fachkompetenz (z. B. Chirurgie, Hämatologie, Dermatologie, Innere Medizin, Intensivmedizin, für radiologische Notfälle geschulte Kriseninterventionsteams),
- ggf. den Umgang mit Leichen,
- ggf. die Verständigung der zuständigen Landesressorts (Umweltministerium, Innenministerium, Lagezentrum/Krisenstab).

Der MEL obliegen die unmittelbare Patientenversorgung und die erforderlichen technischen Maßnahmen (Adams et al. 2015):

- diagnostische Maßnahmen,
- eventuelle Dekontaminations- oder Dekorporationsmaßnahmen,
- die Isolation bzw. Unterbringung der Patient\*innen,
- die Vorbereitung und Durchführung einer stationären Behandlung,
- ggf. die Überweisung bzw. Verlegung von Patient\*innen an Fachkliniken mit speziell für den Strahlennotfall ausgebildetem Personal.

Da bei einem Strahlennotfall sowohl strahlenphysikalisch als auch medizinisch relevante Fragen zu berücksichtigen sind, wird die KEL – sofern vorhanden – um zusätzliche Fachleute (Medizinphysiker\*innen, Radiochemiker\*innen, Nuklearmediziner\*innen, Strahlenschutzbeauftragte, Fachberater\*innen aus den speziellen Fachkliniken) erweitert.

Den internen und externen Kommunikationswegen kommt bei einem radiologischen Notfall eine besondere Bedeutung zu. Eine professionelle Krisenkommunikation ist essenziell und beinhaltet die Information oder Warnung für Klinikmitarbeiter\*innen, Patient\*innen, Einsatzkräfte und die Bevölkerung (EPA 2007). Daher sollte innerhalb des Krankenhauses für interne und externe Kommunikation ein Informationskonzept (Öffentlichkeitsarbeit: Pressestelle, Medien) im Voraus festgelegt werden.

Für besorgte Personen und Angehörige von Betroffenen sollte eine Anlauf- und Informationsstelle sowie eine Telefonhotline eingerichtet werden.



Die Führungsorganisation aus Krankenhauseinsatzleitung (KEL) und Medizinischer Einsatzleitung (MEL) ermöglicht die Trennung der allgemeinen, administrativ-organisatorischen Aufgaben von den patientennahen, unmittelbaren medizinischen Aufgaben.

### 14.1.3 Maßnahmenplanung

Die Herstellung der Einsatzfähigkeit und Handlungsbereitschaft eines Krankenhauses sowie die definierte Rollenzuweisung und Aufgabenverteilung der Mitarbeiter\*innen bedürfen einer entsprechenden Maßnahmenplanung (IAEA 2005).

Der KAEP enthält darüber hinaus Auftragsblätter mit Handlungsanweisungen für die einzelnen Funktionsträger\*innen (Akteur\*innen), Recovery-Protokolle für Material und Personal sowie vorbereitete standardisierte Dokumentationsblätter.

Zudem listet er die Erfordernisse für den Personalschutz auf, die speziellen Vorhaltungen für einen Massenansturm von Verletzten, z. B. Sichtungsalgorithmen, und legt das Vorgehen bei Todesfällen fest.

Kontaktdaten zu speziellen Fachkliniken und Behörden sind vorzuhalten und regelmäßig zu aktualisieren.



Die Maßnahmenplanung beinhaltet u. a. eine definierte Rollenzuweisung und Aufgabenverteilung der Mitarbeiter\*innen, die Vorbereitung von Auftragsblätter mit Handlungsanweisungen sowie standardisierte Dokumentationsblätter.

## 14.2 Infrastruktur

### 14.2.1 Fachabteilungen, Behandlungsbereiche

Für die Versorgung von Strahlennotfallpatienten\*innen ist Expertise insbesondere der folgenden medizinischen Fachgebiete erforderlich: Innere Medizin mit dem Schwerpunkt Hämatologie/Onkologie, Chirurgie mit dem Schwerpunkt Unfallchirurgie, Anästhesie, Nuklearmedizin, wenn möglich Dermatologie und/oder Strahlentherapie.

Darüber hinaus müssen Notaufnahmen, intensivmedizinische Stationen, OPs, Labore und Physikabteilungen etc. vorhanden sein.

Der räumlich definierte Sichtungspunkt dient auch der Dokumentation für die administrative Patientenaufnahme ins Krankenhausinformationssystem. Die klinische Sichtung unterscheidet sich prinzipiell nicht von der präklinischen Sichtung (BBK 2020). Lebensbedrohlich oder schwer verletzte Patient\*innen werden zur Behandlung direkt in entsprechende Fachabteilungen verlegt, da eine Dekontamination in diesem Fall nachrangig ist. Kontaminierte Patient\*innen ohne zusätzliche Verletzungen sowie Leichtverletzte werden im Dekontaminationsbereich dekontaminiert und bei Bedarf stationär oder ambulant weiterversorgt. Nichtkontaminierte Patient\*innen werden zur Abklärung einer externen Ganz- oder Teilkörperexposition untersucht und je nach Schweregrad stationär oder ambulant weiterversorgt.



Für die adäquate Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener medizinischer Fachgebiete notwendig.

Tab. 14-1 zeigt die Abschätzung der medizinischen Kapazitäten in Abhängigkeit von verschiedenen radiologischen Notfallszenarien, die für die klinische Versorgung von Strahlennotfallpatient\*innen in Spezialeinrichtungen erforderlich sind. Dargestellt sind zudem medizinische Kapazitäten für die präklinische Versorgung, den adäquaten Transport von Kontaminierten und die psychosoziale Betreuung (SSK 2017a).





	Präklinisch				Transport	Klinisch in der Spezialeinrichtung					Psychosozial/ psychiatrisch
	erste Sichtung	Kontami- nations- messung	Dosis- abschätzung	Dekontami- nation	Spezialtransport potenziell Kontaminierte	zweite Sichtung	Dekontami- nation	Dekor- poration	Lokalbe- handlung	Intensiv- behandlung (ARS)	Psychosoziale/ psychiatrische Betreuung
Terroristische oder anderweitig motivierte Straftat	< 1 000	< 1 000	< 1 000	< 1 000	< 300	< 300	< 300	< 100	< 100	< 10	+++
Satellitenabsturz	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	+

+ wenige, ++ viele, +++ sehr viele Betreuungsteams sind vorzuhalten; - keine betroffenen Personen erwartet

### 14.2.2 Raumordnung und Wegeführung, Verkehrsführung

Um die unkontrollierte Ausbreitung radioaktiver Stoffe im Krankenhaus und das Risiko einer Sekundärkontamination zu verhindern oder zu minimieren, ist eine effektive Raumordnung und vorausschauende Wegeführung im Voraus zu planen, festzulegen und fortlaufend zu aktualisieren (BBK 2020).

Die Raumordnung und Wegeführung sollte nach dem Unrein-Rein-Modell (schwarz/weiß bzw. kontaminiert/nicht-kontaminiert) ausgelegt sein (Abb. 14-2) und nach dem Einbahnstraßenprinzip funktionieren (Cwojdzinski 2008a). Diese Anordnungsplanung gilt u. a. für die Bereiche der Registrierung, Sichtung, Notfall- bzw. Patientenaufnahme, Behandlungsbereiche, Mitarbeiterumkleiden. Die Wegeführung ist im KAEP zu beschreiben.

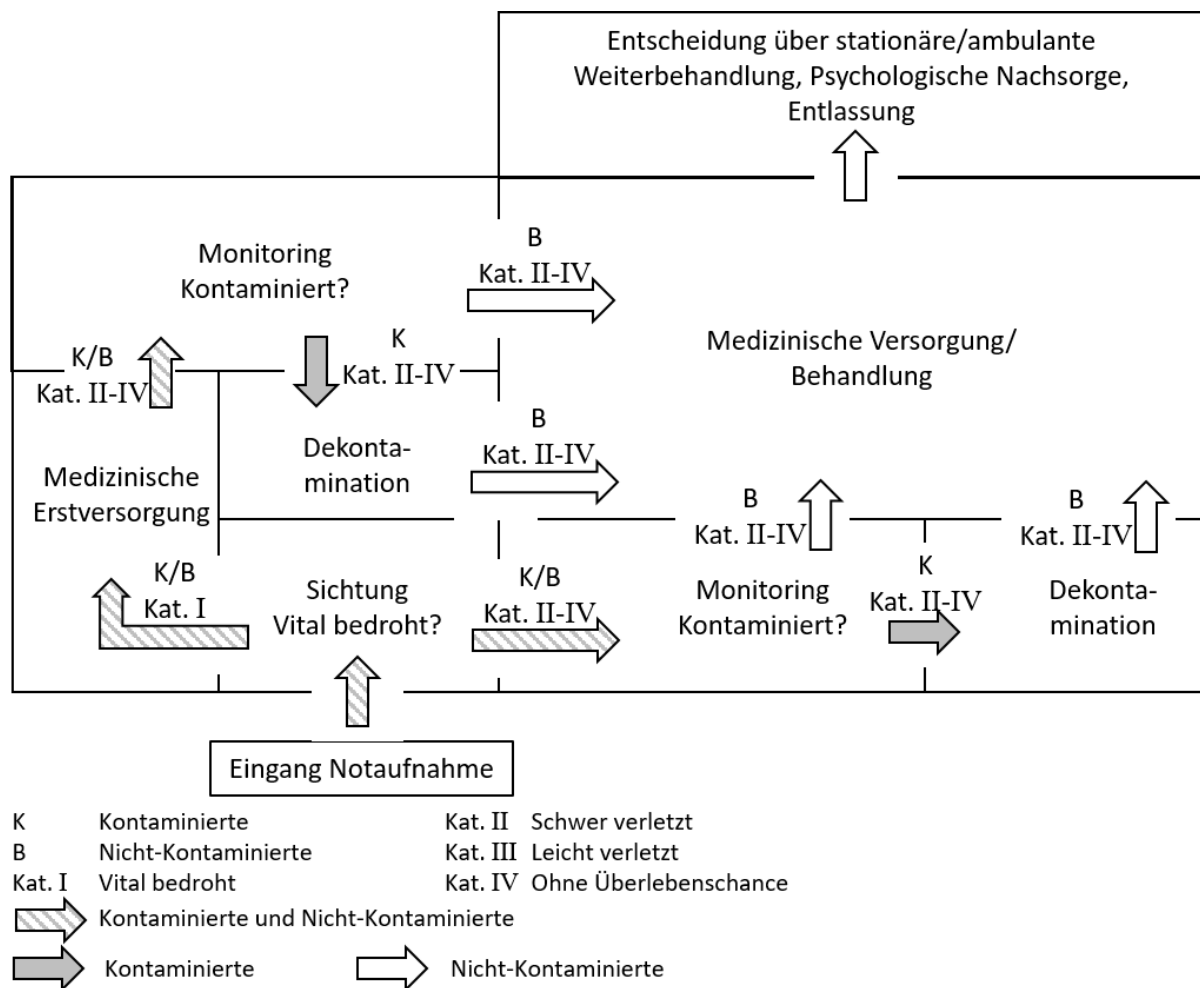


Abb. 14-2: Patientenaufnahme nach dem Unrein-Rein-Modell (Rojas-Palma et al. 2009) unter Berücksichtigung der Sichtungskategorien Kat I – IV (vgl. Abb. 6-2)

Sofern bauliche Voraussetzungen dies zulassen, sollte der Eingang für Strahlenunfallpatient\*innen abseits der Krankenhausnotaufnahme liegen (Martens 2008).

Gesonderte Warte-, Aufnahme- und Behandlungsbereiche müssen für Strahlennotfallpatient\*innen festgelegt und vorgehalten werden (Haeseler et al. 2008). Zusätzlich sind Absperrbereiche, Schleusen, Zugangskontrollen, Wegeführung vorzusehen, die den Dekontaminationsbereich vor Zutritt Unberechtigter sichern.

Auch Absperrungen der Zufahrtswege und Zugangskontrollen des Patienteneinlasses ins Krankenhausgebäude sind zu planen und einzurichten, um das Krankenhaus als kritische Infrastruktur zu sichern (Haeseler et al. 2008).

Bei einem Massenansturm verletzter bzw. kontaminierter Personen ist eine Dekontamination bereits in der Nähe des Schadensortes, außerhalb des Klinikgebäudes (z. B. in Zelten) oder in sonst anders genutzten Räumen des Krankenhauses einzuplanen und bereitzustellen (Martens 2008).

Materialablagen sind im unreinen Bereich, und ein Materiallager im reinen Bereich vorzuhalten.



Die Planung und Festlegung einer effektiven Raumordnung und vorausschauenden Wegeführung nach dem Einbahnstraßenprinzip verhindert oder minimiert die unkontrollierte Ausbreitung radioaktiver Stoffe im Krankenhaus und das Risiko einer Sekundärkontamination.

## 14.3 Personalplanung

### 14.3.1 Mitarbeiter\*innen und Teams

Der KAEP legt die Akteur\*innen als verantwortliche Funktionsträger für bestimmte Bereiche fest und teilt ihnen definierte Aufgaben zu. Als Minimum für Sichtung und Behandlung bei einem Strahlennotfall werden mindestens zwei Behandlungsteams benötigt. Es ist notwendig, bereits im Vorfeld eine Übersicht über das aktuell mobilisierbare Personal zu erstellen (BBK 2020). Aus Gründen des Selbstschutzes sollen nur zwingend benötigte Mitarbeiter\*innen (Adams et al. 2012) eingesetzt werden, die zudem ausreichend ausgebildet und geschützt sind (Martens 2008).

Bei einem Verdacht auf Kontamination arbeitet je ein Behandlungsteam im „nicht-kontaminierten“ und „kontaminierten“ Bereich. Ein spezielles, im Umgang mit PSA und der Versorgung kontaminierter Patient\*innen ausgebildetes Dekontaminationsteam übernimmt die Behandlung im kontaminierten Bereich (Haeseler et al. 2008).

Je nachdem, mit welchen gesundheitlichen Effekten infolge externer Strahlenexposition, Kontamination, Inkorporation oder Kombinationsverletzungen bei den Patient\*innen zu rechnen ist, sind für die Behandlung entsprechende, interdisziplinär zusammenarbeitende Fachkräfte einzubinden. Konsiliardienste weiterer benötigter Fachkliniken (Dermatologie, Hämatologie etc.) müssen bei Bedarf angefordert werden.

Die Katastrophenschutzbehörden der Länder, das radiologische Lagezentrum des Bundes oder die spezifischen Einzelinstitutionen können auf Nachfrage spezielle fachliche Beratung und Unterstützung leisten, so z. B. zur Dosisermittlung bei externer Strahlenexposition und Kontamination, zur Bestimmung der Körperdosis bei Inkorporation, zur Behandlung des ARS und einer Teilkörperexposition und zur biologischen Dosimetrie.



Bei einem Strahlennotfall sollen nur zwingend erforderliche Mitarbeiter\*innen eingesetzt werden, die über eine ausreichende Ausbildung verfügen. Eine Übersicht über das aktuell mobilisierbare Personal ist bereits im Vorfeld zu erstellen.

### 14.3.2 Aufgaben

Vorbereitete Auftragsblätter mit Handlungsanweisungen für die einzelnen Funktionsträger\*innen beinhalten Aufgabenbeschreibungen und eine Auflistung der durchzuführenden Maßnahmen (Urban et al. 2006). Anhand von Checklisten können im Ereignisfall zugewiesene Funktionen strukturiert und zielgerichtet wahrgenommen werden (BBK 2020).

Im **Dekontaminationsteam** im unreinen Bereich arbeitet ärztliches, nicht-ärztliches und Pflegepersonal und hat definierte Aufgaben.

Ein/e Ärzt\*in führt die medizinische Versorgung (Sichtung, Diagnose, Therapie) der Patient\*innen durch.

Eine medizinische Assistenzkraft unterstützt den/die Ärzt\*in bei der medizinischen Versorgung und Dekontamination der Patient\*innen, sichert Proben sowie kontaminierte Gegenstände, Kleidung, Abdeckungen etc.

Eine technische Assistenzkraft führt die Patientenmessungen und die abschließende Dekontamination inklusive der Freimessung der Behandlungsräume durch.

Das **Behandlungsteam** im reinen Bereich übernimmt zusätzliche Aufgaben und besteht ebenfalls aus mindestens drei Mitarbeitern\*innen.

Eine medizinische Assistenzkraft erfasst die anwesenden Mitarbeiter\*innen, gibt die Personendosimeter aus und erfasst die Messwerte, schleust Mitarbeiter\*innen in den unreinen Bereich ein und aus, nimmt Patientenstammdaten auf und fertigt das Unfallprotokoll an.

Eine zweite medizinische Assistenzkraft beschriftet und verpackt Proben, bereitet die Proben zur Messung auf, führt die Messprotokolle bei den Patientenmessungen und protokolliert alle ausgeführten Maßnahmen.

Ein/e Strahlenschutzbeauftragte\*r legt den Grad der Schutzmaßnahmen für die Mitarbeiter\*innen fest, ist verantwortlich für Strahlenschutzmaßnahmen in den Behandlungsräumen, macht – ggf. unterstützt von einer erfahrenen Hilfskraft – Feinmessungen der Patientenproben im Radionuklidlabor, falls vorhanden, führt Messungen durch, nimmt eine Dosisabschätzung vor und ist mit der Überprüfung und Kontrollmessungen der Mitarbeiter\*innen betraut.

Der/die **Team- oder Einsatzleiter\*in** übernimmt die Leitung, Koordination und Überwachung des Einsatzes beider Teams.

## 14.4 Ausrüstung, Gerätschaften, Material

Ausrüstungen, Gerätschaften und Material für den konventionellen Notfall sind durch weitere Ressourcen speziell für den Strahlennotfall im Rahmen der Vorsorge- und Alarmplanung zu ergänzen und in entsprechenden Depots vorzuhalten. Neben Erfassung, Tabellarisierung, Wartung und Sachverständigenprüfung ist fortwährend sicherzustellen, dass alle Ressourcen nutzbar sind und ihr Standort bekannt ist (Bail et al. 2009).

Zum speziellen Ressourcenmanagement bei einem Strahlennotfall gehört die Bereitstellung und Aufbewahrung von PSA für alle Mitarbeiter\*innen, die in direkten Kontakt mit kontaminierten Patient\*innen kommen könnten (Martens 2008). Zur PSA gehören Maske, Arbeitsschutzbrille, OP-Kopfhaut, flüssigkeitsdichter Overall oder Schürze und Schutzhandschuhe (Haeseler et al. 2008).

Der Dekontaminationsbereich sollte mit Duschen, Dekontaminationsliegen und Haarwaschbecken sowie Abfallbehältern ausgestattet sein. Zur fakultativen apparativen Ausstattung zählen bei Spezialeinrichtungen z. B. ein Ganzkörperzähler, Lungenzähler sowie ein Wundmessplatz.

An Ausrüstungs- und Materialbedarf zur Patientenversorgung muss ein Bestand an Dekontaminationsmitteln und Dekorporationsmedikamenten vorgehalten und der Nachschub z. B. über die Klinikapotheke sichergestellt werden, ebenso eine Grundausrüstung für Erstsichtung, Erstversorgung, Dekontamination und zur Weiterversorgung. Listen der benötigten Mittel und Medikamente finden sich in der Literatur (BBK und DGKM 2009, Cwojdzinski 2008b, Martens 2009, NCRP 2008, Rojas-Palma et al. 2009). Zu Mitteln zur Dekorporationstherapie siehe Abschnitt 7.2.

Ferner müssen Messinstrumente zur Kontaminationsmessung und Dosisleistungsmessung vorhanden sein (siehe Kapitel 10).



Die Bereitstellung und Aufbewahrung von PSA für alle Mitarbeiter\*innen, die in direkten Kontakt mit kontaminierten Patient\*innen kommen könnten, ist zu gewährleisten.

## 14.5 Logistik

Ziel der Logistik ist es, rechtzeitig die benötigten Ressourcen in ausreichender Menge am benötigten Ort sicherzustellen, ohne die Klinikroutine zu beeinträchtigen. Zum Ressourcenmanagement gehören:

- Informationsfluss (Bereitstellung von Informationstechnologie, Hardware, Software, Materialerfassung, Dokumentation),
- Personenströme (Patientenverteilungsplanung, interner und externer Patiententransport, Personaleinsatzkonzepte),
- Ressourcenplanung (Bereitstellung, Lagerung und Transport von Ausrüstung, Geräten und Material, Apotheke (Notfallmedikamente, allgemeine Arzneimittel, Dekontaminationsmittel, Dekorporationsmedikamente), Hilfsmittel, Strahlungsmessgeräte (Dosimetrie), persönliche Schutzausrüstung, Kapazitätsplanung (Betten), Abfallentsorgung, Abwasserentsorgung, Reinigung).

Das spezielle klinische Ressourcenmanagement betrifft die Bereitstellung von Betten und Intensivplätzen für Patient\*innen mit schwerem akutem Strahlensyndrom auf Isolierstationen.

## 15 Krisen- und Risikokommunikation

In einem Notfall ist eine effektive Kommunikation mit Betroffenen und der allgemeinen Öffentlichkeit ein entscheidender Faktor für dessen Bewältigung. Diese Kommunikation setzt sich zusammen aus den Elementen Krisen- und Risikokommunikation. Die Krisenkommunikation vermittelt Informationen zu Art und Umfang des Notfalls, zum Notfallmanagement der beteiligten Behörden und Organisationen und informiert Betroffene über nötige Schutzmaßnahmen. Unter Risikokommunikation wird in diesem Handbuch ausschließlich die auf einen spezifischen Notfall ausgerichtete und im direkten Zusammenhang mit der Krisenkommunikation stehende Risikokommunikation verstanden. Ziel einer solchen anlassbezogenen Risikokommunikation ist es, gesundheitliche Risiken anhand von Beispielen einzuordnen, um Betroffenen eine möglichst realistische Einschätzung ihrer eigenen Situation zu ermöglichen, und so ihre Entscheidungs- und Handlungsfähigkeit zu unterstützen sowie das Verständnis für die Umsetzung nötiger Schutz- und Behandlungsmaßnahmen zu gewährleisten. Die Botschaften der Risikokommunikation fließen in der Regel in die Krisenkommunikation ein.

Die Erfahrungen im Umgang mit früheren radiologischen Notfällen haben klar gezeigt, dass eine effektive Krisen- und Risikokommunikation eines der wichtigsten Elemente für eine erfolgreiche Notfallreaktion ist (IAEA 2012, 2020a, 2020c). Ihr Ziel ist dabei nicht nur, die Einhaltung von Anweisungen und die Umsetzung entsprechender Maßnahmen zu fördern, sondern auch psychosoziale Auswirkungen abzumildern, welche zum Beispiel durch eine überhöhte Risikowahrnehmung oder durch Unsicherheit entstehen können. Dies kann auch die nicht unmittelbar betroffene Bevölkerung einschließen, die fälschlicherweise von einer Gefahrenexposition ausgeht (besorgte Personen) oder falsche Informationen verbreitet. Effektive Krisen- und Risikokommunikation schafft und erhält darüber hinaus das Vertrauen in die Notfallreaktion und deren Institutionen und somit den nötigen Handlungsspielraum zur Bewältigung des Notfalls (BMI 2014, IAEA 2012, 2020c, SSK 2007).



Um die Ziele effektiver Krisen- und Risikokommunikation zu erreichen, sollte diese zeitgerecht, glaubwürdig, faktisch korrekt, widerspruchsfrei, empathisch und verständlich sein.

Die Krisen- und Risikokommunikation ist damit Teil der Notfallreaktion insgesamt und nicht alleinige Aufgabe des medizinischen Personals. Medizinische Organisationen sollten jedoch eine systematische Krisenkommunikation gewährleisten, da sie Teil der institutionalisierten Notfallreaktion sind und sich in deren Rahmen mit Behörden und anderen Organisationen koordinieren müssen. Medizinische Organisationen sollten daher auch angemessene Kapazitäten der Öffentlichkeitsarbeit für die Krisen- und Risikokommunikation gewährleisten. Medizinisches Fachpersonal kann durch die Öffentlichkeitsarbeit herangezogen werden, um fachliche Einschätzungen in die Krisen- und Risikokommunikation einfließen zu lassen und notfallspezifische Kernbotschaften zu erarbeiten. Dennoch wird medizinisches Personal im Umgang mit von radiologischen Notfällen betroffenen Patient\*innen mit Aspekten und Herausforderungen der Krisen- und Risikokommunikation auch ganz direkt konfrontiert werden (IAEA 2020a, 2020b, 2020d).

