ISSN 1013-4506

FS-2013-170-AKI-Netz+D

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

Mitgliedsgesellschaft der
International Radiation
Protection Association
(IRPA)
für Deutschland
und die Schweiz

Publikationsreihe
FORTSCHRITTE
IM STRAHLENSCHUTZ
Publication Series
PROGRESS IN RADIATION
PROTECTION

EMPFEHLUNG ZU INKORPORATIONSSCHUTZ UND -ÜBERWACHUNG BEIM RÜCKBAU KERNTECHNISCHER ANLAGEN

Arbeitskreis
Inkorporationsüberwachung (AKI)

Ausgabe 10. Juni 2013

EMPFEHLUNG ZU INKORPORATIONSSCHUTZ UND -ÜBERWACHUNG BEIM RÜCKBAU KERNTECHNISCHER ANLAGEN

ISSN 1013-4506 FS-2013-170-AKI-Netz+D

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für Deutschland und die Schweiz

Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ
Publication Series PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

EMPFEHLUNG ZU INKORPORATIONSSCHUTZ UND -ÜBERWACHUNG BEIM RÜCKBAU KERNTECHNISCHER ANLAGEN

Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI)

Ausgabe 10. Juni 2013

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Die Inhalte dieses Werkes wurden von Verlag, Herausgebern und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden. Gleiches gilt auch für die Websites, auf die über Hyperlink verwiesen wird. Es wird betont, dass wir keinerlei Einfluss auf die Inhalte und Formulierungen dieser Seiten haben und auch keine Verantwortung für sie übernehmen.
Grundsätzlich gelten die Wortlaute der Gesetzestexte und Richtlinien sowie die einschlägige Rechtsprechung.

ISSN 1013-4506
ISBN 978-3-8249-1756-3

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2013
TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.
Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2013
Printed in Germany 2013

Inhalt

1. Abkürzungen und Definitionen ... 7
2. Einleitung ... 8
3. Geltungsbereich ... 9
4. Übergreifende Angaben ... 10
4.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen ... 10
4.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept ... 11
4.3 Strahlenschutzrichtwerte ... 11
4.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung ... 12
4.4.1 Administrative Strahlenschutzmaßnahmen ... 13
4.4.2 Technische Strahlenschutzmaßnahmen ... 13
4.4.2.1 Anwendung von Abschirmungen ... 13
4.4.2.2 Einsatz von Fernhantierungswerkzeugen ... 13
4.4.2.3 Sonstige technische Strahlenschutzmaßnahmen ... 14
4.4.3 Persönliche Schutzausrüstung ... 14
4.4.3.1 Atemschutz ... 14
4.4.3.2 Schutzanzüge ... 16
4.4.3.3 Konventionelle Schutzkleidung ... 17
4.4.3.4 Betreuung der Arbeiten ... 17
4.4.4 Abschätzung der Kollektiv- und Individualdosis ... 18
4.5 Kenntnisse, Unterweisungen ... 18
4.6 Überwachungsmaßnahmen ... 19
4.6.1 Einteilung in Personengruppen ... 19
4.6.2 Personenüberwachung ... 20
4.6.3 Raumüberwachung ... 20
4.7 Hinweise zu Probennahme von Ausscheidungsproben ... 21
4.8 Ermittlung der Strahlenexposition ... 21
4.9 Hinweise für das Überwachungskonzept spezieller Nuklide ... 22
4.10 Dokumentation ... 22
4.11 Verhalten bei Unfällen ... 22
4.12 Hinweise für zukünftige Projekte ... 24
5. Spezieller Teil ... 25
5.1 Kernkraftwerke ... 25
5.1.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen ... 25
5.1.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept ... 25
5.1.3 Strahlenschutzrichtwerte ... 26
5.1.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung ... 26
5.1.4.1 Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz ... 26
5.1.4.2 Maßnahmen gegen Kontaminationsverschleppung ... 27
5.1.4.3 Persönliche Schutzmaßnahmen ... 27
5.1.5 Kenntnisse, Unterweisungen ... 27
5.1.6 Überwachungsmaßnahmen ... 28
5.1.6.1 Einteilung der Gruppen ... 28
5.1.6.2 Kontaminationsverschleppung ... 28
5.1.6.3 Atemluft ... 28
5.1.6.4 Inkorporationsmessungen ... 29
5.1.6.5 Routineüberwachung ... 29
5.1.6.6 Überwachung aus besonderem Anlass mittels Ausscheidungsanalyse ... 29

5.1.7 Ermittlung der Strahlenexposition ... 29
5.1.8 Dokumentation ... 30
5.1.9 Verhalten bei Unfall ... 30
5.1.10 Hinweise für zukünftige Projekte ... 30
5.2 Forschungsreaktoren ... 32
5.2.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen ... 32
5.2.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept ... 33
5.2.3 Strahlenschutzrichtwerte ... 33
5.2.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung ... 33
5.2.5 Kenntnisse, Unterweisungen ... 33
5.2.6 Überwachungsmaßnahmen ... 34
5.2.7 Einteilung der Personengruppen ... 34
5.2.8 Ermittlung der Strahlenexposition ... 34
5.2.9 Dokumentation ... 34
5.2.10 Verhalten bei Unfällen ... 34
5.2.11 Hinweise für zukünftige Projekte ... 34
5.3 Heiße Zellen ... 35
5.3.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen ... 35
5.3.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept ... 35
5.3.3 Strahlenschutzrichtwerte ... 35
5.3.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung ... 35
5.3.5 Kenntnisse, Unterweisungen ... 36
5.3.6 Überwachungsmaßnahmen ... 36
5.3.7 Einteilung in Personengruppen ... 36
5.3.8 Kriterien für Atemschutz und Schutzkleidung ... 37
5.3.9 Ermittlung der Strahlenexposition ... 37
5.3.10 Dokumentation ... 37
5.3.11 Verhalten bei Unfällen ... 37
5.3.12 Hinweise für zukünftige Projekte ... 38
6. Anforderungen an die Messstellen ... 38
6.1 Kernkraftwerke ... 38
6.2 Forschungsreaktoren ... 40
7. Fallbeispiele ... 41
7.1 „Befund“ bei der Routineüberwachung ... 41
7.1.1 Berechnung der effektiven Dosis E und Äquivalentdosis H_T (Referenzverfahren) ... 41
7.1.2 Fallbeispiel 1 ... 41
7.1.3 Fallbeispiel 2 ... 42
7.2 Wundkontaminationen und daraus abzuleitende vorsorgliche Vorgehenskonzepte ... 42
7.2.1 Fallbeispiel 3 ... 43
7.2.2 Fallbeispiel 4 ... 46
7.2.3 Konsequenzen aus den beiden genannten Fällen ... 48
8. Literatur ... 49
9. Ansprechpartner ... 50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.4.3-1 Persönliche Schutzausrüstung - Atemschutz 15
Tabelle 4.4.3-2 Persönliche Schutzausrüstung - Schutzanzüge 16
Tabelle 4.4.3-3 Persönliche Schutzausrüstung - Konventionelle Kleidung 17
Tabelle 5.1.4-1 Tätigkeiten mit hohem Inkorporationsrisiko 26
Tabelle 5.2.1-1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen am Beispiel verschiedener Komponenten an einem TRIGA-Reaktor 32
Tabelle 5.2.4-1: Strahlenschutzmaßnahmen für den Rückbau eines TRIGA-Reaktors 33
Tabelle 5.3.8-1: Kriterien für Atemschutz und Schutzkleidung 37
Tabelle 7.2.1-1 Messergebnisse ^{239}Pu und ^{241}Am im Wundbereich Fallbeispiel 3 44
Tabelle 7.2.1-2: Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu und ^{241}Am Gewebe, Urin und Blut Fallbeispiel 3 45
Tabelle 7.2.1-3: Messergebnisse von ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 3 45
Tabelle 7.2.1-4: Dosiskoeffizienten nach ICRP 119 [10] 45
Tabelle 7.2.1-5: Ergebnisse der Dosisberechnung auf Basis der Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Pu und ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 3 45
Tabelle 7.2.2-1: Messergebnisse ^{239}Pu und ^{241}Am im Wundbereich Fallbeispiel 4 46
Tabelle 7.2.2-2: Messergebnisse in Urin Fallbeispiel 4 47
Tabelle 7.2.2-3: Messergebnisse ^{241}Am in Wunddepot und Leber Fallbeispiel 4 47
Tabelle 7.2.2-4: Ergebnisse der Dosisberechnung auf Basis der Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Pu und ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 4 47

1. Abkürzungen und Definitionen

Abkürzungen

ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
BE	Brennelement
EKG	Erkennungsgrenze
GDFZ	Großflächen-Durchflusszählrohr
GKZ	Ganzkörperzähler
HFK	Hand-Fuß-Kleider-Monitor
IWRS II	Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen - Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung (IWRS-II), RdSchr. d. BMU vom 17.01.2005, RS II 3-15506/
KKW	Kernkraftwerk
NWG	Nachweisgrenze
PCB	Polychlorbiphenyle
QMS	Qualitätsmanagementsystem
RiPhyKo2	Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: „Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV)“, RdSchr. d. BMU v. 12.01.2007 – RS II 3 – 15530/1
RSZ	Regionales Strahlenschutz-Zentrum
SSB	Strahlenschutzbeauftragter
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TLD	Thermolumineszenzdosimeter

Definitionen

Vor-Ort-Personal: Rückbaupersonal und rückbaubegleitendes Personal

2. Einleitung

Allgemeines

Aufgrund des beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergienutzung haben Stilllegungs- und Rückbaumaßnahmen in Deutschland und damit die Gewährleistung des Strahlenschutzes bei der Durchführung dieser Projekte wachsende Bedeutung. Beim Rückbau werden bezüglich des Schutzes vor Inkorporationen und deren Überwachung im Vergleich zur Betriebszeit der Anlage andere Anforderungen gestellt. Die Anforderungen der IWRS II- Richtlinie [1] stellen hierfür den Rahmen für die betrieblichen Strahlenschutzmaßnahmen dar und sind, soweit für die jeweilige kerntechnische Anlage anwendbar beim Rückbau zu berücksichtigen. (Ausnahmen siehe Kap. 1.2 „Anwendungsbereich“, z. B. Forschungsreaktoren). Die Anforderungen zur Inkorporationsüberwachung sind in der RiPhyKo festgelegt.

Diese Empfehlung wurde von der Arbeitsgruppe Rückbau des Arbeitskreises Inkorporation des Fachverbandes für Strahlenschutz ausgearbeitet. Sie enthält Ansprechpartner für die verschiedenen Themen. Im Hinblick auf die Inkorporationsüberwachungen werden entsprechende Anforderungen an die Inkorporationsmessstellen vorgeschlagen. Des Weiteren sind Angaben zu Ausbildung und Schulung von Personal sowie eine Literatursammlung enthalten. Aus den Erfahrungen bisheriger Rückbauprojekte werden Hinweise für zukünftige Projekte gegeben. Es ist beabsichtigt, einen Teil zu aktuellen Themen als Anhang fortzuschreiben.

Zweck

Diese Unterlage dient als eine allgemeine Empfehlung zur Vorgehensweise bezüglich des Schutzes vor Inkorporation und der Planung und Durchführung der Inkorporationsüberwachung für kerntechnische Anlagen, die sich im Rückbau befinden bzw. einen Rückbau planen.

Eine besondere Rolle spielt hierbei der Strahlenschutz beim Umgang mit Nukliden, für die besondere Vorsorgekonzepte erforderlich sind, wie z.B.: Alphastrahler, Betastrahler wie ^{90}Sr, ^{3}H. Das Ziel der empfohlenen Strahlenschutzmaßnahmen ist es, die Summe aus externer und interner Strahlenexposition möglichst gering zu halten. Daher werden auch Maßnahmen beschrieben, die dem Schutz vor externer Strahlenexposition dienen.

Gemachte Angaben in dieser Empfehlung zur Vorgehensweise beim Rückbau kerntechnischen Anlagen sind beispielhaft. Eine andere Vorgehensweise kann unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Besonderheiten gerechtfertigt sein.

Gliederung

Die Empfehlung gliedert sich in einen übergreifenden und einen speziellen Teil zum Rückbau der folgenden Anlagen. Die Gliederung des übergreifenden Teils wiederholt sich im speziellen Teil, in dem nur mehr auf anlagenspezifische Details eingegangen wird. Der umfassende Teil hingegen ist bei allen Anlagen anwendbar. Als Fallbeispiel wird im speziellen Teil der Empfehlung die Vorgehensweise an einzelnen Standorten dargestellt. Daraus ergibt sich unvermeidlich, dass die hier beschriebenen Fallbeispiele nicht ohne entsprechende Würdigung ihrer anlagenspezifischen Besonderheiten auf andere Anlagen übertragen werden können.

1. Kernkraftwerke
   Die Grundlage der Empfehlung bildet bei den Kernkraftwerken im Wesentlichen der Rückbau des KKW Würgassen, KKW Gundremmingen (KRB A) sowie des Versuchsatomkraftwerkes Kahl.

2. Forschungsreaktoren
   Für Forschungsreaktoren kann beispielsweise auf die Erfahrungen bei Stilllegung der Anlagen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Seibersdorf, des VKTA-Rossendorf und der Medizinischen Hochschule Hannover zurückgegriffen werden. Sofern bei Forschungsreaktoren Alphastrahler, ^{90}Sr oder andere Sondernuklide vorhanden sind, sollten die Anforderungen der IWRS-II-Richtlinie sinngemäß angewendet werden.
3. Sonstige kerntechnische Anlagen und Einrichtungen
   Für Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs, sonstige kerntechnische Anlagen und Heiße Zellen dienen die Strahlenschutzmaßnahmen beim Rückbau der Heißen Zellen in Karlstein, der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe sowie des VKTA-Rossendorf als Grundlage für die Empfehlung.

Für alle Anlagentypen werden Angaben zu folgenden Punkten ausgeführt:

- Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen
- Einteilung in Personengruppen
- Strahlenschutzrichtwerte
- Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung
- Überwachungsmaßnahmen
- Abschätzung der Strahlenexposition
- Dokumentation

3. Geltungsbereich

Der Geltungsbereich umfasst die Strahlenschutzmaßnahmen zum Schutz vor Inkorporationen und die Inkorporationsüberwachung des Personals bei der Stilllegung von Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren, Heißen Zellen und sonstigen kerntechnischen Anlagen.

4. Übergreifende Angaben

4.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen

Die Erfassung der anlagenspezifischen Randbedingungen beinhaltet im ersten Schritt die Ermittlung des radiologischen Ist-Zustandes der Anlage. Hierfür werden im Allgemeinen folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Zusammenstellung der aus der Betriebshistorie wesentlichen Daten für die Ermittlung des radiologischen Ist-Zustandes
- Durchführung von System- und Komponentendekontaminationen und Erfassung der Auswirkungen (Dosisleistungs- und Kontaminationsmessungen, Neubestimmung der Nuklidvektoren insbesondere hinsichtlich des Anteils der Alpha-Strahler)
- Probenahme an repräsentativen Orten und Komponenten
- Aktivierungs- und Dosisleistungsberechnungen bzw. –abschätzungen
- Erstellung eines Dosisleistungs- und Kontaminationskatasters

Die Auswahl der Probenahmeorte orientiert sich an der Betriebshistorie der Anlage. Die Probenahme erfolgt durch Wischtests, Kratzproben und Materialproben. Die Ergebnisse werden mit den aus den Aktivierungsberechnungen erhaltenen spezifischen Aktivitäten verglichen. Abweichungen entstehen auf Grund ungenauer Ausgangsdaten, Art der Probenahme, Messfehler und vereinfachender Annahmen beim Rechenverfahren. Im Zweifelsfall sollten die Messwerte als Grundlage dienen und ggf. weitere Proben genommen werden.

