

## Organisation and clinical management of radio-nuclear incidents

T. Skazel<sup>1</sup> · A.K. Buck<sup>3,4</sup> · M. Lassmann<sup>3,4</sup> · T. Kerner<sup>2,5</sup> · G. Schälte<sup>2,6</sup> · A.R. Heller<sup>2,7</sup> · B. Hossfeld<sup>2,8</sup> · J.-T. Gräsner<sup>2,9</sup> · P. Meybohm<sup>1</sup> · T. Wurmb<sup>1,2,10</sup>

► **Zitierweise:** Skazel T, Buck AK, Lassmann, Kerner T, Schälte G, Heller AR et al: Organisation und klinisches Management von radionuklearen Schadenslagen. Anästh Intensivmed 2022;63:17–25. DOI: 10.19224/ai2022.017

- 1 Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Würzburg (Direktor: Prof. Dr. P. Meybohm)
- 2 Kommission Besondere Einsatzlagen des Berufsverband Deutscher Anästhesisten
- 3 Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg (Direktor: Prof. Dr. A.K. Buck)
- 4 WHO REMPAN Kollaborationszentrum Würzburg/Strahlenunfallzentrum
- 5 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerz- und Palliativtherapie, Asklepios Klinikum Harburg, Hamburg (Chefarzt: Prof. Dr. T. Kerner)
- 6 Klinik für Anästhesiologie, Uniklinik RWTH Aachen (Direktor: Prof. Dr. R. Rossaint)
- 7 Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Augsburg (Direktor: Prof. Dr. A.R. Heller)
- 8 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin u. Schmerztherapie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm (Direktor: Prof. Dr. M. Kulla)
- 9 Institut für Rettungs- und Notfallmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (Direktor: Prof. Dr. J.-T. Gräsner)
- 10 Sektion Notfall- und Katastrophenmedizin, Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Würzburg

### Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

### Schlüsselwörter

Strahlenunfall – Strahlenexposition – Kontamination – Inkorporation – Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung

### Keywords

Radiation Accident – Radiation Exposure – Contamination – Incorporation – Hospital Emergency Plan

## Zusammenfassung

Obwohl relevante Zwischenfälle mit ionisierender Strahlung in Deutschland sehr selten vorkommen, stellt der permanente Umgang mit radioaktivem Material in verschiedensten Bereichen eine ständige Bedrohung dar.

Das Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften, Regionale Strahlenschutzzentren sowie das WHO REMPAN Zentrum Würzburg stehen als wichtige Kompetenzzentren in Forschung, Schulung und Organisation bei Strahlenunfällen zur Verfügung.

Die Versorgung von Patienten, die durch ionisierende Strahlung verletzt wurden, stellt je nach Anzahl der Betroffenen, Art der Strahlenschädigung und Schwere der Begleitverletzungen eine große Herausforderung für das aufnehmende Krankenhaus dar.

Dieser Artikel soll zeigen, welche organisatorischen Maßnahmen bereits vor Eintreten eines Schadensereignisses durch eine Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung festgelegt werden können. Zudem werden das klinische Management nach Strahlenexposition, bei Kontamination und Inkorporation von Strahlungsträgern sowie die damit verbundenen Gefahren für das behandelnde Team in der Notaufnahme erläutert.

## Summary

Although relevant incidents with ionising radiation occur very seldom in Germany, the permanent use of radioactive material in various areas poses a constant threat.

## Organisation und klinisches Management von radionuklearen Schadenslagen

The Institute for Radiation Protection of the Employer's Liability Insurance Association, Regional Radiation Protection Centers and the WHO REMPAN Center Würzburg are available as important competence centres in research, training and organisation in the event of radiation accidents.

Depending on the number of people affected, the type of radiation damage and the severity of the accompanying injuries, the care of injuries resulting from ionising radiation is a major challenge for the receiving hospital.

This article is intended to show which organisational measures can be specified by a hospital emergency plan before a damage event occurs. In addition, the clinical management after radiation exposure, contamination and incorporation of radiation carriers, as well as the associated dangers for the treatment team in the emergency room are explained.

## Hintergrund

In Deutschland sind relevante Vorkommnisse mit radioaktiven Stoffen sehr selten [1]. Dennoch sind Unfälle im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen durch technisches oder menschliches Versagen in Medizin, Forschung, Wissenschaft oder in der kerntechnischen Industrie als kritische Ereignisse anzusehen. Hinzu kommt die Bedrohung durch kriminellen oder terroristischen Einsatz radioaktiver Stoffe. Zudem stellt der

Transport von radioaktiven Stoffen, der Verlust oder Diebstahl von Strahlenquellen sowie der Einsatz in militärischen Waffensystemen ein relevantes Risiko dar [2,3]. Da Zwischenfälle kaum vorkommen, können selbst Personen, die regelmäßig mit radioaktiven Stoffen umgehen, keine praktische Erfahrung über die zu treffenden Maßnahmen im Falle einer radionuklearen Schadenslage (RN-Lage) sammeln. Gleiches gilt für Strahlenschutzbeauftragte und behandelnde Ärzte. Umso wichtiger ist es, vorhandenes Wissen zu bündeln und zur Verfügung zu stellen [1].