Im Folgenden werden die Grundlagen einer effektiven Kommunikation kurz beschrieben und die Besonderheiten für das medizinische Personal aufgezeigt. Für ausführliche Abhandlungen und Details zur Krisen- und Risikokommunikation wird auf die spezifischen Publikationen verwiesen (BMI 2014, IAEA 2012, 2015, 2020c, SSK 2007).

## 15.1 Rollen in der Krisen- und Risikokommunikation

Aus den eingangs beschriebenen Voraussetzungen ergeben sich für medizinische Organisationen und deren Mitarbeiter\*innen unterschiedliche Rollen, Verantwortlichkeiten und Bezugsgruppen in der Krisenkommunikation:

Tab. 15-1: Rollenverteilung in Bezug auf Krisenkommunikation

Rollen-Ebene	Verantwortliche Organisationseinheit	Aufgabe
Organisations- übergreifende Ebene	Notfallleitung/ Öffentlichkeitsarbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Koordination</li> <li>– Abstimmung Kommunikationsstrategie</li> <li>– Lagebild</li> </ul>
Organisationsebene	Organisationsleitung <ul style="list-style-type: none"> <li>– Öffentlichkeitsarbeit</li> <li>– Interne Kommunikation</li> </ul>	Kommunikationsstrategie <ul style="list-style-type: none"> <li>– Öffentlichkeitsarbeit: Information zur Lage und Rolle der Organisation in Bezug auf den jeweiligen Notfall</li> <li>– Interne Kommunikation: Auswirkungen des Notfalls und seiner Bewältigung auf die Mitarbeiter*innen (intern)</li> </ul>
Mitarbeiter Ebene	Medizinisches Personal	Information und Aufklärung zur persönlichen Betroffenheit der Patient*innen

Medizinisches Personal kann dabei in die Lage kommen, auf mehreren Rollenebenen zu agieren. Neben der direkten Kommunikation mit Patient\*innen und deren Angehörigen (Mitarbeiter Ebene, vgl. Tab. 15-1), kann es auch als Fachexpert\*in für die Krisenkommunikation der Organisation herangezogen werden oder direkt von Medien kontaktiert und angesprochen werden (Organisationsübergreifende Ebene, Organisationsebene). Es ist daher wichtig, dass im Vorfeld entsprechende Krisen- und Risikokommunikationsvorkehrungen getroffen werden und das betreffende Personal in deren Anwendung geschult wird.

## 15.2 Vorkehrungen für eine effektive Krisen- und Risikokommunikation

Wie jeder andere Aspekt der Notfallorganisation sollte auch die Krisen- und Risikokommunikation der Organisation bereits vor dem Eintritt eines Notfalls strukturiert, die Prozesse geplant und trainiert sowie die Verantwortlichkeiten klar kommuniziert sein, damit ein Rollenverständnis etabliert werden und so eine effektive Kommunikation gewährleistet werden kann.

Grundlage für effektive Vorkehrungen ist der Aufbau einer Struktur mit einem Verantwortlichen für die Krisen- und Risikokommunikation der Gesamtorganisation, der diese im Ereignisfall leitet und koordiniert sowie idealerweise auch die Planung der Vorkehrungen sowie die Durchführung entsprechender Schulungen und Übungen verantwortet. Dazu gehört ein Krisenkommunikationsplan, der im Vorfeld Zielgruppen definiert, wahrscheinliche Szenarien beschreibt und diesen beiden Dimensionen entsprechende Kernbotschaften zuordnet (IAEA 2015). In diese sollten auch bereits vorhersehbare Aspekte der Risikokommunikation aufgenommen werden. Für einen groben Überblick über mögliche Zielgruppen siehe auch Tab. 15-1.

Darüber hinaus sollte dafür Sorge getragen werden, dass die nötigen Voraussetzungen für die Verbreitung der Krisen- und Risikokommunikationsinhalte geschaffen werden. Dazu gehören etwa:

- Kontakte zu Medien inklusive Medienverteiler und Vorlagen für Pressemitteilungen,

- Zugang zu sozialen Medien, die Möglichkeit und Vorlagen, um dort Informationen zu veröffentlichen,
- die Organisation der Bearbeitung von Anfragen durch Bürger\*innen, Betroffene und Angehörige (z. B. via E-Mail, Telefon oder über soziale Medien),
- eine Internetpräsenz, auf der Informationen gebündelt werden können und so auch andere Kanäle (z. B. Telefon) entlastet werden können,
- die Möglichkeit, Informationen intern zu verbreiten, inklusive entsprechender Vereinbarungen mit den Mitarbeitergremien, im Notfall auch die Mitarbeiter\*innen in die Kommunikation einzuschließen, die nicht im Dienst sind,
- die Möglichkeit, Berichterstattung in traditionellen Medien und Diskussionen und Fehlinformationen in den sozialen Medien zu beobachten,
- Vorkehrungen für mögliche Pressekonferenzen zu treffen (Identifikation geeigneter Lokalitäten etc.),
- Hintergrundmaterial (Erläuterungen zu gesundheitlichen Risiken im radiologischen Notfall, Informationen zur eigenen Organisation etc.).

Um eine effektive Anwendung der Vorkehrungen zu gewährleisten und ein Verständnis der Verantwortlichkeiten und Aufgaben zu erzielen, sollten regelmäßige Schulungen durchgeführt werden, insbesondere für neue Mitarbeiter\*innen. Aus demselben Grund, und um Lücken in der Vorbereitung aufzuzeigen, sollte die Krisen- und Risikokommunikation spezifisch oder im Rahmen größerer Notfallübungen regelmäßig getestet werden.

### 15.3 Krisen- und Risikokommunikation im radiologischen Notfall

Die Reaktion auf einen radiologischen Notfall ist, je nach Szenario und Ausmaß, komplex. Entsprechend viele Behörden und Organisationen werden durch die Einsatz- bzw. Katastrophenschutzleitung zu koordinieren sein. Es ist daher essenziell, auch die Krisen- und Risikokommunikation zu koordinieren, sowohl innerhalb der Organisation als auch mit anderen Organisationen und Behörden, um Widersprüche in den Informationen und damit einen Vertrauensverlust gegenüber der Notfallreaktion zu vermeiden. Entsprechende Vorkehrungen und Prozesse sollten vorgesehen und mit den anderen beteiligten Organisationen und Behörden im Vorfeld abgestimmt werden.

Das medizinische Personal sollte in diesen Prozess eingebunden sein, denn alle Informationen, die den betroffenen Patient\*innen oder deren Angehörigen gegeben werden, können, vor allem über die Mittel der sozialen Medien, weitergegeben werden und so die Risikowahrnehmung der Bevölkerung beeinflussen.



Jede Kommunikation sollte so geführt werden, dass sie inhaltlich und hinsichtlich der Vertraulichkeit den Standards der Organisation entspricht. Medizinisches Personal kann jederzeit von Medienvertreter\*innen angesprochen und von diesen zitiert werden. Auch Aussagen gegenüber betroffenen Personen können in sozialen Medien erscheinen.

Das medizinische Personal sollte darauf aufmerksam gemacht, dafür sensibilisiert und trainiert werden.



Grundvoraussetzung für eine funktionierende Krisen- und Risikokommunikation nach außen ist daher eine effektive interne Kommunikation und eine kontinuierliche Information der eigenen Mitarbeiter\*innen. Die effektive Information reduziert die Ungewissheit bei den Mitarbeiter\*innen, nicht nur hinsichtlich der eigenen Betroffenheit, sondern auch hinsichtlich des Ausmaßes des Notfalls.

Grundsätzlich ist damit zu rechnen, dass jeder Notfall im Zusammenhang mit radiologischen Aspekten im Vergleich zu anderen Notfällen derselben Größenordnung eine überproportional hohe öffentliche Aufmerksamkeit erfährt. Diese Aufmerksamkeit kann die Risikowahrnehmung der betroffenen Bevölkerung und in der allgemeinen Öffentlichkeit stark beeinflussen (IAEA 2012).

Das Ziel jeder effektiven Krisen- und Risikokommunikation ist Vertrauen zu schaffen, um so Ungewissheiten bei den Betroffenen so weit wie möglich zu reduzieren. Folgende Punkte beeinträchtigen dagegen die Vertrauenswürdigkeit von Information und erhöhen Ungewissheiten:

- Zu wenig Information (führt zu Spekulationen),
- zu viel Information (führt zu Überforderung und reduziert die Handlungsfähigkeit),
- widersprüchliche Informationen,
- unrichtige und spekulative Informationen,
- nicht zeitgerechte Informationen (Informationen im ersten Schockzustand sind zu früh und werden nicht verarbeitet, langes Warten auf Informationen führt zu Ungewissheit und Spekulation),
- unverständliche Information,
- Beschwichtigungen,
- nicht eingehaltene Zusagen (etwa über den nächsten Zeitpunkt der Information),
- Zurückhalten von Informationen.



Regelmäßige, proaktive, zeitgerechte und korrekte Aktualisierungen von Informationen sind essenziell für den Aufbau eines Vertrauensverhältnisses und eine effektive Erreichung der Ziele der Krisen- und Risikokommunikation.

#### **15.4 Spezifische Herausforderung bei der Kommunikation von Risiken im radiologischen Notfall**

Wie in Kapitel 9 beschrieben, stellen Notfallsituationen eine psychische Belastung für die Betroffenen dar.

Die Risikowahrnehmung von Menschen wird dabei durch vielerlei Dinge beeinflusst, auf die das medizinische Personal insbesondere in radiologischen Notfällen kaum Einfluss hat. Dazu gehören beispielsweise das katastrophale Ausmaß eines Notfalls, die persönliche Betroffenheit, eventuell betroffene Kinder oder auch eine intensive und allgegenwärtige Berichterstattung (IAEA 2012). Umso wichtiger ist es, dass den Faktoren besondere Beachtung geschenkt wird, die vom medizinischen Personal beeinflusst werden können. Hierzu gehören vor allem die

Versorgung mit relevanter Information, das Verständnis für das eigene gesundheitliche Risiko und damit das Vertrauen in die Notfallreaktion (IAEA 2012).

Dafür ist nicht nur entscheidend, dass die Betroffenen möglichst kontinuierlich mit Informationen versorgt werden. Es sollte auch darauf geachtet werden, Spekulationen auf jeden Fall zu vermeiden und die Informationen über das gesundheitliche Risiko verständlich und ohne Verwendung von Fachausdrücken zu beschreiben. Betroffene in Stresssituationen haben nur eine eingeschränkte Verarbeitungskapazität von Informationen und gleichzeitig eine oft überhöhte Risikowahrnehmung. Zudem können auch Expert\*innen wie medizinisches Personal in Stresssituationen dazu neigen, in den ihnen gewohnten Kommunikationsduktus zu verfallen, der in der Regel von fachlicher Terminologie geprägt und für den/die Patient\*in noch schwerer verständlich ist. Dieses Dilemma sollte in Schulungen adressiert werden (IAEA 2020a, 2020d).

Wie erwähnt, kann die Risikowahrnehmung gerade in radiologischen Notfällen durch verschiedene Faktoren stark beeinflusst werden und ist bei Laien gegenüber Fachpersonal oft höher (IRPA 2020). Solche möglichen Einflüsse sind zu berücksichtigen, wenn es darum geht, mit Betroffenen in Bezug auf das Risiko transparent zu kommunizieren. Dabei sollte sich die Kommunikation von folgenden Fragen leiten lassen (IAEA 2020a):

- Was ist bekannt?
- Was ist noch nicht bekannt?
- Was wird getan, um die Wissenslücken zu schließen?

Patient\*innen rechnen möglicherweise mit gesundheitlichen Folgen, die aufgrund der erfolgten Strahlenexposition definitiv ausgeschlossen werden können, wie etwa deterministische Effekte. In diesem Fall sollte klar kommuniziert werden, dass dieses Risiko nicht besteht.

Um das gesundheitliche Risiko gerade in Stresssituationen möglichst verständlich darzustellen, kann es hilfreich sein, das Risiko in ein Verhältnis zu setzen. Studien haben gezeigt, dass Prozentangaben dabei in der Regel nicht oder missverstanden werden. Absolute Häufigkeiten sind daher vorzuziehen (z. B. eine Person von zehn anstatt 10 %) (Gigerenzer und Edwards 2003, Zikmund-Fisher et al. 2010).

Oft wird dabei allerdings unterschätzt, dass auch das medizinische Personal selbst oft keine hinreichenden Kenntnisse über radiologische Risiken besitzt. Dies kann zum Beispiel zu Unsicherheit hinsichtlich der persönlichen Schutzausrüstung oder zu unbegründeten Ängsten im Umgang mit möglicherweise kontaminierten Patient\*innen führen. Daher sollte das medizinische Personal in Schulungen ausreichend mit radiologischen Risiken vertraut gemacht und während des Notfalls mit Informationen zum Eigenschutz und Ausmaß des Notfalls versorgt werden (IAEA 2020a).

## 16 Notfallorganisation

Das deutsche System für die Notfallvorsorge und -reaktion basiert neben staatlichen Maßnahmen im Zusammenspiel von Bundes-, Landes- und kommunalen Behörden auch auf Vorsorge- und Abwehrmaßnahmen im privaten Bereich. Hier kommt der Eigenvorsorge der Bevölkerung und von Unternehmen eine besondere Bedeutung zu. Dazu zählt auch die Gewährleistung eines sicheren Betriebs von Anlagen, von denen ein Gefahrenpotenzial ausgehen kann.

Nachfolgend werden insbesondere staatliche Mechanismen der Schadensabwehr beschrieben. Grundsätzlich lassen sich diese in Vorsorge- und Abwehrmaßnahmen unterteilen. Hierbei spielt in Deutschland das föderale System eine zentrale Rolle, in dem Bund, Ländern und Kommunen unterschiedliche Aufgaben obliegen.

Unabhängig vom Schadenausmaß sind oft im Ereignisfall die Polizei, die Feuerwehren und die Rettungsdienste erste Ansprechpartner. Diese wehren Gefahren auf Grundlage besonderer gefahrenabwehrrechtlicher Vorschriften auf Landesebene (z. B. Rettungsdienst- und Brandschutzgesetze) ab. Aufsichtsbehörden werden über Ereignisse in Anlagen mit besonderem Gefahrenpotenzial grundsätzlich informiert.

Ereignisse mit sehr hohem Schadenausmaß können sich zu Katastrophen entwickeln und die Feststellung des Katastrophenfalles erforderlich machen. Dies insbesondere dann, wenn ein Vorfall, welcher das Leben, die Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung zahlreicher Menschen, bedeutende Sachgüter oder in erheblicher Weise die Umwelt in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass das Zusammenwirken unterschiedlicher Einrichtungen und Behörden unter einheitlicher Leitung einer Katastrophenschutzbehörde für eine effektive Schadenabwehr erforderlich ist. Der Katastrophenschutz ist eine öffentliche Aufgabe zur Vorsorge und zur Reaktion bei Katastrophen. Die Zuständigkeit liegt grundsätzlich bei den Ländern. Aufgrund seiner ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz für den Strahlenschutz kann der Bund grundsätzlich auch Vorschriften zur Notfallvorsorge und -reaktion bei Notfällen erlassen, die als Katastrophen im Sinne der Katastrophenschutzgesetze der Länder einzustufen sind.

Den Katastrophenschutzbehörden obliegt neben der Schadenabwehr (abwehrender Katastrophenschutz) die Aufgabe, vorbereitende Maßnahmen für die Abwehr von Katastrophen (vorbeugender Katastrophenschutz) zu treffen. Im Rahmen des vorbeugenden Katastrophenschutzes stellen sie Gefahren und Risiken in ihrem Bereich fest und organisieren die Schadenabwehr.

Soweit keine speziellen Zuständigkeitsregelungen für bestimmte Aufgaben der Gefahrenabwehr bestehen, nehmen die Gemeinden mit ihren Ordnungsbehörden alle übrigen Aufgaben der Gefahrenabwehr auf Grundlage bundes- oder landesrechtlicher Bestimmungen wahr.

Der Bund organisiert im Rahmen des Zivilschutzes alle nicht militärischen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung im Spannungs- und Verteidigungsfall und nutzt für diesen Zweck unter anderem das Einsatzpotenzial des Katastrophenschutzes der Länder und ergänzt dieses mit speziellen Ressourcen. Den Ländern stehen diese Bundesressourcen im sogenannten Doppelnutzen (§ 12 Zivilschutz und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG 1997)) auch zur Bewältigung von Krisen und Katastrophen zur Verfügung. Darüber hinaus können durch den Bund Maßnahmen des Katastrophenschutzes im Rahmen der Amtshilfe (Artikel 35 Abs. 1 Grundgesetz (GG 1949)) durchgeführt werden. Auf Antrag der Länder kann das „Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern“ (GMLZ) Aufgaben zur Koordinierung sowie zum Ressourcenmanagement beispielsweise für Engpassressourcen durchführen und so bei der Katastrophenbewältigung unterstützen.

Insbesondere bei länderübergreifenden Ereignissen und anderen Schadenlagen mit sehr hohem Schadenausmaß ist eine enge Zusammenarbeit der Behörden des Bundes, der Länder und der Kommunen erforderlich. Das Notfallmanagement ist ebenenübergreifend zu sehen. Damit soll sichergestellt werden, dass im Falle einer sich entwickelnden Schadenlage, vom Kleinereignis bis hin zum Katastrophenfall, das notwendige Abwehrpotenzial bereitgestellt werden kann.



Das Zusammenwirken der Hilfsorganisationen unter den besonderen Bedingungen eines CBRN-Einsatzes erfolgt nach Regelungen, die teilweise bundesweit als auch länderspezifisch festgelegt werden.

Abb. 16-1 stellt vereinfacht die Aufteilung von Gefahrenbereich (rot) und Absperrbereich (grün) mit der dazwischen liegenden Übergangszone, dem Bereich für die Behandlung/Betreuung und den Zuständigkeiten von Feuerwehr und Polizei für die Absperrung dar. Im Einsatzfall ist der Gefahren- und Absperrbereich an die konkrete Gefahrensituation anzupassen (siehe auch, Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Abgeleitete Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden“ (SSK 2019a). Für die Umgebung von Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb sind Planungsgebiete festgelegt, in denen jeweils bestimmte Maßnahmen vorzubereiten sind (Zentralzone 5 km, Mittelzone 20 km, Außenzone 100 km, gesamtes deutsches Staatsgebiet) (siehe SSK 2014b).

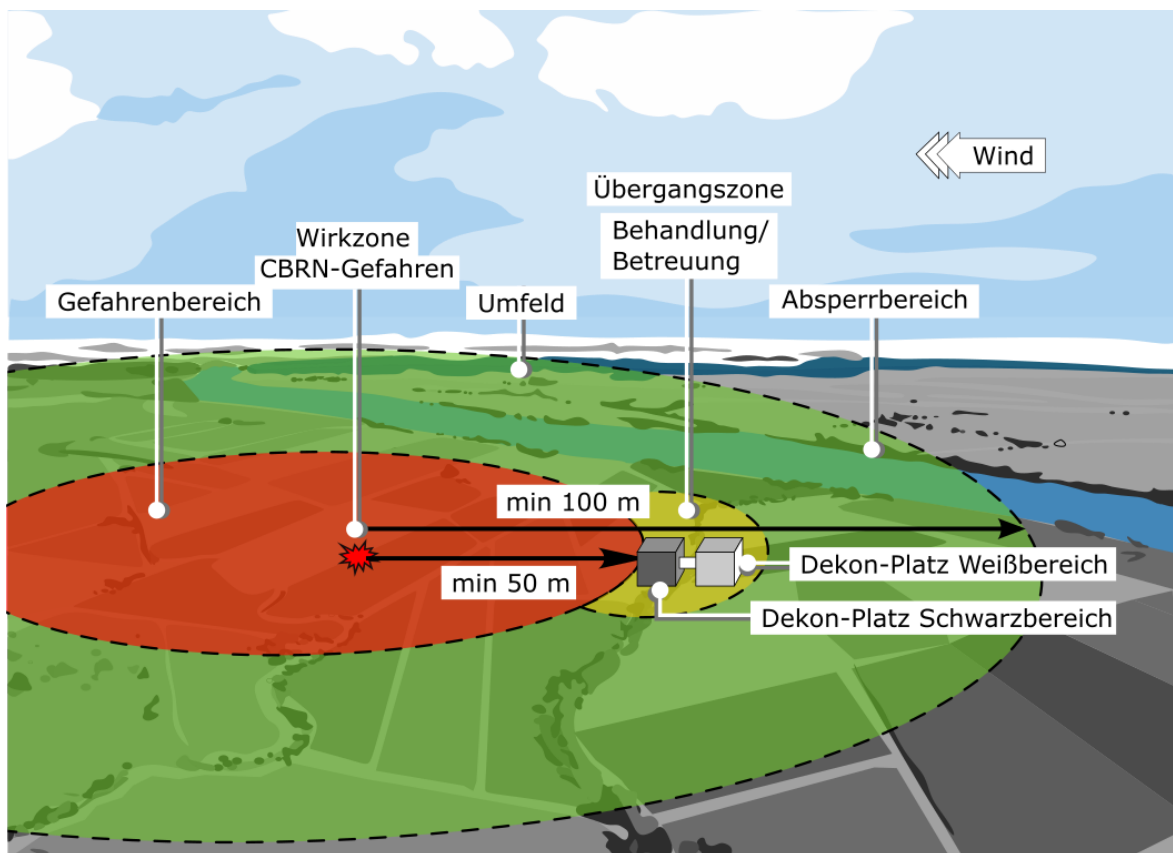


Abb. 16-1: Aufteilung von Gefahrenbereich (rot) und Absperrbereich (grün) (modifiziert nach SKK 2008)

Die Aufgaben der Einsatzkräfte im Gefahrenbereich bestehen in der Regel zunächst aus lebensrettenden Sofortmaßnahmen und der Rettung der Betroffenen in die Übergangszone. Diese Maßnahmen haben in jedem Fall Vorrang vor einer eventuell durchzuführenden Dekontamination. Aus der Übergangszone folgt die Weiterleitung in den Behandlungs-/Betreuungsbereich.

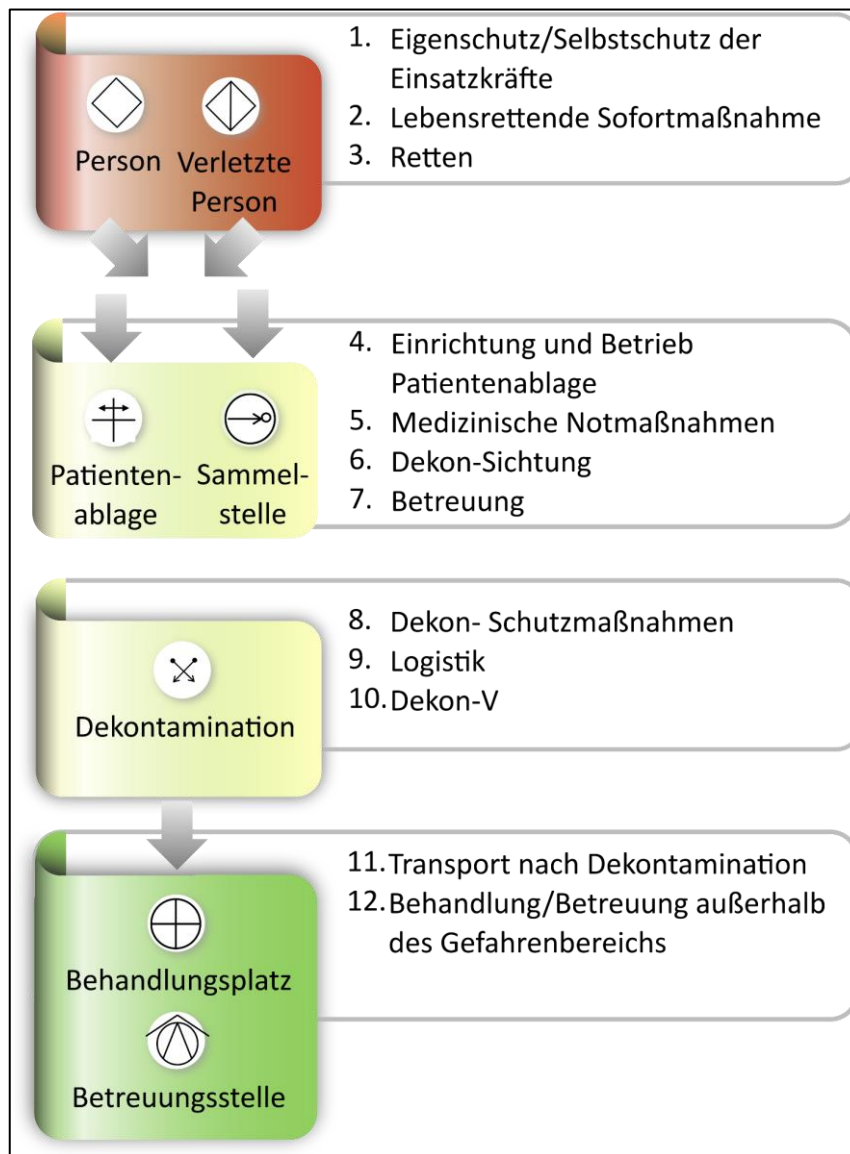


Abb. 16-2: Zusammenwirken des Rettungs-, Sanitäts- und Betreuungspersonals unter den besonderen Bedingungen eines CBRN-Einsatzes (modifiziert nach SKK 2008)

Die Abb. 16-2 dient der Erläuterung der Rettungs-, Dekontaminations- und medizinischen Maßnahmen inklusive der Betreuung im Sinne der Psychosozialen Notfallversorgung (PSNV) in den verschiedenen Bereichen.