Als Ergebnis der Betrachtungen des radiologischen Ist-Zustandes liegen folgende Angaben vor:

- Gesamtaktivitätsinventar, spezifische Aktivitäten
- Nuklidvektoren und Leitnuklide
  In Abhängigkeit von den vorhandenen Materialien, in der Betriebszeit durchgeführten Tätigkeiten oder Systemdekontaminationen treten innerhalb einer Anlage oder innerhalb eines Raumes mehrere Nuklidvektoren auf, die bezüglich einer Inkorporation unterschiedlich zu bewerten sind.
  Für eine praktikable Inkorporationsüberwachung sind in Abhängigkeit von dem Inkorporationsrisiko bei den Tätigkeiten die relevanten Nuklidvektoren zu erfassen, ihre Anzahl nach Möglichkeit zu begrenzen und einfach messbare Leitnuklide festzulegen.
- Dosisleistungen
  Strahlenschutzmaßnahmen für das Personal in Abhängigkeit von der äußeren Strahlenexposition können der Literatur entnommen werden.
- Oberflächenkontaminationen
  Durch Oberflächenkontaminationen besteht die Möglichkeit der Inkorporation durch Ingestion, Inhalation oder direkte Zufuhr über offene Wunden.

Aus den gewonnenen radiologischen Daten ergeben sich die erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen bezüglich der Inkorporationsvermeidung und -überwachung für das Personal, die radiologischen Anforderungen an die Rückbautechniken sowie die Handhabung der radioaktiven Reststoffe und Abfälle (Siehe hierzu auch IWRS II Punkt 4.2.2, [1])

Neben den radiologischen Daten sind beim Rückbau auch konventionelle Probleme, wie z.B. Asbest oder PCB zu berücksichtigen, des Weiteren ist die Vorgehensweise bei Betriebsstörungen und Unfällen bereits im Vorfeld zu berücksichtigen.

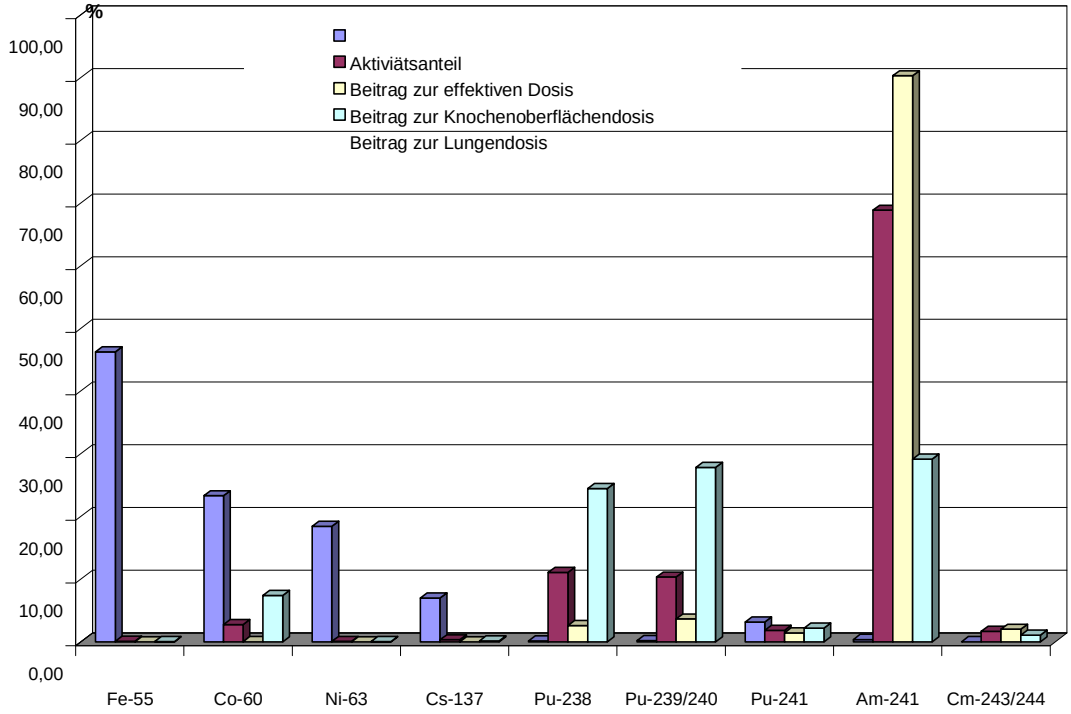

Abbildung 1: Beispiel für einen Nuklidvektor beim Rückbau (dosisrelevantes Leitnuklid ist ^{241}Am)

Die Grafik zeigt, dass in diesem rückbautypischen Nuklidvektor der Alpha-Strahler ^{241}Am das dosisrelevante Leitnuklid ist, an dem sich folglich die Strahlenschutzmaßnahmen hauptsächlich orientieren.

4.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept

Auf Grundlage der aus dem radiologischen Ist-Zustand gewonnenen Daten wird ein Strahlenschutzvorsorgekonzept für die Rückbauplanung erstellt. Dieses Konzept kann gleichzeitig als Basis für die Abstimmung mit der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde dienen.

4.3 Strahlenschutzrichtwerte

Das Vor-Ort-Personal wird als beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A eingestuft.
Bei dem sonstigen Personal wird eine Einteilung in strahlenexponierte Personen der Kategorien A oder B entsprechend dem Gefährdungspotential vom SSB vorgenommen.
Zusätzlich werden aufgrund externer und interner Strahlenexposition anlagenspezifische Richtwerte (bzw. Dose-Constraints) vom SSB festgelegt.

Richtwerte durch externe Exposition

Durch die Festlegung von internen Richtwerten der Personendosis – z. B. als Tages-, Wochen- und Monatsrichtwert und Kontrolle mit direkt ablesbaren Dosimetern – wird sichergestellt, dass im Rahmen der Überwachung eine mögliche Überschreitung der Jahresgrenzwerte für die

Summe aus innerer und externer Strahlenexposition rechtzeitig erkannt wird. Des Weiteren wird ein Jahresrichtwert festgelegt, der den Grenzwert gemäß StrSchV für strahlenexponierte Personen der Kategorie A bzw. B sicher unterschreitet.
Die Tages- bzw. Wochenrichtwerte sind niedrig anzusetzen, um rechtzeitig eventuelle Risiken zu erkennen. Aus diesen Richtwerten werden die Angaben für die Dosisleistung und die Aufenthaltszeit abgeleitet.
Die o. g. Richtwerte sind in der Regel als Sperrgründe im Dosimetrie System hinterlegt, um bei Überschreiten von Dosisschwellen einen Zutritt zum Kontrollbereich zu verhindern, bzw. nur nach ausdrücklicher Zustimmung durch den SSB zu gestatten

Richtwerte durch interne Exposition

Für die Festlegung von Strahlenschutzmaßnahmen können zusätzlich interne Richtwerte für die Arbeitspositionen des Personals festgelegt werden, beispielsweise für Oberflächenkontaminationen. Hierzu gehört z. B. das Tragen besonderer Schutzkleidung und präventive Atemschutzmaßnahmen auf Grund vorhandener Oberflächenkontaminationen.

Außerdem müssen Werte für Aerosol- und H-3-Konzentration in der Raumluft festgelegt werden, aufgrund derer entsprechende abgestufte Schutzmaßnahmen für das Personal zu treffen sind. Basis hierfür sind die Aufenthaltszeiten am Expositionsort und die zu tragende Schutzkleidung bzw. die anzuwendenden Atemschutzmaßnahmen.

Bei Überschreitung dieser internen Richtwerte aufgrund von äußerer oder innerer Strahlenexposition sind die Ursachen zu ermitteln und Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition zu ergreifen.

4.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung

Ziel der anzuordnenden Schutzmaßnahmen ist es, eine Dosis durch Inkorporation radioaktiver Stoffe so gering wie möglich zu halten, wobei die Gesamtdosis, bestehend aus Beiträgen durch Direktstrahlung und Inkorporation, entsprechen den Anforderungen des § 6 StrlSchV [2] reduziert werden muss. Dabei ist der Bereich, in dem offene Kontaminationen vorliegen, möglichst klein zu halten. Kontaminationsverschleppungen aus diesem Bereich sind zu verhindern (Zonenkonzepte mit entsprechender Festlegung zum Tragen von Schutzkleidung und tätigkeitsspezifischer Kontaminationsüberwachung). Zufuhren über Inhalation werden durch Atemschutzmaßnahmen verhindert. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die meisten Zufuhren, die zu positiven Befunden bei der Inkorporationsüberwachung führen, offensichtlich durch Ingestion, und dabei überwiegend beim Ablegen der Schutzkleidung, verursacht werden. Dies kann weitgehend verhindert werden, wenn während des Ablegens der höher kontaminierten Kleidung weiterhin die Atemschutzmaßnahme bestehen bleibt, d, h. die Maske wird als letztes abgelegt

Die Strahlenschutzmaßnahmen werden unterteilt in technische, administrative bzw. organisatorische und persönliche Strahlenschutzmaßnahmen. Hierbei ist das sog. TOP-Prinzip zu berücksichtigen. D.h. die erste Wahl zum Schutz des Personals sind technische Maßnahmen, die zweite organisatorisch und erst wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen, werden persönliche Schutzmaßnahmen angewendet.

4.4.1 Administrative Strahlenschutzmaßnahmen

Administrative Strahlenschutzmaßnahmen liegen in der Verantwortung des zuständigen SSB und umfassen im Wesentlichen:

- anlagenspezifische Strahlenschutzunterweisungen,
- Festlegung von Aufenthalts- und Zugangsbeschränkungen,
- Veranlassung von Inkorporationsmessungen,
- Festlegungen zum Arbeitsablauf oder zum Einsatz von technischen Strahlenschutzmaßnahmen,
- Festlegung von Strahlenschutzüberwachungsmaßnahmen,
- Festlegung von ggf. erforderlichen Dekontaminationsmaßnahmen,
- Dokumentation gemäß IWRS-Richtlinie und
- Sicherstellung des Erfahrungsrückflusses zur optimierten Planung zukünftiger Tätigkeiten.

4.4.2 Technische Strahlenschutzmaßnahmen

Die technischen Strahlenschutzmaßnahmen werden entsprechend der strahlenschutztechnischen Planung (siehe auch Kap. 4 der IWRS-II-Richtlinie) in den Arbeitsaufträgen festgelegt und vom SSB im Rahmen des Arbeitserlaubnisverfahrens oder in sonstigen Durchführungsunterlagen überprüft und ggf. ergänzt. Die technischen Strahlenschutzmaßnahmen umfassen z. B. Abschirmungen, Fernhantierungseinrichtungen, Einhausungen, gefilterte Absauggebläse mit (nach Möglichkeit mit Anschluss an Abluft- oder als Umluftsystem) zur Erzeugung einer gerichteten Luftströmung und Folienzelte.

4.4.2.1 Anwendung von Abschirmungen

Ziel von Abschirmungen ist es, unter Beachtung der aufgeführten Strahlenschutzrichtwerte, erforderliche Aufenthaltszeiten für das Personal im Strahlenfeld zu ermöglichen und bei notwendigen längeren Aufenthalten die Strahlenexposition zu minimieren.
Grundsätzlich werden die vorhandenen Abschirmungen (z.B. Baustruktur und Wasserüberdeckung im Reaktordruckgefäß/ Reaktortank), soweit diese nicht von den Abbaumaßnah-men selbst betroffen sind, so lange wie möglich beibehalten. In Abhängigkeit von den örtli-chen Gegebenheiten und der zeitlichen Notwendigkeit werden darüber hinaus bei Bedarf mobile Abschirmungen eingesetzt (z.B. Transportabschirmungen für Abfallgebinde, Ab-schirmungen wie Bleimatten oder Bleisteine für verschiedene Einsatzfälle). Durch Messungen wird sichergestellt, dass durch die verwendeten Abschirmungen die vorgesehene Ab-schirmwirkung erreicht wird.

4.4.2.2 Einsatz von Fernhantierungswerkzeugen

Ziel des Einsatzes von Fernhantierungswerkzeugen ist es, die Abnahme der Dosisleistung mit dem Abstand von der Strahlenquelle zur Begrenzung der Personendosis auszunutzen.
Der Einsatz von Fernhantierungswerkzeugen ist für den Abbau von Komponenten mit hohen Dosisleistungen (z. B. Reaktordruckgefäß-/ Reaktortankeinbauten) vorgesehen. Fernhantierungswerkzeuge können verlängerte Arbeitsgeräte, Manipulatoren oder ferngesteuerte Systeme sein. Beim Einsatz von Manipulatoren und ferngesteuerten Systemen sind vor dem Einsatz Wartungs- und Reparaturkonzepte sowie Ausfallstrategien zu entwickeln.

4.4.2.3 Sonstige technische Strahlenschutzmaßnahmen

Sonstige technische Strahlenschutzmaßnahmen sind beispielsweise:

- die Errichtung von Demontagezelten mit gefilterten Absaugungen zur Vermeidung einer Kontaminationsausbreitung beim Abbau oder Zerlegen aktivierter und/oder kontaminierter Anlagenteile (z. B. Reaktortank, Biologischer Schild),
- eine Folienabtrennung zur Sicherstellung einer gerichteten Luftströmung bei Öffnung der äußeren Abgrenzung des Kontrollbereiches,
- die Einrichtung von Schuhwechselzonen entsprechend den jeweiligen Anforderungen,
- der Einsatz von Folien als Kontaminationsschutz
- Schleusen zu Rückbaubereichen mit Überwachungseinrichtungen für Aerosolaktivität, An- und Auskleidebereichen und Kommunikationseinrichtungen (Wechselsprecheinrichtungen, Kameraüberwachung)

Provisorische Abtrennungen und Zelte aus Folie sind für kurzfristige Maßnahmen geeignet. Bei längerfristigen Maßnahmen sind Leichtbauwände oder Rahmen mit Aluminiumblech aufgrund ihrer höheren Stabilität im Vergleich zu Folien oder Zelten besser geeignet.

4.4.3 Persönliche Schutzausrüstung

Zur persönlichen Schutzausrüstung gehören insbesondere Schutzanzüge, Überschuhe, Handschuhe und Atemschutzmaßnahmen.
Schutzanzüge, Überschuhe und Handschuhe werden zum Schutz des Personals vor einer Kontamination der Haut eingesetzt. Bei einzelnen Maßnahmen zum Abbau und zur Zerlegung von Anlagenteilen wird zur Vermeidung einer Inkorporation radioaktiver Stoffe Atemschutzmaßnahmen festgelegt.
Bei der Wahl der Schutzkleidung müssen der Einfluss konventioneller Schadstoffe und mechanische und thermische Beanspruchungen berücksichtigt werden.

Eine Übersicht über Schutzkleidung, die bei Rückbauprojekten zum Einsatz kommt, sind in den nachstehenden Tabellen 4.4.3-1 bis 4.4.3-3 aufgeführt. Dargestellt sind Beispiele unterschiedlicher Typen von Schutzausrüstung und eine Auswahl von Parametern, die bei einer Entscheidung über den Einsatz helfen.
Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass Kontaminationsschutzkleidung nur einen eingeschränkten Schutz vor konventionellen Arbeitsunfällen bietet, die aber in Verbindung mit einer kontaminierten Arbeitsumgebung leicht zu Inkorporationen mit nennenswerter Exposition führen können (z. B. Schnitt-/Stichverletzung).

Weiter Detailanforderungen an Schutzkleidung siehe Vorschriften und Regelwerke der Berufsgenossenschaft [3].

4.4.3.1 Atemschutz

Anforderungen an Atemschutz sind der BGR/GUV-R 190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ [4] zu entnehmen. In dieser Berufsgenossenschaftlichen Regel sind die konkreten Anforderungen zur Auswahl von diversen Atemschutzgeräten, die Forderungen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge und die Tragezeitbegrenzungen detailliert ausgeführt.
Die darin enthaltenen Tragzeiten für die Schutzausrüstung sind Richtwerte, die in Absprache mit dem zuständigen Arbeitsmediziner auf der Basis der Betriebserfahrung und der Schwere der Arbeit variiert werden können.