### Übergeordnete Strukturen des Strahlenschutzes in Deutschland

#### Institut für Strahlenschutz

Das Institut für Strahlenschutz ist eine gemeinsame Einrichtung der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse und der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie. Ziel des Instituts ist insbesondere die Sicherstellung der medizinischen Versorgung von einzelnen Personen, die eine erhöhte Strahleneinwirkung erlitten haben. Weitere Aufgaben sind die Schulung (z. B. der Mitarbeiter der Regionalen Strahlenschutzzentren) und die Mitwirkung an Projekten, die das Risiko im Umgang mit ionisierender Strahlung weiter erforschen sollen [1].

#### Regionale Strahlenschutzzentren

Aufgabe der Regionalen Strahlenschutzzentren ist es, im Falle einer erhöhten Strahleneinwirkung die optimale Versorgung der exponierten Patienten zu koordinieren. Zu diesem Zweck wurden Universitäten und Forschungseinrichtungen für die Behandlung des betrieblichen Strahlenunfalls akquiriert. Über diese Zentren ist stets ein Strahlenschutzarzt oder ein im Strahlenschutz kundiger Physiker erreichbar. Diese können notwendige Behandlungshinweise geben und weitere Maßnahmen veranlassen. Mit acht Regionalen Strahlenschutzzentren ist eine flächendeckende Versorgung in Deutschland sichergestellt. Eine Übersicht der Regionalen Strahlenschutzzentren (Abb. 1) ist auf der Homepage

der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medizinerzeugnisse abrufbar (<https://www.bgetem.de/> – Webcode: 12 178646) [1–3].

#### WHO REMPAN Zentrum Würzburg

Das WHO Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN) wurde 1987 gegründet. Inzwischen hat sich REMPAN von vier auf mehr als vierzig Mitglieder weltweit erweitert. Beteiligt sind Medizinische Zentren und Forschungseinrichtungen, die sich auf Strahlenschutzmedizin und das Management von Strahlungsnotfällen spezialisiert haben. Der Hauptzweck des REMPAN-Netzwerks besteht darin, die WHO bei der Vorbereitung ihrer Mitgliedsstaaten auf die medizinische Nothilfe bei Strahlenunfällen zu unterstützen. Eine weitere Aufgabe ist die Erforschung und Entwicklung medizinischer Strategien bei radiologischen und nuklearen Notfällen [4].

### Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung (KAEP)

Als Teil der kritischen Infrastruktur in Deutschland kommt Krankenhäusern die besondere Verantwortung zu, auch im Rahmen von Großschadenslagen, Katastrophen oder bei eingeschränkter Versorgung (z. B. Ausfall der Strom- oder Wasserversorgung) eine adäquate Patientenversorgung aufrechtzuerhalten. Für den Schutz des Krankenhauses und die Aufrechterhaltung der medizinischen Versorgung ist eine weitreichende Vorbereitung – die Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung – unverzichtbar [3].

Krankenhäuser sind verpflichtet, eine KAEP zu erarbeiten. Die gesetzliche Grundlage hierzu sind die Katastrophenschutzgesetze der Länder, die Krankenhausgesetze und das Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG).

In der Regel erfolgt die Erstellung des KAEP in interdisziplinären und inter-

Abbildung 1



Übersicht der Regionalen Strahlenschutzzentren in Deutschland.

professionellen Arbeitsgruppen. Die Benennung eines Leiters KAEP ist unverzichtbar. Dieser muss für diese Aufgabe in adäquatem Umfang freigestellt sein. Weiterführende Informationen und eine gute Anleitung zur Erstellung eines KAEP bietet das Handbuch Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung, das kürzlich vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) online veröffentlicht wurde ([https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Schutz-der-Gesundheit/handbuch-kaep.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Schutz-der-Gesundheit/handbuch-kaep.pdf?__blob=publicationFile&v=9)). Hier finden sich auch entsprechende Grundlagen zur Bewältigung einer RN-Lage.