## 16.1 Das Notfallmanagementsystem des Bundes und der Länder für radiologische Notfälle

Für den Schutz der Bevölkerung und der Einsatzkräfte bei radiologischen Notfällen wurde bei der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM (Euratom 2013) in nationales Recht durch das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG 2017) das Notfallmanagementsystem des Bundes und der Länder, d. h. der rechtliche und administrative Rahmen für die Notfallvorsorge und -reaktion, fortentwickelt.

Das StrlSchG hat die rechtlichen und fachlichen Vorgaben des Bundes für den radiologischen Notfallschutz in das komplexe, föderative System des Bevölkerungsschutzes integriert. Nach dem Verzahnungskonzept des StrlSchG sollen die für bestimmte Verwaltungs- und Wirtschaftsbereiche zuständigen Behörden ihre Zuständigkeit grundsätzlich behalten und ihre im Alltagsgeschäft oder bei der Bewältigung von Krisenlagen erprobten Instrumente auch zur Bewältigung radiologischer Notfälle nutzen. Welche Schutzmaßnahmen bei einem Notfall angemessen sind, entscheiden die zuständigen Behörden auf Grundlage des § 109 StrlSchG, der für derartige Maßnahmen geltenden allgemeinen Rechtsvorschriften zur Gefahrenabwehr und -hilfeleistung. Eine wichtige Neuerung im Bereich Notfallvorsorge sind die im StrlSchG geforderten Notfallpläne von Bund und Ländern (§§ 97 bis 101 StrlSchG). Bis zum Inkrafttreten dieser Notfallpläne werden die in Anlage 4 zu § 97 Abs. 5 StrlSchG genannten Dokumente vorläufig als Notfallpläne des Bundes beachtet.



Das Strahlenschutzgesetz legt die Aufstellung von Notfallplänen des Bundes und der Länder fest. Es liefert u. a. zusammen mit den auf dem StrlSchG beruhenden Verordnungen und den Notfallplänen radiologische Bewertungsmaßstäbe für die Bereiche der Gefahrenabwehr und -hilfeleistung. Die Notfallpläne ermöglichen es den an der Notfallreaktion beteiligten Organisationen, abgestimmte Entscheidungen zu treffen und angemessene Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu veranlassen.

Diese aufeinander abzustimmenden Notfallpläne sollen alle an der Notfallreaktion beteiligten Organisationen in die Lage versetzen, bei möglichen Notfällen unverzüglich abgestimmte Entscheidungen zu treffen und angemessene Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung rechtzeitig durchzuführen. Die in den Plänen darzustellenden Schutzmaßnahmen beinhalten u. a.:

- Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung einer Strahlenexposition und Kontamination von Mensch oder Umwelt und
- Maßnahmen zur medizinischen Behandlung oder Vorsorge nach einer Strahlenexposition.

In die Notfallpläne sind auch andere Maßnahmen aufzunehmen, die bei einem Notfall von den beteiligten Behörden und sonstigen Organisationen ergriffen werden sollen. Nachteilige Auswirkungen für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt sollen verhindert oder so gering wie möglich gehalten werden. Die Notfallpläne dienen zur Prüfung und Vorbereitung von Schutzmaßnahmen als Grundlage zu deren Durchführung, Überwachung, Änderung oder Aufhebung sowie als Grundlage zur Zusammenarbeit und Abstimmung bei Notfällen.

Künftig werden im Allgemeinen Notfallplan des Bundes (ANoPl Bund) auf Basis von Bewertungen möglicher Notfälle im In- und Ausland bestimmte Referenzszenarien festgelegt, die dem Bund und den Ländern als gemeinsame Grundlage für die Planung angemessener Reaktionen dienen. Dieser Szenarienkatalog wird nicht nur schwere Kernkraftwerkunfälle im In- oder Ausland, sondern auch Notfälle in anderen kerntechnischen Anlagen, Transportunfälle oder den Absturz eines Satelliten mit einer radioaktiven Quelle enthalten. Der Allgemeine Notfallplan des Bundes umfasst insbesondere optimierte Schutzstrategien für überregionale, regionale und lokale Notfälle. Nach § 98 StrlSchG enthält er u. a. auch die Beschreibung der Rechtsgrundlagen, Aufgaben und Zuständigkeiten des Bundes sowie Festlegungen von Verfahren und Vorkehrungen für die Zusammenarbeit und Koordinierung bei der Notfallreaktion

auf Bundesebene, zwischen Bund und Ländern sowie mit anderen Staaten, der EU und internationalen Organisationen. Des Weiteren werden im ANoPI Bund Vorgaben zur Überprüfung und Anpassung der Schutzstrategie an die jeweilige radiologische Lage und die Veränderung der sonstigen Umstände des Notfalls aufgenommen. Der ANoPI Bund wird auf Vorschlag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) von der Bundesregierung als allgemeine Verwaltungsvorschrift mit Zustimmung des Bundesrats beschlossen.



Der Allgemeine Notfallplan des Bundes (ANoPI) legt Referenzszenarien fest, die dem Bund und den Ländern als gemeinsame Grundlage ihrer Vorsorgeplanungen dienen.

Der ANoPI Bund wird für bestimmte Verwaltungs- und Wirtschaftsbereiche auf Vorschlag der für die jeweiligen Sachbereiche zuständigen Bundesministerien durch Besondere Notfallpläne des Bundes (BNoPI Bund) konkretisiert und ergänzt. Hierzu zählen nicht nur Notfallpläne für kontaminierte Lebens- und Futtermittel, für Non-Food-Produkte und für die Entsorgung kontaminierter Abfälle, sondern auch ein Besonderer Notfallplan des Bundes für den Katastrophenschutz, die allgemeine Gefahrenabwehr und Hilfeleistung sowie für die medizinische Behandlung und Vorsorge der Bevölkerung und der Einsatzkräfte nach einer Strahlenexposition.

Die Notfallpläne des Bundes sind durch Allgemeine und Besondere Notfallpläne der Länder nach deren Inkrafttreten zu konkretisieren und zu ergänzen.

Die für den Katastrophenschutz zuständigen Behörden der Länder verfügen nach Maßgabe ihrer landesrechtlichen Bestimmungen zudem über externe Notfallpläne für die Umgebung von kerntechnischen Anlagen, soweit Notfälle für eine große Personenzahl in der Umgebung der Anlage zu schwerwiegenden Gesundheitsbeeinträchtigungen führen können. Diese externen Notfallpläne ergänzen und konkretisieren die in den Allgemeinen und Besonderen Notfallplänen des Bundes und der Länder enthaltenen Planungen. Sie berücksichtigen dabei die örtlichen Gegebenheiten sowie die Verfahren und Vorkehrungen der Genehmigungsinhaber für den anlageninternen Notfallschutz.

Bei überregionalen und regionalen Notfällen ist für die Bewertung der radiologischen Lage durch alle Bundes- und Landesbehörden immer ein radiologisches Lagebild maßgeblich. Dieses wird bei überregionalen Notfällen vom radiologischen Lagezentrum des Bundes erstellt. Bei Ereignissen, die regionale Auswirkungen haben, erfolgt dies in der Regel von einem radiologischen Lagezentrum des betroffenen Landes. Das radiologische Lagezentrum des Bundes wurde beim BMUV als Netzwerk aus BMUV, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) eingerichtet und wird ggf. durch das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) und die Strahlenschutzkommission (SSK) unterstützt. Weitere Aufgaben des radiologischen Lagezentrums des Bundes sind unter anderem die Koordinierung der Schutzmaßnahmen und der Information der Öffentlichkeit auf nationaler und internationaler Ebene sowie die Erstellung von Verhaltensempfehlungen.

## 16.2 Organisation bei radiologischen Notfällen mit wenigen Betroffenen

Beim beruflichen Umgang mit Strahlung in Technik, Wissenschaft, Medizin oder beim Transport radioaktiver Quellen kann es zu Unfällen mit wenigen Betroffenen kommen (siehe Kapitel 3). Hierbei handelt es sich in der Regel um lokale Ereignisse. Treten dabei z. B. nur

geringfügige Kontaminationen auf, können die in der Einrichtung dekontaminiert werden. Bei einer erhöhten Strahlenexposition einer beruflich exponierten Person, die im Kalenderjahr die effektive Dosis von 20 mSv, die Organ-Äquivalentdosis von 20 mSv für die Augenlinse oder von 500 mSv für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder die lokale Hautdosis von 500 mSv überschreitet, muss nach § 81 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) der Ermächtigte Arzt hinzugezogen werden. Über solche Ereignisse ist die zuständige Behörde nach § 167 Abs. 4 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG 2017) unverzüglich zu informieren.

Rettungsdienstkräfte werden sich bzgl. eines anstehenden Einsatzes auch bei Szenarien, die nicht mit einem MANV<sup>28</sup> verbunden sind, – nicht zuletzt wegen des Selbstschutzes – an der Dienstvorschrift für Rettungs-, Sanitäts- und Betreuungsaufgaben im CBRN-Einsatz orientieren wird (SKK 2008).

Für die Belange der beruflichen Vorsorge sind die Berufsgenossenschaften (BG) zuständig, die dafür das Institut für Strahlenschutz (IfS) mit Sitz in Köln vorhalten. Dieses unterhält zur Versorgung von Strahlenunfallpatient\*innen das bundesweite Netzwerk von sieben Regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ) (siehe Anhang A1-4). Für besonders schwere Strahlenunfälle wurde an der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Ludwigshafen eine entsprechend ausgestattete Spezialstation geschaffen. Die Zuweisung von Patienten\*innen erfolgt in der Regel durch die Vermittlung des in das Unfallgeschehen involvierten RSZ.

### **16.3 Organisation bei radiologischen Notfällen mit einer größeren Anzahl Betroffener**

Am Beispiel eines Kernkraftwerksunfalls werden nun Ausführungen zu einem Notfallereignis mit regionalen und überregionalen Auswirkungen durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe dargestellt, welches von einem hohen Schadensausmaß ausgeht. Diese Vorgehensweise kann aber auch auf andere Notfallszenarien mit geringerem Schadensausmaß übertragen werden.

#### *Radiologischer Notfallschutz bei Kernkraftwerken*

Die Verwendung von Kernbrennstoffen unterliegt dem Kontrollregime der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM). Vorgaben, wie die EURATOM-Grundnormen sind bindend in nationales Recht umzusetzen.

Das Grundgesetz (GG) hat die Gesetzgebungskompetenz für die friedliche Nutzung der Atomenergie und den Schutz vor ionisierender Strahlung dem Bund zugewiesen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) ist die zuständige oberste Bundesbehörde und Ansprechpartner im internationalen Kontext. Im Bereich der Notfallvorsorge und -reaktion wird das BMUV von weiteren Bundesbehörden, wie beispielsweise dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) unterstützt.

Das BMUV ist an der Gesetzgebung sowie dem Erlass untergesetzlicher Rechts- und Verwaltungsvorschriften beteiligt. Die für den Vollzug des Atom- und Strahlenschutzrechts zuständigen obersten Landesbehörden nehmen i. d. R. die Aufgabe der Genehmigung und der Überwachung von Kernkraftwerken und anderen kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen im Auftrag des Bundes (Bundesauftragsverwaltung) wahr. Hierbei nimmt das BMUV als oberste atom- und strahlenschutzrechtliche Behörde des Bundes die Recht- und Zweckmäßigkeitssaufsicht wahr.

---

<sup>28</sup> Massenansturm von Verletzten



Soweit keine andere gesetzliche Aufgabenzuweisung erfolgt, bestimmen, die Landesregierungen, welche obersten Landesbehörden jeweils für die Bereiche der atomrechtlichen Genehmigungen und die atom- und strahlenschutzrechtliche Aufsicht und welche für die verschiedenen Sachbereiche des anlagenexternen Notfallschutzes zuständig sind, insbesondere für den Katastrophenschutz, für andere Aufgaben der Gefahrenabwehr und Hilfeleistung sowie für die medizinische Behandlung und Vorsorge.

Im Bereich des nuklearen Notfallschutzes finden auch multilateral abgestimmte Standards der IAEA Berücksichtigung, wie die „Sicherheitsnormen zum Schutz von Leben, Gesundheit und Eigentum“ sowie Strahlenschutzgrundsätze der ICRP.

Darüber hinaus beraten auf nationaler Ebene unabhängige interdisziplinäre Gremien, wie beispielsweise die RSK und SSK das BMUV in Fragen der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes. Die Umsetzung dieser fachlichen Empfehlungen im Bereich des Bevölkerungsschutzes erfolgte in der Regel durch Abstimmung in Gremien unter Länderbeteiligung über die Grenzen der Bundesländer hinweg. Sie finden jetzt bei der Konkretisierung des Notfallmanagementsystems Berücksichtigung.

Der Notfallschutz bei kerntechnischen Anlagen in Deutschland umfasst zwei Bereiche mit folgenden Aufgabenschwerpunkten:

- Der anlageninterne Notfallschutz stellt die Schnittstelle zwischen dem betreiberseitigen und dem anlagenexternen behördlichen Notfallschutz dar. Der anlageninterne Notfallschutz umfasst alle technischen und organisatorischen Maßnahmen, die innerhalb einer Anlage getroffen werden, um eine Ableitung radioaktiver Stoffe auf überwachten oder auch Freisetzungen auf unüberwachten Emissionspfaden zu verhindern oder möglichst gering zu halten,
- der anlagenexterne Notfallschutz umfasst alle Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt, die bei einem Störfall oder Unfall außerhalb der Anlage oder der Einrichtung getroffen werden, um die Strahlenexposition der Bevölkerung und der Einsatzkräfte sowie die Kontamination der Umwelt so gering wie möglich zu halten.

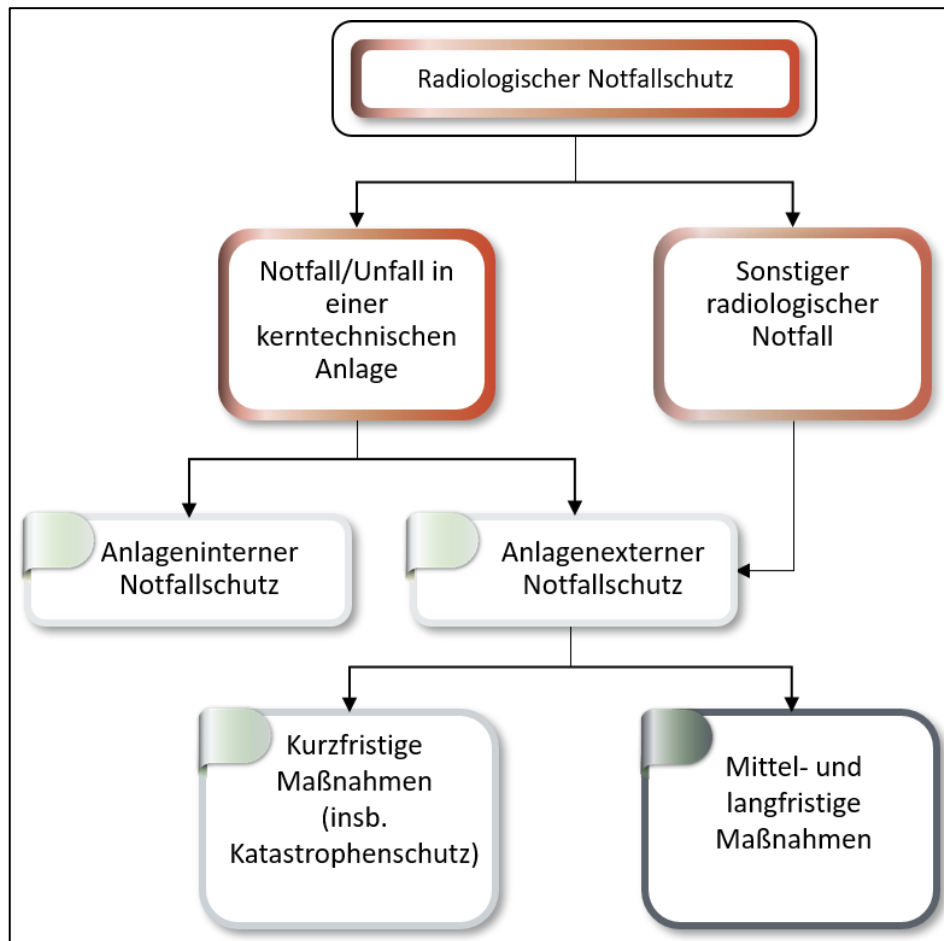


Abb. 16-3: Schematische Darstellung des radiologischen Notfallschutzes in Deutschland

Der anlageninterne Notfallschutz bei Kernkraftwerken verfolgt das Ziel der Verhinderung von Kernschäden und die Reduktion der Auswirkungen auslegungsüberschreitender Ereignisse (vgl. GRS 1980) auf die Umwelt. Die Verantwortung für den anlageninternen Notfallschutz als ein Element der kerntechnischen Sicherheit obliegt dem Genehmigungsinhaber einer kerntechnischen Anlage. Damit ist der Genehmigungsinhaber und Betreiber verpflichtet, angemessene Vorkehrungen und Verfahren für den anlageninternen Notfallschutz vorzusehen und so dafür zu sorgen, dass Gefahren für Mensch und Umwelt bei Stör- oder Unfällen so gering wie möglich gehalten werden. Diese Vorsorgemaßnahmen sind der Genehmigungsbehörde bereits vor der Erteilung einer Betriebsgenehmigung nachzuweisen. Überwacht werden diese Maßnahmen durch die atom- und strahlenschutzrechtlichen Aufsichtsbehörden. Sie überwachen auch den Prozess der Maßnahmenanpassung an den Stand von Wissenschaft und Technik. In der Regel werden anlagenexterne Maßnahmen erst erforderlich, wenn anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen nicht oder nur zum Teil greifen.

Im Rahmen der Genehmigung nach § 7 AtG werden auch auslegungsüberschreitende Ereignisse betrachtet, für die Maßnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes vorgehalten werden. Durch diese Maßnahmen sollen die Schadenauswirkungen in der Umgebung der Anlage so gering wie möglich gehalten werden. Dieses Ziel ist dann erfüllt, wenn unter Beachtung realistischer Randbedingungen die radiologischen Auswirkungen keine einschneidenden Maßnahmen des Notfallschutzes erfordern.

## 17 Notfallstation – Schadenereignis mit einer größeren Anzahl Betroffener

Notfallstationen sind ein wesentlicher Bestandteil der Vorsorgeplanungen des Katastrophenschutzes für Unfälle in kerntechnischen Anlagen und bei anderen Notfällen mit einer großen Anzahl an Betroffenen. Sie folgen einem bundesweit einheitlichen Konzept, durch das ein erforderlicher länderübergreifender Einsatz vereinfacht werden soll (IMK 2014a).

Eine Notfallstation ist eine Einrichtung zur medizinischen Erstversorgung, Feststellung einer möglichen Kontamination und deren Dekontamination, Abschätzung einer vorliegenden Strahlenexposition sowie der strahlenmedizinischen Beurteilung betroffener Personen und Einsatzkräfte. Hier können Hilfsmaßnahmen wie beispielsweise die Information, Betreuung, erforderliche Psychosoziale Notfallversorgung (PSNV) sowie Dekontaminationsmaßnahmen von durch den Unfall unmittelbar betroffenen Personen durchgeführt werden.

Das bundesweit harmonisierte Konzept ist grundsätzlich auch für andere radiologische Notfälle mit einer großen Zahl Betroffener anwendbar (z. B. bei terroristischen Anschlägen). Exponierte oder kontaminierte Betroffene werden mit dem Ziel, die Folgen deterministischer Schäden zu reduzieren bzw. zu vermeiden und stochastische Effekte zu minimieren, präklinisch versorgt. Die Länder setzen die von der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder (IMK 2014a, 2014b) zur Anwendung im Katastrophenschutz beschlossenen „Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen“ in eigener Zuständigkeit um. Die Rahmenempfehlungen basieren auf der Empfehlung „Fragestellungen zu Aufbau und Betrieb von Notfallstationen“ der Strahlenschutzkommission (SSK 2014a) sowie auf dem Abschlussbericht der vom Arbeitskreis V der IMK eingesetzten länderoffenen Arbeitsgruppe Fukushima (siehe IMK 2014a) und geben den Rahmen für die Planung vor.

Die Einrichtung und der Betrieb von Notfallstationen obliegen den Ländern und sind in Notfallplänen geregelt. Ein Mobilitätskonzept lässt einen flexiblen Einsatz der Einsatzkräfte und Ausstattung sowie grundsätzlich die länderübergreifende Hilfeleistung zu.

Notfallstationen werden lageangepasst in vorgeplanten Objekten außerhalb des von der Freisetzung radioaktiver Stoffe betroffenen Gebietes und gegebenenfalls in Aufnahmegebieten eingerichtet. Der jeweilige Standort soll in verkehrsgünstiger Lage und mit der Möglichkeit getrennter Zu- und Abfahrten und ausreichenden Parkmöglichkeiten gewählt werden. Auf Grundlage szenarienspezifischer Abschätzungen potenziell betroffener Personen (siehe Tab. 3-3 und Tab. 14-1) ist im Fall eines schweren Kernkraftwerkunfalls der kontinuierliche Betrieb für die Betreuung von bis zu 1 000 Personen innerhalb von 24 Stunden vorzusehen (SSK 2017b).

In der Notfallstation soll ein Informationszentrum, in dem sich Eintreffende bei Bedarf informieren können, eingerichtet werden. Hier wird auch die mit der zuständigen Behörde abgestimmte Krisenkommunikation (siehe Kapitel 15) für die jeweilige Notfallstation durchgeführt

Unmittelbar betroffenen Personen wird das Aufsuchen einer Notfallstation durch die zuständige Behörde empfohlen.

Personen, die bereits vorsorglich vor einer Freisetzung aus dem gefährdeten oder evakuierten Gebiet kommen und Personen, bei denen keine Kontamination oder Strahlenexposition (siehe Kapitel 2) vorliegt, sollten unter Umgehung der Notfallstation auf den vorbereiteten und bekanntgegebenen Evakuierungsrouten in die vorgesehenen Aufnahmegebiete gebracht werden, beziehungsweise diese eigenständig erreichen. Hierdurch wird vermieden, dass nicht betroffene Personen, bei denen weder eine Kontamination vorliegt, noch der Verdacht auf eine Inkorporation und externe Strahlenexposition besteht, die Notfallstation aufsuchen und überlasten.

## 17.1 Aufgaben einer Notfallstation

In der Notfallstation erfolgt die medizinische Erstversorgung strahlenexponierter Personen mit folgenden Aufgaben:

- a) Informationen zur Unfallsituation und ihrer Auswirkungen sowie zum richtigen Verhalten in und nach dem Verlassen der Notfallstation,
- b) medizinische Erstversorgung und psychosoziale Notfallversorgung,
- c) Betreuung betroffener Personen,
- d) Durchführung der Kontaminationskontrolle,
- e) Durchführung von Dekontaminationsmaßnahmen,
- f) Abschätzung der Strahlenexposition (Direktstrahlung und Inkorporation),
- g) Abschätzung der Schilddrüsenfolgedosis und eventuell Ausgabe von Kaliumiodid-tabletten
- h) strahlenmedizinische Beurteilung (durch eine\*n Strahlennotfallärzt\*in),
- i) Weiterleitung behandlungsbedürftiger Personen zur ambulanten oder stationären Versorgung,
- j) Information zu und ggf. Zuweisung von Unterkünften in Aufnahmegebieten, insbesondere für Betroffene, die keine Möglichkeit haben, bei Verwandten oder Bekannten aufgenommen zu werden,
- k) Erfassung und Registrierung von Personen, die das Angebot der Notfallstation in Anspruch genommen haben.