Tabelle 4.4.3-1 Persönlichen Schutzausrüstung – Atemschutz

Typ	Arbeitsmedizinische Voraussetzungen	Einsatzzeit (Richtwert)	Bemerkungen
Staubmasken	Geringster Inkorporationsschutz, für radioaktive Aerosole nicht spezifiziert.		
Halbmasken mit Filter P3	G 26 Gruppe 1	Unbegrenzt	Schutzfaktor 30. Maskendichtsitz problematisch, keine Überdeckung der Augen ggf. Einsatz in Verbindung mit Schutzbrille.
Vollmaske mit Filter P3	G 26 Gruppe 2	105 min	Schutzfaktor 400, bei Auswahl ist Tragekomfort wichtiges Kriterium, Hautirritationen im Bereich der Dichtflächen bei langen Tragezeiten möglich
Vollmaske mit Atemluftversorgung aus Flasche	G 26 Gruppe 3	Durch Luftvorrat begrenzt	- Schutzfaktor 1000 - von Umgebung unabhängig - aufwändig - evtl. Probleme mit der Kontaminationsfreiheit mit Geräten nach den Einsätzen
Schlauchversorgung des Kontaminations-schutzanzugs	G26 Gruppe 1, falls Atemschutzmaske im Anzug getragen wird: G26 Gruppe 2	unbegrenzt, 105 min	- Sehr hoher Schutzfaktor - von Umgebung unabhängig - beim Ablegen der Schutzkleidung kann es zu Inkorporationen kommen, daher ist zumindest zeitweiliger Einsatz Atemschutzmasken im Anzug anzuraten - Kontaminationsschutz der Anschlussstücke am Schlauch - hohe Luftmengen erforderlich (> 500 l/min)
Fremdbelüfteter Kontaminations-schutzanzug über Lüfter/Filtersystem	G26 Gruppe 1, falls Atemschutzmaske im Anzug getragen wird: G26 Gruppe 2	Unbegrenzt, 105 min	- Sehr hoher Schutzfaktor - von Umgebung unabhängig - beim Ablegen der Schutzkleidung kann es zu Inkorporationen kommen, daher ist zumindest zeitweiliger Einsatz von Atemschutz-masken im Anzug anzuraten - Kontaminationsschutz der Anschlussstücke am Schlauch - hohe Luftmengen erforderlich (> 500 l/min)
Schlauchgeräte			
Schlauchversorgung der Atemschutzmaske (Lungenautomat)	G26 Gruppe 1	105 min	- Sehr hoher Schutzfaktor - von Umgebung unabhängig - keine Wärmeabfuhr aus Schutzanzug - Kontaminationsschutz der Anschlussstücke am Schlauch
Geräte mit Maske (Frischluft- und	G 26 Gruppe 2	150 min (3 Einsätze pro Arbeitsschicht	- keine Wärmeabfuhr aus Schutzanzug

Druckluftschlauch-geräte mit P3-Doppelschraubfilter)		jeweils 30 Minuten Erholungsdauer, maximal 5 Arbeitsschichten pro Woche)	- von Umgebung unabhängig - sehr hoher Schutzfaktor (auch nach Trennung von Fremdversorgung zum Ab-legen der Schutzkleidung durch P3-Doppelschraubfilter

4.4.3.2 Schutzanzüge

Tabelle 4.4.3-2 Persönlichen Schutzausrüstung - Schutzanzüge

Typ	Arbeitsmedizinische Voraussetzungen	Einsatzzeit (Richtwert)	Bemerkungen
Handschuhe	--	--	- nur Gummihandschuhe bieten ausreichenden Schutz - Hautunverträglichkeiten möglich
Überschuhe, flach/lang	--	--	- Hohe Überschuhe ermöglichen Überlappung zu Schutzanzug - günstigste Einsatzart: 3 Paar in der Abfolge „kurz-lang-kurz“ in unterschiedlichen Farben
Nicht isolierende Schutzanzüge - Overalls ohne angesetzte Hand- und Fußteile - z.T. atmungsaktive Materialien	G26 Gruppe 2	85 min	- kostengünstig - Schwachstellen: Nähte, Anschluss an Atem-schutzmaske Achtung: Bei „Abdichten“ des Anzugs Übergang in die Kategorie isolierender Schutzanzug - Betreuung durch Posten
Isolierende Schutzanzüge - ein- oder zweiteilige Anzüge mit angesetzten Hand- und Fußteilen	G 26 Gruppe 3	30 min	- kostengünstig - hohe Schutzwirkung Achtung: Hohe körperliche Belastung durch Unterbindung der Wärmeabfuhr, daher Arbeitszeitbegrenzung - Betreuung durch Posten
Fremdbelüftete Anzüge	G26 Gruppe 1, falls Atemschutzmaske im Anzug getragen wird G26 Gruppe 2	Unbegrenzt, 105 min	- Sehr hoher Schutzfaktor - von Umgebung unabhängig - beim Ablegen der Schutz-kleidung kann es zu Inkorporationen kommen, daher ist zumindest zeitweiliger Ein-satz von Atemschutzmasken im Anzug anzuraten - Kontaminationsschutz der Anschlussstücke am Schlauch - hohe Luftmengen erforderlich (> 500 l/min) - hoher finanzieller Aufwand - Betreuung durch Posten, auch

			der Fremdluftversorgung
Chemikalienschutz-anzüge, Luftversorgung durch Atemluftflaschen oder Schlauchversorgung	G26 Gruppe 1, falls Atemschutzmaske im Anzug getragen wird G26 Gruppe 2	Unbegrenzt, 105 min	- Sehr hoher Schutzfaktor - von Umgebung unabhängig - beim Ablegen der Schutz-kleidung kann es zu Inkorporationen kommen, daher ist zumindest zeitweiliger Einsatz von Atemschutzmasken im Anzug anzuraten - Reinigung der Anzugsober-fläche vor dem Auskleiden, d.h. entsprechende Infrastruktur ist vorzusehen.

4.4.3.3 Konventionelle Schutzkleidung

Die Vorgaben der Arbeitssicherheitsbestimmungen können es erforderlich machen, dass zusätzlich zu der Kontaminationsschutzkleidung konventionelle Schutzausrüstungen getragen werden.

Tabelle 4.4.3-3 Persönlichen Schutzausrüstung – Konventionelle Schutzkleidung

Typ	Bemerkung
Schutzhelm	Konventionelle Arbeitssicherheitshelme sind unter der Kontaminationsschutzkleidung meist nicht einsetzbar, d.h. Ersatzlösungen müssen gefunden werden z.B.: Kletterhelme
Sicherheitsschuhe	Dekontaminierbare Varianten sind verfügbar, Rutschfestigkeit prüfen falls Überschuhe über Sicherheitsschuhe getragen werden
Handschuhe	- wichtige Zusatzausrüstung, da es bei mechanischen Arbeiten oft zu kleineren Hautverletzungen kommt, die in kontaminierten Umgebungen leicht zu Inkorporationen führen können - an Einsatzart bzw. Gefährdungspotential anpassen (Schnittschutz, Stichschutz), kont. Handschuhe unverzüglich wechseln da über dem Kontaminationsschutz getragen, ausreichend große Handschuhe bevorraten

4.4.3.4 Betreuung der Arbeiten

Bezüglich des Inkorporationsrisikos ist das Ablegen der Schutzkleidung kritisch. Das hat zur Folge, dass dem Einsatzpersonal hier Hilfestellung gegeben werden muss. Einsätze, bei denen isolierende oder höherwertige Schutzanzüge getragen werden, sollten immer von entsprechend geschultem Strahlenschutzpersonal betreut werden. Die helfende Person muss selbst eine an das Inkorporationsrisiko angepasste Schutzausrüstung tragen.
Das An- und Ablegen der Schutzkleidung muss trainiert werden.
Wenn die erforderliche Schutzkleidung für die Arbeitseinsätze und die einzelnen Personen zu Paketen zusammengestellt wird, minimiert dies das Risiko, dass Teile der Ausrüstung unbemerkt nicht angelegt werden.
Beim Ablegen der Schutzkleidung muss berücksichtigt werden, dass hierbei Umgebung und Raumluft eventuell kontaminiert werden. Dies bedeutet, dass entsprechende Auskleide Bereiche eingerichtet werden müssen (leicht dekontaminierbar, ausreichend groß, damit eine Rückkontamination der auszukleidenden Person sicher vermieden wird, evtl. eine gerichtete Luftströmung in der Nähe des Auskleidens erzeugen, die die luftgetragene Kontamination direkt beim Personal nach unten gerichtet absaugt). Unter Umständen muss eine Dekontamination der Anzugsoberflächen oder ein Fixieren der Kontamination auf der

Anzugsoberfläche (bewährt haben sich hier Haarspray oder Restfaserbindemittel aus dem Bereich der Asbestentsorgung) eingeplant werden.

4.4.4 Abschätzung der Kollektiv- und Individualdosis

Für die Dosisplanung werden Ablaufpläne für die Arbeiten in Bereichen mit erhöhter Dosisleistung erstellt. Die Kollektiv- und Individualdosis für das tätige Personal wird abgeschätzt. Der Kollektivdosisbeitrag wird auf Basis der durchzuführenden Maßnahmen unter Berücksichtigung der gesamten Durchführungszeit ermittelt (siehe hierzu auch IWRS II Kapitel 4, [1]).
Die Strahlenexposition dieses Personals wird in Abhängigkeit von der Strahlenart durch äußere oder innere Strahlenexposition verursacht. Sobald Alphastrahler in offener Form auftreten sind diese besonders zu beachten.

4.5 Kenntnisse, Unterweisungen

Bei der Auswahl des eingesetzten Personals müssen die entsprechenden Richtlinien für die Fachkunde des Personals berücksichtigt werden, wobei die Auslegung der Anforderung aus der Richtlinie dem Anlagenzustand angepasst werden muss.

Wichtiger Bestandteil der Unterweisungen ist es, durch Aufklärung und Vermittlung von Kenntnissen das Inkorporationsrisiko für die Mitarbeiter zu minimieren. Folgende Schwerpunktthemen sollten dabei inhaltlich erfasst werden:

- Darlegung der potentiellen Inkorporationsmöglichkeiten
  Durch den Betrieb oder frühere Tätigkeiten im Rahmen des Rückbaus können nicht festhaftende Kontaminationen vorliegen. Diese Bereiche müssen die Mitarbeiter kennen. Beispielsweise können durch Öffnen von Systemen oder Trennarbeiten radioaktive Stoffe freigesetzt werden.
- Mögliche Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Inkorporationen
  - Angabe der technischen und persönlichen Schutzmaßnahmen
  - Einsatz von Technologien mit geringen Aktivitätsfreisetzungen, beispielsweise Nutzung von Reinigungsmethoden mit geringen Staubfreisetzungen oder nach Möglichkeit Anwendung von Scheren statt Trennschleifer.
  - Üben von bestimmten technischen Abläufen (Kalterprobung)
  - Bestimmungsgemäßer Einsatz der Schutzkleidung, Üben des An- und Ausziehens von Schutzkleidung, Training in zusammengehörigen Gruppen, z.B. Strahlenschutz und Demontagepersonal.
- Gestaltung und Organisation der Überwachung
  - Nennen und Begründen der Überwachungsmaßnahmen
  - Einhaltung der gesetzlichen und innerbetrieblichen Vorgaben
  - Angabe der verantwortlichen und durchführenden Personen
  - Angabe von Überwachungsintervallen
- Verhalten bei Kontaminationen von Personen und Inkorporationen
  - Darlegung des Meldeweges (z. B. SSB, Aufsicht führende Person etc.)
  - Veranlassung von Kontaminations- und Inkorporationsmessungen
  - Erklärung der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der inkorporierbaren Nuklide (z. B. Zufuhrpfade, Stoffwechselverhalten, biologische Halbwertszeiten)

Getroffene Maßnahmen zum Schutz vor Kontamination und Inkorporation können nur effektiv umgesetzt werden, wenn die betroffenen Personen für die Inkorporationsproblematik in den tätigkeitsbezogenen Unterweisungen sensibilisiert worden sind.

Die Unterweisungen für das Personal sollten periodisch wiederholt werden. Bei der Festlegung des Intervalls sind insbesondere Personalfluktuation und –qualifikation zu berücksichtigen.

4.6 Überwachungsmaßnahmen

Routinemäßige Überwachungsprogramme stellen sicher, dass wichtige radiologische Parameter eingehalten werden.
Die jeweils gültige Fassung der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung gibt Werte für die Exposition durch Zufuhr radioaktiver Stoffe vor, ab denen eine regelmäßige Überwachung zu erfolgen hat. Anpassungen an die Betriebsweise (Rückbau) sind gemäß Richtlinie möglich. Auch unterhalb dieser Werte ist ein Konzept zur Beweissicherung mit der Aufsichtsbehörde und ggf. der amtlichen Messstelle gemäß § 41 StrlSchV [2] abzustimmen. Dieses sollte ein Teil des Strahlenschutzvorsorgekonzeptes sein (siehe Kapitel 4.2). Beispiele für die Vorgehensweise enthalten die speziellen Teile.
Die Überwachungsmaßnahmen gliedern sich in die Personen- und Raumluftüberwachung.

4.6.1 Einteilung in Personengruppen

Das Inkorporationsrisiko ist abhängig von der Höhe der Aktivität der offenen radioaktiven Stoffe sowie der Art des Umgangs mit den radioaktiven Stoffen. In Abhängigkeit von dem Inkorporationsrisiko ist im Allgemeinen die Einteilung des Personals in die zwei Überwachungsgruppen „Rückbaupersonal und rückbaubegleitendes Personal“ sowie „sonstiges Personal“ ausreichend. Das Inkorporationsrisiko ist für das Rückbaupersonal und rückbaubegleitende Personal auf Grund des direkten Umgangs mit radioaktiven Stoffen wesentlich höher als für das sonstige Personal.

- Rückbaupersonal und rückbaubegleitendes Personal
  Zum Rückbaupersonal gehört das Demontagepersonal. Es wird beispielsweise eingesetzt bei der Demontage von Komponenten und Systemen als Schlosser, Schweißer, Montagepersonal und an den entsprechenden Nachzerlegeplätzen und Strahlanlagen.

  Das rückbaubegleitende Personal umfasst z. B. das Strahlenschutzpersonal, Personal für Anlagendekontamination / Dekontaminationsbox, beim Gerüst- und Lüftungsbau, bei Isolierungs- und Instandhaltungsarbeiten, für die Behandlung der radioaktiven Reststoffe und Abfälle sowie das Personal in der Wäscherei.
- Sonstiges Personal
  Diese umfasst beispielsweise das Schichtpersonal (Restbetrieb), Planer, Koordinatoren sowie Personal, das für Probennahmen und im Labor, für Freimessungen, beim Brandschutz und in der Anlagensicherung eingesetzt wird. Außerdem gehören hierzu die Prüfer, Gutachter und das Aufsichtspersonal.

4.6.2 Personenüberwachung

Die Personenüberwachung wird im Wesentlichen entsprechend den bestehenden betrieblichen Regelungen durchgeführt. (siehe hierzu auch IWRS II-Richtlinie, Kap. 4; [1]).

Überwachung der Personen auf Kontaminationen

Die Kontrolle der Personenkontamination am Kontrollbereichsausgang erfolgt gemäß der entsprechenden SSK-Empfehlung „Anforderung an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereiches (§44 StrlSchV, [2])".

Überwachung der Personen auf Inkorporation

Die Körperaktivität der Personen sollte zu Beginn und am Ende der Tätigkeit durch Messungen ermittelt werden. In Abhängigkeit vom Nuklid oder vom Nuklidvektor sind dabei eine GKZ- oder eine Ausscheidungsmessung zu veranlassen.
Die Inkorporationsüberwachung während der Tätigkeit erfolgt nach den Anforderungen der jeweils gültigen Fassung der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung mit fallspezifischer Anpassung. Danach können die standardisierten Verfahren durch geeignete Vorgaben ersetzt werden. Dies betrifft insbesondere die Kombination von Überwachungsverfahren, die Veränderung des Überwachungsintervalls und die Anpassung der Dosisberechnung an die fallspezifischen Expositionsbedingungen (s. Kapitel 4.8).
Darüber hinaus kann der SSB nach eigenem Ermessen zusätzliche Inkorporationsmessungen veranlassen.
Besteht der Verdacht einer Inkorporation radioaktiver Stoffe, werden unverzüglich Messungen der inkorporierten Aktivität veranlasst. Über weitere Maßnahmen entscheidet der SSB.

4.6.3 Raumüberwachung

Routineüberwachung

Die Routineüberwachung umfasst die kontinuierliche oder regelmäßige Messung von Ortsdosisleistungen, Oberflächenkontaminationen und Raumluftaktivitätskonzentrationen an repräsentativen Stellen.
Die Raumluftaktivitätskonzentration wird durch Aerosolmessungen an repräsentativen Stellen überwacht. Dazu werden Filter mittels Staubsammler beaufschlagt und anschließend ausgewertet. Art, Umfang und Zeitintervalle der einzelnen Messungen sowie die Messorte werden anlagenspezifisch festgelegt.
Bei hohem Inkorporationspotential (z. B. bei Raumluftkontamination mit Alpha-Strahlern) können auch kontinuierlich messende Raumluftüberwachungseinrichtungen mit Alarmierungsmöglichkeit erforderlich werden.