Ziele einer Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung sind der Erhalt der Funktionalität, Schutz von Patienten, Mitarbeitern und weiteren Personen sowie die Aufrechterhaltung und Anpassung der aktuellen Behandlungskapazität [3]. Die Störung der Krankenhaus-Funktionalität sowie die Überlastung der Versorgungskapazität sind als besonders kritische Bereiche anzusehen. Dies gilt insbesondere für RN-Lagen. Zwischen beiden Merkmalen besteht ein direkter Zusammenhang. Eine Störung der Funktionalität wird im Verlauf stets Auswirkungen auf die Versorgungskapazität haben. Umgekehrt kann ein Krankenhaus mit akuter oder auch chronischer Überlastung die Funktionalität nur für einen begrenzten Zeitraum aufrechterhalten [3].

### Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung für RN-Lagen

Der Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplan muss auch einen Plan für das Management von RN-Lagen enthalten.

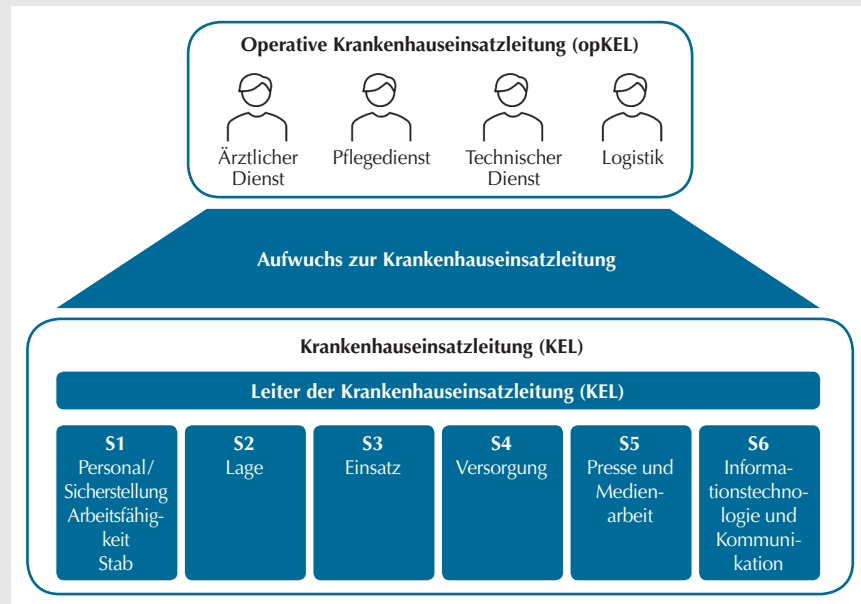
Wesentliche Elemente dieses Planes sind:

- Definition der Ereigniseröffnung mit Alarmschema: Hier müssen die ereignisdetektierenden Stellen im Krankenhaus (z. B. Notaufnahme) und die Alarmwege festgelegt werden.
- Festlegung der Mitglieder der operativen Klinikeinsatzleitung (opKEL) unter Berücksichtigung der fachli-

chen Besonderheiten der RN-Lage: Die opKEL sollte sich aus Mitgliedern zusammensetzen, die sofort verfügbar sind. Außerdem sollte die Zusammensetzung interprofessionell sein und den lokalen Spezifika und etablierten Organisationsstrukturen entsprechen. Am UKW beispielsweise sind der diensthabende Arzt der Zentralen Notaufnahme (ZNA), eine Pflegekraft der ZNA, ein Mitarbeiter des technischen Dienstes und ein Mitarbeiter der Logistik als Mitglieder der opKEL definiert.