## 17.2 Betrieb einer Notfallstation

Die für die Aufstellung der Notfallstationseinheit zuständige Katastrophenschutzbehörde bestimmt die Leitung der Notfallstation sowie die Leitungen der Teilstationen. Die technisch-taktische Führung der Notfallstation obliegt der „Abschnittsleitung Notfallstation“. Die Abschnittsleitung ist der Technischen Einsatzleitung (TEL) unterstellt.

Für medizinische Fragen liegt die Entscheidungskompetenz innerhalb der Abschnittsleitung möglichst bei einem/einer Strahlennotfallärzt\*in (siehe SSK 2017b). Die Notfallstation besteht aus folgenden Teilstationen, die Betroffene je nach Bedarf durchlaufen (siehe Abb. 17-1):

- Verkehrslenkung und Information,
- Befragung und Registrierung,
- Kontaminationsprüfung und -messung sowie Dekontamination,
- Abschätzung der Strahlenexposition,
- strahlenmedizinische Beurteilung,
- Betreuung und Aufenthaltsregelung,

Für stationsübergreifende Aufgaben werden folgende besondere Teilstationen eingerichtet:

- Informationszentrum,
- Verpflegung,
- medizinische Erstversorgung, soweit bisher nicht erfolgt,

- Psychosoziale Notfallversorgung (PSNV),
- Ordnungs- und Servicefunktionen.

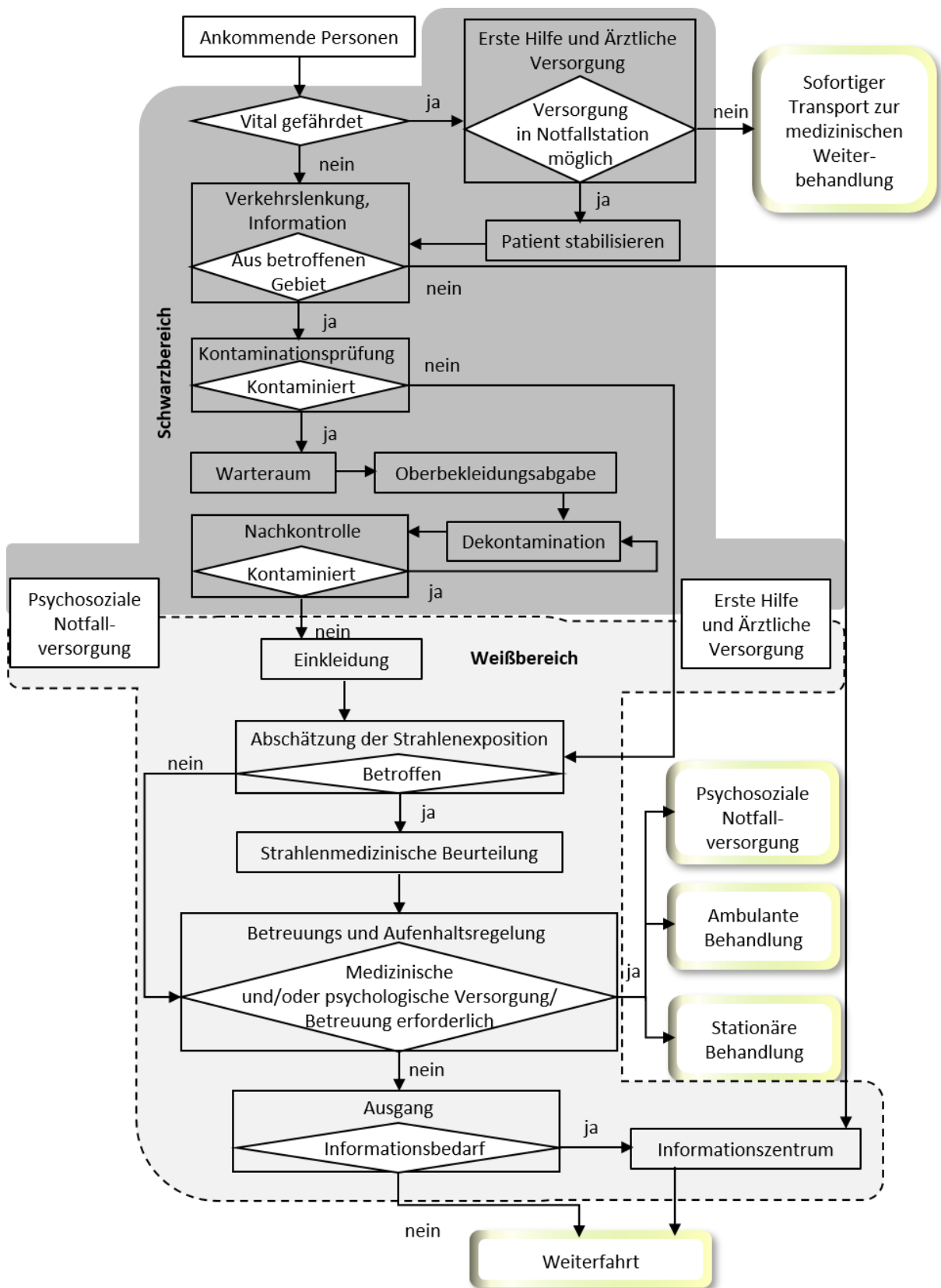


Abb. 17-1: Organisationschema einer Notfallstation (NFS)

Nachfolgend werden einzelne Schlüsselbereiche näher betrachtet. Ausführliche Informationen zum Betrieb von Notfallstationen sind in den „Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen“ (IMK 2014b) enthalten. Sie werden durch Planungen der Länder konkretisiert und in Notfallplänen festgelegt.

### **Befragung und Registrierung**

Im Eingangsbereich werden die ankommenden Personen über den Ablauf in der Notfallstation informiert. Führte ihre Anreise aus oder durch betroffenes Gebiet, ist der Durchlauf durch die Notfallstation angezeigt, wobei die Daten entsprechend dem im Anhang A3-2 wiedergegebenen Erhebungsbogen erfasst werden. Der Bogen wird von den betroffenen Personen bei ihrem Weg durch die Notfallstation mitgeführt. Darin werden anschließend alle Messdaten, Dosisabschätzungen und Befunde eingetragen.

### **Medizinische Erstversorgung**

Im Eingangsbereich der Notfallstation sollen Personen mit akuten medizinischen Problemen erfasst und, gegebenenfalls nach medizinischer Erstversorgung, falls notwendig ohne vorherige Dekontamination, einem Krankenhaus oder einer Notfallpraxis zugewiesen werden.

Lebensrettende Sofortmaßnahmen müssen schon am Unfallort ergriffen werden (siehe Abschnitt 5.2). Die Patient\*innen werden dann direkt einem Krankenhaus zugeführt. Sofern es medizinisch vertretbar ist, soll eine Kontaminationsprüfung durchgeführt und dem Betroffenen das Ergebnis mitgegeben werden (siehe Abb. 5-2).

Der Schwerpunkt liegt auf der Beurteilung des Allgemeinzustands Betroffener und der Festlegung strahlenmedizinischer Maßnahmen. Sie erfolgen auf Basis der abgeschätzten und der im Erhebungsbogen (Anhang A3-2) dokumentierten Strahlenexposition, dem Vorliegen der klinischen Frühsymptomatik oder eines akuten Strahlensyndroms. Eine Behandlung akuter Strahlenschäden erfolgt nicht.

### **Kontaminationsmessung und Dekontamination**

Besteht die Möglichkeit einer Kontamination, werden Mess- und Nachweisgeräte (siehe Kapitel 10) mit dem Ziel eingesetzt, Kontaminationen nachzuweisen und zu lokalisieren sowie den Dekontaminationserfolg zu bestätigen. Die Messergebnisse stellen die Basis für die Entscheidungen zur Dringlichkeit und Durchführung weiterer Maßnahmen dar.

Der Umgang mit kontaminierten Gegenständen richtet sich grundsätzlich nach Regelungen des jeweiligen Landes und der Feuerwehrdienstvorschrift 500 (Einheiten im ABC-Einsatz).

### **Abschätzung der Folge-Organ-Äquivalentdosis der Schilddrüse und Messung der Schilddrüsen-Dosisleistung**

Die Abschätzung der Organfolgedosis der Schilddrüse durch aufgenommenes radioaktives Iod erfolgt auf Grundlage vorliegender Daten der Umweltradioaktivität und den Aufenthaltsorten, Aufenthaltszeiten und -dauer der betroffenen Person. Bei einer abgeschätzten Schilddrüsenfolgedosis von mehr als 50 mSv wird eine Kontrollmessung an der Schilddrüse mit Ortsdosisleistungsmessgeräten mit hoher Nachweisempfindlichkeit durchgeführt (Abb. 11-3) (siehe SSK 2014a). Auf die Durchführung dieser Messung wird im Abschnitt 11.3.5 „Bestimmung von radioaktivem Iod in der Schilddrüse“ ebenso eingegangen wie auf die Umrechnung vom gemessenen Wert zur Dosisleistung in die Organfolgedosis der Schilddrüse. Die ermittelten Messwerte fließen in die Dosisabschätzung ein und dienen auch der Dosisrekonstruktion. Durch die kurze physikalische Halbwertszeit des Radionuklids  $^{131}\text{I}$  von rund acht Tagen ist die zeitgerechte Erfassung dieser Messwerte besonders wichtig.

### **Abschätzung der gesamten Körperdosis**

Die gesamte Körperdosis ist aus den Dosisbeiträgen an den verschiedenen Aufenthaltsorten des Betroffenen und aus der jeweiligen Aufenthaltszeit und -dauer abzuschätzen. Die für eine grobe Abschätzung notwendigen Daten werden von der für die Erarbeitung des radiologischen Lagebildes zuständigen Stelle/Behörde bereitgestellt sowie von den Einsatzkräften der Teilstation „Abschätzung der Strahlenexposition“ in den Erhebungsbogen eingetragen (siehe Anhang A3-2). Für die Feststellung der Körperdosis können elektronische Hilfsmittel zur Dosisrekonstruktion genutzt werden. Die Entscheidung, welche Personen nach der Dosisabschätzung und (strahlen-)medizinischen Beurteilung selbstständig weiterreisen können, erfolgt auf Grundlage der Überprüfung auf Anzeichen einer erhöhten Strahlenexposition (Frühsymptome) und des Ergebnisses der Dosisabschätzung. Bei stark kontaminierten und Personen, bei denen der Verdacht besteht, dass sie eine effektive Dosis von mehr als 100 mSv erhalten haben, soll eine spezifische strahlenmedizinische Behandlung in dafür vorgesehenen Krankenhäusern erfolgen.

Die ermittelten Dosisabschätzungen sind in aller Regel ungenau. Sie können deshalb nur als Anhaltspunkte für die Strahlenexposition des Betroffenen gelten. Bei klinisch manifesten Strahleneffekten (siehe Kapitel 8) ist die Frühsymptomatik für die weitere Versorgung ausschlaggebend.

Die Ausgabe von Kaliumiodidtabletten in Notfallstationen erfolgt bei individueller Indikation, unter Beachtung der in Abschnitt 7.2 dargestellten Randbedingungen, gemäß den Angaben auf dem Erhebungsbogen (siehe Anhang A3-2) nur an Personen, die bisher keine Kaliumiodidtabletten eingenommen haben.

### **17.3 Strahlenexposition der Einsatzkräfte in der Notfallstation**

Die Einsatzmaßnahmen in der Notfallstation sind grundsätzlich derart zu planen, dass jede unnötige Strahlenexposition und Kontaminationen von Menschen und der Umwelt vermieden werden. Dem Schutz der Einsatzkräfte vor einer möglichen Kontamination und Strahlenexposition wird daher hohe Priorität eingeräumt. Grundsätzlich sollten alle Einsatzkräfte, die eine Strahlenexposition erhalten könnten, im Rahmen der Personendosimetrie überwacht werden (§ 150 StrlSchV).

Notfallstationen werden außerhalb des von der Freisetzung radioaktiver Stoffe betroffenen Gebietes eingerichtet. Für die im potenziell kontaminierten Bereich (Schwarzbereich) einer Notfallstation tätigen Einsatzkräfte (§ 5 Abs. 13 StrlSchG) der Hilfs- und Rettungsdienste, von Polizei und Feuerwehr sowie weiterer Hilfskräfte kann die Möglichkeit einer Kontamination durch Betroffene oder durch Gegenstände nicht ausgeschlossen werden. Die in § 114 StrlSchG angegebenen Dosiswerte sollen für die Strahlenexposition der Einsatzkräfte herangezogen werden (siehe Abschnitt 11.4). Eventuell ist nach Beurteilung der konkreten Situation eine Optimierung dieser Werte notwendig. Über mögliche gesundheitliche Risiken des Einsatzes muss das in der Notfallstation eingesetzte Personal ebenso wie über die zu treffenden Schutz- und Überwachungsmaßnahmen unterrichtet und entsprechend aus- und fortgebildet werden (§ 113 StrlSchG).

## Literatur

- Adams et al. 2012 Adams HA, Flemming A, Hildebrand F, Tecklenburg A, Koppert W, Krettek C, Arbeitsgemeinschaft Notfallplan der Medizinischen Hochschule Hannover. Der Notfallplan des Krankenhauses. *Anästh Intensivmed.* 2012;53:62-81
- Adams et al. 2015 Adams HA, Flemming A, Krettek C, Koppert W. Der Notfallplan des Krankenhauses / The hospital emergency plan. *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2015;110(1):37-48, doi: 10.1007/s00063-014-0414-8, Epub 2015/1/16
- AGGB 2012 2012 (AGGB). Abschlussbericht der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz“ 2012. [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Abschlussbericht\\_AG\\_GB\\_2012.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Abschlussbericht_AG_GB_2012.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt aufgerufen am 29.06.2020
- Ainsbury et al. 2016 Ainsbury EA, Barnard S, Bright S, Dalke C, Jarrin M, Kunze S, Tanner R, Dynlacht JR, Quinlan RA, Graw J, Kadhim M, Hamada N. Ionizing radiation induced cataracts: Recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. *Mutat Res.* 2016 Oct - Dec;770(Pt B):238-61, doi: 10.1016/j.mrrev.2016.07.010, Epub 2016/12/07
- AKFzV 2022 Ausschuss für Katastrophenschutz, Feuerwehrwesen und zivile Verteidigung (AKFzV). Feuerwehr-Dienstvorschrift FwDV 500. Einheiten im ABC-Einsatz. [https://www.sfs-w.de/projektgruppe-feuerwehr-dienstvorschriften/vom-afkzv-verabschiedet-und-zur-einfuehrung-in-den-laendern-empfohlen.html?no\\_cache=1&download=FwDV500\\_AFKzV\\_2022-03-16\\_final.pdf&did=86](https://www.sfs-w.de/projektgruppe-feuerwehr-dienstvorschriften/vom-afkzv-verabschiedet-und-zur-einfuehrung-in-den-laendern-empfohlen.html?no_cache=1&download=FwDV500_AFKzV_2022-03-16_final.pdf&did=86), zuletzt aufgerufen am 08.12.2020
- ArbSchG 1996 Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 18. März 2022 (BGBl. I S. 473) geändert worden ist
- Arndt 1995 Arndt D. Klinik der strahlenbedingten Hautschäden. Die Messung des Dosisflächenproduktes in der diagnostischen Radiologie als Methode zur Ermittlung der Strahlenexposition. Hoffmann Verlag, Berlin
- Bail et al. 2009 Bail HJ, Kleber C, Haas NP, Fischer P, Mahlke L, Matthes G, Ruchholtz S, Weidringer JW. Verteilungsplanung von Verletzten beim MANV oder Katastrophenfall. Strukturierung der Krankenhauskapazitäten am Beispiel des Katastrophennetzwerks der DGU. *Unfallchirurg.* 2009 Oct;112(10):870-7, doi: 10.1007/s00113-009-1605-2, Epub 2009/09/17
- BBK und DGKM 2009 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) und Deutsche Gesellschaft für KatastrophenMedizin (DGKM) e.V. (Hrsg.). Notfall- und Katastrophen Pharmazie. Band 1: Bevölkerungsschutz und Medizinische Notfallversorgung; Band 2: Pharmazeutisches Notfallmanagement. Bonn, 2009



- BBK 2011a Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). BBK-Glossar - Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes.  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevoelkerungsschutz/Glossar\\_2018.pdf](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Glossar_2018.pdf),  
zuletzt aufgerufen am 09.03.2021
- BBK 2011b Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Psychosoziales Krisenmanagement in CBRN-Lagen.
- BBK 2012 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Psychosoziale Notfallversorgung: Qualitätsstandards und Leitlinien Teil I und II. [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/PiB/PiB-07-psnv-qualitaet-stand-leitlinien-teil-1-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/PiB/PiB-07-psnv-qualitaet-stand-leitlinien-teil-1-2.pdf?__blob=publicationFile&v=6),  
zuletzt aufgerufen am 07.06.2022
- BBK 2013 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Katastrophenmedizin, Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall. 6. Auflage.
- BBK 2014 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Rahmenkonzept für den CBRN-Schutz (ABC-Schutz) im Bevölkerungsschutz.  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BBK/DE/2016/Rahmenkonzeption\\_CBRN\\_Schutz\\_im\\_BevSchutz.html](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BBK/DE/2016/Rahmenkonzeption_CBRN_Schutz_im_BevSchutz.html)
- BBK 2017 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Protokoll der 7. Sichtungskonsensus-Konferenz 2017.  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/7\\_Sichtungskonsensus-Konferenz.pdf](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/7_Sichtungskonsensus-Konferenz.pdf),  
zuletzt aufgerufen am 05.01.2021
- BBK 2019 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Protokoll der 8. Sichtungskonsensus-Konferenz 2019.  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/8\\_Sichtungskonsensus-Konferenz.pdf](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/8_Sichtungskonsensus-Konferenz.pdf),  
zuletzt aufgerufen am 05.01.2021
- BBK 2020 2020 (BBK). Handbuch Krankenhausalarm- und Einsatzplanung (KAEP) 2020.  
[https://bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Handbuch\\_KAEP.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Handbuch_KAEP.pdf?__blob=publicationFile)
- Belmont et al. 2004 Belmont E, Fried BM, Gonen JS, Murphy AM, Sconyers JM, Zinder SF, Public Interest Committee, American Health Lawyers Association. Emergency preparedness, response & recovery checklist: beyond the emergency management plan. J Health Law. 2004 Fall;37(4):503-65
- BfS 2018 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Strahlenschutz konkret - Nuklearer Notfallschutz.  
[http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-nuklearer-notfallschutz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-nuklearer-notfallschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=5),  
zuletzt aufgerufen am 20.06.2022

- Blakely et al. 2021 Blakely WF, Port M, Abend M. Early-response multiple-parameter biodosimetry and dosimetry: risk predictions. *J Radiol Prot.* 2021 Dec 6;41(4), doi: 10.1088/1361-6498/ac15df, Epub 20211206
- BMI 2014 Bundesministerium des Innern (BMI). Leitfaden für Krisenkommunikation.  
[http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/BVS/DE/Krisenkommunikation/Krisenkommunikation.pdf;jsessionid=7F8611B2AC02E039BA48BE1F89337A51.2\\_cid295?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/BVS/DE/Krisenkommunikation/Krisenkommunikation.pdf;jsessionid=7F8611B2AC02E039BA48BE1F89337A51.2_cid295?__blob=publicationFile)
- BMI 2016 2016 (BMI). Konzeption Zivile Verteidigung (KZV). 2016 .  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Sonstiges/Konzeption\\_Zivile\\_Verteidigung\\_KZV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Sonstiges/Konzeption_Zivile_Verteidigung_KZV.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt aufgerufen am 04.02.2020
- BMU 2020 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2017.  
<https://www.bmu.de/download/umweltradioaktivitaet-und-strahlenbelastung-unterrichtung-durch-die-bundesregierung-im-jahr-2017/>, zuletzt aufgerufen am 15.06.2022
- BSMI 2006 Bayerisches Staatsministerium des Innern (BSMI). Hinweise für das Anlegen von Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplänen. Stand 04/2006.  
[http://www.dgkm.org/files/downloads/krankenhaus\\_notfallplanung/Bayerisches\\_Staatsministerium\\_des\\_Innern\\_\\_Hinweise\\_fuer\\_das\\_Anlegen\\_von\\_Krankenhaus-Alarm-\\_und\\_Einsatzplaenen.pdf](http://www.dgkm.org/files/downloads/krankenhaus_notfallplanung/Bayerisches_Staatsministerium_des_Innern__Hinweise_fuer_das_Anlegen_von_Krankenhaus-Alarm-_und_Einsatzplaenen.pdf), zuletzt aufgerufen am 05.02.2020
- Cwojdzinski 2008a Cwojdzinski D. Leitfaden Krankenhausalarmplanung: Band 1. Fachverlag Grimm, Berlin, 2008, ISBN 978-3940286024
- Cwojdzinski 2008b Cwojdzinski D. Leitfaden Krankenhausalarmplanung: Band 2. Fachverlag Grimm, Berlin, 2008, ISBN 978-3940286031
- Czarwinski und Häusler 2018 Czarwinski R, Häusler U. Übersicht über die besonderen Vorkommnisse mit ionisierender Strahlung in Deutschland (2005-2016). *Strahlenschutzpraxis.* 2018;24(2):5-11
- Dainiak et al. 2011a Dainiak N, Gent RN, Carr Z, Schneider R, Bader J, Buglova E, Chao N, Coleman CN, Ganser A, Gorin C, Hauer-Jensen M, Huff LA, Lillis-Hearne P, Maekawa K, Nemhauser J, Powles R, Schunemann H, Shapiro A, Stenke L, Valverde N, Weinstock D, White D, Albanese J, Meineke V. First global consensus for evidence-based management of the hematopoietic syndrome resulting from exposure to ionizing radiation. *Disaster Med Public Health Prep.* 2011 Oct;5(3):202-12, doi: 10.1001/dmp.2011.68, Epub 2011/10/12

- Dainiak et al. 2011b Dainiak N, Gent RN, Carr Z, Schneider R, Bader J, Buglova E, Chao N, Coleman CN, Ganser A, Gorin C, Hauer-Jensen M, Huff LA, Lillis-Hearne P, Maekawa K, Nemhauser J, Powles R, Schunemann H, Shapiro A, Stenke L, Valverde N, Weinstock D, White D, Albanese J, Meineke V. Literature review and global consensus on management of acute radiation syndrome affecting nonhematopoietic organ systems. *Disaster Med Public Health Prep.* 2011 Oct;5(3):183-201, doi: 10.1001/dmp.2011.73, Epub 2011/10/12
- Dainiak 2018 Dainiak N. Medical management of acute radiation syndrome and associated infections in a high-casualty incident. *J Radiat Res.* 2018 Apr 1;59(suppl\_2):ii54-ii64, doi: 10.1093/jrr/rry004
- Doll und Wakeford 1997 Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol.* 1997 Feb;70:130-9, doi: 10.1259/bjr.70.830.9135438, Epub 1997/02/01
- Donnelly et al. 2007 Donnelly EH, Farfan EB, Parker DD. Potential nuclear and radiological incidents: a summary for clinicians. *Health Phys.* 2007 Aug;93(2 Suppl):S134-8, doi: 10.1097/01.HP.0000264486.83701.0f
- EPA 2007 US Environmental Protection Agency (EPA). Communicating Radiation Risks – Crisis Communications for Emergency Responders, EPA- 402-F-07-008 (dt. Übersetzung: Information der Öffentlichkeit über Strahlenrisiken – Krisenkommunikation für Verantwortliche im Katastrophenschutz. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn 2008). Washington, DC, USA, 2007
- EU 2016 Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 81/51, 31.03.2016
- Euratom 2013 Rat der Europäischen Union. Richtlinie 2013/51/EURATOM des Rates vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 296/12, 07.11.2013
- Fenech et al. 1999 Fenech M, Holland N, Chang WP, Zeiger E, Bonassi S. The HUMAN MicroNucleus Project—An international collaborative study on the use of the micronucleus technique for measuring DNA damage in humans. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis.* 1999;428(1-2):271-83, doi: 10.1016/s1383-5742(99)00053-8
- Fliedner et al. 2001a Fliedner T, Friesecke I, Beyrer K. Medical Management of Radiation Accidents—Manual on the Acute Radiation Syndrome. [https://oparu.uni-ulm.de/xmlui/bitstream/handle/123456789/1650/vts\\_6891\\_9572.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://oparu.uni-ulm.de/xmlui/bitstream/handle/123456789/1650/vts_6891_9572.pdf?sequence=2&isAllowed=y), zuletzt aufgerufen am 03.05.2022