Arbeitsplatzbezogene Überwachung

Arbeitsplätze und Transportwege werden in Abhängigkeit der durchzuführenden Tätigkeiten überwacht. Art, Umfang und Zeitintervalle der einzelnen Messungen sowie die Messorte werden tätigkeitsspezifisch festgelegt.

<u>Messungen aus besonderem Anlass</u>
Messungen aus besonderem Anlass werden bei Störungen des Betriebsablaufes durchgeführt. Art, Umfang und Zeitintervalle der einzelnen Messungen sowie die Messorte werden vom SSB festgelegt.

4.7 Hinweise zu Probennahme von Ausscheidungsproben

Die Durchführung der Ausscheidungsanalysen ist eng mit der Messstelle abzustimmen. Aus der bisherigen Erfahrung wird dabei folgende Vorgehensweise empfohlen:
Für die Ausscheidungsanalyse empfiehlt es sich vom Probanden 3 Stuhlproben in zweitägigem Abstand geben zu lassen. Die 3 Stuhlproben sind jeweils über einen Zeitraum von 24 Stunden zu sammeln. Die erste Stuhlprobe ist zur Analyse an eine amtlich zugelassene Messstelle zu schicken, die beiden restlichen Stuhlproben sind tiefgekühlt einzulagern. Zeigt die erste Stuhlprobe einen Befund, d.h. Messwert > EKG, sind die restlichen Proben ebenfalls auszuwerten. Bei einem Messwert < EKG sind die eingelagerten Proben zu entsorgen.

Während die erste Stuhlprobe hauptsächlich dem Nachweis einer Inkorporation dient, ermöglichen die Folgeproben eine genauere Zufuhr- und Dosisabschätzung. Erfahrungsgemäß führt dies zu einer Reduzierung des Berechnungsergebnisses für die Aktivitätszufuhr und die Körperdosis.

Wichtige Hinweise für die Probennahme und Probenversand:

- Auf ausreichende Probemenge achten (24 h-Menge) evtl. 2 Probensammeleinheiten ausgeben
- Auf zeitgerechte Probenlieferung achten
- Proben nicht unmittelbar nach arbeitsfreien Zeiten
- Probenversand: Stuhlproben unterliegen nach UN3373 Versand von Biologischen Stoffen der Kategorie B. Der Versand kann bei Einhaltung der Verpackungsanweisung P 650 des ADR [5] durchgeführt werden (Stand vom Januar 2011).

Auf absolute Kontaminationsfreiheit achten - räumliche Trennung, andere Personen für das Handling der Proben.

4.8 Ermittlung der Strahlenexposition

Die Dosisermittlung bezüglich der inneren Strahlenexposition erfolgt entsprechend der jeweils gültigen Fassung der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung durch die amtliche Messstelle in Zusammenarbeit mit den Betreibern (s. Kapitel Messstelle). Dabei sollte der Betreiber in Abstimmung mit der Messstelle z. B. folgende Daten erheben:

- Nuklid bzw. Nuklidvektor
- Inkorporationszeit / Einsatzzeiten
- Umgangsort
- Radiologische Daten am Arbeitsplatz (z.B. Höhe der Raumluft- und ggf. der Oberflächenkontamination)
- Schutzmaßnahmen
- Zwischenfälle
- Vorbelastung der Person
- Arbeitsverfahren

Die Dosisberechnung erfolgt gemäß der jeweils gültigen Fassung der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung durch die amtliche Messstelle oder alternativ durch den SSB (z. B. durch Schwellwertmessungen).
In der Regel hat der SSB einen direkten Zugriff auf den betroffenen Mitarbeiter. Es sind diesbezüglich verbindliche Absprachen zu treffen, um Doppelmeldungen von Dosisberechnungen zu vermeiden.

4.9 Hinweise für das Überwachungskonzept spezieller Nuklide

Wo dies notwendig oder sinnvoll ist, werden Überwachungskonzepte für spezielle Nuklide im speziellen Teil behandelt.

4.10 Dokumentation

Für die Inkorporationsüberwachung sind folgende Angaben wesentlich:

- Personendaten mit Angabe des Einsatzorts und der Tätigkeit
- Ergebnisse der Personenüberwachungen (Kontaminationsmessungen, externe und interne Exposition)
- Ergebnisse von Raumüberwachung (Raumluftmessungen, Kontaminationsmessungen)

Die Dokumentation kann entweder in Papierform oder in elektronischer Form erfolgen.
Hinweis: In Deutschland wurde das Strahlenschutzregister eingerichtet, dem die Überwachungsdaten -vorzugsweise von der Messstelle- zu melden sind. In Österreich werden gemäß StrSchV Meldungen an das Zentrale Dosisregister zu übermitteln sein. Gegebenenfalls sind entsprechende Regelungen in der Schweiz ebenfalls zu beachten.

Zur Verfolgung der im Rahmen der Überwachung anfallenden Daten und zur schnellen Bereitstellung von Informationen sind bei größeren Projekten Datenbanken sinnvoll, in denen die strahlenschutzrelevanten Angaben für die verschiedenen Personengruppen und Tätigkeiten enthalten sind. Die Datenbank kann zur Dokumentationszwecken herangezogen werden. Die Daten werden entweder automatisch aus anderen Datenbanken oder anderen Programmen importiert oder manuell eingegeben. Eine entsprechende Datenpflege und Qualitätssicherung (Software und Personal) ist erforderlich.

Die Datenbank enthält z.B. folgende Angaben zu den Personen:

- Personaldaten
- Tätigkeiten der verschiedenen Arbeitsgruppen
- Messergebnisse von Arbeitsplätzen
- Ergebnisse von Kontaminations- und Inkorporationsmessungen
- Arbeitsplatzprotokolle mit Randbedingungen der Tätigkeit
- Unterweisungen

4.11 Verhalten bei Unfällen

Für die Vorgehensweise bei Kontaminationen und bei Unfällen mit Personenschaden sollte ein Konzept erarbeitet werden. Insbesondere sollte dieses die folgenden Angaben enthalten:

- Bergung des Verunfallten (Feuerwehr / interner Notfalltrupp)
- Erstversorgung des Verunfallten, der möglicherweise kontaminiert ist
- Transportmittel
- Regionale Strahlenschutzzentren
- Zuständiges Krankenhaus

Das Konzept ist mit der jeweiligen Rettungsorganisation abzustimmen. Die Notwendigkeit von Probennahmen für die Ausscheidungsanalytik sollte berücksichtigt werden.
Für die Übergabe von Personen zur Weiterbehandlung sollten Übergabe- oder Begleitscheine entworfen werden. Die Möglichkeiten einer Wundmessung am Rückbau-Standort sollten überprüft sein.

Um derartige Zwischenfälle zu beherrschen, müssen Übungen durchgeführt werden, bei denen auch der Hinweis nicht fehlen darf, dass lebenserhaltende Maßnahmen Vorrang vor der Feststellung des Kontaminationszustands des Verunfallten haben.

1. Vorsorgliche Vorbereitung

1.1. Gefährdungsanalyse

(1) Ausgangssituation vor Rückbau

(2) Im Rückbau:

- Nuklidzusammensetzung: besonders Alphastrahler, auch Verbindungen und deren Löslichkeit
- Arbeitsablauf: Schutzausrüstung, Schichtarbeit, Absturzgefahr, Enge, Trupps bestehend aus 1-2 Personen, maschinenbezogene Unfallmuster

1. 2. Erste Hilfe

(1) Organisationspflicht des bestellten Betriebsarztes nach ASiG §3 [6] bezüglich Rettungskette

(2) Ersthelfer: Ausbildung nach BGV mindestens 10% 2-jährlich, ggf. deutlich mehr erforderlich (Schichtarbeit, 2-Personen-Trupps, Ferien)

(3) Material: Besonderheit: Staubinde und Klemme für venöse Stauung

1. 3. Protokolle

Beispiele von Formatvorlagen siehe BGI 668 [7] (Version August 1997, aktualisierter Nachdruck 2006)

(1) Unfallerhebungsbogen

(2) Begleitschein

(3) Befund- und Behandlungsdokumentation

1.4. Rettungskette, insbesondere Vorinformation extern beteiligter Organisationen

(1) Betriebsarzt, Strahlenschutz-ermächtigter Arzt, RSZ (Regionales Strahlenschutz-Zentrum) Liste und Adressen Kapitel 9 Ansprechpartner

(2) Rettungsdienste = Transport

(3) Diensthabender Arzt = Unfallarzt

(4) Zuständiges Krankenhaus

(5) Regionale Strahlenunfall-Klinik

1.5. Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlass

(1) zuständige Messstelle

(2) Probenahmebehälter, Begleitschein

1.6. Bei Möglichkeit von Alpha- Kontamination (teilweise nicht am Standort)

(1) Messgerät für differenzierende (Beta und Gamma, Alpha) Kontaminationsmessung der Körperoberflächen

(2) Wundmessplatz zur qualitativen Verdachtsmessung auf z.B. ^{241}Am, ^{239}Pu zur Entscheidung für chirurgischen oder Infusions- Sofortttherapie

(3) Empfindlicher Teilkörperzähler für ^{241}Am zur nachträglichen besseren dosimetrischen Festlegung bzw. Nachresektion

(4) Vorhalt von Ca-DTPA incl. Infusionslösung und -besteck zur ggf. notwendigen Sofort-Therapie (nur in RSZ)

1.6. Übungen, Schulung

(1) Ablauf unter Einbeziehung aller internen und externen Ebenen

(2) Umgang mit Messinstrumenten

(3) Ausfüllen der Protokolle

2. Erste Hilfe am Unfallort

(1) Lebensgefahr oder Organfunktionserhalt
(2) Kontaminationskontrolle
(3) Bergung aus Kontroll- bzw. Kontaminationsbereich bei Gewährleistung des Selbstschutzes durch eigenes Personal – Notfalltrupp oder Feuerwehr. An der Grenze zum o.g. Bereich Übergabe an Rettungspersonal – intern oder extern

3. Transport

(1) Fahrzeug durch Folien gegen Kontaminationsverschleppung sichern, Personenschutz: Einmal-Schutzkleidung wie zum Infektionsschutz in Operationsbereichen
(2) Intern: spezielles Fahrzeug und Behandlungseinrichtung mit Sonderzugang
(3) Extern: Öffentlicher Rettungsdienst (DRK etc.), ggf. Begleitung durch Strahlenschutz-versiertes Personal, Mitnahme von Messtechnik etc.

4. Medizinische Weiterversorgung

(1) bei kleinen Verletzungen wenn möglich intern bei vorhandener Infrastruktur und Personal
(2) evtl. intern bei Infrastruktur unter Zuziehung eines Unfallchirurgen / diensthabenden Arztes
(3) bei größeren Verletzungen mit Notarzt in örtliches Krankenhaus, möglichst Einbeziehung des Strahlenschutz-ermächtigten Arztes bzw. zuständigen RSZ
(4) bei starker Kontamination evtl. auch Strahlenunfall-Klinik, Klärung über RSZ

5. Spezielles Vorgehen bei möglicher Wundkontamination

Wegen möglicher Grenzwertüberschreitung nur bei Alpha- Kontamination erforderlich!

(1) Messtechnik (s.o.)
(2) Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlass (24-Std. Urin, ggf. Gewebeprobe oder Stuhlprobe)
(3) Therapie: Wundspülung, Wundrandexzision, Ca-DTPA-Kurzinfusion

6. Evtl. gleichzeitige Inhalationszufuhr

(1) zusätzliche Maßnahmen der Inkorporationsüberwachung

4.12 Hinweise für zukünftige Projekte

In den Fallbeispielen sind besondere Hinweise aufgeführt, die für zukünftige Projekte relevant sein können und berücksichtigt werden sollten.

5. Spezieller Teil

5.1 Kernkraftwerke

Hier wird als Beispiel die Vorgehensweise beim Rückbau eines Kernkraftwerks dargestellt.
Hinweis: Abweichende Intervalle können unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Besonderheiten gerechtfertigt sein.

5.1.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen

Systemdekontamination

Verschiedene Systeme wurden zur Reduzierung der Ortsdosisleistung einer Systemdekontamination unterzogen.

Anfallende Materialien

Beim Rückbau fallen im Wesentlichen folgende Materialien an:

- Rohrleitungen / Komponenten / Armaturen ferritisch
- Rohrleitungen / Komponenten / Armaturen austenitisch
- Halterungen, Ausschlagsicherungen
- Elektro- und leittechnische Installationen
- Beton

Nuklidvektoren und Leitnuklide

In verschiedenen Anlagenbereichen und Systemkomponenten entstanden durch unterschiedliche Systemzustände während der Betriebs- und Stillstandsphasen unterschiedliche Nuklidvektoren.

Es sind Nuklidvektoren mit ^{90}Sr und mit Alphastrahlern vorhanden. Das Auftreten von ^{137}Cs kann ein Hinweis für das Vorhandensein von ^{90}Sr sein.

Das Inkorporationsrisiko aufgrund des Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen besteht beim Rückbau eines KKW z. B. für folgende Nuklide:
Aktivierte Korrosionsprodukte, z. B. ^{60}Co,
Spaltprodukte, z. B. ^{137}Cs, ^{90}Sr,
Aktiniden, z. B. ^{241}Am, $^{243/244}$Cm, ^{238}Pu, $^{239/240}$Pu.

Zerlegetechniken

Es wurden unterschiedliche Abbauverfahren und Zerlegetechniken eingesetzt. In den Demontagebereichen kommen grundsätzlich „kalte“ mechanische Trennverfahren zum Einsatz, z.B. Sägen, Schrauben, Scheren, Abkreisen, WAIS-Verfahren. In den Nachzerlegebereichen werden unter erhöhten Schutzmaßnahmen „heiße“ Verfahren wie Plasmaschneiden, Trennschleifen, Brennschneiden angewandt.

5.1.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4.2 abgedeckt.

5.1.3 Strahlenschutzrichtwerte

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4.3 abgedeckt.

5.1.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung

Bei Tätigkeiten, bei denen Kontamination aufgespritzt, aufgewirbelt oder verschleppt werden kann, besteht ein erhöhtes Inkorporationsrisiko. Solche Tätigkeiten sind beispielsweise

- Handhabung, Transport, Dekontamination von Material mit einem hohen Anteil an abwischbaren Kontaminationen z. B. mit mehr als 50 Bq/cm^2 (beta/gamma) oder 0,5 Bq/cm^2 (alpha),
- Umgang mit spritzendem Wasser an kontaminierten Komponenten (z.B. Hochdruck-Reinigen, Sumpfreinigung, Arbeiten am Brennelement-Lagerbecken/Flutraum),
- Tätigkeiten an Filterbänken, Filtermobilen, Lüftungskanälen oder Lüftungsschläuchen,
- Abfallbehandlung,
- Thermische Trenn- und Schweißarbeiten sowie Trennschleifen an kontaminiertem Material,
- Mechanische Trennverfahren an Material mit z. B. mehr als 50 Bq/cm^2 (beta/gamma) und 0,5 Bq/cm^2 (alpha) am Trennschnitt,
- Stemmarbeiten

In Tabelle 5.14-1 aufgeführt sind Tätigkeiten mit hohem Inkorporationsrisiko.

Tabelle 5.1.4-1 Tätigkeiten mit hohem Inkorporationsrisiko

Tätigkeit	Schutzmaßnahme
Zerlegung kontaminierter Anlagenteile	Folienzelte, Absaugungen, Vollschutzmasken
Zerlegung und Verpackung der Sekundär-dampferzeuger	Folienzelte, Absaugungen, Vollschutzmasken
Hochdruckverpressung von Abfällen	Folienzelte, Absaugungen, Vollschutzmasken
Abfallbehandlung und Dekontaminationsarbeiten	Absaugungen, Vollschutzmasken

5.1.4.1 Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz

Tätigkeiten mit erhöhtem Inkorporationsrisiko werden unter Atemschutz durchgeführt. Zusätzlich können Absaugungen an den Entstehungsorten der Aerosole installiert werden.