- Im Falle einer RN-Lage muss ein Arzt mit entsprechender fachlicher Kompetenz im Strahlenschutz und ggf. ein Medizinphysikexperte oder ein Strahlenschutzexperte von Beginn an Teil der opKEL sein.
- Für die Universitätsklinik und Maximalversorger, die über eine eigene Werkfeuerwehr verfügen, ist die Integration eines Beamten mit mindestens Gruppenführerlehrgang (B3) oder höher in die opKEL zu erwägen.
- Bildung der opKEL zur Koordination der ersten Maßnahmen: Die opKEL muss sofort nach Bekanntwerden des Schadensereignisses und Alarmierung zusammenkommen. Ein primärer Versammlungspunkt und eine Einsatzzentrale müssen im Vorfeld festgelegt werden. Führungsmittel wie Telefone, Dokumentationswerkzeuge etc. müssen vorhanden sein. Falls erforderlich, wächst die opKEL im Verlauf des Einsatzes zur Krankenhauseinsatzleitung (KEL) heran (Abb. 2).
- Zusammensetzung und Bildung der Krankenhauseinsatzleitung (KEL). Diese besteht aus dem Leiter der KEL und dem Krisenstab mit den Stabsfunktionen S1-S6 (Handbuch KAEP), wobei darauf geachtet werden sollte, dass Personen mit entsprechender Erfahrung im Strahlenschutz eingebunden sind. Die KEL übernimmt die Gesamteinsatzleitung von der opKEL. Die opKEL führt den operativen Teil des Einsatzes weiter und ist über die Stabsfunktion S3 mit der KEL verbunden.
- Regelung der Patientenströme unter besonderer Beachtung des Schutzes des Krankenhauses: Im KAEP muss geregelt sein, wie Patienten aus einer RN-Lage ins Krankenhaus unter der Wahrung der Belange des Strahlenschutzes aufgenommen werden. Eine einfache Dekontaminationsmöglichkeit (Entkleiden und Duschen) sollte im Vorfeld festgelegt werden.
- Festlegung einer Raumordnung unter besonderer Beachtung der Dekontamination und dem Schutz des Krankenhauses: Die Lokalisation sowie die personelle und materielle Ausstattung eines Sichtungspunktes müssen festgelegt werden. Die Behandlungsräume in Abhängigkeit des Sichtungsergebnisses müssen definiert und für diese Zwecke geeignet sein. Eine Dekontamination sollte der Sichtung vorangestellt sein.
- Festlegung eines Personalkonzeptes einschließlich der Alarmierung von dienstfreiem Personal: Im Falle eines Massenankomms von Patienten muss der Personalaufwuchs geregelt sein. Automatische Alarmierungsserver sind hier ein probates Mittel, um dienstfreies Personal zu rekrutieren. Ein entsprechendes Alarmstichwort „Radionukleare Schadenslage“ verhindert, dass sich dienstfreie schwangere Mitarbeiterinnen im Krankenhaus einfinden.
- Festlegung eines medizinischen Versorgungskonzeptes: Behandlungsprioritäten müssen klar definiert sein. Die medizinischen Versorgungskonzepte werden später näher erläutert (s. u.).
- Festlegung eines Strahlenschutzkonzeptes, das die Definition und Bevorratung der erforderlichen Materialien inklusive der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) sowie deren Festlegung und Bevorratung der PSA beinhaltet. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass für diesen Zweck geeignete Räumlichkeiten bestimmt werden, die den Anforderungen des Strahlenschutzes genügen. Messgeräte zur Erfassung zur Dosismessung müssen

Abbildung 2



Die operative Krankenhaus-einsatzleitung (opKEL) ist eine „Ad hoc- Einsatzleitung“ und besteht aus Mitgliedern der Dienstmannschaft. Wenn es die Lage erfordert, wird die KEL alarmiert und übernimmt nach Herstellen der Einsatzbereitschaft die Führung. Im Falle einer RN-Lage muss in die KEL ein entsprechender fachlicher Experte integriert werden. Dies wird im Sachgebiet S3 erfolgen [5].

vorgehalten, regelmäßig gewartet und kontrolliert werden.

- Kommunikation und Medienarbeit: Sowohl die externe als auch die interne Kommunikation müssen im KAEP geregelt sein. Gerade die Öffentlichkeitsarbeit ist ein wichtiges Thema und muss einer verantwortlichen Funktion im Krankenhaus zugeordnet sein. Diese Aufgabe obliegt in aller Regel der Krankenhausleitung, die von S5 aus dem Krisenstab unterstützt wird.

### Strukturierte Versorgung nach Behandlungspriorität und -kapazität

Aus Sicht des erstversorgenden Krankenhauses müssen verschiedene Szenarien in der Vorbereitung auf ein radionukleares Schadensereignis berücksichtigt werden. Von entscheidender Bedeutung sind neben der Art des Ereignisses (Externe Exposition, Kontamination, Interne Exposition durch Inkorporation) die Anzahl der Betroffenen sowie deren Begleitverletzungen.

Dementsprechend lassen sich mögliche Ereignisse auf vier Szenarien mit unterschiedlichen Konsequenzen für die Krankenhausversorgung zusammenfassen (Abb. 3).

### Medizinische Versorgungsprinzipien bei RN-Lagen

#### Einflüsse ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper

Die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf den lebenden Organismus können in somatische, stochastische und deterministische Strahleneffekte unterteilt werden. Dabei beschreiben die somatischen Einflüsse die direkte Schädigung der Körperzellen (z. B. Schädigung des Knochenmarks mit Reduktion der Hämatopoese). Zu den stochastischen Strahleneffekten zählen Erkrankungen, die erst nach einer Latenzzeit von Jahren oder Jahrzehnten klinisch bedeutsam werden (z. B. Krebserkrankungen). Deterministische Strahlenerkrankungen sind körperliche Folgen, die erst nach Erreichen einer bestimmten Strahlendosis auftreten (z. B. akutes Strahlensyndrom) [2].