- Fliedner et al. 2001b Fliedner TM, Friesecke I, Beyrer K. Medical Management of Radiation Accidents. Manual on the Acute Radiation Syndrome. The British Institute of Radiology, Alden Group, Oxford, U.K., 2001
- GG 1949 Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. Juni 2022 (BGBl. I S. 968) geändert worden ist
- GGVSEB 2009 Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 2021 (BGBl. I S. 481), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 5 des Gesetzes vom 2. Juni 2021 (BGBl. I S. 1295) geändert worden ist
- Gigerenzer und Edwards 2003 Gigerenzer G, Edwards A. Simple tools for understanding risks: from innumeracy to insight. *BMJ*. 2003 Sep 27;327(7417): 741-4, doi: 10.1136/bmj.327.7417.741
- GRS 1980 Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS). Gesellschaft für Reaktorsicherheit (1979): Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko. Eine Studie der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (Köln) im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie. TÜV Rheinland GmbH, Köln, ISBN 3-911059-67-4
- Haeseler et al. 2008 Haeseler G, Henke-Gendo C, Vogt PM, Adams HA. Der Notfallplan des Krankenhauses bei ABC-Gefahrenlagen. *Intensivmed Notfallmed*. 2008;45(3):145-53, doi: 10.1007/s00390-008-0857-3
- IAEA 1988 International Atomic Energy Agency (IAEA). The Radiological Accident in Goiânia. <https://www.iaea.org/publications/3684/the-radiological-accident-in-goiania>
- IAEA 1998 International Atomic Energy Agency (IAEA). Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7. Vienna
- IAEA 2005 International Atomic Energy Agency (IAEA). Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency. EPR-MEDICAL. Wien. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 05.02.2020
- IAEA 2012 International Atomic Energy Agency (IAEA). Communication with the public in a nuclear or radiological emergency. EPR Public Communications. Wien. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR-Communication\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR-Communication_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 10.07.2018
- IAEA 2015 International Atomic Energy Agency (IAEA). Method for Developing a Communication Strategy and Plan for a Nuclear or Radiological Emergency. EPR Public Communication Plan. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-CommPlan2015\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-CommPlan2015_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 15.02.2017

- IAEA 2018 International Atomic Energy Agency (IAEA). Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency. A Manual for Medical Personnel. EPR-Internal Contamination, Wien.  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Contamination\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Contamination_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 26.10.2020
- IAEA 2019 International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA Safety Glossary: 2018 Edition. IAEA, Vienna, ISBN 978-92-0-104718-2
- IAEA 2020a International Atomic Energy Agency (IAEA). Medical management of radiation injuries. Safety Reports Series no. 101, Wien 2020, ISSN 1020-6450. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 26.10.2020
- IAEA 2020b International Atomic Energy Agency (IAEA). Pocket Guide for Medical Physicists Supporting Response to a Nuclear or Radiological Emergency. EPR Pocketbook for Medical Physicists, Wien 2020, ISSN 2518-685X. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR\\_Pocketbook\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR_Pocketbook_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 26.10.2020
- IAEA 2020c International Atomic Energy Agency (IAEA). Arrangements for Public Communication in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Guide No. GSG-14, Wien 2020.  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB1902\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB1902_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 01.10.2020
- IAEA 2020d International Atomic Energy Agency (IAEA). Guidance for Medical Physicists Responding to a Nuclear or Radiological Emergency, Wien 2020.  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDPHY\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDPHY_web.pdf), zuletzt aufgerufen am 05.04.2021
- ICRP 1991 International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3), Pergamon Press, Oxford, 1991, ISBN 0080411444
- ICRP 2003 International Commission on Radiological Protection (ICRP). Biological Effects after Prenatal Irradiation (Embryo and Fetus). ICRP Publication 90. Ann ICRP 33(1-2), Pergamon, Oxford, 2003, ISBN 008044265X
- ICRP 2012 International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs -Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann ICRP 41(1-2):1-322, Elsevier, Oxford, 2012, ISBN 9780702052279, doi: 10.1016/j.icrp.2012.02.001

- ICRU 2019 ICRU. 3 Biodosimetry. *Journal of the ICRU*. 2019;19(1):26-45, doi: 10.1177/1473669119893151
- Iddins et al. 2022a Iddins CJ, DiCarlo AL, Ervin MD, Herrera-Reyes E, Goans RE. Cutaneous and local radiation injuries. *Journal of Radiological Protection*. 2022;42(1), doi: 10.1088/1361-6498/ac241a
- Iddins et al. 2022b Iddins CJ, DiCarlo AL, Ervin MD, Herrera-Reyes E, Goans RE. Cutaneous and local radiation injuries. *J Radiol Prot*. 2022 Jan 12;42(1), doi: 10.1088/1361-6498/ac241a, Epub 20220112
- IMK 2014a Arbeitskreis V (AK V) „Feuerwehrangelegenheiten, Rettungswesen, Katastrophenschutz und Zivile Verteidigung“ der Innenministerkonferenz (IMK) (IMK). Abschlussbericht der länderoffenen Arbeitsgruppe „Fukushima“, Stand: 10.10.2014.  
[http://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/14-12-11\\_12/anlage1zu34.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/14-12-11_12/anlage1zu34.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt aufgerufen am 08.12.2020
- IMK 2014b Arbeitskreis V (AK V) „Feuerwehrangelegenheiten, Rettungswesen, Katastrophenschutz und Zivile Verteidigung“ der Innenministerkonferenz (IMK) (IMK). Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen (RE-NFS), Stand: 20.08.2014.  
[https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/14-12-11\\_12/anlage4zu34.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/14-12-11_12/anlage4zu34.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt aufgerufen am 08.12.2020
- IRFC 2015 International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IRFC). Nuclear and Radiological Emergency Guidelines Preparedness Response and Recovery. Geneva.  
<https://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201602/1296000-NuclearRadio.Emer.Guide-Int-EN-LR.pdf>, zuletzt aufgerufen am zuletzt aufgerufen am 09.03.2021
- IRPA 2020 International Radiation Protection Association (IRPA). Practical Guidance for Engagement with the Public on Radiation and Risk.  
<https://www.irpa.net/members/IRPA%20Guidance%20Public%20Engagement.pdf>, zuletzt aufgerufen am zuletzt aufgerufen am 05.04.2021
- Lloyd et al. 1980 Lloyd DC, Purrott RJ, Reeder EJ. The incidence of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from unirradiated and occupationally exposed people. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 1980;72(3):523-32, doi: 10.1016/0027-5107(80)90123-2
- Martens 2008 Martens F. Integration entsprechender ABC-Maßnahmen in den allgemeinen Krankenhauskatastrophenplan. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Katastrophenmedizin e.V.* 2008; 2: 8-13.  
[http://www.dgkm.org/files/downloads/mitteilungsblaetter/DGKM-Mitteilungen\\_02\\_2008.pdf](http://www.dgkm.org/files/downloads/mitteilungsblaetter/DGKM-Mitteilungen_02_2008.pdf), zuletzt aufgerufen am zuletzt aufgerufen am 29.05.2020
- Martens 2009 Martens F. Dekontamination von Verletzten im Krankenhaus bei ABC-Gefahrenlagen. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.), Bonn, ISBN 978-3-939347-20-0

- NCRP 2008 National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Management of Persons Contaminated with Radionuclides – Handbook. NCRP Report No 161 (Volume 1). 2008, ISBN 978-0-929600-99-4
- Olasveengen et al. 2021 Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A, Monsieurs KG, Raffay V, Smyth M, Soar J, Svavarsdottir H, Perkins GD. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. Resuscitation. 2021 Apr;161:98-114, doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.009, Epub 20210324
- Port et al. 2017 Port M, Pieper B, Knie T, Dorr H, Ganser A, Graessle D, Meineke V, Abend M. Rapid Prediction of Hematologic Acute Radiation Syndrome in Radiation Injury Patients Using Peripheral Blood Cell Counts. Radiat Res. 2017 Aug;188(2):156-68, doi: 10.1667/RR14612.1, Epub 2017/06/08
- Port und Abend 2018 Port M, Abend M. Clinical Triage of Radiation Casualties-the Hematological Module of the Bundeswehr Institute of Radiobiology. Radiat Prot Dosimetry. 2018 Dec 1;182(1):90-2, doi: 10.1093/rpd/ncy141
- Port et al. 2021 Port M, Haupt J, Ostheim P, Majewski M, Combs SE, Atkinson M, Abend M. Software Tools for the Evaluation of Clinical Signs and Symptoms in the Medical Management of Acute Radiation Syndrome-A Five-year Experience. Health Phys. 2021 Apr 1;120(4):400-9, doi: 10.1097/HP.0000000000001353
- PSA-BV 1996 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung - PSA-BV) vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841)
- Reiners et al. 2013 Reiners C, Biko J, Haenscheid H, Hebestreit H, Kirinjuk S, Baranowski O, Marlowe RJ, Demidchik E, Drozd V, Demidchik Y. Twenty-five years after Chernobyl: outcome of radioiodine treatment in children and adolescents with very high-risk radiation-induced differentiated thyroid carcinoma. J Clin Endocrinol Metab. 2013 Jul;98(7):3039-48, doi: 10.1210/jc.2013-1059, Epub 20130424
- Rojas-Palma et al. 2009 Rojas-Palma C, Liland A, Jerstad A, Etherington G, del Rosario Pérez M, Rahola T, Smith K. TMT Handbook – Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act. 2009, ISBN 978-82-90362-27-5
- Scholl und Wagner 2010 Scholl H, Wagner K. Alarm- und Einsatzplanung Risiko- und Krisenmanagement in Einrichtungen des Gesundheitswesens sowie in Alten- und Pflegeheimen. S + K Verlag, Edewecht, 2010, ISBN 978-3-938179-65-9
- Sefrin und Schua 2012 Sefrin P, Schua R. Notfall-Manual. Elsevier GmbH, 2012, ISBN 978-3437219931

- Singh et al. 2015 Singh VK, Newman VL, Seed TM. Colony-stimulating factors for the treatment of the hematopoietic component of the acute radiation syndrome (H-ARS): A review. *Cytokine*. 2015;71(1):22-37, doi: 10.1016/j.cyto.2014.08.003
- Singh und Seed 2021 Singh VK, Seed TM. Radiation countermeasures for hematopoietic acute radiation syndrome: growth factors, cytokines and beyond. *Int J Radiat Biol*. 2021;97(11):1526-47, doi: 10.1080/09553002.2021.1969054, Epub 20210831
- SKK 2008 Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz (SKK). Einheiten im CBRN- Einsatz. SKK-Dienstvorschrift 500 in der Fassung vom 10.12.2008. [http://www.dgkm.org/files/downloads/cbrn/Einheiten\\_im\\_CBRN-Einsatz\\_-\\_SKK-Dienstvorschrift\\_500.pdf](http://www.dgkm.org/files/downloads/cbrn/Einheiten_im_CBRN-Einsatz_-_SKK-Dienstvorschrift_500.pdf), zuletzt aufgerufen am 17.08.2021
- SSK 1989 Strahlenschutzkommission (SSK). Wirkungen nach pränataler Bestrahlung. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 2, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1989, ISBN 3-437-11293-7
- SSK 2006a Strahlenschutzkommission (SSK). Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen, Überarbeitung von Band 4 der Reihe „Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission“. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 210. Sitzung der SSK am 28./29.09.2006. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 4, 3., überarb. Auflage, H. Hoffmann GmbH - Fachverlag, Berlin, 2007, ISBN 978-3-87344-131-6
- SSK 2006b Strahlenschutzkommission (SSK). Der Strahlenunfall - Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 210. Sitzung der SSK am 28./29.09.2006. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 32, 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage, H. Hoffmann GmbH - Fachverlag, Berlin, 2008, ISBN 978-3-87344-139-2
- SSK 2007 Strahlenschutzkommission (SSK). Leitfaden zur Information der Öffentlichkeit in kerntechnischen Notfällen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 220. Sitzung der SSK am 05./06.12.2007. Bekanntmachung im BAnz Nr. 152a vom 08.10.2008
- SSK 2011 Strahlenschutzkommission (SSK). Anforderungen an Personendosimeter. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 247. Sitzung der SSK am 24./25.02.2011. urn:nbn:de:101:1-201311041946. Bekanntmachung im BAnz Nr. 135 vom 07.09.2011
- SSK 2014a Strahlenschutzkommission (SSK). Fragestellungen zu Aufbau und Betrieb von Notfallstationen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14.02.2014. urn:nbn:de:101:1-201404088377. Bekanntmachung im BAnz AT 21.05.2014 B3



- SSK 2014b Strahlenschutzkommission (SSK). Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14.02.2014. urn:nbn:de:101:1-201403101200. Bekanntmachung im BAnz AT 21.05.2014 B4
- SSK 2015 Strahlenschutzkommission (SSK). Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20.02.2015. urn:nbn:de:101:1-201512213326. Bekanntmachung im BAnz AT 04.01.2016 B3
- SSK 2017a Strahlenschutzkommission (SSK). Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 287. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 23./24.03.2017. urn:nbn:de:101:1-201804238529. Bekanntmachung im BAnz AT 10.04.2018 B4. urn:nbn:de:101:1-201804238529
- SSK 2017b Strahlenschutzkommission (SSK). Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall – Ausbildungsqualifikation. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 289. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 25./26.09.2017. urn:nbn:de:101:1-2018071613312276553270. Bekanntmachung im BAnz AT 27.06.2018 B2
- SSK 2019a Strahlenschutzkommission (SSK). Abgeleitete Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 303. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 24./25. Oktober 2019. urn:nbn:de:101:1-2020040313335986790823. Bekanntmachung im BAnz AT 22.04.2020 B3
- SSK 2019b Strahlenschutzkommission (SSK). Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 294. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 26. April 2018, geändert in der 298. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 6. Februar 2019. urn:nbn:de:101:1-2019050811554539502723. Bekanntmachung im BAnz AT 07.05.2019 B4
- StrlSchG 2017 Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510) geändert worden ist

- StrlSchV 2018 Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018. BGBl. I S. 2034, 2036, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist
- UNSCEAR 1993 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York, 1993, ISBN 92-1-142200-0
- UNSCEAR 2008a United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2008 Report, Sources and effects of ionizing radiation, with Scientific Annexes, Volume II: Effects (Scientific Annexes C. Radiation exposures in accidents, D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident and E. Effects of ionizing radiation on non-human biota). United Nations, New York, 2011, ISBN 978-92-1-142280-1
- UNSCEAR 2008b United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008 Report, Volume II: Effect of Ionizing Radiation. Scientific Annexes C: Early Health effects to the Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. New York, 2011, ISBN 978-92-1-142280-1
- UNSCEAR 2020 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2020/2021 Report, Volume II, Scientific Annex B: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Powerplant: Implications of Information Published since the UNSCEAR 2013 Report. United Nations, New York, 2022, ISBN 978-92-1-139207-4
- Urban et al. 2006 Urban B, Kreimeier U, Prückner S, Kanz KG, Lackner CK. Krankenhaus-Alarm- und Einsatzpläne für externe Schadenslagen an einem Großklinikum. Notfall + Rettungsmedizin. 2006;9(3):296-303, doi: 10.1007/s10049-006-0817-z
- Wagner et al. 1994 Wagner LK, Eifel PJ, Geise RA. Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures. J Vasc Interv Radiol. 1994;5(1):71-84, doi: 10.1016/s1051-0443(94)71456-1
- WHO 2011 World Health Organization (WHO). Hospital emergency response checklist, An all-hazards tool for hospital administrators and emergency managers. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011
- WHO 2014 World Health Organization (WHO). Hospital Preparedness for Epidemics. WHO Pres, Geneva, 2014, ISBN 9789241548939
- WHO 2020 World Health Organization (WHO). A framework for mental health and psychosocial support in radiological and nuclear emergencies. Geneva, ISBN 9789240015456

- Wurmb et al. 2017      Wurmb T, Rechenbach P, Scholtes K. Alarm- und Einsatzplanung an Krankenhäusern: Das konsequenzbasierte Modell. Med Klin Intensivmed Notfmed. 2017 Oct;112(7):618-21, doi: 10.1007/s00063-016-0190-8, Epub 2016/07/05
- Zikmund-Fisher et al. 2010      Zikmund-Fisher BJ, Fagerlin A, Ubel PA. A demonstration of "less can be more" in risk graphics. Med Decis Making. 2010 Nov-Dec;30(6):661-71, doi: 10.1177/0272989X10364244, Epub 2010/04/09
- ZSKG 1997      Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz vom 25. März 1997 (BGBl. I S. 726), das zuletzt durch Artikel 144 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

## Abkürzungsverzeichnis

ADR	<u>A</u> ccord <u>e</u> uropéen relatif au transport international des marchandises <u>d</u> angereuses par route. Auf Deutsch bedeutet das: „Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße“
ARS	<u>A</u> cute <u>R</u> adiation <u>S</u> yndrome (akutes Strahlensyndrom)
BASE	<u>B</u> undesamt für die <u>S</u> icherheit der nuklearen <u>E</u> ntsorgung
BAT	Biodosimetry Assessment Tool
BBK	<u>B</u> undesamt für <u>B</u> evölkerungsschutz und <u>K</u> atastrophenhilfe
BfS	<u>B</u> undesamt <u>f</u> ür Strahlenschutz
BG	<u>B</u> erufsgenossenschaft
BMBF	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium für <u>B</u> ildung und <u>F</u> orschung
BMI	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium des <u>I</u> nnern und für Heimat
BMU	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium für <u>U</u> mwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium für <u>U</u> mwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
Bq	Becquerel
CBRN	<u>C</u> hemisch, <u>B</u> iologisch, <u>R</u> adiologisch und <u>N</u> uklear
<i>D</i>	Energiedosis
DGUV	<u>D</u> eutschen <u>G</u> esetzlichen <u>U</u> nfall <u>v</u> ersicherung
DMPS	<u>D</u> imercaptopropansulfonsäure (2,3 Dimercapto-1-propansulfonsäure)
DNA	<u>D</u> esoxyribo <u>n</u> ucleic <u>a</u> cid (Desoxyribonukleinsäure)
DTPA	<u>D</u> iethylentriaminpentaessigsäure
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ENT	<u>E</u> insatz(kräfte) <u>n</u> achso <u>r</u> geteam
EPD	<u>E</u> lektronisches <u>P</u> ersonen <u>d</u> osimeter
EPR	paramagnetische Elektronenresonanz Dosimetrie
ERC	<u>E</u> uropean <u>R</u> esuscitation <u>C</u> ouncils

Euratom	<u>E</u> uropäische <u>A</u> tom <u>g</u> emeinschaft
FISH	<u>F</u> luoreszenz- <u>i</u> n- <u>s</u> itu- <u>H</u> ybridisierung
FwDV	<u>F</u> eu <u>e</u> rwe <u>h</u> rdien <u>s</u> t <u>v</u> orschrift
GAMS	<u>G</u> efahr erkennen, <u>A</u> bsperren, <u>M</u> enschenrettung durchführen, <u>S</u> pezialkräfte alarmieren
GG	<u>G</u> rundgesetz
GGVSEB	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern*) (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt - GGVSEB)
GMLZ	<u>G</u> emeinsamen <u>M</u> elde- und <u>L</u> age <u>z</u> entrum von Bund und Ländern
H	Mess-Äquivalentdosis
GM	Geigermüller Zähler
GRS	<u>G</u> esellschaft für Anlagen- und <u>R</u> eaktors <u>s</u> icherheit
Gy	Gray
IAEA	<u>I</u> nternational <u>A</u> tom <u>e</u> ric <u>E</u> nergy <u>A</u> gency
ICRP	<u>I</u> nternational <u>C</u> ommission on <u>R</u> adiological <u>P</u> rotection
ICRU	<u>I</u> nternational <u>C</u> ommission on <u>R</u> adiation <u>U</u> nits and Measurements
IMK	Ständigen <u>K</u> onferenz der <u>I</u> nnen <u>m</u> inister und -senatoren der Länder
IND	<u>I</u> mprovised <u>n</u> uclear <u>d</u> evice (Improvisierte Nuklearwaffe)
Ips	<u>I</u> mpulse <u>p</u> ro <u>S</u> ekunde
KAEP	<u>K</u> rankenhaus <u>a</u> larm- und <u>E</u> insatz <u>p</u> lan
KEL	<u>K</u> rankenhaus <u>e</u> insatz <u>l</u> eitung
KIT	<u>K</u> risen <u>i</u> ntervention <u>s</u> team
KKW	<u>K</u> ern <u>k</u> raft <u>w</u> erk
KTW	<u>K</u> rankentransport <u>w</u> agen
LET	Lineares Energieübertragungsvermögen, LET <u>l</u> inearer <u>E</u> nergie <u>t</u> ransfer,
LNT Modell	<u>L</u> inear- <u>N</u> o- <u>T</u> hreshold Model

LRI	<u>l</u> ocal <u>r</u> adiation <u>i</u> njury, lokaler Strahlenschaden
LSM	<u>L</u> ebensrettende <u>S</u> ofort <u>m</u> aßnahme
MANV	<u>M</u> assen <u>a</u> nfall von <u>V</u> erletzten
MEL	<u>M</u> edizinische <u>E</u> insatz <u>l</u> eitung
METREPOL	<u>M</u> edical <u>T</u> reatment <u>P</u> rotocols for Radiation Accident Victims
MSC	<u>m</u> esenchymale <u>S</u> tamm <u>z</u> elle
NFS	<u>N</u> otfall <u>s</u> tation
OIL	<u>O</u> perational <u>I</u> ntervention <u>L</u> evel
PHA	<u>P</u> hyth <u>ä</u> m <u>a</u> gglutinin
PSA	<u>P</u> ersönliche <u>S</u> chutz <u>a</u> usrüstung
PSNV	<u>P</u> sychosoziale <u>N</u> otfall <u>v</u> ersorgung
PTBS	<u>P</u> osttraumatische <u>B</u> elastungs <u>s</u> törung
<i>Q</i>	Qualitätsfaktor
<i>R</i>	Strahlung
RBW	<u>R</u> elative <u>b</u> iologische <u>W</u> irksamkeit
RC	<u>R</u> esponse <u>c</u> ategories
RENEB	<u>R</u> unning the <u>E</u> uropean <u>N</u> etwork of <u>B</u> iological and retrospective Physical dosimetry
RSZ	<u>R</u> egionale <u>S</u> trahlenschutz <u>z</u> entren der Berufsgenossenschaften
RTW	<u>R</u> ettungstransport <u>w</u> agen
SK	<u>S</u> chutz <u>k</u> ommission beim Bundesministerium des Inneren
SSK	<u>S</u> trahlenschutz <u>k</u> ommission
StrlSchG	<u>S</u> trahlenschutz <u>g</u> esetz
StrlSchV	<u>S</u> trahlenschutz <u>v</u> erordnung
Sv	Sievert
TEL	<u>T</u> echnischen <u>E</u> insatz <u>l</u> eitung
THW	<u>T</u> echnisches <u>H</u> ilfs <u>w</u> erk

WHO	<u>W</u> orld <u>H</u> ealth <u>O</u> rganization – Weltgesundheitsorganisation
$w_R$	Strahlungswichtungsfaktor