Für „Alpha-Gewerke“ gilt insbesondere:

- Einhausung nach standardisiertem Verfahren mit Unterdruckhaltung/gerichteter Luftströmung in Richtung des höher kontaminierten Bereiches und Schleusensystemen (Personenschleuse als Doppelschleuse, Materialschleuse)
- Ermittlung und ständige Verfolgung von Alpha-Kontaminationen mit konsequenter vorbeugender Reinigung in allen Bereichen der Anlage
- Einsatz von lokalen und mobilen Lüftungsanlagen zur Absaugung eventuell auftretender radioaktiver Aerosole (z.B. Arbeitsplatzabsaugungen)
- In den Demontagebereichen möglichst nur „kalte“ mechanische Trennverfahren
- Ständige Strahlenschutzaufsicht
- Langzeit-Baustellen sind möglichst mit festen Einrichtungen (Leichtbauwänden) einzurichten

5.1.4.2 Maßnahmen gegen Kontaminationsverschleppung

Folgende Maßnahmen sind zur Verhinderung von Kontaminationsverschleppungen geeignet:

- Kennzeichnung von Alpha-Abfällen am Entstehungsort
- Geschlossener Wäschekreislauf
- Geschlossene Transportboxen
- Durchführung von Dekontaminationen
  - Dekontamination begleitend bei Arbeiten mit hoher Kontamination
  - Regelmäßige Dekontamination der Verkehrswege
  - Dekontamination gemäß „Checkliste“:
    - Telefone
    - Treppengeländer
    - Türgriffe
    - Aufzüge

5.1.4.3 Persönliche Schutzmaßnahmen

- Umkleiden mit Strahlenschutzunterstützung
- Überschuhe (abkleben)
- Stoffhandschuhe
- Gummihandschuhe (abkleben)
- Zusätzlicher Overall
- Maske/Filter (abkleben)
- Maske/Fremdluft bei Heißarbeiten (abkleben)
- Fremdbelüfteter Anzug

<u>Schutzkleidung und allgemeine Hygiene</u>

- Neue Schutzkleidung, vermehrter Gebrauch von Einwegartikeln
- Maßnahmen gegen eine Kontamination der persönlichen Schutzausrüstung sowie Hilfestellung und Kontrolle beim Verlassen des Kontrollbereichs.
- intensivere arbeitsplatzbezogene Unterweisungen und Belehrungen im Hinblick auf das mögliche Gefährdungspotenzial
- Beobachtungen zur Ermittlung und gegebenenfalls Beseitigung individueller spezifischer Verhaltensweisen

5.1.5 Kenntnisse, Unterweisungen

- Unterweisungen vor Aufnahme der Arbeiten in die besonderen Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Alphastrahlern (regelmäßig wiederholen), bei der Bestimmung des Ausbildungsintervalls ist die Personalfluktuation und –qualifikation zu berücksichtigen,
- Einweisung des Personals vor Ort,
- Ständige Strahlenschutzaufsicht bei Arbeiten in Bereichen höherer Ortsdosisleistung (z. B. > 100 µSv/h) sowie bei Arbeiten unter Atemschutz oder auf Anforderung des Strahlenschutzbeauftragten,
- Strahlenschutzaufsicht leistet Hilfestellung beim Umkleiden mit entsprechendem Eigenschutz

5.1.6 Überwachungsmaßnahmen

5.1.6.1 Einteilung der Gruppen

Die Einteilung in Personengruppen erfolgt in Anlehnung an Kapitel 4.6.1.

Beispielsweise kann folgende Vorgehensweise gewählt werden:

Eigenpersonal:
bei ärztlicher Erstuntersuchung und jährlich zusammen mit der ärztlichen Wiederholungsuntersuchung mittels GKZ.

Fremdpersonal:
beim Einchecken und beim Auschecken mittels GKZ.

Für alle:
monatliche Routinemessungen mittels GKZ.

Zusätzlich für Mitarbeiter an Alpha-Arbeitsplätzen:
stichprobenartige Ausscheidungsanalysen.

Die Messprotokolle und Messgeräte (z.B. bei der Wischtestauswertung) müssen eine Aussage zur Alphakontamination geben.

5.1.6.2 Kontaminationsverschleppung

Hinweis: Abweichende Intervalle können unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Besonderheiten gerechtfertigt sein.

- Kontaminationskontrollen mittels Wischtests an den Arbeitsplätzen, speziell vor dem Öffnen von Materialschleusen.
- Wöchentlich Kontaminationsmessungen auf den Verkehrswegen im Kontrollbereich mittels Wischtests.
- Wöchentlich Kontaminationsmessungen in den Laborräumen und in der Wäscherei des Kontrollbereiches mittels Wischtests.
- Arbeitstäglich Kontaminationsmessungen am Kontrollbereichszugang mittels Wischtests.
- Halbjährlich Kontaminationsmessungen vor den Fluchttüren des Kontrollbereiches mittels Wischtests.
- Vierteljährlich Kontaminationsmessungen auf den Verkehrswegen in Gebäuden außerhalb des Kontrollbereiches mittels Wischtests.
- Vierteljährlich Kontaminationsmessungen der Verkehrswege im Außengelände des KKW mittels GDFZ.
- Jährlich Kontaminationsmessungen in den M- und E-Werkstätten außerhalb des Kontrollbereiches mittels Wischtests und GDFZ.

5.1.6.3 Atemluft

Kurzzeit-Aerosol-Sammler kommen zum Einsatz, um ereignisbezogene Aerosolkonzentrationen sowie Stichproben der Arbeitsplatz-Aerosolkonzentration zu ermitteln.
Die Maßnahmen zur Arbeitsplatzüberwachung mit Aerosolsammlern werden vom SSB festgelegt.
Langzeit-Aerosol-Sammler sind außerdem an „Alpha-Gewerken“ einzusetzen.
Aerosolmonitore sind zu verwenden, wenn zur Erkennung kurzzeitig auftretender Aerosolfreisetzungen eine kontinuierliche Aerosolüberwachung mit sofortiger Alarmierung bei Konzentrationsanstiegen notwendig ist.

5.1.6.4 Inkorporationsmessungen

Ziel der Schutzmaßnahmen ist es, die radiologischen Randbedingungen so einzuhalten, dass eine regelmäßige individuelle Überwachung nicht durchgeführt werden muss, sondern stichprobenartige Routinekontrollen zur Bestätigung des Überwachungskonzepts ausreichen. Die Beprobung ist anlagenspezifisch zu regeln.

5.1.6.5 Routineüberwachung

Eigenpersonal:

bei ärztlicher Erstuntersuchung und jährlich zusammen mit der ärztlichen Wiederholungsuntersuchung mittels GKZ.

Fremdpersonal:

beim Einchecken und beim Auschecken mittels GKZ.

Für alle:

monatliche Routinemessungen mittels GKZ.

Zusätzlich für Mitarbeiter an Alpha-Arbeitsplätzen:

stichprobenartige Ausscheidungsanalysen.

Allgemeine Regeln für die Dosisabschätzung

- Die Zufuhrabschätzungen werden auf der Basis der Messergebnisse des dosisrelevanten Leitnuklids durchgeführt.
- Die Körperdosen werden auf Basis dieser Werte unter Berücksichtigung des Nuklidvektors berechnet.
- Zufuhr- und Dosisberechnungen werden immer durchgeführt, wenn das Leitnuklid bei einer Untersuchung nachgewiesen werden kann.
- Aktivitätszufuhr und Körperdosen werden für alle Überwachungsfälle dokumentiert.
- Als Zufuhrpfad wird ausschließlich Inhalation angenommen, ein möglicher Ingestionsbeitrag wird nicht berücksichtigt.

5.1.6.6 Überwachung aus besonderem Anlass mittels Ausscheidungsanalyse

Die Überwachung aus besonderen Anlass mittels Ausscheidungsanalyse (Stuhl) ist in Abhängigkeit vom Nuklid oder Nuklidvektor immer dann durchzuführen, wenn bei außergewöhnlichen Ereignissen Inkorporationen zu besorgen sind, insbesondere bei:

- beschädigter persönlicher Schutzausrüstung,
- Kontamination im Kopfbereich,
- nicht zu beseitigender Kontamination im Hals- und Brustbereich,
- größeren Aerosolfreisetzungen im Arbeitsbereich,
- Aufenthalt im Alpha-Bereich ohne Atemschutz,
- Verletzungen mit offenen Wunden (Stuhl und Urin).

5.1.7 Ermittlung der Strahlenexposition

Verfahren zur Dosisabschätzung

Die Dosisabschätzungen beginnen mit dem Referenzverfahren der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung [8]:

- Zufuhr ausschließlich über Inhalation
- 5 µm AMAD ist der Standardwert
- Zufuhrzeitpunkt ist die Mitte des Überwachungsintervalls

Zur genaueren Ermittlung der Körperdosen können folgende Verfahren zur Anwendung kommen:

- Das Ergebnis der Folgeprobe wird zur Kontrolle der Zufuhrabschätzung herangezogen. Eine Korrektur erfolgt ausschließlich über eine Verschiebung des Inkorporationszeitpunktes, andere Parameter werden nicht geändert. Ausnahme: der Zufuhrzeitpunkt ist bekannt.
- Wenn aufeinander folgende Untersuchungsergebnisse einem einzigen Inkorporationsdatum zugeordnet werden können, sollten diese für die Abschätzung der Aktivitätszufuhr alle mit einem geeigneten Berechnungsprogramm genutzt werden.
- In Übereinstimmung mit der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung werden die Ergebnisse als plausibel betrachtet, wenn die Einzelergebnisse nicht mehr als 50 % vom Mittelwert abweichen.
- Proben, in denen das Leitnuklid nicht nachgewiesen werden konnte, werden für eine Plausibilitätskontrolle der Berechnungen herangezogen (Untersuchungen nach beschäftigungsfreien Zeiten).
- Eine chronische Aktivitätszufuhr wird unterstellt, wenn aufeinander folgende Untersuchungsergebnisse nicht sinnvoll korreliert werden können. Die Aktivitätszufuhr wird dabei aus den Mittelwerten der Untersuchungsergebnisse, der Ausscheidungsrate in der Mitte des Überwachungsintervalls und der Zahl der Kalendertage der Überwachungsperiode errechnet. Stuhlproben ohne Befund werden zur Kontrolle dieser Berechnungen verwendet.

5.1.8 Dokumentation

An allen „Alpha-Gewerken“ werden Arbeitsplatzprotokolle erstellt. Erfasst werden Name, Firma, Aufenthaltszeit, durchgeführte Tätigkeiten, getragener Atemschutz, radiologische Daten des bearbeiteten Materials.

Alle Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung sind zu dokumentieren.
In Anlehnung an die Mitteilung von äußeren Personendosismesswerten sind effektive Dosen kleiner 0,05 mSv und Organdosiswerte kleiner 0,5 mSv zu Null zu setzen [8]. Aktivität und Dosis werden im Strahlenpass einzutragen.

Aerosolfilter, die im Rahmen der Strahlenschutzüberwachung bestaubt wurden, sollten zur Beweissicherung mit den erforderlichen Daten für einen gewissen Zeitraum für nachträgliche Auswertungen aufbewahrt werden.

5.1.9 Verhalten bei Unfall

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4.11 abgedeckt.

5.1.10 Hinweise für zukünftige Projekte

Die strategischen Überlegungen zur Bestimmung von Nuklidvektoren in der Kontamination der Kreisläufe sollten gleich zu Beginn des Rückbaus getroffen werden.

Zur Durchsetzung und Akzeptanz der für den Schutz vor Alphanukliden erforderlichen Maßnahmen ist es erforderlich, sämtliche „Instanzen“ und Organisationsstrukturen des Standortes für dieses Thema zu sensibilisieren.

Spezielle Unterweisungen für Alpha-Baustellen müssen auch mit praktischen Übungen regelmäßig für jeden dort Tätigen durchgeführt werden.

Wird eine Systemdekontamination durchgeführt, so ist darauf zu achten, dass sich die Nuklidverteilung in der Kontamination des Systems nicht in Richtung eines höheren Alpha-Anteils verschiebt. Der Beweis dafür ist vorher z.B. in Laborversuchen zu führen.

Die für den laufenden Anlagenbetrieb installierte Messkapazität an Gamma-Spektrometrie-Messgeräten reicht u.U. für den Rückbau nicht aus. Insbesondere wenn neben der erhöhten Anzahl an Probenauswertungen für die Nuklidvektor- oder Freigabefähigkeitsbestimmung, die Auswertung von Alpha-Aerosolfiltern mit dem Leitnuklid ^{241}Am erforderlich wird, sind Kapazitätsgrenzen und messtechnische Grenzen (Empfindlichkeit im niederenergetischen Gamma-Messbereich) schnell erreicht.

Im Rückbau ist grundsätzlich mit dem Auftreten von Alpha-Kontaminationen zu rechnen, so dass eine permanente Vorbereitung darauf notwendig ist. Zur Verfolgung der im Rahmen der Überwachung von Alpha-Baustellen anfallenden Daten ist eine Datenbank und eine entsprechende Datenpflege und Qualitätssicherung (Software und Personal) empfehlenswert.

Für die Durchführung der Inkorporationskontrolle ist die Aufstellung eines detaillierten Überwachungsprogramms erforderlich. Dabei ist insbesondere die Inkorporationsüberwachung auf Alphastrahler gesondert zu berücksichtigen. Hierzu können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Die Inkorporationsüberwachung über Stuhlproben ist eine sehr empfindliche Methode um die Inkorporationen von Alphastrahlern nachzuweisen und Schutzmaßnahmen zu kontrollieren. Dosisabschätzungen erfolgen entsprechend RiphyKo2 [8].
- Dekontamination und Zerlegung kontaminierter Anlagenteile sowie der Umgang mit radioaktivem Abfall können als Tätigkeiten mit hohem Inkorporationspotenzial eingestuft werden.
- Das Inkorporationsrisiko lässt sich durch regelmäßige Reinigungs- und Dekontaminationsmaßnahmen deutlich reduzieren.
- Die wichtigste Voraussetzung ist jedoch die Sensibilisierung der betroffenen Personen für die Inkorporationsproblematik durch eine intensive arbeitsplatzbezogene Unterweisung. Nur so können die getroffenen Maßnahmen effektiv umgesetzt werden.

5.2 Forschungsreaktoren

Bei Forschungsreaktoren mit Alphastrahlern oder Sondernukliden sind die Anforderungen bezüglich des Strahlenschutzes analog zu den KKW zu berücksichtigen. In diesem Kapitel sind nur Forschungsreaktoren ohne Sondernuklide und *ohne* Alphastrahler enthalten. Die Vorgehensweise wird am Beispiel eines TRIGA-Forschungsreaktors dargelegt.

5.2.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen

Falls keine vollständige Hersteller- und Errichterangaben über die Erfassung der anlagenspezifischen Randbedingungen vorhanden sind, ist es erforderlich Probennahmen mit chemischer und radiologischer Analyse durchzuführen. Zusätzlich können die spezifischen Aktivitäten und Dosisleistungen für die Komponenten berechnet werden.
Die nachstehende Tabelle fasst als Beispiel die entsprechenden Ergebnisse für einen TRIGA-Reaktor zusammen. Die radiologisch relevanten Nuklide sind in diesem Fall ^{60}Co in Metallen, ^{133}Ba im Beton, und ^{3}H im Graphit.
Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen am Beispiel verschiedener Komponenten an einem TRIGA-Reaktor

Tabelle 5.2.1-1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen am Beispiel verschiedener Komponenten an einem TRIGA-Reaktor

Nr.	Komponente	Material	Maximale spezifische Aktivität in [Bq/g]	Nuklid	Anteil in [%]	Maximale Dosisleistung an der Oberfläche in mSv/h	Maximale Dosisleistung in 1 m Abstand in µSv/h
1	Zentrales Bestrahlungs-rohr	Aluminium	2 E+05	^{55}Fe ^{60}Co ^{63}Ni ^{152}Eu	71 27 1 1	0,6	3
2	Schrauben und Stifte	Edelstahl	2 E+07	^{55}Fe ^{60}Co ^{63}Ni	23 62 15	600	200
3	Reflektor	Graphit	2 E+04	^{3}H ^{14}C ^{60}Co ^{152}Eu ^{154}Eu	65 11 6 16 2	10	900
4	Biologischer Schild	Barytbeton	1 E+03	^{3}H ^{55}Fe ^{60}Co ^{133}Ba ^{152}Eu ^{154}Eu	15 2 2 64 16 1	0,45	20
5	Armierung	Baustahl	3 E+03	^{55}Fe ^{60}Co ^{63}Ni	91 8 1	0,005	3

Zusätzlich ist es erforderlich, einen Dosisleistungs- und Kontaminationskataster für alle Räume und Anlagenteile zu erstellen. Hierfür ist ein Raumplan mit den entsprechenden Messpunkten und Messwerten geeignet.