**Externe Exposition** (Abb. 4 a + b): Einwirkung von ionisierender Strahlung auf Lebewesen oder Gegenstände. Sobald die Abschirmung des Patienten von der Strahlenquelle erfolgt ist oder die Strahlenquelle (wie z. B. beim Röntgen) abgeschaltet ist, gilt die Exposition als abgeschlossen. Von einer nachträglichen Inkorporation ist bei fehlender Kontamination nicht auszugehen. Die Behandlung extern exponierter Patienten stellt für das Krankenhauspersonal keine Gefährdung dar. Eine besondere persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist deshalb nicht erforderlich. Die Behandlung von Begleitverletzungen steht hier im Vordergrund.

**Kontamination** (Abb. 4 c): Verunreinigung von Gegenständen, Atemluft, Nahrungsmitteln oder Personen durch radioaktive Stoffe [2]. Kontaminationen der Haut haben nur bei hohen Strahldosen gesundheitliche Auswirkungen. Die Gefahr der Kontamination besteht vielmehr darin, dass radioaktive Substanzen von der Körperoberfläche ins Körperinnere gelangen können und somit eine Inkorporation darstellen (z. B. durch einen Hautdefekt oder oral) [2]. Von einem kontaminierten Patienten ausgehende Strahlung verursacht beim behandelnden Personal in der Regel nur eine geringe effektive Dosis durch eine mögliche Sekundärkontamination. Diese kann durch Tragen persönlicher Schutzausrüstung vermieden oder zumindest minimiert werden; hierzu sollte wie bei Infektionsgefährdung verfahren werden [2,6]. Absoluten Vorrang haben auch in diesen Fällen die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen sowie die Versorgung von Verletzungen, wie dies auch bei Unfällen ohne radioaktive Stoffe üblich ist [2,6].

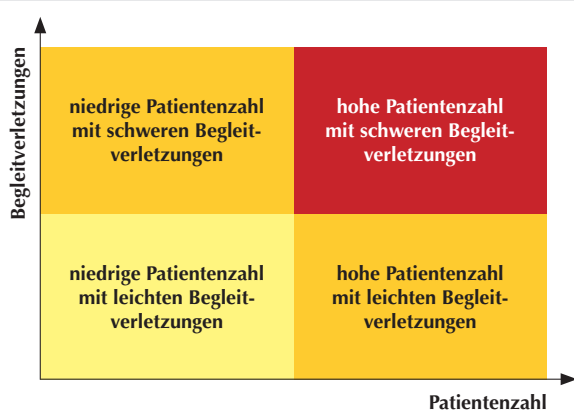
**Inkorporation** (Abb. 4 d): Aufnahme radioaktiver Stoffe über Inhalation, Ingestion oder kontaminierte Wunden in den Organismus [2]. Die Vermeidung von Inkorporationen ist eine der wichtigsten Aufgaben des medizinischen und technischen Strahlenschutzes. Nach Inkorporation ist eine erhöhte Strahlenbelastung für das behandelnde Team sehr unwahrscheinlich. Eine Gefahr geht





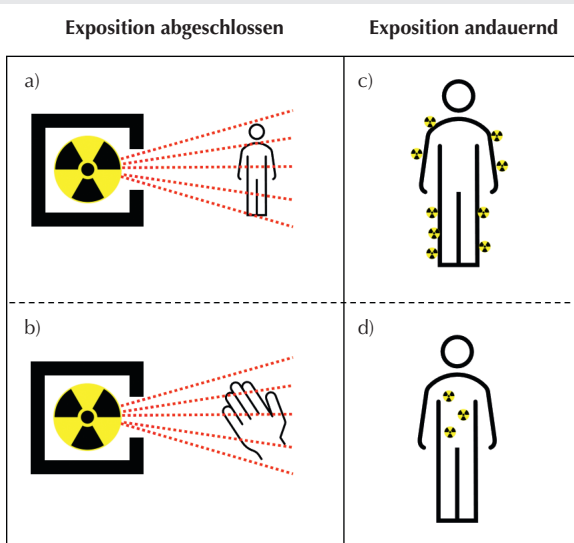


Abbildung 3



Mögliche Folgen für die Krankenhausfunktionalität und Versorgungskapazität: **Gelb:** leichte Einschränkungen; **Orange:** deutliche Einschränkungen, durch Mobilisierung zusätzlicher Ressourcen kompensierbar; **Rot:** hohes Risiko für Dekompensation der Versorgungsstruktur. Mit steigender Patientenzahl und einem hohen Anteil schwerverletzter Patienten nehmen die Belastungen für das aufnehmende Krankenhaus zu.