## Glossar

Abortive Regeneration	Abortive Regeneration z. B. nach Strahlenexposition Verzögerter und vorübergehender Anstieg von Zellen (zumeist im funktionellen Compartment, wie der absoluten Anzahl der Granulozyten) einer fast erschöpften Hämatopoese. Der abortiven Regeneration folgt in der Regel die finale Erholung des blutbildenden Systems.
Alphastrahlung	Alphastrahlung ist eine Korpuskularstrahlung (Alphateilchen), welche beim Alphazerfall von Atomkernen emittiert wird. Alphateilchen besitzen diskrete Anfangsenergien. Das Energiespektrum weist diskrete Linien auf, die für das emittierende Radionuklid charakteristisch sind. Alphastrahlung ist eine direkt ionisierende Strahlung. Die Reichweite von Alphastrahlung in Luft liegt bei einigen Zentimetern, in Wasser oder Gewebe bei einigen zehn Mikrometern.  (Glossar Messanleitung)
ARS	<p>ARS Acute Radiation Syndrome (akutes Strahlensyndrom). Akut oder subakut auftretende Symptomatik nach Ganzkörper- oder (großvolumiger) Teilkörperbestrahlung dessen Schweregrad, klinischer Verlauf, Prognose und Letalität von Art und Dosis der ionisierenden Strahlung abhängt.</p> <p>In Abhängigkeit von der Dosis sowie der betroffenen Organe/Organsysteme und Leitsymptome unterscheidet man folgende Erscheinungsformen der akuten Strahlenkrankheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Im Dosisbereich von einem bis sechs Gray (Gy) zeigen sich charakteristische Veränderungen im Blutbild (hämopoetische Form der Strahlenkrankheit).</li> <li>– Im Dosisbereich von fünf bis 20 Gy entwickelt sich die gastrointestinale Form, welche auf Strahleneffekten an der Magen-Darm-Schleimhaut beruht.</li> <li>– Bei Strahlenexpositionen ab 20 Gy tritt die zerebrovaskuläre Form der Strahlenkrankheit auf, die durch Versagen der zentralnervösen Regulationsmechanismen entsteht.</li> <li>– Die Strahlenschäden an der Haut und an kutanen Schleimhäuten (Mundhöhle) werden als (muko)- kutane Form bezeichnet (ab circa drei Gy lokaler Dosis).</li> </ul> <p>Trotz dieser Unterscheidungen handelt es sich bei der akuten Strahlenkrankheit um ein Multiorgan-Geschehen.</p> <p>Nach BfS</p>



Becquerel (Bq)	<p>Becquerel (Bq) ist die SI-Einheit der Aktivität. Das Einheitenzeichen ist Bq.</p> <p>Definition: <math>1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}</math>.</p> <p>Die alte Einheit der Aktivität ist das Curie (Ci). Für den Zusammenhang zwischen den Einheiten gilt: <math>1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}</math>.</p>
Beruflich strahlenexponierte Personen/Beschäftigte	<p>Eine beruflich exponierte Person ist eine Person, die eine berufliche Exposition aus Tätigkeiten erhalten kann, die</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. eine effektive Dosis von 1 Millisievert im Kalenderjahr überschreitet,</li> <li>2. eine Organ-Äquivalentdosis für die Augenlinse von 15 Millisievert im Kalenderjahr überschreitet oder</li> <li>3. eine Organ-Äquivalentdosis für die Haut, gemittelt über jede beliebige Hautfläche von 1 Quadratzentimeter unabhängig von der exponierten Fläche, von 50 Millisievert im Kalenderjahr überschreitet.</li> </ol> <p>Berufliche Expositionen aus Notfallexpositionssituationen werden dabei nicht berücksichtigt. Eine Person, die eine berufliche Exposition ausschließlich in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage erhält, ist keine beruflich exponierte Person.</p> <p>StrlSchG 2017 § 5 Abs. 7</p>
Besorgte Person	<p>Eine Besorgte Person ist eine Person, die einer geringen oder keiner Strahlenexposition ausgesetzt war (u. a. ermittelt auf der Basis von Dosisermittlung, Plausibilitätstest). Sie ist besorgt und fühlt sich betroffen z. B. krank, objektiv ist sie aber physisch bei guter Gesundheit. Sie bedarf keiner spezifischen strahlenmedizinischen Behandlung, jedoch einer qualifizierten Beratung und ggf. einer individuellen psychosozialen und psychiatrischen Betreuung.</p>
Betastrahlung	<p>Die Betastrahlung ist eine Korpuskularstrahlung, die aus Elektronen (<math>\beta^-</math>-Strahlung) oder Positronen (<math>\beta^+</math>-Strahlung) besteht, welche beim Betazerfall vom Atomkern emittiert werden. Die Betastrahlung weist ein kontinuierliches Energiespektrum auf, das sich von der Energie Null bis zu einer für das betreffende Radionuklid charakteristischen Maximalenergie erstreckt. Die Betastrahlung ist eine direkt ionisierende Strahlung. Die Reichweite der Betastrahlung beträgt in Abhängigkeit von der Energie in Luft einige Meter, in Wasser oder Gewebe bis etwa 1 cm.</p> <p>Glossar Messanleitungen</p>
Betroffene Person	<p>Der Begriff Betroffene Person umfasst alle exponierten und besorgten Personen.</p>

Dicht-ionisierende Strahlung	Dicht-ionisierende Strahlung ist Strahlung aus schweren Teilchen (Alpha, Neutronen) bei denen die Ionisierungsereignisse dichter liegen als z. B. bei Photonen oder Elektronen (s. a. locker ionisierend). Durch sie erzeugte Schäden sind schwierig zu reparieren, daher ist die relative biologische Wirksamkeit (RBW) hoch.
Dosisleistung	Wenn eine Dosisgröße, z. B. die Energiedosis oder die effektive Dosis, auf eine Expositionsdauer bezogen wird, dann heißt die resultierende Dosisgröße pro Zeitintervall Dosisleistung (z. B. Energiedosisleistung für die Energiedosis pro Stunde mit der Einheit Gy h <sup>-1</sup> ).
Effektive Dosis	<p>Die effektive Dosis ist die Summe der mit den zugehörigen, von der ICRP empfohlenen und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Gewebe-Wichtungsfaktoren <math>w_T</math> multiplizierten Organ-Äquivalentdosen <math>H_T</math> in relevanten Organen und Geweben</p> $E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R} .$ <p><math>H_T</math> ist die Organ-Äquivalentdosis in einem Gewebe oder Organ <math>T</math>; <math>w_T</math> ist der Gewebe-Wichtungsfaktor, <math>w_R</math> der Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Einheit der effektiven Dosis ist J kg<sup>-1</sup>. Um deutlich zu machen, dass es sich um eine gewichtete Dosisgröße handelt, wird wie bei der Äquivalentdosis anstelle von Gray (Gy) die Einheit Sievert (Sv), verwendet.</p>
Epilation, strahlenbedingt	Epilation ist der Ausfall der Körperbehaarung als Effekt ionisierender Strahlung. Zwei Arten: Nicht dauerhafte Epilation mit Regenerationsfähigkeit der Haare (im Bereich von 3 Gy Hautdosis) und Permanente Epilation durch Zerstörung der Haarwurzeln nach hoher Exposition im Bereich von etwa 7 Gy
Epitheliolyse	Unter Epitheliolyse versteht man die Abhebung des Deckgewebes der Haut (Epithel) z. B. in Folge einer Strahlendermatitis.
Effektive Folgedosis	<p>Die effektive Folgedosis <math>E(\tau)</math> ist die Summe der Produkte aus den über die Geschlechter gemittelten Folge-Organ-Äquivalentdosen und den zugehörigen Gewebe-Wichtungsfaktoren (<math>w_T</math>), wobei <math>\tau</math> die Integrationszeit in Jahren nach einer Aktivitätszufuhr ist. Der Folgezeitraum beträgt 50 Jahre für Erwachsene und erstreckt sich bei Expositionen im Kindesalter bis zum Alter von 70 Jahren.</p> <p>Nach: ICRP 103</p>

Ermächtigter Arzt	Ein Ermächtigter Arzt im Sinne der Deutschen Strahlenschutzverordnung (§ 175 StrlSchV) ist ein für die Feststellung der Unbedenklichkeit einer Tätigkeit mit ionisierender Strahlung und die Durchführung der ärztlichen Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen (nach den Vorgaben der StrlSchV) von der zuständigen Behörde ermächtigter Arzt. Im Regelfall mit der Facharztbezeichnung „Arbeitsmedizin“ oder der Zusatzbezeichnung „Betriebsarzt“.
Exponierte Person	Eine Exponierte Person ist eine Person, die exponiert wurde und eventuell einer spezifischen strahlenmedizinischen Behandlung bedarf.
Gewebe-Wichtungsfaktoren	Die Gewebe-Wichtungsfaktoren beschreiben näherungsweise den Anteil des Strahlenrisikos, das sich bei homogener Ganzkörperbestrahlung aus der Bestrahlung eines Gewebes oder Organs $T$ für das Gesamtrisiko ergibt. Die Gewebe-Wichtungsfaktoren stellen Mittelwerte dar, gemittelt über Menschen beider Geschlechter und aller Altersgruppen, und beziehen sich somit nicht auf die Eigenschaften einzelner Personen. Durch die Gewebe-Wichtungsfaktoren $w_T$ werden die einzelnen Organ-Äquivalentdosen $H_T$ zur Berechnung der effektiven Dosis $E$ gewichtet. Diese Faktoren $w_T$ spiegeln die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen Organe, Gewebe und Körperteile $T$ gegenüber stochastischen Strahlenwirkungen (Krebsinduktion, Auslösung von Erbschäden) wider.
Gray (Gy)	Gray (Gy) ist die SI-Einheit der Energiedosis. Das Einheitenzeichen ist Gy. Definition: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$
Halbwertszeit, biologische	Die biologische Halbwertszeit $t_{\text{biol.}}$ ist die Zeit, in der ein biologisches System, z. B. ein Mensch, die Hälfte einer aufgenommenen Menge eines radioaktiven Stoffes in Abhängigkeit von dessen chemischer Beschaffenheit aus dem Körper oder einem speziellen Organ wieder ausscheidet.  Nach Glossar Messanleitungen
Halbwertszeit, effektive	Die effektive Halbwertszeit $t_{\text{eff}}$ ist die Zeit, in der in einem biologischen System die Menge eines radioaktiven Stoffes auf die Hälfte abnimmt und zwar infolge radioaktiven Zerfalls und biologische Elimination. Sie wird aus der physikalischen und biologischen Halbwertszeit nach folgender Gleichung berechnet:  $t_{\text{eff}} = \left[ \frac{1}{t_R} + \frac{1}{t_{\text{biol.}}} \right]^{-1}$ Nach Glossar Messanleitungen

Halbwertszeit, physikalische	<p>Die Halbwertszeit <math>t_R</math> eines Radionuklids <math>R</math> ist diejenige Zeitspanne, in der dessen Aktivität auf die Hälfte abnimmt.</p> $t_R = \frac{\ln 2}{\lambda_R}$ <p>Dabei ist <math>\lambda_R</math> die Zerfallskonstante des Radionuklids <math>R</math>. Nach Ablauf von drei Halbwertszeiten sind noch ca. 10 %, nach sieben Halbwertszeiten noch ca. 1 % und nach zehn Halbwertszeiten noch ca. 0,1 % einer Ausgangsaktivität vorhanden. Die Halbwertszeiten von Radionukliden reichen von weniger als <math>10^{-12}</math> s bis zu mehr als <math>10^{12}</math> a.</p> <p>Glossar Messanleitungen</p>
IND	<p><u>Improvised nuclear device</u> (Improvisierte Nuklearwaffe) ist eine „nicht-militärische“ Nuklearwaffe aus gestohlenem oder anderweitig illegal beschafftem nuklearem Material (Plutonium, Uran, hochangereichertes Uran) in Hand von Terroristen oder vergleichbaren Gruppen/Staaten. Derzeit wird davon ausgegangen, dass nur „kleine“ Kernwaffen so herstellbar sind, deren Auswirkungen aber die Größenordnung der Sprengkraft und nuklearen Folgen der über Hiroshima eingesetzten Nuklearwaffe annehmen könnten.</p>
Ingestion	<p>Ingestion ist die Aufnahme von radioaktiven Stoffen über den Verdauungstrakt.</p>
Inhalation	<p>Inhalation ist die Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft in den Körper.</p>
Inkorporation	<p>Als Inkorporation bezeichnet man die Aufnahme eines Stoffes in den Organismus. Die Inkorporation von Radionukliden kann über Atmungsorgane (Inhalation), den Magen-Darm-Trakt (Ingestion) die Haut (intakt oder nicht intakt, perkutane Resorption) oder durch Verletzungen mit radioaktiven Gegenständen (u. a. Spritzen, Stichen, Schrapnelle) erfolgen.</p> <p>Nach Glossar Messanleitungen</p>
Inkorporationsmessstelle	<p>Eine Inkorporationsmessstelle ist eine Einrichtung (z. B. behördlich bestimmte Messstelle nach StrlSchG), die radioaktive Stoffe im Körper des Menschen bestimmen und quantifizieren kann. Aus den ermittelten Werten können die Folgedosen berechnet werden.</p>

Iodblockade	Unter einer Iodblockade versteht man die vorbeugende Einnahme von stabilem (d. h. nicht-radioaktivem) Iod. Sie dient dazu, nach einer starken Freisetzung von radioaktivem Iod, z. B. bei einem Nuklearunfall, die Aufnahme von radioaktivem Iod in die Schilddrüse zu vermeiden und damit die Entstehung von Schilddrüsenkrebs zu verhindern. Die Einnahme erfolgt gewöhnlich in Form von so genannten „Iodtabletten“.
Iodtabletten (KI)	Iodtabletten sind Kaliumiodidtabletten mit einem hohen Iodgehalt (mg-Bereich) zur Sättigung der Schilddrüse mit Iod (Iodblockade) zur Verhinderung der Anreicherung von radioaktivem Iod in der Schilddrüse bei einer Notfallexpositionssituation mit Freisetzung von Iodisotopen. <b>Wichtig:</b> Nicht zu verwechseln mit den zur Vorbeugung von Iodmangelerscheinungen vorgesehenen Tabletten mit tausendfach niedrigerem Iodgehalt ( $\mu\text{g}$ -Bereich). Diese sind nicht zur Blockade der Schilddrüse geeignet.
Kontamination	Kontamination ist eine unerwünschte Verunreinigung durch radioaktive Stoffe.
Krisenkommunikation	Krisenkommunikation ist der Austausch von Informationen und Meinungen zur Verhinderung oder Begrenzung von Schäden während einer Krise. Sie beinhaltet Risiko- und Notfallkommunikation.
LNT Modell	<u>L</u> inear- <u>N</u> o- <u>T</u> hreshold Model. Dieses Modell beschreibt die im Strahlenschutz gemachte Annahme, dass die Häufigkeit eines stochastischen Effektes, die im mittleren bis hohen Dosisbereich (etwa 0,1 bis 5 Gy) beobachtet wird, linear bis zur Dosis Null (also ohne Schwellendosis) extrapoliert werden kann.
Local radiation injury (LRI)	<u>L</u> ocal <u>r</u> adiation <u>i</u> njury ( <i>Lokale Strahlenschädigung</i> ). Lokale Strahlenschäden der Haut und des tiefergelegenen Gewebes. Sie sind die häufigsten Unfallfolgen im Umgang mit ionisierender Strahlung.
Locker-ionisierende Strahlung	Bei Locker-ionisierender Strahlung erfolgt die Energieabgabe auf dem Weg der Strahlung in größeren Abständen, so dass auch die Abstände der Ionisationsereignisse im Vergleich zu dicht-ionisierender Strahlung groß sind. Die dadurch hervorgerufenen Schäden sind leichter zu reparieren als nach Einwirkung dicht-ionisierender Strahlung, so dass die relative biologische Wirksamkeit (RBW) kleiner ist. Beispiele: Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung.

Neutronenstrahlung	<p>Neutronenstrahlung ist eine Korpuskularstrahlung, die aus Neutronen besteht. Sie ist eine indirekt ionisierende Strahlung. Neutronenstrahlung ist z. B. eine Komponente der kosmischen Strahlung, wobei Neutronen im Energiebereich von weniger als 0,01 eV bis zu mehr als 1 GeV auftreten.</p> <p>Glossar Messanleitungen</p>
Notfall-expositionssituation	<p>Gemäß § 2 Abs. 3 StrlSchG ist eine Notfallexpositionssituation eine Expositionssituation, die durch einen radiologischen Notfall entsteht, solange die Situation nicht unter die Begriffsbestimmung der bestehenden Expositionssituation nach § 2 Abs. 4 StrlSchG fällt.</p>
Notfallkommunikation	<p>Notfallkommunikation ist der Austausch von Informationen zu behördlichen Maßnahmen, Anordnungen oder Aufforderungen zur Bewältigung eines Notfalls.</p>
Oberflächen-kontamination	<p>1. Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen. Dabei wird zwischen nicht festhaftender, festhaftender und über die Oberfläche eingedrungener Aktivität unterschieden. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter;</p> <p>2. Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann.</p>
Organ-Äquivalentdosis	<p>Die Organ-Äquivalentdosis <math>H_T</math> ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor <math>w_R</math> nach ICRP. Die Werte des Strahlungs-Wichtungsfaktors <math>w_R</math> nach ICRP richten sich nach Art und Qualität der Strahlung (Photonen, Elektronen, Neutronen, Protonen, Alpha-Teilchen).</p>
Organdosis	<p>Siehe Organ-Äquivalentdosis</p>
Ortsdosis	<p>Die an einem bestimmten Ort gemessene Äquivalentdosis <math>H</math> heißt Ortsdosis. Dabei wird zwischen der Dosis infolge durchdringender Strahlung, d. h. der Umgebungs-Äquivalentdosis <math>H^*(10)</math>, und der Dosis durch Strahlung mit geringer Eindringtiefe, d. h. der Richtungs-Äquivalentdosis <math>H'(0,07)</math>, unterschieden.</p> <p>Glossar Messanleitung</p>

Photonenstrahlung	<p>Die Photonenstrahlung ist eine Strahlung, die aus Photonen besteht. Sie ist für den Bereich ionisierender Strahlung ein Sammelbegriff für Röntgenstrahlung und Gammastrahlung, umfasst auch charakteristische Röntgenstrahlung, Vernichtungsstrahlung, Bremsstrahlung und Synchrotronstrahlung.</p> <p>Glossar Messanleitung</p>
Positronenstrahlung	<p>Die Positronenstrahlung ist eine aus Positronen bestehende Korpuskularstrahlung. Sie wird beim <math>\beta^+</math>-Zerfall ausgesandt und entsteht auch bei der Paarbildung. Positronen emittierende Radionuklide finden z. B. in der Medizin in der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) Anwendung.</p> <p>Glossar Messanleitung</p>
Protonenstrahlung	<p>Protonenstrahlung ist eine Korpuskularstrahlung, die aus Protonen besteht und zu den direkt ionisierenden Strahlungsarten gehört.</p> <p>Glossar Messanleitung</p>
Radioderm (Radiodermatitis)	<p>Radioderm oder Radiodermatitis ist eine Hauterkrankung (Entzündung der Haut) als Folge einer Exposition durch ionisierende Strahlung mit den Zeichen Atrophie (Gewebsschwund), Hyper- und Depigmentierung (Pigmentstörung), Fibrose (Bindegewebsvermehrung) und Teleangiektasie (Gefäßerweiterung).</p>
Radiologischer Notfall	Siehe Strahlennotfall
Radionuklid	<p>Als Radionuklid bezeichnet man ein radioaktives Nuklid im Grundzustand oder metastabilen Zustand. Es wird durch die Angabe des Elementsymbols sowie der zugehörigen Massenzahl gekennzeichnet, z. B. <math>^{90}\text{Sr}</math>, <math>^{99\text{m}}\text{Tc}</math>.</p> <p>Glossar Messanleitungen</p>
Radioaktiver Stoff	<p>Radioaktive Stoffe (Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe) im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe, die ein Radionuklid oder mehrere Radionuklide enthalten und deren Aktivität oder spezifische Aktivität nach den Regelungen dieses Gesetzes oder einer aufgrund dieses Gesetzes von der Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates erlassenen Rechtsverordnung nicht außer Acht gelassen werden kann.</p> <p>StrlSchG 2017 § 3 Abs. 1</p>
RC	<p><u>R</u>esponse <u>c</u>ategories ist ein System zur Schweregradeinschätzung des akuten Strahlensyndroms.</p> <p>Nach (Fliedner 2001)</p>

Risikokommunikation	Risikokommunikation ist der Austausch von Informationen und Meinungen über Risiken, Risikowahrnehmung, Risikovermeidung, Risikominimierung und Risikoakzeptanz. Sie erfolgt sowohl kontinuierlich anlassunabhängig als auch anlassbezogen z. B. während und nach einem Notfall.
Schwellendosis	Schwellendosis ist die niedrigste Dosis, bei der gerade noch eine biologische Wirkung nachweisbar ist. Der Begriff wird im Strahlenschutz in erster Linie im Zusammenhang mit deterministischen Effekten verwendet.  Verschiedene deterministische Effekte können unterschiedliche Schwellendosen besitzen.
Sequentialdiagnostik	Als Sequentialdiagnostik bezeichnet man eine Kette momentan diagnostischer Befunderhebungen und Bewertungen aus hämatologischen und klinischen Parametern. Die Schwere der strahlenbedingten Erkrankung bestimmt die Abfolge und Frequenz der diagnostischen Schritte. (Begriff geht zurück auf Prof. Fliedner und das METREPOL Programm).
Sievert (Sv)	Das Sievert ist die SI-Einheit der Äquivalentdosis, der Organ-Äquivalentdosis und der effektiven Dosis. Das Einheitenzeichen ist Sv.  Definition: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$  Die alte Einheit der Äquivalentdosis ist das Rem (rem). Für den Zusammenhang zwischen den Einheiten gilt: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$  Ebenso gilt für die Äquivalentdosisleistung: $1 \text{ Sv s}^{-1} = 100 \text{ rem s}^{-1}$  Nach Glossar Messanleitungen
Strahlen-Dermatitis	Siehe Radioderm
Strahlenexposition	Strahlenexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper. Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.  <b>Hinweis:</b>  In diesem Glossar werden Expositionen mit ionisierender Strahlung entsprechend dem gängigen Sprachgebrauch als Strahlenexposition bezeichnet. Im Strahlenschutzrecht werden Expositionen mit ionisierender Strahlung dagegen aufgrund des eindeutigen Kontexts lediglich als Expositionen bezeichnet.



Strahlen-Erythem	Unter Strahlen-Erythem versteht man eine lokale Rötung der Haut, bedingt durch eine Hyperämie. Ursache sind z. B. ionisierende und nicht ionisierende Strahlung, physikalische Auslöser, Infektionen, entzündliche Prozesse sowie Hauterkrankungen.
Strahlenfibrose	Strahlenfibrose ist eine krankhafte Vermehrung von Kollagenfasern im Bindegewebe, die zur Verhärtung von Geweben und Organen führt.
Strahlennotfall	Ein Notfall ist ein Ereignis, bei dem sich durch ionisierende Strahlung erhebliche nachteilige Auswirkungen auf Menschen, die Umwelt oder Sachgüter ergeben können. Es umfasst den radiologischen und nuklearen Notfall.
Strahlennotfallarzt	Ein Strahlennotfallarzt ist ein Arzt mit besonderer Qualifikation, der in einem Notfall zur Versorgung bzw. Behandlung der Strahlennotfallpatienten tätig wird.
Strahlennotfallpatient	Strahlennotfallpatienten sind alle exponierten Personen und Besorgte, die einer individuellen Behandlung bedürfen.
Strahlenschutzarzt	Strahlenschutzarzt ist ein Sammelbegriff für den ermächtigten Arzt und den Strahlennotfallarzt.
Strahlenunfall	Siehe Strahlennotfall
Verdopplungsdosis	Die Verdopplungsdosis ist die Strahlendosis, die notwendig ist, die spontane Häufigkeit eines Ereignisses (z. B. ausgedrückt in Anzahl an Krebsfällen, Gesamt- oder Einzelmutationsraten) zu verdoppeln.
Vorkommnis	Ein Vorkommnis ist ein Ereignis in einer geplanten Expositionssituation, dass zu einer unbeabsichtigten Exposition geführt hat, geführt haben könnte oder führen könnte. Kein Vorkommnis liegt vor, wenn das Ereignis für den Strahlenschutz nicht relevant ist.  StrlSchV 2018 § 1 Abs. 22

## Anhang

### A1 Biologische Dosimetrie

Die biologische Dosimetrie wird derzeit sowohl vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als auch vom Institut für Strahlenbiologie der Bundeswehr durchgeführt.

#### A1-1 Merkblatt des BfS

##### Merkblatt zur Blutentnahme für eine Chromosomenanalyse

##### Gründe für eine Chromosomenanalyse im Rahmen der biologischen Dosimetrie.

Die biologische Dosimetrie ist eine Methode, um nach einer vermuteten, übermäßigen Strahlenbelastung diese nachzuweisen und gegebenenfalls zu quantifizieren indem eine Dosis abgeschätzt wird. Untersucht werden dafür Schäden an Chromosomen in Lymphozyten des peripheren Blutes.

##### Gründe für eine Untersuchung

- wenn bei einer Exposition oder fraglichen Exposition kein Dosimeter getragen wurde,
- wenn sich bei der Auswertung der physikalischen Strahlenschutzüberwachung Unstimmigkeiten ergeben und eine unabhängige Informationsquelle benötigt wird,
- wenn eine vermutliche Dosisbelastung ausgeschlossen werden soll, zum Beispiel, wenn eine Dosis auf dem Dosimeter aufgezeichnet wurde, aber der/die Träger\*in gar nicht exponiert war.