5.2.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4.2 abgedeckt.

5.2.3 Strahlenschutzrichtwerte

Für die Stilllegung und den Abbau von Anlagenteilen eines TRIGA-Reaktors werden beispielsweise folgende interne Richtwerte festgelegt:

Personendosis	
Tagesrichtwert	0,2 mSv
Wochenrichtwert	0,5 mSv
Monatsrichtwert	2 mSv
Ortsdosisleistung (DL)	
DL < 25 µSv/h	Strahlenschutzmaßnahmen nicht erforderlich
25 µSv/h < DL < 100 µSv/h	Strahlenschutzmaßnahmen im Ermessen des SSB
DL > 100 µSv/h	Strahlenschutzmaßnahmen vorgeschrieben

5.2.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung

Alle vorbeugenden Strahlenschutzmaßnahmen sind in Kapitel 5.3.4 aufgeführt.
Die erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen an einem TRIGA-Reaktor in Abhängigkeit von der anzuwendenden Zerlegetechnik fasst die nachstehende Tabelle zusammen.
Tabelle 5.2.4-1 listet Strahlenschutzmaßnahmen für den Rückbau eines TRIGA-Reaktors auf.

Tabelle 5.2.4-1: Strahlenschutzmaßnahmen für den Rückbau eines TRIGA-Reaktors

Nr.	Material	Zerlege-Technik	Schutzmaßnahmen	Inkorporationsüber wachung
1	Aluminium, Edelstahl	Schneiden Sägen Flexen	Abbauzelt mit S-Filter (5 bis 10-facher Luftwechsel, gerichtete Luftströmung) Abschirmung, ggf. Fernhantierung	GKZ vorher/ nachher
2	Beton	Bohren Presslufthammer Sägen	Abbauzelt mit S-Filter (5 bis 10-facher Luftwechsel, gerichtete Luftströmung) Vollschutz mit Fremdluft (Arbeitsschutz)	U, GKZ vorher/ nachher
3	Baustahl	Schneiden Sägen Flexen	Örtliche Absaugung	U, GKZ vorher/ nachher

5.2.5 Kenntnisse, Unterweisungen

Für die Kenntnisse und Unterweisungen gilt Kapitel 4.5. Eine Einweisung im Strahlenschutz wird in jedem Fall vor Aufnahme der Tätigkeiten, vor speziellen Aufgaben und vor mit erhöhtem Inkorporationsrisiko verbundenen Tätigkeiten vom SSB durchgeführt. Ansonsten findet eine jährliche Wiederholung der Unterweisung statt. Die Strahlenschutzunterweisung wird durch die Vermittlung von Anlagenkenntnissen sowie Kenntnissen im Brandschutz und in der Arbeitssicherheit ergänzt.

5.2.6 Überwachungsmaßnahmen

Die Personenüberwachung wird im Wesentlichen entsprechend den bestehenden betrieblichen Regelungen durchgeführt. Für die Überwachung der Personendosis, der Personen auf Kontamination und Inkorporation und die Raumluftüberwachung gelten die Kapitel 4.6. Die Überwachungsmaßnahmen für die Zerlegung von Komponenten am Beispiel eines TRIGA-Reaktors sind in der Tabelle unter Punkt 5.1.4 mit angegeben.

5.2.7 Einteilung der Personengruppen

Bei einem TRIGA-Reaktor umfasst das Rückbaupersonal nur das Demontagepersonal und ggf. Fremdfirmen wegen der erforderlichen Fachkunde.
Zum rückbaubegleitenden Personal gehören das Personal für Strahlenschutz, Reststoffbehandlung und innerbetriebliche Transporte und das Betriebspersonal für den Restbetrieb.
Das sonstige Personal umfasst die Betriebsleitung, die Beauftragten für Anlagensicherung, Brandschutz und Arbeitssicherheit sowie den Transporteur für radioaktive Abfälle.

5.2.8 Ermittlung der Strahlenexposition

Die Strahlenexposition des Personals wird im Wesentlichen durch äußere Strahlenexposition verursacht. Bei Abbau und Zerlegung von Anlagenteilen, bei denen mit einer erhöhten Raumluftaktivität zu rechnen ist (z. B. Biologischer Schild), werden Maßnahmen zum Schutz des Personals (z. B. Tragen von Atemschutzmasken) ergriffen. Inkorporationen oberhalb der Interpretationsschwelle der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle sind daher nicht zu unterstellen.
Der Kollektivdosisbeitrag wird für jede Personenkategorie auf Basis der durchzuführenden Maßnahmen unter Berücksichtigung der gesamten Durchführungszeit und einer mittleren Dosisleistung an den Tätigkeitsorten ermittelt.

5.2.9 Dokumentation

An einem TRIGA-Reaktor erfolgt die Dokumentation der Inkorporationsdaten, der amtlichen und elektronischen Dosimeter, der Raumluftmessungen, der Dosisleistungsmessungen und der Kontaminationsmessungen in Form von Formblättern. Alle personenbezogenen Daten werden in einer Datenbank zusammengefasst.
Zusätzliche Angaben wie z. B. zur Ortsdosisleistung oder Oberflächenkontamination werden im Arbeitserlaubnisverfahren dokumentiert. Des Weiteren werden im Arbeitserlaubnisverfahren Nachweise zur Gewährleistung des Brandschutzes und der Arbeitssicherheit erfasst.

5.2.10 Verhalten bei Unfällen

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.2.11 Hinweise für zukünftige Projekte

- Für Forschungsreaktoren ohne Alpha-Kontamination oder andere Sondernuklide sind gegenüber dem Leistungsbetrieb der Anlage keine wesentlichen Änderungen bei den Strahlenschutzmaßnahmen und der Strahlenschutzüberwachung erforderlich.
- Zweckmäßig ist die Festlegung anlagenspezifischer Strahlenschutzrichtwerte.

5.3 Heiße Zellen

Heiße Zellen sind Anlagen mit stark abgeschirmten, dichten Gehäusen, in denen radioaktive Stoffe hoher Aktivität mit Hilfe von Manipulatoren fernbedient gehandhabt und dabei die Arbeitsvorgänge durch Bleiglasfenster beobachtet werden können, so dass für das Personal keine Gefahr besteht.

5.3.1 Erfassung anlagenspezifischer Randbedingungen

Erstellung eines Konzeptes zur Dekontamination:

- Arbeitsplan
- Strahlenschutzplan
- Überwachungs- und Messplan
- Strahlenschutzanweisung

5.3.2 Strahlenschutzvorsorgekonzept

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.3 Strahlenschutzrichtwerte

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.4 Vorbeugende Strahlenschutzmaßnahmen zur Inkorporationsvermeidung

Einteilung in Zonen (Farbwahl beispielhaft)

- Grün: Nicht kontaminationsgefährdete Räume (Kontrollbereich bis zur 1. inneren Schleuse)
- Gelb: Räume, in denen mit dem Auftreten von Kontaminationen gerechnet werden muss (Serviceraum, Keller)
- Innerhalb der gelben Zone besondere eingehauste Bereiche mit eigener Unterdruckhaltung (Zelte) und eigenen Zugangsschleusen
- Atemschutz und Schutzkleidung in Abhängigkeit von:
- Aktivitätskonzentration
- Art der Tätigkeit
- Festlegung der Schutzmaßnahmen im Arbeitserlaubnisschein
- Strahlenschutzkontrolle an den Übergangsstellen

Grüne Zone:

- Mindestens: Einwegkittel, Überschuhe, Stoffhandschuhe
- Bei kontaminationsträchtigen Arbeiten: wie unten

Gelbe Zone:

- Privatkleidung vollständig gegen Kontrollbereichskleidung tauschen (inkl. Unterwäsche und Socken)
- Unterzieh-Overall, Stoffhandschuhe, Sicherheitsschuhe
- Einweg-Overall darüber, Gummihandschuhe, Überschuhe
- Gummihandschuhe mit Ärmeln verkleben

- Vollmaske mit P3-Filter
- ggf. weitere Overalls für bestimmte Sondereinsätze
- Sonderregelungen für Vollschutzanzüge

5.3.5 Kenntnisse, Unterweisungen

Für die Kenntnisse und Unterweisungen gilt Kapitel 4.6. Aufgrund der Tätigkeiten in Heißen Zellen (Alpha-Thematik) sind hier die Empfehlungen aus Kapitel 5.1 und 5.2 ebenfalls zu beachten.
Eine Einweisung im Strahlenschutz wird in jedem Fall vor Aufnahme der Tätigkeiten, vor speziellen Aufgaben und vor mit erhöhtem Inkorporationsrisiko verbundenen Tätigkeiten vom SSB durchgeführt.
Ansonsten findet eine jährliche Wiederholung der Unterweisung statt. Die Strahlenschutzunterweisung wird durch die Vermittlung von Anlagenkenntnissen sowie Kenntnissen im Brandschutz und in der Arbeitssicherheit ergänzt.

5.3.6 Überwachungsmaßnahmen

- Immer voraus denken: Wo könnten Alphakontaminationen auftreten?
- Werkzeugkästen
- Gerüste
- Abfallfässer
- Altlasten
- Beim Öffnen von Systemen immer mit Flüssigkeitsaustritt rechnen
- Zelte bauen, Schleusen einrichten
- Geeignetes Werkzeug (funkensicher, korrosionsbeständig)
- Immer auf äußerste Reinheit achten (putzen, putzen, putzen)
- Putzmittel kontrollieren (Wassersauger)
- Motivation des Personals

Ausscheidungsanalysen Stuhlproben:

- Stuhlproben
- Lungenmessung falls Ausscheidung > 50 mBq/d
- Sondermessprogramm (GKZ, Urin, mehrfache Stuhlproben) bei Verdacht auf Inkorporation (Unfall, Verletzung, Fehler beim Atemschutztragen, etc.)
- Kontrollmessung nach 14 Tagen bei neuen Mitarbeitern (Einarbeitungskontrolle)
- Falls Messwert > EKG spätestens nach 14 Tagen Folgeprobe, so lange bis Untersuchungsergebnis < EKG
- Auswertung auf Pu- und Cm-Isotope nur, wenn ^{241}Am> 1 mBq/d

5.3.7 Einteilung in Personengruppen

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.8 Kriterien für Atemschutz und Schutzkleidung

Tabelle 5.3.8-1: Kriterien für Atemschutz und Schutzkleidung

Messwert	Maßnahme
< 0,0017 Bq/m³	ohne Maske, Halbmaske mit P3 – Filter
0,0017 - 0,057 Bq/m³	Vollmaske mit P3 – Filter
> 0,057 Bq/m³	Vollmaske mit Fremdluftversorgung und P3 – Filter
< 0,05 Bq/cm²	Einweg – Kittel
- 0,5 Bq/cm²	Mehrweg-Overall / Einweg-Anzug
> 0,5 Bq/cm²	Pedi Donald (max. 30 Min) oder Pedi Mars (max. 2 Std.)

Bei Vollschutz
Ankleiden mit Hilfe einer zweiten Person (Kollege), die hilft, abklebt und kontrolliert

Auskleiden stufenweise
1. Schicht beim Verlassen des Zeltes (z. B. Pedi - Anzug)
2. Schicht beim Verlassen z. B. des Kontrollbereichs (Überzieh-Overall, Überschuhe, Gummihandschuhe), Kontaminationskontrolle durch Strahlenschutz, insbesondere Atemschutzmaske, Kopfbereich und Hände, festgestellte Kontaminationen fixieren oder entfernen
Vor der Schleuse zum Bedienraum (Zone Grün) Rest ausziehen, Atemschutzmaske zum Schluss.
In Unterwäsche (mit Bademantel) durch Kontrollbereichsmonitor und Hände waschen.

- Masken - Dichtsitzprüfung
- Abkleben der Verbindungsstellen
- Fixieren der Kontamination (Fixierspray)
- Kontrolle der Maskenkontamination
- Strahlenschutz - Assistenz beim Ablegen der jeweiligen Schutzkleidungsschicht
- Kontrollbereichspförtner zur Kontrolle der AE- Berechtigung, Dosiserfassung, Kontrolle von Händewaschen etc.
- Atemschutzmasken mit Filter zusätzlich unter Pedi-Mars
- Filter unmittelbar vor Atemmaskenanschluss

5.3.9 Ermittlung der Strahlenexposition

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.10 Dokumentation

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.11 Verhalten bei Unfällen

Die fallspezifischen Betrachtungen zu diesem Abschnitt sind mit den umfassenden Darstellungen in Kapitel 4 abgedeckt.

5.3.12 Hinweise für zukünftige Projekte

Unter Atemschutz (Vollmaske) wird nahezu nicht inkorporiert (Maskendichtsitzprüfung nach Einsatz) außer bei Vor- oder Unfällen.
Eine Inkorporationsmöglichkeit besteht beim Ablegen kontaminierter Schutzkleidung, insbesondere beim Hineindrücken der Kleidung in Behälter, wenn dabei kein Atemschutz getragen wird.
Ein Zusammenhang zwischen der mittleren gemessenen Luftaktivität und der Höhe der Inkorporationen wurde *nicht* festgestellt (Kurzzeiteffekt, nicht stationäre Zustände bei Arbeiten).
Ein Ingestionsanteil kann nur durch mehrere aufeinander folgende Proben festgestellt werden.
Es gibt Personen, die für Arbeiten mit Alphakontaminationen ungeeignet sind.

6. Anforderungen an die Messstellen

6.1 Kernkraftwerke

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (Kernkraftwerke, Heiße-Zellen-Anlagen), die mit Transuranen (Am-, Pu-, Cm-Isotopen) kontaminiert sind, ergibt sich die Notwendigkeit einer Inkorporationsüberwachung auf Alphastrahler. Die Überwachung kann durch die Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz und/oder durch die Bestimmung der Aktivität in den Körperausscheidungen (Urin oder Stuhl) erfolgen und sollte in einem Überwachungskonzept genau geregelt werden. Die erforderliche Art der Inkorporationsüberwachung sowie die Häufigkeit der Messungen werden im Allgemeinen von der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde festgelegt sowie gegebenenfalls mit dem Gutachter abgestimmt.
Zur Erstellung dieser Überwachungskonzepte ist spezielles Know-how erforderlich, das in der Regel für den Normalbetrieb von Kernkraftwerken nicht benötigt wird. So fließen z.B. Annahmen zur Empfindlichkeit der Nachweismethode für die nachzuweisenden Radionuklide, Vorgaben zur Interpretation der Untersuchungsergebnisse, Überlegungen zur Anzahl der nötigen Ausscheidungsanalysen bei normalen Betriebsbedingungen und bei Störungen, die daraus resultierenden Analysenzeiten sowie Analysenkosten usw. mit ein.

In der Richtlinie für die Inkorporationsüberwachung [8] werden Anforderungen an Messstellen und an die angewandten Analysen- und Messverfahren gestellt. Diese sind von einer Messstelle zu beachten und zu erfüllen. In den Unterpunkten werden folgende Punkte explizit angesprochen:

- Aufgaben der Messstellen (Messungen, Dosisberechnungen, Meldungen)
- Anforderungen an die Ausstattung und das Personal
- Anforderungen an Analysen- und Messverfahren (Selektivität, Nachweisgrenze, Genauigkeit und Repräsentativität)
- Qualitätssicherung von Überwachungsverfahren (Eigenkontrolle und Ringversuche)

Neben diesen in der Richtlinie für die Inkorporationsüberwachung definierten Anforderungen sind aus Sicht eines Rückbauverantwortlichen nachfolgend beschriebenen Anforderungen an eine in-vitro Messstelle ebenso wichtig.

- Fachliche Kompetenz bei Überwachungskonzepten:
  Neben fachlicher Kompetenz ist vor allem die Erfahrung einer Messstelle auf dem Gebiet der unterschiedlichen Überwachungsverfahren wichtig. Die erfahrene Messstelle kann dem Rückbauverantwortlichen dabei helfen, ein Überwachungskonzept zu entwickeln, das auf die individuellen Anlagengegebenheiten und –erfordernisse zugeschnitten ist.