Abbildung 4



Formen erhöhter Exposition durch ionisierende Strahlung nach [2].

hier von den Ausscheidungen des Patienten aus. Das Einhalten des Infektionsschutzes und Tragen von PSA ist hier zur Vermeidung von sekundären Kontaminationen von entscheidender Bedeutung. Wie bei der Kontamination steht auch bei der Inkorporation von Strahlungsträgern die Versorgung von bedrohlichen Begleitverletzungen im Vordergrund [2,6].

#### Erstversorgung durch Krankenhäuser jeder Versorgungsstufe

Sofern keine dringende Transportpriorität vorliegt, kann am Ort des Scha-

densereignisses vor Transportbeginn eine Grobdekontamination durchgeführt werden. Dabei sind die kontaminierte Kleidung zu entfernen und betroffene Körperregionen, die nicht durch Kleidung bedeckt waren, mit lauwarmem Wasser und milder Seife schonend zu waschen (Spotdekontamination). Eine Verletzung der Haut muss zur Vermeidung von nachträglicher Inkorporation zwingend vermieden werden. Nur bei großflächigen Kontaminationen ist die Ganzkörperdekontamination angebracht [2].

Die Strahlenwirkung durch Exposition, Kontamination oder Inkorporation er-

fordert keine dringliche Therapie. Nach dem Eintritt eines Schadensereignisses haben deshalb – wie bereits erwähnt – nichtärztliche und ärztliche Erste-Hilfe-Maßnahmen absoluten Vorrang. Diese beinhalten Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen sowie die Versorgung von bedrohlichen Verletzungen durch mechanische, thermische oder chemische Einflüsse nach Maßgabe der vorhandenen Behandlungsalgorithmen. Wenn es aus medizinischer Sicht vertretbar ist, sollten die Bestimmungen des Strahlenschutzes Beachtung finden [2,6].

Bei Krankenhausaufnahme ist in jedem Fall ein Arzt mit Kenntnissen im Strahlenschutz hinzuzuziehen.

Die operative KEL koordiniert die zu treffenden Sofortmaßnahmen inklusive des für die Behandlung notwendigen Strahlenschutzes:

- Beachtung des Eigenschutzes
- Dekontaminationsmaßnahmen
- ggf. den Einsatz von Personendosimetrie
- Diagnostik
- Notfalltherapie
- Aufnahme der Patienten
- Entsorgung des radioaktiven Abfalls
- ggf. den Umgang mit Leichen
- ggf. die Hinzuziehung weiterer fachlicher Kompetenzen
- Vorbereitung der Therapiestation
- ggf. Verständigung der betr. Behörden.

Nach der Erstversorgung sind folgende strahlenschutzmedizinischen Maßnahmen anzuwenden [2]:

- Erfassung von Hinweisen auf eine akute Strahlenexposition
- Feststellung von Anzeichen einer akuten Strahlenkrankheit
- Feststellung einer akuten Hautreaktion mit Früherythem
- Messung zur Feststellung einer Restkontamination
- ggf. Dekontamination
- ggf. Inkorporationsmessung – Maßnahmen von Ausscheidungsintensivierung
- ggf. Probennahme für eine Biodosimetrie
- Labordiagnostik.

Diese strahlenmedizinischen Maßnahmen sollten von Krankenhäusern jeder Versorgungsstufe geleistet werden können. Sobald es die Situation erlaubt, sollte Kontakt mit dem nächstgelegenen Regionalen Strahlencentrum aufgenommen werden. Eventuell kann dies auch schon vor Aufnahme des Patienten anhand des Meldebildes durch die Rettungsleitstelle erfolgen [2,6]. In Abhängigkeit von regionalen Regelungen können CBRNE-Einheiten der Feuerwehr oder des technischen Hilfswerks zur Unterstützung vor Ort hinzugezogen werden.

### Klinisches Management nach Strahlenexposition

Bei einer abgeschlossenen Exposition besteht für das behandelnde Team keine Gefährdung. Bei einer Kontamination hängt die Gefährdung von der Art des Stoffes ab, ist aber im Allgemeinen als gering anzusehen. In der Regel ist eine konventionelle PSA mit Schutzkittel, Handschuhen, Schutzbrille und Schutzschuhen ausreichend. Patienten mit externer Ganz- oder Teilkörperexposition und schweren Begleitverletzungen werden im Schockraum nach den üblichen Behandlungsalgorithmen versorgt. Operativ wird initial streng nach dem Damage Control Prinzip verfahren.