Bitte befolgen Sie die Anleitungen, um optimale Bedingungen für die Chromosomenanalyse zu gewährleisten. Die besten Ergebnisse werden erreicht, wenn das Blut innerhalb von 24 Stunden nach Blutentnahme im Labor eintrifft.

##### Kontaktaufnahme vor der Blutentnahme

Eine Kontaktaufnahme mit dem Fachgebiet Biologische Dosimetrie am Bundesamt für Strahlenschutz soll so zeitnah wie möglich nach einer unfallfallbedingten Strahlenexposition und vor der Blutentnahme erfolgen. Hier werden Fragen, wie die erhöhte Strahlenbelastung zustande kam, ob die Durchführung der Analyse aus fachlicher Sicht sinnvoll ist, und die Details des Probenversandes und der Kostenübernahme besprochen.

Bundesamt für Strahlenschutz

Fachgebiet Biologische Dosimetrie (WR2)

Ingolstädter Landstr. 1

85764 Oberschleißheim

Email: [biodosimetry@bfs.de](mailto:biodosimetry@bfs.de)

Tel.: 030 - 18333-2213 / 2218 / 2945

Webseite: [www.bfs.de](http://www.bfs.de) (Suchbegriff: biologische Dosimetrie)

##### Anleitung zur Blutentnahme

- Bereitstellung und Zusendung von Blutentnahmesystemen (Sarstedt, Lithium Heparin, S Monovette) und Verpackungsmaterial (gemäß PI 650 \_IATA) durch das BfS vorab.
- Entnahme von 5 ml bis 10 ml venösem Vollblut in ein mit Lithium-Heparin beschichteten Blutentnahmeröhrchen (ein Röhrchen pro Individuum).

- Röhre vorsichtig für 1 Minute über Kopf schwenken, um eine vollständige Durchmischung sicherzustellen.
- Röhre eindeutig beschriften mit Name des/der Proband\*in, Datum und Uhrzeit der Blutentnahme.
- Lagerung der Blutproben bis zur Versendung **bei Raumtemperatur, nicht kühlen!!**

### **Versand der Blutproben**

- Blutproben schnellstmöglich nach der Blutentnahme per Expressversand oder Kurier versenden und Zustellung vor 12:00 Uhr Mittag am Tag nach der Blutentnahme auswählen, um eine Lieferung innerhalb von 24 h sicherzustellen.
- Verpackung und Kennzeichnung der Blutproben entsprechend geltender Vorschriften (UN 3373, Biological Substance, Category B / PI 650). Sie erhalten alle nötigen Informationen und Hilfe dazu bei Kontaktaufnahme.
- Bitte verwenden Sie das von uns zur Verfügung gestellte Verpackungsmaterial.
- Achtung: **keine Kühlung während des Versands!**

Labor des BfS über Zeitpunkt der Versendung informieren und Transportversendungsnummer mitteilen (für Rückverfolgungen). Bei Rückfragen kontaktieren Sie bitte das Fachgebiet Biologische Dosimetrie.

## A1-2 Merkblatt für eine Chromosomenanalyse des Instituts für Strahlenbiologie der Bundeswehr

Die Analyse dizentrischer Chromosomen in humanen peripheren Blutlymphozyten ist derzeit die Methode der Wahl für die Biodosimetrie nach einer akuten Ganz- oder signifikanten Teilkörperexposition.

Die Analyse kommt zur Anwendung, wenn eine potenziell exponierte Person kein physikalisches Dosimeter bei sich trug oder es funktionsunfähig ist bzw. die Auswertung des physikalischen Dosimeters fehlt oder unklar ist. Die Blutentnahme und der Probenversand müssen nach dem unten beschriebenen Protokoll vorgenommen werden, um optimale Voraussetzungen für die Durchführung der Analyse zu schaffen. Der Zeitpunkt des Versandes muss mit dem Labor zuvor abgesprochen werden.

- Bitte nehmen Sie vor der Blutabnahme mit uns Kontakt auf, damit wir Vorbereitungen für die Probenankunft und Abholung treffen können.
- Die Blutentnahme soll nicht vor Ablauf von 24 h nach der Exposition stattfinden, dann aber so schnell wie möglich.
- Alle Blutproben werden in Lithium-Heparin-Röhrchen abgenommen (falls nicht vorhanden: Natrium- oder Ammoniumheparin) mit einem Mindestabnahmevolumen von 3 ml (optimal: 2 x 5 ml Röhrchen) unter Beachtung der sicheren Entsorgung der verwendeten Materialien zur Blutabnahme (Kanülen, Nadeln etc.). Vorsichtiges Schütteln für zwei Minuten sichert eine gründliche Durchmischung. Die Röhrchen eindeutig mit dem Codesystem des Empfängerlabors kennzeichnen und den Fragebogen zur Exposition ausfüllen.
- Die Blutröhrchen sorgsam verpacken, um das Zerschneiden während des Transportes zu verhindern. Das Blut soll bei ca. 20 °C (Raumtemperatur, RT) gelagert werden. **Die Blutproben dürfen niemals eingefroren werden oder während des Transportes einfrieren.** Eine Methode für die Lagerung des Blutes bei RT ist, die Röhrchen für den Transport in Gelpacks zu platzieren, welche über mehrere Stunden bei RT lagerten.
- Das Blut unmittelbar nach der Abnahme versenden. Versenden Sie die Proben mit **speziellen Versandunternehmen und beauftragen Sie Übernacht-Luft-Express-Versand, damit wir die Proben am nächsten frühen Morgen nach der Blutabnahme erhalten.** Informieren Sie das Labor über das von Ihnen beauftragte Versandunternehmen und über die Transportrechnungsnummer.

### Das ist wichtig für die Rückverfolgbarkeit der Probe:

- Die besten Ergebnisse werden erreicht, wenn wir das Blut innerhalb von 24 Stunden nach Abnahme erhalten.
- Den Erfassungsbogen (Expositionsinformation/Blutentnahme) und **Anforderung mit Einverständniserklärung** vollständig ausgefüllt gemeinsam mit den Proben versenden oder per FAX in unser Labor senden (Telefax: +49 (0)89/992692-2255).
- Für den Lufttransport muss die Verpackung und Kennzeichnung den aktuellen Internationalen Luft-Transport-Verbindungs-Vorschriften (International Air Transport Association = IATA) entsprechen. Diese schreiben vor, dass Blutproben übereinstimmend mit den United Nation Regulation 650 für biologische Substanzen verpackt sein müssen. Käufliche Saf-T Pak-Verpackungen (apps.saftpak.com) erfüllen die geforderten Anforderungen (STP210). Andere Verpackungen sind ebenso zulässig, solange sie die geforderten Anforderungen erfüllen.

**Verpackung der Norm P650 (Dreifachverpackung):**

- Wasserdichter Primärcontainer (z. B. Monovette)
- Wasserdichter Sekundärcontainer (z. B. Ziplock-Beutel)
- Ausreichend feste Außenverpackung
  - ! **Die Sekundär- oder die Außenverpackung muss starr sein!**
- Ausreichend absorbierendes Material zwischen dem Primärcontainer und Sekundärcontainer platzieren
- Das Primär- oder das Sekundärgefäß muss einer Druckdifferenz von 95 kPa standhalten
- Das gesamte Versandstück muss einen Falltest aus 1,2 m Höhe unbeschadet überstehen
- Muss mit **TC-125-1B** (z. B. STP 210 Verpackung) markiert sein
- Falls das Versandunternehmen selbst verpackt, muss streng darauf geachtet werden, dass die äußere Verpackung mit **125-1B** markiert wird.

Markierung und Beschriftung auf der äußersten Verpackung für den Luft-Transport:

- **Name, Adresse und Telefonnummer** des Empfängers und des Spediteurs
- **„Biologische Substanzen, Kategorie B UN3373“**
- **Rautenförmiger UN3373-Aufkleber**
  - **Zwei Orientierungspfeile** an den jeweils gegenüberliegenden Seiten des Paketes
  - **„NICHT BESTRAHLEN“ und „DO NOT X-RAY“**
  - **„NICHT EINFRIEREN“ und „DO NOT FREEZE“**

Transportkosten

- Nachzulesen in **Biologische Substanzen, Kategorie B UN3373**

Institut für Radiobiologie der Bundeswehr  
Neuherbergstraße 11  
80937 München  
Deutschland  
Tel: 089-992692-2251  
Fax: 089-992692-2255  
e-mail: institutfuerradiobiologie@bundeswehr.org

### A1-3 Kontaktdaten der nach § 169 StrISchG behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen

Eine aktuell gehaltene Liste der behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen befindet sich unter

<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/inkorporation/messstellen/messstellen.html>

Inkorporationsmessstelle	angebotenes Messverfahren
<b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> Köpenicker Allee 120 -130 10318 Berlin Tel.: 03018 333-4546 E-Mail: <a href="mailto:ikm-berlin@bfs.de">ikm-berlin@bfs.de</a>	in vivo und in vitro
<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b> SUM In-vivo-Messlabor Postfach 36 40 76021 Karlsruhe <a href="http://www.sum.kit.edu/In-vivo-Messlabor.php">http://www.sum.kit.edu/In-vivo-Messlabor.php</a>	in vivo
<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b> Medizinische Dienste Toxikologisches Labor (MED-TOX) Postfach 36 40 76021 Karlsruhe <a href="http://www.med.kit.edu/MED-TOX.php">www.med.kit.edu/MED-TOX.php</a>	in vitro
<b>Eberhard Karls Universität Tübingen</b> Isotopenlabor und Strahlenschutz Röntgenweg 13 72076 Tübingen	in vivo
<b>Eberhard Karls Universität Tübingen</b> Isotopenlabor und Strahlenschutz Auf der Morgenstelle 24 72076 Tübingen <a href="https://uni-tuebingen.de/einrichtungen/zentrale-einrichtungen/isotopenlabor-strahlenschutz/unserservice/isotopenlabor/">https://uni-tuebingen.de/einrichtungen/zentrale-einrichtungen/isotopenlabor-strahlenschutz/unserservice/isotopenlabor/</a>	in vitro
<b>Bayerisches Landesamt für Umwelt</b> Dienststelle Kulmbach Messstelle für Radiotoxikologie Schloss Steinenhausen 95326 Kulmbach Tel.: 09221 604-1780 E-Mail: <a href="mailto:ulrich.kratzel@lfu.bayern.de">ulrich.kratzel@lfu.bayern.de</a>	in vitro

<p><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b>          Ingolstädter Landstraße 1          85764 Oberschleißheim          Tel.: 03018 333-2432  <a href="https://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/inkorporation/messstelle-muenchen/messstelle-mue_node.html">https://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/inkorporation/messstelle-muenchen/messstelle-mue_node.html</a></p>	in vivo
<p><b>Framatome GmbH</b>          Inkorporationsmessstelle - Ausscheidungsanalytik          Postfach 1109          91001 Erlangen          Tel.: 09131 900-97664          E-Mail: <a href="mailto:traudl.krec@framatome.com">traudl.krec@framatome.com</a></p>	in vitro
<p><b>Framatome GmbH</b>          Inkorporationsmessstelle - Bodycounter          Postfach 1109          91001 Erlangen          Tel.: 09131 900-97679          E-Mail: <a href="mailto:rainer.bezold@framatome.com">rainer.bezold@framatome.com</a></p>	in vivo
<p><b>Universitätsklinikum Würzburg</b>          Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin          Oberdürrbacher Straße 6          97080 Würzburg  <a href="https://www.ukw.de/nuklearmedizin/startseite/">https://www.ukw.de/nuklearmedizin/startseite/</a></p>	in vivo
<p><b>Justus-Liebig-Universität Gießen</b>          Dezernat B 3.5 / Zentrale Strahlenschutzgruppe          Leihgesterner Weg 217          35392 Gießen          Tel.: 0641 99-15052          E-Mail: <a href="mailto:dirk.krambrich@admin.uni-giessen.de">dirk.krambrich@admin.uni-giessen.de</a></p>	in vivo
<p><b>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)</b>          Klinik für Nuklearmedizin          Martinistraße 52          20246 Hamburg          Tel.: 040 74105-2944          E-Mail: <a href="mailto:y.kobayashi@uke.de">y.kobayashi@uke.de</a></p>	in vivo
<p><b>Medizinische Hochschule Hannover</b>          Strahlenschutz und Medizinische Physik /          Inkorporationsmessstelle          Carl-Neuberg-Straße 1          30625 Hannover          Tel. 0511 532-8404  <a href="https://www.mhh.de/ssmp">https://www.mhh.de/ssmp</a></p>	in vivo und in vitro

<p><b>Universitätsklinikum Essen</b>          Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin          Hufelandstraße 55          45122 Essen          Tel.: 0201 723-3283          E-Mail: <a href="mailto:wilfried.sonnenschein@uk-essen.de">wilfried.sonnenschein@uk-essen.de</a></p>	in vivo
<p><b>Landesinstitut für Arbeitsgestaltung</b>          Inkorporationsmessstelle          Gesundheitscampus 10          44801 Bochum  <a href="https://www.lia.nrw.de/themengebiete/strahlenschutz/inkorporationsmessstelle1/index.html">https://www.lia.nrw.de/themengebiete/strahlenschutz/inkorporationsmessstelle1/index.html</a></p>	in vivo und in vitro
<p><b>Forschungszentrum Jülich</b>          Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz          Postfach 19 13          52425 Jülich  <a href="https://www.fz-juelich.de/gS/DE/UeberUns/Organisation/S-B/S-BI/_node.html">https://www.fz-juelich.de/gS/DE/UeberUns/Organisation/S-B/S-BI/_node.html</a></p>	in vivo und in vitro
<p><b>Universitätsklinikum Münster</b>          Klinik für Nuklearmedizin Ganzkörperzähler          Albert-Schweitzer-Campus 1          48149 Münster  <a href="https://www.ukm.de/index.php?id=7834">https://www.ukm.de/index.php?id=7834</a></p>	in vivo
<p><b>Bayer AG / Pharmaceuticals</b>          Radiation Protection          Aprather Weg 18a          42113 Wuppertal          Tel.: 0202 36-3974          E-Mail: <a href="mailto:Kristian.Wittke@bayer.com">Kristian.Wittke@bayer.com</a></p>	in vitro
<p><b>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen</b>          Sachgebiet 10.63 Umwelt- und Strahlenschutz          Süsterfeldstraße 65          52056 Aachen          Tel.: 0241 80-94306          E-Mail: <a href="mailto:strahlenschutz@zhv.rwth-aachen.de">strahlenschutz@zhv.rwth-aachen.de</a></p>	in vivo (nur Schilddrüsenmessungen)
<p><b>Johannes-Gutenberg-Universität Mainz</b>          Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin          Langenbeckstraße 1          55131 Mainz          Tel.: 06131 17-6737          E-Mail: <a href="mailto:helmut.reber@unimedizin-mainz.de">helmut.reber@unimedizin-mainz.de</a></p>	in vivo



<p><b>PreussenElektra GmbH</b> Messstelle für Inkorporationsüberwachung Osterende 25576 Brokdorf Tel.: 04829 75-2460 E-Mail: <a href="mailto:Sascha.Haberland@preussenelektra.de">Sascha.Haberland@preussenelektra.de</a></p>	in vivo
<p><b>Kernkraftwerk Krümmel GmbH</b> Messstelle Inkorporationsüberwachung Elbuferstraße 82 21502 Geesthacht Tel.: 04152 15-2569 E-Mail: <a href="mailto:thomas1.dunkel@vattenfall.de">thomas1.dunkel@vattenfall.de</a></p>	in vivo
<p><b>Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Campus Kiel</b> Abteilung Medizinische Physik – Ganzkörperzähler Arnold-Heller-Straße 3 24105 Kiel Tel.: 0431 500 168 62 E-Mail: <a href="mailto:Isong.Assam@uksh.de">Isong.Assam@uksh.de</a></p>	in vivo
<p><b>VKTA-Strahlenschutz, Analytik &amp; Entsorgung Rossendorf e.V.</b> Abteilung KSI Inkorporationsmessstelle Bautzner Landstraße 400 01314 Dresden <a href="https://www.vkta.de/strahlenschutz/inkorporationsmessstelle/">https://www.vkta.de/strahlenschutz/inkorporationsmessstelle/</a></p>	in vivo und in vitro

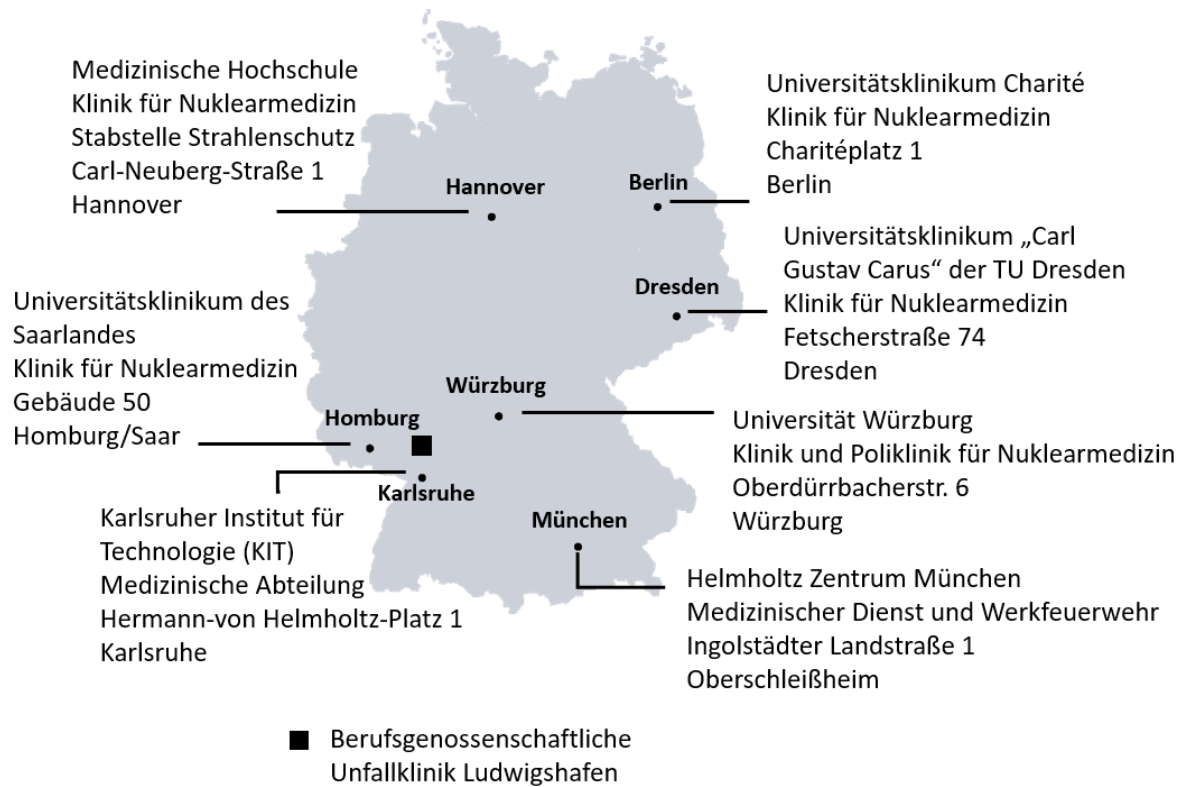
## A1-4 Liste der Regionalen Strahlenschutzzentren

Eine aktuell gehaltene, modifizierte Liste der Regionalen Strahlenschutzzentren befindet sich unter [www.bgetem.de](http://www.bgetem.de) und im Suchfeld den Webcode 12178646 eingeben oder

<b>Medizinische Hochschule Hannover</b> Klinik für Nuklearmedizin/Stabsstelle Strahlenschutz und Abt. Medizinische Physik – OE 0020 Carl-Neuberg-Straße 1 30625 Hannover	Telefon: (0176) 1532-3082 / 2295 (Nuklearmedizin)
<b>Universitätskliniken des Saarlandes</b> Abt. für Nuklearmedizin Gebäude 50 66421 Homburg/Saar	Telefon: (06841) 162-2201(-3305*)
<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b> Medizinische Abteilung Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	Telefon: (0721) 6082-3333
<b>Charité - Universitätsklinikum Berlin</b> Klinik für Nuklearmedizin Charitéplatz 1 10117 Berlin	Telefon: (030) 450 557 338 (450 657 024*)
<b>Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin Dresden</b> Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der Technischen Universität Dresden Fetscherstraße 74 01307 Dresden	Telefon: (0351) 458-2226
<b>Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg</b> Oberdürrbacherstr. 6 97080 Würzburg	Telefon: (0931) 201-44400
<b>Helmholtz Zentrum München, Medizinischer Dienst und Werkfeuerwehr</b> Ingolstädter Landstraße 1 85764 Neuherberg	Telefon: (089) 3187-3990

\* außerhalb der üblichen Dienstzeit

Stand: 12.01.2022



## A2 Dekontaminationsmaßnahmen

### A2-1 Personendekontamination

(Fotostrecke, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr)

Geräte und/oder mitgeführte  
Materialien ablegen für gesonderte  
Freimessung.

**01**

Person auf mögliche Kontamination  
abspüren.

**02**

Überhandschuhe vorsichtig entfernen.



**03**



Verklebung der unteren Handschuhe lösen.



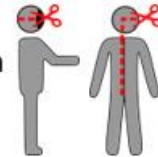
**04**



Den Anzug vom Hals abwärts bis zur Leiste aufschneiden.  
Beachten: Schnittkante nach außen wölben und  
eindrehen; mit der Schere, den Händen und dem  
Schutzanzug die Unterbekleidung nicht berühren.


**05a**


Schutzanzug wird seitlich am Kopf aufgeschnitten. Der  
Schnitt geht dann über den Rücken bis zum Gesäß.  
Während dessen werden die Schnittkanten nach außen  
aufgerollt und über die Schultern gezogen. Analog zur  
Variante a, dürfen Schere, Hände und Schutzanzug die  
Unterbekleidung nicht berühren.


**05b**


Kapuze vorsichtig abziehen und den oberen Teil des Anzuges über die Schultern ziehen.  
Beachten: Auch hier die Kanten einrollen und die Unterbekleidung nicht berühren.

**06a**

Analog zur Variante a wird der Schutzanzug mit Unterstützung des zu Entkleidenden über die Arme abgestreift.

**06b**

Den Schutzanzug bis auf Höhe der Hände herunterstreifen. Zu entkleidende Person zieht die Hände selbständig aus den Ärmeln. Der Anzug wird bis unterhalb der Knie aufgerollt.



Variante a und b ab hier identisch.  
Die Unterhandschuhe vorsichtig abziehen.

**08**



Zu entkleidende Person setzt sich auf einen markierten Platz, die Hände im „sauberen“ Bereich der Bank abgestützt, hin. Schutzanzug und Überschuhe werden nun entfernt.



Sobald bei einem Bein der Schutzanzug und die Überschuhe entfernt wurden, wird dieses Bein über die Bank in den sauberen Bereich geschwenkt und abgestellt. Sobald das zweite Bein von Anzug und Überschuh befreit ist, dreht sich die Person komplett in den sauberen Bereich.

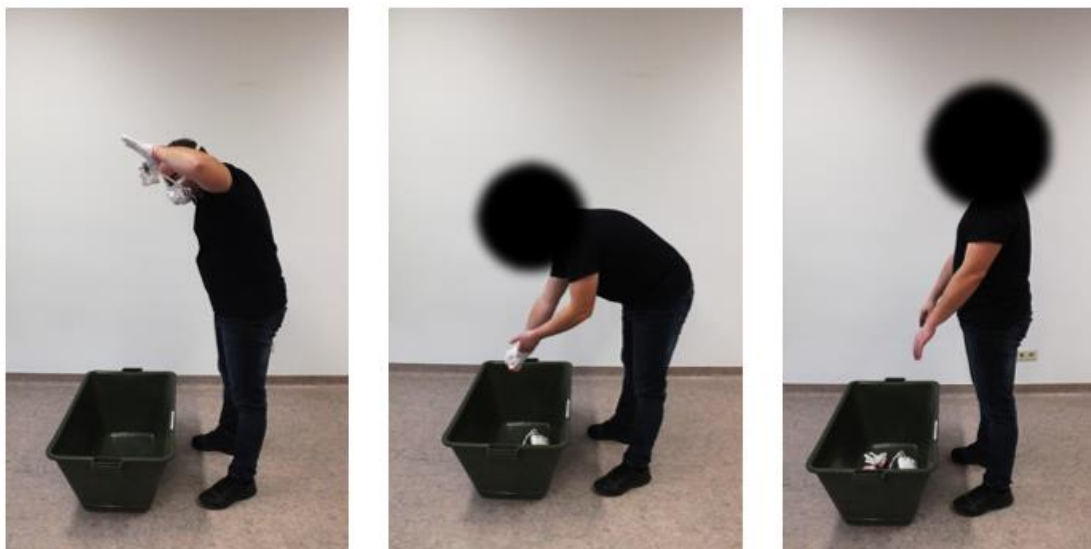
**10**



Die zu entkleidende Person steht nach Aufforderung auf und wird durch Personal erneut auf Kontamination abgespürt.