- Qualifikation der Messstelle (Anerkennung gemäß § 41 Abs. 6 StrlSchV; [2]):
  Eine durch die zuständige Behörde bestimmte Inkorporationsmessstelle muss die in der Richtlinie für die Inkorporationsüberwachung (RiPhyko 2) [8] festgelegten Anforderungen an Messstellen sowie an Analyse- und Messverfahren erfüllen.
  Die Messstelle hat ihre E5ignung ständig aufrechtzuerhalten und muss durch Teilnahme an den Maßnahmen zur Qualitätssicherung wie Durchführung von Eigenkontrollen sowie Teilnahme an Ringversuchen der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) nachweisen.
- Analysenzeiten und Probendurchsatz:
  Um auftretende Inkorporationen schnell erkennen, geeignete Gegenmaßnahmen unverzüglich einleiten und somit unnötige Folgeinkorporationen vermeiden zu können, ist eine schnelle und zuverlässige Analyse der gesammelten Ausscheidungsproben unverzichtbar. Gemäß RiPhyKo 2 [8] sollen die Analysenergebnisse innerhalb von 4 Wochen nach dem Eingang der Proben bei der Messstelle vorliegen. Um einen möglichst effektiven Strahlenschutz durchführen zu können, gehen die Anforderungen der Kunden und zunehmend auch die der Behörden in Richtung deutlich kürzerer Analysenzeiten. Es hat sich in vielen Fällen eine Zeitvorgabe von etwa zwei bis drei Wochen für Routineproben und von einer bis zwei Wochen für Verdachtsanalysen etabliert. Ferner wird von der Messstelle erwartet, dass sie jederzeit ausreichende Reserve-Messkapazitäten zur Verfügung hat, um in Sonderfällen (z. B. bei auftretenden Störfällen), die eine größere Anzahl von Ausscheidungsproben erforderlich machen können, eine schnelle und zuverlässige Analyse dieser Proben gewährleisten zu können.
- Flexibilität bei der Analyse, Kosten, Größe der Messstelle:
  In der Regel kann man beim Rückbau kerntechnischer Anlagen von einem Alpha-Nuklidvektor mit einem dosisrelevanten Leitnuklid (^{241}Am oder $^{243/244}$Cm) ausgehen, d.h. es ist ein dominierendes Radionuklid vorhanden, an dem sich die einzelnen Strahlenschutzkontrollmaßnahmen orientieren. Die Inkorporationsüberwachung ist auf dieses Leitnuklid abzustimmen. In Sonderfällen sollte auch die Aktivität weiterer dosisrelevanter Nuklide (z.B. ^{238}Pu und $^{239/240}$Pu ggf. auch ^{241}Pu) bestimmt werden (z.B. Dosisbeitrag > 1 mSv).
  Die zu analysierende Proben können je nach Anforderung zahlenmäßig schwanken. Hier ist mit der Messstelle eine rechtzeitige Absprache zu treffen, in wie weit die Messstelle flexibel auf eine erhöhte Probenzahl reagieren und darüber hinaus ein möglichst breites analytisches Spektrum abdecken kann.
- Mitarbeit in Fachgremien
  Für die Messstellen ist die Mitarbeit in den spezifischen Fachgremien von elementarer Bedeutung, da dort die entsprechenden Richtlinien und Empfehlungen erarbeitet werden. Nur durch aktive Mitwirkung in diesen Gremien haben Messstellen die Möglichkeit, ihre speziellen Erfahrungen und ihr Know-how mit einfließen zu lassen, so dass Regelwerke entstehen, die sich zum Nutzen späterer Anwender an der Praxis orientieren. Darüber hinaus stellen diese Fachgremien auch eine wichtige Plattform für den Erfahrungsaustausch und Diskussion mit anderen Messstellen sowie mit behördlichen Stellen dar.

Wichtiger Hinweis zur Bewertung von Inkorporationsdaten

Unabhängig davon, ob die Radioaktivitätszufuhr durch Ingestion oder Inhalation erfolgte, sollte die Dosisberechnung durch die Messstelle konservativ auf der Annahme einer Zufuhr durch Inhalation durchgeführt werden. Erst bei eindeutigen Hinweisen auf Ingestion sollte eine entsprechende Betrachtung erfolgen, siehe dazu die Empfehlungen aus Kapitel 5.1.7.

Als Sonderfall ist die direkte Zufuhr über eine Wunde zu betrachten, da hierbei die Dosis für Alphastrahler auch durch geringe Zufuhren schnell den Grenzwert erreichen und überschreiten kann. Neben den Messstellen ist dann auch der ermächtigte Arzt einzubeziehen. Eine konzeptionelle Vorbereitung auf diesen Fall sollte im Vorfeld erfolgen, um notwendigen Maßnahmen sinnvoll abstimmen zu können. Auch hier ist neben den regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ) der Berufsgenossenschaft die Messstelle ein kompetenter Ansprechpartner.

6.2 Forschungsreaktoren

Im Gegensatz zu Kernkraftwerken sind in den einzelnen Forschungsreaktoren, je nach Konzeption und Aufgabenstellung, ganz unterschiedliche Nuklidvektoren anzutreffen. Daraus resultieren unterschiedliche Leitnuklide für die Inkorporationsüberwachung im Routinebetrieb bzw. während der Rückbauphase. Im Rahmen dieser Empfehlung kann aufgrund der Vielfältigkeit nicht auf die unterschiedlichen Bedingungen in den verschiedenartigen Forschungsreaktoren eingegangen werden. Das jeweilige Überwachungskonzept und die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Messstelle müssen im Einzelnen und fallspezifisch geklärt werden. Im Bedarfsfall steht hierfür als Ansprechpartner die "Leitstelle für die Inkorporationsüberwachung" des BfS (siehe Kapitel 9) zur Verfügung.

7. Fallbeispiele

7.1 „Befund“ bei der Routineüberwachung

Szenario

Rückbau einer kerntechnischen Anlage, bei der aufgrund des Nuklidvektors die „Alpha-Problematik“ gegeben ist. Die Schutzmaßnahmen sind in Anhängigkeit von der Tätigkeit und des Aktivitätsumganges gestaffelt.

Die Inkorporationsüberwachung erfolgt durch die Raumluftüberwachung und durch stichprobenartige Ausscheidungsanalysen (Stuhlanalysen). Die Analyse der Ausscheidungsproben (Stuhl und Urin) weisen im Normalfall keinen „Befund“ auf, d.h. es können in der Probe keine Radionuklide nachgewiesen werden oder anders ausgedrückt, die Aktivität der untersuchten Radionuklide ist kleiner als die Nachweis- bzw. Erkennungsgrenze (z. B. 1 mBq/d bzw. 0,6°mBq/d für die meisten Aktiniden).

Bei Proben mit „Befund“ müssen als Konsequenz gezielte Maßnahmen ergriffen werden. Dies sind Recherchen bezüglich der vorangegangenen Tätigkeit der betroffenen Person, des möglichen Inkorporationsherganges und Klärung der Frage, ob andere Personen ebenfalls betroffen sind. Ferner ist besonders bei höheren Befunden (z.B. > 20 mBq/d für Alpha-Strahler) eine zeitnahe Folgeprobenahme wichtig, um die abzuleitenden Inkorporationsberechnungen möglichst realistisch durchführen zu können. In den nachfolgenden Beispielen werden nach fiktiv angenommenen Befunden Standardberechnungen gemäß „Referenzverfahrens“ nach RiPhyKo 2 [8] durchgeführt.

7.1.1 Berechnung der effektiven Dosis E und Äquivalentdosis H_T (Referenzverfahren)

$$E = \frac{e*m}{E_S(\Delta t)} \qquad H_T = \frac{h_T*m}{E_S(\Delta t)}$$

mit den Bezeichnungen:

E	effektive Dosis in Sv
e	Dosiskoeffizient für die effektive Dosis in Sv/Bq
H_T	Äquivalentdosis im Organ oder Gewebe T in Sv
h_T	Dosiskoeffizient für das Organ oder Gewebe T in Sv/Bq
m	Wert der 24-h-Ausscheidung in Bq/d
$E_{S(t)}$	Ausscheidungsrate für Stuhl am Tag t nach einer einmaligen Inhalation von 1 Bq
Δt	Δt die halbe Dauer des Überwachungsintervalls in Tagen (nach Referenzverfahren)

7.1.2 Fallbeispiel 1

Messwert in Stuhl:	m=1,0E-02 Bq/d
Nuklid:	^{241}Am (Absorptionsklasse M, 5µm AMAD)
Überwachungsintervall:	4 Wochen , Δt=30 d
Inkorporationspfad:	einmalige Inhalation
Mitte des Überwachungsintervalls:	Δt=15 d
Ausscheidungsrate:	$E_s(\Delta t)$= 4,2E-04 Bq*d^{-1}/Bq
Dosiskoeffizient der effektiven Dosis:	e= 2,7E-05 Sv/Bq
Dosiskoeffizient für das Organ:	h_T=1,1E-03 Sv/Bq (Organ: Knochenoberfläche)

Es ergibt sich unter den obengenannten Angaben:

- Zufuhr Z= 23,8 Bq
- effektive Dosis E= 0,64 mSv
- Organdosis H_T= 26,2 mSv (Knochenoberfläche, Grenzwert: 300 mSv)

7.1.3 Fallbeispiel 2

Messwert in Stuhl:	m=2,0E-02 Bq/d
Nuklid:	^{241}Am (Absorptionsklasse M, 5µm AMAD)
Überwachungsintervall:	10 Wochen , Δt=70 d
Inkorporationspfad:	einmalige Inhalation
Mitte des Überwachungsintervalls:	Δt=35 d
Ausscheidungsrate:	$E_s(\Delta t)$= 2,4E-04 Bq*d^{-1}/Bq
Dosiskoeffizient der effektiven Dosis:	e= 2,7E-05 Sv/Bq
Dosiskoeffizient für das Organ:	h_T=1,1E-03 Sv/Bq (Organ: Knochenoberfläche)

Es ergibt sich unter den obengenannten Angaben:

- Zufuhr Z= 83,3 Bq
- effektive Dosis *E*= 2,3 mSv
- Organdosis H_T= 91,6 mSv (Knochenoberfläche, Grenzwert: 300 mSv)
  30,5% des Grenzwertes von 300 mSv

  => **meldepflichtiges Überwachungsergebnis!**

Die Nachforschungsschwelle gilt als überschritten, wenn die ermittelte Körperdosis die effektive Folgedosis von 6 mSv oder 30 % der grenzwertbestimmenden Organdosis überschreitet.
Grenzwertbestimmende Organ bei ^{241}Am ist die Knochenoberfläche (30% ≡ 90 mSv)

Die im Fallbeispiel 2 erhaltenen Ergebnisse machen eine möglichst zeitnahe Folgeüberwachung unbedingt erforderlich, um über die Folgeausscheidung den Inkorporationszeitpunkt genauer bestimmen zu können. In der Regel führt dies zu niedrigeren Werten, da auch Ingestionen, die einen deutlich geringeren Dosisbeitrag liefern als konservativ angenommene Inhalationen, als solche deutlich besser erkannt werden können.

In solchen Fällen ist ein gutes Zusammenspiel zwischen Messstelle und Strahlenschutzverantwortlichen vor-Ort besonders wichtig. Siehe dazu auch die Ausführungen in Kapitel 5.1.6 Überwachungsmaßnahmen und 5.1.7 Ermittlung der Strahlenexposition sowie 6 Anforderungen an die Messstellen.

7.2 Wundkontaminationen und daraus abzuleitende vorsorgliche Vorgehenskonzepte

Vorbemerkung

Bei der Möglichkeit einer akzidentellen Radionuklidkontamination bzw. Inkorporation, besonders bei möglicher Anwesenheit von Transuranen, sind im Rahmen der Vorsorgeplanung die gefährdenden Örtlichkeiten bzw. Tätigkeiten im Sinne der *Gefährdungsanalyse* nach Arbeitsschutzgesetz zu erfassen und zu dokumentieren.

Ebenfalls im Sinne der Planung sind schriftliche *Ablaufprotokolle* zur Dokumentation der Unfallgeschehensabläufe sowie zur Vorgehensweise hinsichtlich einzubeziehender Personengruppen und Maßnahmen zu erstellen.

Vor Ort ergibt sich der aktuelle Verdacht auf eine akzidentelle Inkorporation aus regelmäßig durchgeführten Ausscheidungsanalysen, Kontaminationskontrollen oder der Raumluftmessung. Grundsätzlich ist eine *Zwischenfallanamnese* seitens der betroffenen Person, möglichst auch der verantwortlichen Strahlenschützer bzw. Strahlenschutzbeauftragten vor Ort, zu erheben.

Über Ausmaß und mögliche weitere diagnostische und therapeutische Erfordernisse ergibt weiteren Aufschluss *die Kontaminationsmessung der Körperoberfläche* bzw. *der Wunde. Ausscheidungsanalysen*, bei offenen Wunden in erster Linie die Untersuchung zumindest eines 24-Stunden-Urins auf Transurane, sind grundsätzlich zum Ausschluss bzw. bei positivem Befund für weitergehende Maßnahmen erforderlich. Die ausgemessenen Befunde und ggf. weitergehenden diagnostischen und/oder therapeutischen Maßnahmen sind auf einem vorgefertigten *Standardprotokoll* festzuhalten.

Die Wundmessung an sich besteht aus mehreren Messungen mit unterschiedlichen Messgeräten:

1. Flächenkontaminationsmessung der Wundumgebung und übrigen Körperoberfläche z. B. mittels Contamat – zur Erfassung der β- und γ- bzw. α-Aktivität pro Flächeneinheit.
2. Ausmessung der Wundumgebung mit gut abgeschirmtem und dadurch empfindlichem, gleichzeitig aber relativ plumpem Szintillationszähler, Erfassung auch geringerer α-Aktivitätshöhen, allerdings ohne Erkennung des kontaminierten Bereichs der Wunde.

Szintillationszähler als Wundmesssonde mit einer relativ kleinräumigen Geometrie (z. B. minimaler Durchmesser einer Wundmesssonde 3 mm) – Möglichkeit der Erfassung von α-Aktivität im Wundbettbereich, allerdings geringe Empfindlichkeit wegen fehlender Abschirmung, untere Nachweisgrenze derzeit bei ca. 100 Bq ^{239}Pu. Allerdings Einsatzmöglichkeit in der medizinischen Akutsituation, Wundreinigung bzw. Chirurgie.

7.2.1 Fallbeispiel 3

Bei Arbeiten an der Fasspresse in der Verschrottungsanlage der Dekontaminationsbetriebe verkeilte sich ein Fasspressling am Pressenauswurf. Beim Entfernen des Materials von Hand rutschte der Mitarbeiter ab und zog sich an der Fasskante eine kleine Schnittwunde an der Oberseite des Ringfingers zu – trotz Tragens von Arbeitsschutzhandschuhen.

Vor Ort wurde im Bereich der Verletzung eine α-Kontamination in Höhe von einigen mBq/cm² festgestellt. Die sofortige Vorstellung in der medizinischen Abteilung ergab mit den verschiedenen Messgeräten übereinstimmend eine Wundkontamination in Höhe 200-300 Bq ^{239}Pu, was zu mehrfachen Wundspülungen und zur Wundrandexzision durch den zugezogenen chirurgischen D-Arzt führte.

Nach dieser Maßnahme konnte mit der Wundmesssonde keine Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze mehr festgestellt werden. Nach der Wundrandexzision wurde zusätzlich eine Kurzinfusion mit Kalzium-DTPA 1 g verabreicht. Das exzidierte Gewebe, die nächsten drei 24-Stunden-Urinmengen sowie eine Blutprobe von ca. 200 ml, entnommen am nicht verletzten Arm, wurden zur radiochemischen Aufarbeitung und α-Spektrometrie abgegeben. Im exzidierten Gewebe wurde eine Gesamt-Alphaaktivität von 32,5 Bq gefunden und die Anteile der jeweiligen Radionuklide der Pu-Isotope und ^{241}Am bestimmt – entscheidender Hinweis auf die primäre Zusammensetzung der Wundkontaminanten.