Während der Schockraumphase spielt das akute Strahlensyndrom kaum eine Rolle. Die zeitliche Abfolge der auftretenden klinischen Symptome ist hier diagnosegebend. Übelkeit und Erbrechen sind charakteristisch für die Prodromalphase des akuten Strahlensyndroms. Beginn, Dauer und Häufigkeit des Erbrechens geben Hinweise auf die Schwere und Prognose der Erkrankung [2,6]. Zur Beurteilung des Schweregrads des akuten Strahlensyndroms sollten regelmäßig die absoluten Granulozyten-Lymphozyten-, und Thrombozytenzahlen kontrolliert werden. Diese Sequenzialdiagnostik ermöglicht die Erfassung des klinischen Zustands des Patienten und die Einleitung therapeutischer Maßnahmen [7,8]. Zudem sollte Blut für eine Chromosomenanalyse und eine HLA-Typisierung abgenommen werden [2].

Die Behandlung des akuten Strahlensyndroms erfolgt initial rein symptomatisch und besteht in der kritischen Phase der Zytopenie aus einer Überbrückungs- und Stimulationstherapie. Dazu gehört die Gabe von Zytokinen wie dem Granulocyte-Colony-Stimulating-Factor (G-CSF), die Substitution von Blutprodukten (Thrombozyten, Erythrozyten und Granulozyten), die Flüssigkeits- und Elektrolytsubstitution und Infektionsprophylaxe [2,7,9].

Bei der externen Teilkörperexposition können als unmittelbare Folge lokale Strahlenschäden an der Haut auftreten. Unmittelbar nach Exposition kann ein vorübergehendes Erythem auftreten; nach mehreren Wochen kann es – dosisabhängig – zur Radiodermatitis mit unterschiedlichen Schweregraden kommen. Zur Behandlung schwerer Formen und der Folgezustände sollte die Aufnahme in eine spezialisierte Klinik erfolgen [2].

### Klinisches Management bei Kontamination

Wenn es der klinische Zustand erlaubt, sollte bereits vor Ankunft in der Notaufnahme eine Grobdekontamination erfolgen. Die Krankenhausbehandlung findet vorzugsweise in einem Krankenhaus mit nuklearmedizinischer und strahlentherapeutischer Kompetenz statt. Auf jeden Fall ist eine frühe Kontaktaufnahme zum nächstgelegenen Regionalen Strahlenschutzzentrum empfehlenswert [2].

Die Diagnose und die Beurteilung des Ausmaßes einer Kontamination beruhen auf Kontaminationsmessungen von Kleidung und unbedeckten Körperpartien mit speziellen Messgeräten. Bei einer nachgewiesenen Kontamination im Gesichtsbereich ist stets von einer Inkorporation auszugehen [2]. Bei der Behandlung und Dekontamination kontaminierter Patienten ist das Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung erforderlich, bestehend aus einem doppelten Paar Einmalhandschuhen, einer Filtermaske der Schutzklasse FFP3, einer Schutzbrille und Kopfhaut, einer wasserundurchlässigen Schürze oder einem Overall mit Kapuze sowie Füßlingen oder Gummistiefeln [6].

Die erste und effektivste Dekontaminationsmaßnahme ist das Entfernen und Asservieren der kontaminierten Kleidung in einer dichten Plastikverpackung. Wegen des Inkorporationsrisikos sind kontaminierte Wunden vorrangig zu dekontaminieren und anschließend wie konventionelle Wunden zu versorgen. Nachfolgend werden Kontaminationen im Bereich von Nase, Mund, Augen und Ohren behandelt, zuletzt kontaminierte unverletzte Hautpartien [6].

Ist nach sorgfältiger zweimaliger Dekontamination noch eine Restkontamination nachweisbar, sollten weitere Dekontaminationsmaßnahmen unterbleiben, um eine mögliche Hautschädigung durch weitere Maßnahmen zu vermeiden. Zudem stellen verbliebene, fixierte Kontaminationen im Allgemeinen kein Risiko der Kontaminationsausbreitung dar [2].

### Klinisches Management bei Inkorporation

Die Diagnose sollte nach Expositionsanamnese, Probennahmen für Dosimetrie und Biodosimetrie, Ausscheidungsanalysen, Kontaminationsmessungen an den potenziellen Eintrittspforten sowie Messungen im Ganzkörperzähler gestellt werden [2]. Außer den unspezifischen Dekorporationsmitteln stehen verschiedene nuklidspezifische Dekorporationsmedikamente zur Verfügung, die allerdings eine vorherige Identifizierung des Radionuklids voraussetzen. Die Therapie von Patienten mit Inkorporation muss im Weiteren durch Spezialisten mit nuklearmedizinischer Kompetenz erfolgen [6].