Im letzten Schritt legt die Person selbstständig die Schutzbrille, -maske und Baumwollhandschuhe ab.

**12**

## A2-2 Wunddekontamination

(Fotostrecke, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr)

### Wunddekontamination mit feuchtem Tuch

Verletzung wird auf mögliche Kontamination geprüft.



Bei Feststellung Kontamination wird saugfähiges Material mit einer sterilen Kochsalzlösung befeuchtet. Alternativ kann auch die Wunde vorsichtig besprüht werden (hier NaCl-Spray).



Danach wird die Wunde Schritt für Schritt gesäubert. Eine leichte Drehbewegung des saugfähigen Materials sollte bevorzugt werden, da Wischbewegungen zu einer Kontamination weiterer Bereiche führen könnte.

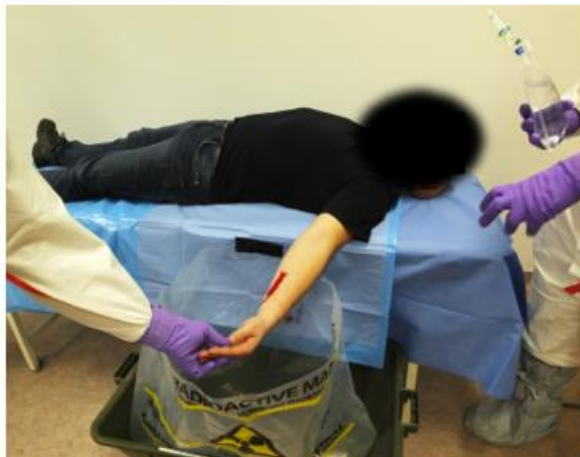
**03**

Dies sollte solange wiederholt werden bis eine Reduzierung der Strahlung nicht mehr messbar ist. Gegebenenfalls muss eine operative Säuberung der Wunde stattfinden. Abfall sollte fachgerecht entsorgt werden.

**04**

### Wunde spülen

Damit die Wunde gespült werden kann, sollte unter der Wunde eine Möglichkeit bestehen, die Flüssigkeit aufzufangen. Zur Spülung wird sterile isotonische Kochsalzlösung benutzt.



Um gezielt die Wunde ausspülen zu können, empfiehlt sich ein gekürztes Infusionsbesteck. Den Bereich großzügig ausspülen.



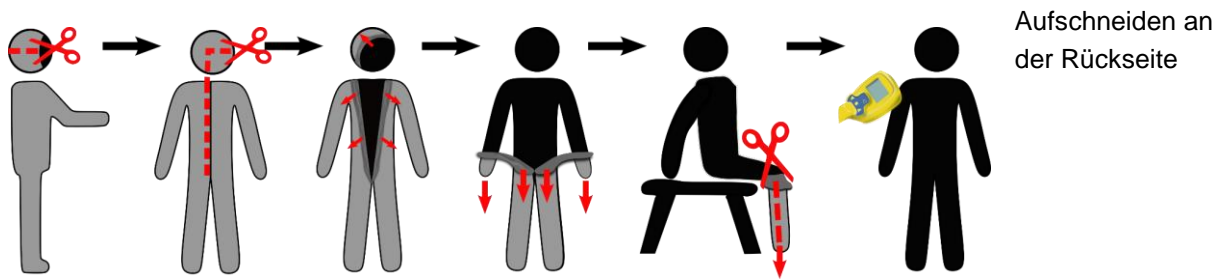
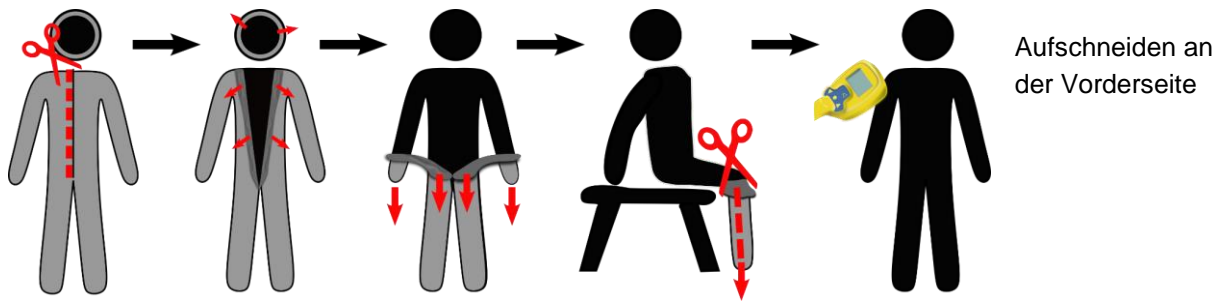
Analog zur Dekontamination mit einem feuchten Tuch, wird auch hier die Wunde, zwischen den Spülvorgängen, mit einem sterilen saugfähigem Material in einer leichten Drehbewegung, gesäubert.



Ist der Bereich gereinigt bzw. keine Reduzierung der Strahlung mehr messbar, wird die Wunde verbunden. Gegebenenfalls muss über eine operative Sanierung der Wunde entschieden werden.



### A2-3 Schneideschema







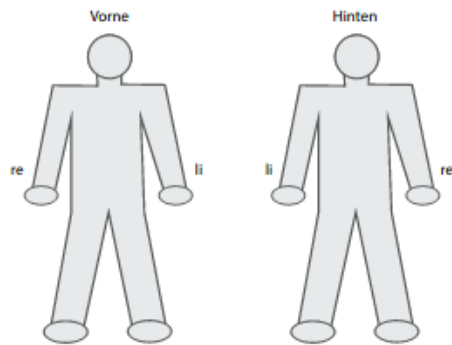
## Strahlenunfallerhebungsbogen 2

### Angaben des Betrieblichen Strahlenschutzes/des Ersthelfers bzw. der Ersthelferin/der Sanitäterin bzw. des Sanitäters

#### 1. Personenkontamination keine Kontamination

Messgerät und Sonde \_\_\_\_\_  
 a-Aktivität  a + b Aktivität

Imp/min. oder Bq/cm<sup>2</sup>: \_\_\_\_\_  
 (Unterhalb eines Wertes von 10 Bq/cm<sup>2</sup> sind keine Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich)



Lokalisation:  
 Kontaminierte Flächen als Schraffur unter Angabe der Höhe der Kontamination eintragen (Imp/min. oder Bq/cm<sup>2</sup>).

Wurde Kontamination beseitigt? ja  nein

Falls Restkontamination, wo \_\_\_\_\_  
 Imp/min oder Bq/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

Kontaminierte Verletzung ja  nein

Lokalisation: \_\_\_\_\_

#### 2. Inkorporation

Inkorporationsverdacht ja  nein   
 Vermutete Radionuklide \_\_\_\_\_

Inkorporationsüberwachung veranlasst ja  nein   
 (welche) \_\_\_\_\_

Dekorporationstherapie eingeleitet ja  nein   
 (welche) \_\_\_\_\_

Ort, Datum, Uhrzeit \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

203-009

### A3-2 Strahlenerhebungsbogen für Notfallstationen (Erhebungsbogen IMK 2014a)

-Muster-

**Erhebungsbogen Notfallstation**      Registriernummer .....

Notfallstation in .....      Datum: .....

vom Betroffenen auszufüllen	Personalien (bitte selbst ausfüllen) Name, Vorname .....      Geburtsdatum: ..... Straße .....      männl. <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> weibl. <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> PLZ, Wohnort .....      Tel. ....																				
vom Helfer auszufüllen	Aufenthalt während / nach dem Kernkraftwerksunfall: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Ort</th> <th style="width: 30%;">Zeit (von ... bis ... Uhr)</th> <th colspan="2" style="width: 40%;">im Freien / in Gebäuden<sup>*)</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.....</td> <td>.....</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2.....</td> <td>.....</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3.....</td> <td>.....</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4.....</td> <td>.....</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> Von der Behörde ausgegebene Iodtabletten eingenommen? <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> ja, ..... Stück um ..... Uhr am ..... <input type="checkbox"/> nein	Ort	Zeit (von ... bis ... Uhr)	im Freien / in Gebäuden <sup>*)</sup>		1.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ort	Zeit (von ... bis ... Uhr)	im Freien / in Gebäuden <sup>*)</sup>																			
1.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
2.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
3.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
4.....	.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
vom Arzt auszufüllen	Ergebnisse der Dosisabschätzung: Dosis durch äußere Bestrahlung (externe Dosis) und durch Inhalation (Schilddrüsendosis): Äußere Bestrahlung <sup>*)</sup> : <input type="checkbox"/> unter 100 mSv <sup>**)</sup> <input type="checkbox"/> 100 mSv bis 1 Sv <input type="checkbox"/> über 1 Sv Inhalation <sup>*)</sup> : <input type="checkbox"/> unter 50 mSv <sup>**)</sup> <input type="checkbox"/> 50 bis 250 mSv <sup>***)</sup> <input type="checkbox"/> 250 mSv bis 2,5 Sv <input type="checkbox"/> über 2,5 Sv Bei abgeschätzter Schilddrüsendosis größer 50 mSv: Dosisleistung, gemessen an Schilddrüse: ..... µSv/h um ..... Uhr **) keine Maßnahmen und keine ärztliche Untersuchung      ***) ärztliche Untersuchung nur für Personen bis 18 Jahre																				
vom Helfer auszufüllen	Ärztlicher Befund (Stand: ..... Uhr am .....) Anzeichen akuter Strahlenschäden: <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, folgende: <input type="checkbox"/> Übelkeit <input type="checkbox"/> Erbrechen um ..... Uhr, <input type="checkbox"/> sonstige: ..... Empfehlung für weitere Maßnahmen: <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> keine weitere Beobachtung <input type="checkbox"/> stationäre Behandlung wegen <input type="checkbox"/> ambulante Betreuung wegen <input type="checkbox"/> Strahlenschäden <input type="checkbox"/> Verdacht auf Strahlenschäden <input type="checkbox"/> anderer Erkrankungen <input type="checkbox"/> weitere Empfehlung ..... .....      Unterschrift des Arztes .....																				
vom Helfer auszufüllen	Weiterer Verbleib: <sup>*)</sup> <input type="checkbox"/> selbständige Weiterfahrt nach ..... <input type="checkbox"/> Einweisung in ein Krankenhaus <input type="checkbox"/> zugewiesene Unterkunft in .....      in ..... <input type="checkbox"/> Kopie gefertigt zum Verbleib in NFS																				
	*) Zutreffendes ankreuzen bzw. Wert eintragen																				

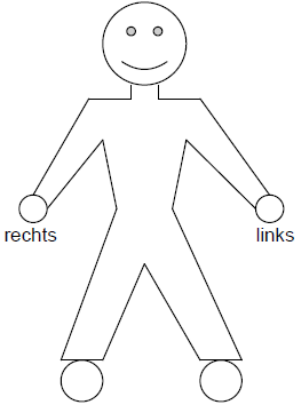
Kontaminationsnachweis

Nachweisgerät<sup>1)</sup>: .....

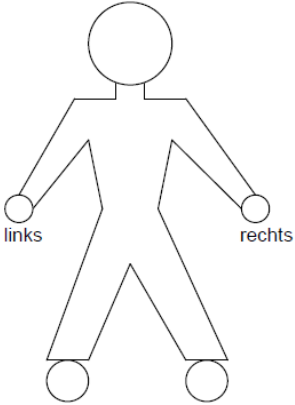
Messbereichsende<sup>1)</sup>: .....

Nullrate .....

**Vorn**



**Hinten**



**Kontaminierte Flächen mit Schraffur am Personenschema markieren**

Kontaminationsnachweis<sup>2)</sup>     .....IPS     Messbereichsende

nicht zu dekontaminieren     zu dekontaminieren     vorrangig zu dekontaminieren

1. Reinigung<sup>2)</sup>:     Duschen     Waschen    .....IPS

2. Reinigung<sup>2)</sup>:     Duschen     Waschen    .....IPS

1) Messgerät und Wert vor dem Vervielfältigen der Bögen entsprechend der örtlichen Bedingungen eintragen

2) Zutreffendes nach der Messung bzw. Dekontamination eintragen

vom Helfer auszufüllen

## A4 Zählraten des im Katastrophenschutz üblichen Kontaminationsmessgerätes für unterschiedliche Kontaminationsstufen

Die Einteilung in die Kontaminationsstufen erfolgt entsprechend der nachfolgend aufgeführten Tabelle.

Tab. A 1: **Zählraten (Ips) NUVIA/SEA CoMo-170 ZS mit Absorber und Schutzfolie für Erwachsene in zehn Zentimeter Abstand**

Kontaminationsstufe	I	II	III	IV	V
Kontamination (kBq cm <sup>-2</sup> )	< 0,04	0,04 – 0,4	0,4 - 4	4-40	> 40
Dekontamination	nicht erforderlich	zu erwägen	empfohlen	erforderlich	vorrangig erforderlich
Zählraten in 10 cm Abstand (mit Absorber und Schutzfolie)	< 30	30 bis < 300	300 bis < 3 000	3000 bis < 30 000	≥ 30 000

Tab. A 2: **Zählraten (Ips) NUVIA/SEA CoMo-170 ZS mit Absorber und Schutzfolie für Kinder in zehn Zentimeter Abstand**

Kontaminationsstufe	I	II	III	IV	V
Kontamination (kBq cm <sup>-2</sup> )	< 0,04	0,04 – 0,4	0,4 - 4	4-40	> 40
Dekontamination	Nicht erforderlich	Zu erwägen	empfohlen	erforderlich	Vorrangig erforderlich
Zählraten in 10 cm Abstand (mit Absorber und Schutzfolie)	< 8	8 bis < 80	80 bis < 800	800 bis < 8 000	≥ 8 000

Erläuterung der Messgeometrie:

- Bei dem Absorber handelt es sich um die mitgelieferte Kunststoffabdeckung des Messgerätes, das Messgerät ist zum Kontaminationsschutz in Kunststoffolie eingeschlagen
- Bei der Messgeometrie „Erwachsener“ wurde über einer 3 500 cm<sup>2</sup> großen, mit Präparaten (<sup>137</sup>Cs) bestückten Testfläche in 10 cm Abstand gemessen.
- Bei der Messgeometrie „Kind“ wurde über einer 1 000 cm<sup>2</sup> großen, mit Präparaten (<sup>137</sup>Cs) bestückten Testfläche in 10 cm Abstand gemessen.
- Die Abdeckung des Kontaminationsmessgerätes mit der „Absorberkappe/Schutzabdeckung“ ist notwendig um bei diesem Kontaminationsniveau im Messbereich des Gerätes zu bleiben.
- Die Testaufbauten wurden vom Hersteller des Messgerätes, der Fa. NUVIA Instruments GmbH erstellt, um beispielhaft Zählraten zu ermitteln.

## A5 Faustformeln (RSZ Handbuch)

**Abschätzung der Gamma-Dosisleistung** einer externen Punktquelle von  $^{60}\text{Co}$

Eine Aktivität von **3 GBq** erzeugt in **1 m** Abstand eine Dosisleistung von ca. **1 mSv h<sup>-1</sup>**.

**Abschätzung der Beta-Dosisleistung** einer externen Punktquelle von  $^{32}\text{P}$

Eine Aktivität von **1 MBq** ergibt in **10 cm** Abstand eine Dosisleistung von ca. **1 mSv h<sup>-1</sup>**.

In geringem Abstand von der Quelle ist bei gleicher Quellstärke die Oberflächendosisleistung der Betastrahlung etwa 30mal so groß wie die der Gammastrahlung.

### **Abschätzung der Beta/Gamma-Hautdosisleistung**

bei Kontaminationen

Eine Flächenkontamination von **1 Bq pro cm<sup>2</sup>** eines Beta/Gammastrahlers ruft eine maximale **Beta-Hautdosisleistung** von **2  $\mu\text{Sv h}^{-1}$**  hervor.

Die **Gamma-Hautdosisleistung** beträgt dabei nur ca. **1/100** dieses Wertes, d. h. **0,01  $\mu\text{Sv h}^{-1}$** .

## **A6 Persönliche Schutzausrüstung (PSA)**

### **A6-1 Relevante gesetzliche Vorgaben**

**Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates:**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=DE>

Die Anforderungen an PSA sowie deren ordnungsgemäße Verwendung ist für alle EU-Mitgliedsländer grundsätzlich durch die EU-Verordnung 2016/425 verbindlich geregelt und betrifft die PSA sämtlicher Einsatzkräfte, außer PSA, die speziell zur Verwendung durch Streit- oder Ordnungskräfte entworfen wurden.

**Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996:**

<https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/ArbSchG.pdf>

Arbeitgeber sind verpflichtet vorab eine Arbeitsplatz- und Gefährdungsbeurteilung für jede Einsatzkraft durchzuführen und diese zu dokumentieren (§§5, 6 ArbSchG). Des Weiteren haben Arbeitgeber die Einsatzkräfte vor einer möglichen Verwendung von PSA im sicherheitsgerechten Gebrauch der PSA-Komponenten zu unterweisen. Ggf. sind derartige Schulungen regelmäßig zu wiederholen (§12 ArbSchG)

**DGUV Regel 112-190 vom 1. November 2021:**

<https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-regeln/1011/benutzung-von-atemschutzgeraeten>

Die DGUV Regel 112-190 dient allen Akteur\*innen im Arbeitsschutz als Hilfestellung bei der Auswahl und dem Einsatz von Atemschutzgeräten. Detailliert werden die Themen Einteilung von Atemschutzgeräten, Auswahlprozess, Anpassungsüberprüfung, Benutzung, Gebrauchsdauer, arbeitsmedizinische Vorsorge/Eignungsuntersuchung sowie Funktionsbeschreibung der Atemschutzgeräte behandelt. Die Regel wurde gegenüber der Vorgängerversion aus dem Jahr 2011 umfangreich aktualisiert.

**PSA Benutzungsverordnung:**

[https://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/\\_1.html](https://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/_1.html)

Die PSA-BV aus dem Jahr 1996 sollte die nationale Umsetzung der damals gültigen PSA Richtlinie 89/686/EWG regeln. In ihr werden Ausrüstungen der Not- und Rettungsdienste oder des Zivil- und Katastrophenschutzes nicht als PSA angesehen. Spätestens seit der grundsätzlichen Gültigkeit der EU Verordnung 2016/425 ist die PSA-BV in ihrer jetzigen Fassung von eingeschränkter Relevanz.

## **A6-2 Check-Liste vor Verwendung von PSA**

### **EN Normen**

Weisen die Komponenten die jeweils für den Einsatz erforderlichen Spezifizierungen (EN Normen) auf?

### **CE Kennzeichnungen**

Weisen die Komponenten jeweils die CE Kennzeichnungen auf, die die Konformität entsprechend der EU PSA-Verordnung dokumentieren? Die Einrichtungen, die Konformitätsprüfungen durchführen können anhand der CE Nummer identifiziert werden.

### **Haltbarkeit**


Sind die Komponenten noch innerhalb der angegeben Haltbarkeitsfrist? Viele Komponenten verlieren nach dem Verfallsdatum ihre Schutzeigenschaften. Bei FFP-Masken etwa reduziert sich die Partikelrückhaltefähigkeit mit dem Nachlassen der elektrostatischen Ladung.

### **Vorprüfung**



Ist die Verpackung unbeschädigt? Weisen Komponenten Beschädigungen auf oder ist die Funktionsfähigkeit beeinträchtigt?


### **Vorgelagerte Gefährdungsbeurteilung**

Entsprechen die jeweiligen Schutzwirkungen der Komponenten den Gefährdungen, die für die spezifische Schadenslage identifiziert worden sind?

<b>A6-3 Ausgewählte PSA-Komponenten für Einsatzkräfte im Strahlennotfall</b>				
<b>Art der PSA</b>	<b>Relevante Kennzeichnungen</b>	<b>Anwendungsgebiete</b>	<b>Besonderheiten</b>	<b>Bilder</b>
Körperschutz gegen feste radioaktive Partikel	EN 1073-2	PSA Typ I Einsätze in trockenen bzw. überdachten Umgebungen	nicht flüssigkeitsdicht + dampfdurchlässig (geringer Wärmestau) - nicht feucht dekontaminierbar	
Körperschutz flüssigkeitsdicht und gegen feste radioaktive Partikel	Typ 3 nach EN 14605 EN 1073-2	PSA Typ II Einsätze in nassen Umgebungen (bspw. Dekontaminations-einrichtungen) Einsätze, bei denen die Einsatzkräfte nass dekontaminiert werden	+ schützt auch vor starken, gerichteten Flüssigkeitsstrahlen + universelle Anwendbarkeit für einen Großteil von CBRN-Schadenslagen - nicht dampfdurchlässig (erhöhter Wärmestau)	
Atemschutz FFP2	EN 149: 2001	PSA Typ I Einsätze mit geringem Inkorporationsrisiko in trockenen Umgebungen (bspw. in Krankenhäusern oder Notfallstationen)	nomineller Schutzfaktor 12 Restbestände können bis zum Verfallsdatum noch weiterverwendet werden. Bei Neubeschaffung empfiehlt die SSK den Wechsel auf FFP3.	



Atemschutz FFP3	EN 149: 2001	<p>PSA Typ II</p> <p>Einsätze mit Exposition durch radioaktive Partikeln von kurzer bis mittlerer Dauer in trockenen Umgebungen</p>	<p>nomineller Schutzfaktor 50</p> <p>Modelle mit Ausatemventil sind zu bevorzugen (Reduzierung von Ausatemwiderstand und Durchfeuchtung)</p> <p>geeignetes Modell muss vor Tätigkeitsantritt für jede Einsatzkraft individuell mit einem qualitativen Dichtsitzprüfung ('Fit-Test') ermittelt werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ günstig in großen Mengen beschaffbar</li> <li>+ Seit COVID-19 niederschwellig eingesetzt</li> <li>- kein Dichtsitz bei Barträgern</li> <li>- im Vergleich deutlich geringere Standzeiten</li> </ul>	
Vollmaske mit Filter P3	EN 136 EN 143	<p>PSA Typ II</p> <p>Einsätze mit Exposition durch radioaktive Partikeln in trockenen und feuchten Umgebungen von mittlerer Dauer</p>	<p>nomineller Schutzfaktor 1000</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ bei vielen Einsatzkräften bereits routinemäßig in Gebrauch</li> <li>+ sehr gute Dichtsitzigenschaften</li> <li>+ integrierter Augenschutz</li> <li>+ dekontaminierbar, wiederverwendbar - erfordert arbeitsmedizinische Pflichtvorsorgeuntersuchung ('G26') nach ArbMedVV</li> </ul>	

<p>Gebläsesystem mit Haube TH3 (schließt hocheffektiven Partikelfilter mit ein)</p>	<p>EN 12941</p>	<p>PSA Typ II</p> <p>Einsätze mit Exposition durch radioaktive Partikeln in trockenen und feuchten Umgebungen von mittlerer bis langer Dauer</p> <p>Einsatzkräfte mit wenig PSA-Anwendungserfahrung (bspw. Krankenhauspersonal)</p>	<p>nomineller Schutzfaktor 500</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ verminderter Wärmestau durch kontinuierlichen Luftstrom</li> <li>+ Lange Einsatzzeiten möglich</li> <li>+ sehr gute Abdichtung durch positiven Innendruck</li> <li>+ für jede Gesichtsphysiognomie und für Barträger geeignet</li> <li>+ im Vergleich geringerer Trainingsbedarf</li> <li>+ dekontaminierbar, wiederverwendbar</li> <li>- im Vergleich teurer in der Anschaffung</li> <li>- erfordert Akkumanagement</li> <li>- laut - Kommunikation erschwert</li> </ul>	
<p>Augenschutz gas- oder partikeldicht</p>	<p>EN 166 mit Rahmenkennzeichnung 5</p>	<p>PSA Typ II</p> <p>Einsätze mit Exposition durch radioaktive Partikeln, bei denen eine FFP3- oder Halbmaske verwendet wird</p>	<p>effektiver Antibeschlagschutz ist essenziell</p>	