Die Urinausscheidung ging nach der einmaligen DTPA-Therapie innerhalb von 3 Tagen auf ca. 10 % und innerhalb von 4 Wochen auf ca. 2 % zurück, was Aufschluss über die Ausscheidungsintensivierung durch DTPA im vorliegenden Fall gibt.
Auf Grund einer zwei Wochen nach Wundexzision immer noch positiven Blutprobe, wurde drei Wochen nach dem Zwischenfall die Wunde durch einen stark abgeschirmten für ^{241}Am

besonders empfindlichen Teilkörpermessplatz nachgemessen und zusätzlich in Leber und Skelett nach vorhandenen Depots geschaut.
Im Bereich der Wunde zeigte sich eine Rest-Americiumaktivität von 12,2 Bq, in der Leber von 8,4 Bq.

Maßnahmen

- Vor Ort: Kontamination im Bereich der Verletzung: 0,024 Bq/cm² α- Aktivität
- Vorstellung Medizinische Abteilung innerhalb 30 min
- Ausmessung mit Contamat, Großflächen-Szintillationszähler und Wundmesssonden
- Mehrfach Wundspülungen und Nachmessungen
- Wundexzision (Zuziehung des diensthabenden Arztes), Nachmessung und Gewebeasservierung zur Inkorporationsmessung
- Blutproben:
    - Ausschluss von Kontraindikation für DTPA-Infusion
    - Probe zur Inkorporationsmessung
- Veranlassen von 3 x 24-Std.-Urinproben
- Kurzinfusion Ca-DTPA 1 g

Messungen im Wundbereich

Tabelle 7.2.1-1 Messergebnisse ^{239}Pu und ^{241}Am *im Wundbereich Fallbeispiel 3*

Zeitpunkt, Situation	Contamat [Bq]		Szintillations-Messung in [Bq]		Wundmessung in [Bq]
	ß+γ	α	^{239}Pu	^{241}Am	^{239}Pu
Nullrate	0,17	0,000	0,816	4,68	-
vor erster Wundspülung	0,006	0,111	2,910	4,78	259
nach Wundspülung	0,000	0,082			~200
nach Exzision und Spülung			2,200	4,80	<NWG

Die in vivo und in vitro gemessenen Befunde wurden mit Standardkurven nach ICRP 78 [9] für Injektion und damit hohe Dosiskoeffizienten abgeglichen. Sie führten unter Festsetzung unterschiedlicher Löslichkeitsfraktionen des Kontaminationsgemisches sowie Berücksichtigung der Anteile der einzelnen Nuklide im Gewebeexzidat zu folgender Abschätzung der Folgeäquivalentdosis: Effektivdosis 59 mSv, Knochenoberflächendosis 2100 mSv.
Somit ergaben sich sowohl für die Effektivdosis als auch die Knochenoberflächendosis grenzwertüberschreitende Werte.
Wegen des zum Zeitpunkt der Teilkörpermessung nur noch insgesamt geringen und überwiegend schlecht löslichen Aktivitätsanteils waren weitere therapeutische Maßnahmen sowohl im Sinne einer nochmaligen Wundexzision als auch im Sinne von DTPA-Infusionen nicht mehr gerechtfertigt.

Probenergebnisse (in vitro)

Tabelle 7.2.1-2: Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu und ^{241}Am Gewebe, Urin und Blut Fallbeispiel 3

Material	Menge	Datum	^{238}Pu		^{239}Pu		^{241}Am	
Exzid. Gewebe	61 mg	1. Tag	13,3 Bq	41 %	10,2 Bq	31 %	9,02 Bq	28 %
Blut 1 Extrapol	110 g 5200 g	1. Tag	0,8 mBq 37,8 mBq	34 %	0,79 mBq 37,4 mBq	34 %	0,76 mBq 35,8 mBq	32 %
Blut 2 Extrapol	297 g 5200 g	15.Tag	9,98 mBq 175 mBq		9,81 mBq 172 mBq		< 0,5 mBq < 9 mBq	
Urin 1 (DTPA !)	1200 ml	1.-2. Tag	546 mBq		429 mBq		1860 mBq	
Urin 2	1080 ml	4. Tag	57 mBq		51,7 mBq		90,5 mBq	
Urin 3	2000 ml	30. Tag	11,9 mBq		10,1 mBq		15,3 mBq	

Wundkontamination

Tabelle 7.2.1-3: Messergebnisse von ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 3

Messdatum	^{241}Am-Teilkörperaktivität in [Bq]		
	Wunddepot	Leber	Skelett (Patella)
27. Tag	12,2 ± 2,5	8,4 ± 5,4	
34. Tag	11,4 ± 2,5	8,6 ± 5,4	
49. Tag	10,7 ± 2,5	8,5 ± 5,4	< 25

Tabelle 7.2.1-4: Dosiskoeffizienten nach ICRP 119 [10]

Radio-nuklid	Dosiskoeffizienten für Injektion		Dosiskoeffizienten für Inhalation (Absorptionsklasse M, 5 µm AMAD)	
	Effektive Dosis [Sv/Bq]	Teilkörperdosis* [Sv/Bq]	Effektivdosis [Sv/Bq]	Teilkörperdosis* [Sv/Bq]
^{238}Pu	4,5 E-04	1,5 E-02	3,0 E-05	9,1E-04
^{239}Pu	5,0 E-04	1,7 E-02	3,2 E-05	1,0E-03
^{241}Pu	9,5 E-06	3,3 E-04	5,8 E-07	2,0E-05
^{241}Am	4,0 E-04	1,8 E-02	2,7 E-05	1,1E-03

**Organ: Knochenoberfläche*

Dosisberechnung der Wundkontamination

Tabelle 7.2.1-5: Ergebnisse der Dosisberechnung auf Basis der Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Pu und ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 3

Radionuklid	Aktivitätszufuhr* [Bq]	Folgedosis	
		Effektive Dosis [mSv]	Teilkörperdosis [mSv] (Organ: Knochenoberfläche)
^{238}Pu	37,8	17,0	567
^{239}Pu	29,1	14,4	486
^{241}Pu	1670	15,9	554
^{241}Am	28,1	11,3	514
Gesamt		59	2100

** Fraktion F und S dosisrelevant*

7.2.2 Fallbeispiel 4

In einem grundsätzlich α-kontaminationsgefährdeten Bereich wurde nach Montagearbeiten eine Bürste an einem Elektrowerkzeug ausgewechselt, in der Folge wurde eine nicht abwaschbare β-Restkontamination an der linken Hand, ohne Hinweis auf eine Verletzung festgestellt.

Die sofortige Vorstellung in der medizinischen Abteilung ließ ebenfalls keine Wunde erkennen, bei der Befragung gab der Mitarbeiter jedoch an, während des Arbeitsablaufs einen kleinen Stich empfunden zu haben. Wegen dieser Anamnese und der auch nach Dekontamination vorhandenen β-Restaktivität stellte sich der Mitarbeiter am Folgetag nochmals vor, jetzt ließ sich eine winzige Stichverletzung mit zentraler Entzündung erkennen.

Mit dem Großflächen-Szintillationszähler ließ sich zwar eine Kontamination oberhalb des Nullwertes feststellen, die Nachweisgrenze der Wundmesssonden blieb aber unterschritten. Ein kleines Schmutzpartikel wurde entfernt und eine 24-Stunden-Urinprobe untersucht.

Auf Grund des für Transurane positiven Urins kam es zur sekundären Teilkörpermessung auf Am-241, daraufhin zur Wundexzision und einmaligen DTPA-Infusion. Das Wunddepot ergab eine Americium-Aktivität vor Exzision von 23 Bq, nach Exzision von 4 Bq.
Bei weiteren Messungen fiel das Depot nur noch geringfügig ab. In Leber und Skelett konnte keine Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen werden.

Im Gewebeexzidat ergab sich für Pu-α ein Anteil von 77 %, für Americium von 23 %. Daraus errechneten sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Löslichkeitsfraktionen und Berechnung des Pu-241-β-Anteils eine Folgeäquivalentdosis von 14,6 und eine Knochenoberflächendosis von 521 mSv. In diesem Fall ist lediglich der Grenzwert der Knochenoberflächendosis überschritten.

Maßnahmen

- Vor Ort: Kontamination im Bereich des linken Daumenballens mit ß-Aktivität
- Vorstellung Medizinische Abteilung nach 45 min
- Ausmessung mit Contamat, nach 2 x Dekontamination noch geringe ß-Restaktivität an linker Innenhand
- Wiedervorstellung am Folgetag: jetzt winzige entzündete Stichverletzung erkennbar!
- Nachmessung mit Contamat, Großflächen-Szintillationszähler und Wundsonden
- Fremdkörperentfernung – Schmutzpartikel
- 1 x 24 Stunden Urinsammlung
- Nach positivem Urinbefund
  zusätzlich Teilkörpermessung auf ^{241}Am, sekundäre Wundexzision und 1 g Ca-DTPA

Messungen im Wundbereich

Tabelle 7.2.2-1: Messergebnisse ^{239}Pu und ^{241}Am im Wundbereich Fallbeispiel 4

Zeitpunkt, Situation	Contamat in [Bq]		Szintillations-Messung in [Bq]		Wundmessung in [Bq]
	ß+γ	α	^{239}Pu	^{241}Am	^{239}Pu
Nullrate	0,157	0,006	0,900	4,46	< NWG
Messung 1	0,601	0,014	7,06	10,7	< NWG
Messung 2	0,517	0,000	8,18	10,9	< NWG

Probenergebnisse (in vitro)

Tabelle 7.2.2-2: Messergebnisse in Urin Fallbeispiel 4

Material	Menge	Datum	^{238}Pu		^{239}Pu		^{241}Am	
Urin 1 (ohne DTPA)	1250 ml	2. Tag	2,67 mBq	35 %	1,41 mBq	18 %	3,61 mBq	47 %
Urin 2 max. nach Exzision und DTPA	1100 ml	8. Tag	313 mBq		111 mBq		136 mBq	
Gewebeexzidat	43 mg	6.Tag	22,9 Bq	57 %	8,2 Bq	20 %	9,4 Bq	23 %

Wundkontamination

Tabelle 7.2.2-3: Messergebnisse ^{241}Am in Wunddepot und Leber Fallbeispiel 4

Messdatum	^{241}Am-Teilkörperaktivität in [Bq]	
	Wunddepot	Leber
6. Tag vor Exzision	23 ± 5	-
6. Tag nach Exzision	4,0 ±1,5	< 6,2
15. Tag	2,3 ±1,0	< 5,3
22. Tag	2,8 ± 1,0	< 5,8

Dosisberechnung der Wundkontamination

Tabelle 7.2.2-4: Ergebnisse der Dosisberechnung auf Basis der Messergebnisse ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Pu und ^{241}Am der Wundkontamination Fallbeispiel 4

Radionuklid	Aktivitätszufuhr* [Bq]	Folgedosis	
		Effektive Dosis [mSv]	Teilkörperdosis (Organ: Knochenoberfläche) [mSv]
^{238}Pu	12,2	5,5	183
^{239}Pu	4,3	2,1	72
^{241}Pu	528	5,0	175
^{241}Am	5,0	2,0	91
Gesamt		14,6	521

** Fraktion F und S dosisrelevant*

7.2.3 Konsequenzen aus den beiden genannten Fällen

1. Bei nach Gefährdungsanalyse möglicher α-Kontaminationsgefahr ist bei jeder noch so kleinen Verletzung Nachweis oder Ausschluss einer Wundkontamination zu führen. Messtechnisch sind dazu α-, β- und γ-Aktivität differenzierende Kontaminationsmonitore
2. (z. B. Contamat) sowie α-Wundmesseinrichtungen erforderlich, die die relevanten Nuklide an Hand des Aktivitätsspektrums zumindest verdachtsweise nachweisen können.
3. Unabhängig vom negativen oder positiven Ergebnis einer Wundmessung ist grundsätzlich eine sofortige 24-Stunden-Urinprobe zu sammeln und über eine Inkorporationsmessstelle eine Akutanalyse bezüglich der relevanten α-Nuklide zu veranlassen. Da das Ergebnis der Urinuntersuchung nach Eingang der Probe erst eine Woche später vorliegt, sind bei positivem Wundmessergebnis sofortige therapeutische Maßnahmen erforderlich:
   - Wundspülung, ggf. Wundrandexzision unter unbedingter Schonung von Funktionsgewebe.
   - Nach Ausschluss von Kontraindikationen (Blutbild, Nierenfunktion, Leberfunktion) je nach Höhe, Kalzium-DTPA-Kurzinfusion à 1 g an einem bis drei aufeinander folgenden Tagen.
4. Bei widersprüchlichen Messbefunden, bei nach Wundrandexzision nicht mehr messbarem Kontaminationsrest in der Wunde sowie bei positiven Urin- und/oder Blutausscheidungsanalysen, sollte weniger aus therapeutischen als mehr aus Dosisabschätzgründen, eine zusätzliche Untersuchung mit einem optimal abgeschirmten In-vivo-Teilkörpermessgerät durchgeführt werden. Damit können unter optimalen Bedingungen noch Americium-Aktivitäten in Höhe von minimal 1-3 Bq nachgewiesen werden.
   Zusätzliche therapeutische Überlegungen könnten sich ergeben, falls die Dosisabschätzwerte eine Effektivdosis von 200 mSv überschreiten (Empfehlung von EULEP-TAIR zur Dekorporationstherapie).

Letztlich ist in beiden Fällen bemerkenswert, dass im Falle von Wundkontaminationen mit Transuranen auch bei niedrigen Messwerten empfindlicher Sonden im Bereich der Nachweisgrenze, grenzwertüberschreitende Aktivitätszufuhren und Folgedosen möglich sind.

8. Literatur

[1] Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen - Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung (IWRS-II), RdSchr. d. BMU vom 17.01.2005, RS II 3-15506/

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch den Artikel 5 Abs. 7 vom 24.02.2012 ((BGBl. I S. 212)

[3] Vorschriften und Regelwerke der Unfallversicherungsträger (http://www.dguv.de/inhalt/praevention/vorschr_regeln/index.jsp, Stand Mai 2013)

[4] BGR/DGUV-R 190, Benutzung von Atemschutzgeräten, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Ausgabe Dezember 2011

[5] Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR): Anlageband zum Bundesgesetzblatt Teil II Nr. 34 vom 2. Dezember 2010, Anlage zur Bekanntmachung der Neufassung der Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (in der ab dem 1. Januar 2011 geltenden Fassung)

[6] Arbeitssicherheitsgesetz Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit (ASiG) vom 31. Oktober 2006

[7] Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie BGI 668: Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen vom August 1997 (Aktualisierter Nachdruck 2006)

[8] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007 (GMBl. 2007, Nr. 31/32, S. 623), Anhänge 1 bis 6, Anhang 7.1, Anhang 7.2, Anhang 7.3, Anhang 7.4 (Hinweis: hiermit wird die Richtlinie über Anforderungen an Inkorporationsmeßstellen vom 30. September 1996 (GMBl. 1996, Nr. 46, S. 996) aufgehoben und ersetzt)

[9] Radiation Protection, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers Replacement of ICRP Publication 54, ICRP Publication 78, May 1997, Pergamon

[10] ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.)

[11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission: Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs - § 44 der Strahlenschutzverordnung, Nr.143a vom 3.August 2002

[13] IAEA Safety Standards Series, Saftey Guide No. EW-G-2.1: Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors (1999)

[14] IAEA Technical Reports Series No.395: State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities

[15] Leitfaden zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen nach §7 Absatz 1 des AtG vom 14. Juni 1996, Bundesanzeiger Nr. 187 Dezember 2010

[16] Atomgesetz (AtG) - Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I Seite 1565), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)

[18] Report EUR-18860: Decommissioning of Nuclear Installations in the European Union (1998)

9. Ansprechpartner

(1) Deutsch-Schweizerische Fachverband für Strahlenschutz e.V.
Postfach 1205
E-Mail: FS-sek@fs-ev.de
85740 Garching

(2) Deutsch-Schweizerische Fachverband für Strahlenschutz e.V.
Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI)
Sekretär: Dipl. Ing. M. Froning
E-Mail: m.froning@fz-juelich.de
52425 Jülich

(3) Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 100149
38201 Salzgitter
Aktuelle Liste behördlich bestimmter Inkorporationsmessstellen
www.bfs.de/de/ion/beruf_schutz/inkorpueberwach/messstellen.html

(4) Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BGETEM)
Institut für Strahlenschutz;
Gustav-Heinemann-Ufer 130;
50968 Köln
Aktuelle Liste der regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ)
www.bgetem.de/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/institute/institut-fuer-strahlenschutz-1/regionale-strahlenschutzzentren