### Verlegung in ein Strahlenunfallzentrum

Nach Rücksprache mit dem Regionalen Strahlenschutzzentrum kann je nach Art und Ausmaß der Strahlenschädigung eine Verlegung in ein spezialisiertes Zentrum sinnvoll sein. An der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Ludwigshafen sind beispielsweise eine Dekontaminationseinrichtung, ein gesonderter Operationsraum und bis zu 14 Betten zur Aufnahme von kontaminierten oder extern exponierten Unfallopfern und auch von Kombinationsverletzten vorhanden. Besteht die Notwendigkeit zur hämatologischen Intensivpflege (bis hin



zur Knochenmarktransplantation), stehen hierfür Transplantationszentren mehrerer deutscher Universitätsklinika zur Verfügung. Eine eventuell notwendige dermatologische oder chirurgische Versorgung akuter Strahlenunfälle ist u. a. an der Klinik Hornheide der Universität Münster vorgesehen [1].

### Fazit für die Praxis

- Unfälle mit ionisierender Strahlung sind in Deutschland sehr selten.
- Regionale Strahlenschutzzentren helfen dabei, die Versorgung von Strahlenunfallopfern zu koordinieren.
- Krankenhäuser müssen als Teil der kritischen Infrastruktur in Deutschland auf Großschadenslagen und Katastrophen vorbereitet sein.
- Die Krankenhaus-Alarm- und Einsatzplanung (KAEP) ist für den Schutz des Krankenhauses und die Sicherstellung der medizinischen Versorgung unverzichtbar.
- Für die Vorbereitungen des erstversorgenden Krankenhauses ist neben der Art des Strahlenschadens vor allem die Anzahl der Betroffenen sowie deren Begleitverletzungen von entscheidender Bedeutung.
- Die Strahlenwirkung durch Exposition, Kontamination oder Inkorporation erfordert in der Regel keine dringliche Therapie. Die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen sowie die Versorgung von Verletzungen haben höchste Priorität.
- Von Patienten nach externer abgeschlossener Strahlenexposition geht für das behandelnde Personal keine Gefahr aus.
- Wenn medizinisch vertretbar, sollte bei kontaminierten Patienten schon vor Krankenhausaufnahme eine Grobdekontamination erfolgen. Die Gefahr für das behandelnde Team ist gering und kann durch entsprechende Maßnahmen des Infektionsschutzes (PSA) weiter reduziert werden.
- Nach Inkorporation von radioaktiven Stoffen geht von diesen Patienten nur eine geringe Gefahr einer Sekundärkontamination des Personals aus. Die Verwendung von PSA ist auch hier eine entscheidende Schutzmaßnahme.

### Literatur

1. Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse: Institut für Strahlenschutz; 2020. <https://www.bgetem.de/arbeits-sicherheit-gesundheitsschutz/institute/institut-fuer-strahlenschutz-1>
2. Der Strahlenunfall: Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen. 2nd ed. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Bd. 32. Berlin: Hoffmann 2007
3. Wurmb T, Rechenbach P, Scholtes K: Alarm- und Einsatzplanung an Krankenhäusern: Das konsequenzbasierte Modell. Medizinische Klinik, Intensivmedizin und Notfallmedizin 2017;112:618–621. Epub 04. Juli 2016
4. World Health Organization: REMPAN Collaborating Centres and Liaison Institutions; 2020. [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/a\\_e/rempan/en/](https://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/rempan/en/)
5. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Handbuch Krankenhausalarm und -einsatzplanung (KAEP): Empfehlungen für die Praxis zur Erstellung eines individuellen Krankenhausalarm- und -einsatzplans; 2020
6. Wurmb T, Kühne CA, Schneider R: Innerklinisches Traumamanagement – Schockraumversorgung von Patienten nach Strahlenunfällen. Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie: AINS 2014;49:556–559. Epub 19. September 2014
7. Dainiak N, Gent RN, Carr Z, Schneider R, Bader J, Buglova E, et al: First global consensus for evidence-based management of the hematopoietic syndrome resulting from exposure to ionizing radiation. Disaster medicine and public health preparedness 2011;5:202–212. Epub 10. Oktober 2011
8. Flidner TM: Medical management of radiation accidents - manual on the acute radiation syndrome. Universität Ulm 2009
9. Gorin N-C, Flidner TM, Gourmelon P, Ganser A, Meineke V, Sirohi B, et al: Consensus conference on European preparedness for haematological and other medical management of mass radiation accidents. Annals of hematology 2006;85:671–679. Epub 01. August 2006.

### Korrespondenz- adresse

**Dr. med.  
Tobias Skazel**



Sektion Notfall- und Katastrophen-  
medizin  
Klinik und Poliklinik für Anästhesiolo-  
gie, Intensivmedizin, Notfallmedizin  
und Schmerztherapie  
Universitätsklinikum Würzburg  
Oberdürrbacher Straße 6  
97080 Würzburg, Deutschland  
Tel.: 0931 201-0  
E-Mail: skazel\_t@ukw.de  
ORCID-ID: 0000-0003-3820-3981