

Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz

**Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu
radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott
- Vorhaben 3615S52320**

Band 6: Bericht zu AP4

**Auftragnehmer:
Brenk Systemplanung GmbH (BS)**

**Dr. J. de Groot
M. Sc. K. Haneke
Dr. T. Schmidt
Dr. S. Wörlen**

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-149/19

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2019052818209

Salzgitter, Mai 2019

AP4 Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben:

**Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu
radioaktiven Quellen und Gegenständen im
Stahlschrott**

BS-Projekt-Nr. 1507-09
Forschungsvorhaben: 3615S52320

erstellt im Auftrag des
Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS)
Neuherberg

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen
26. Juni 2018

Anmerkung:

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (BfS) übereinstimmen.

AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- Dr. Joost de Groot
- M. Sc. Kirsten Haneke
- Dr. Talianna Schmidt
- Dr. Stefan Wörlen

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

ERSTELLUNG, PRÜFUNG UND FREIGABE

erstellt	geprüft	freigegeben
Projektleiter	Geschäftsbereichsleiter	Geschäftsführung

Inhaltsverzeichnis:

Seite:

1.	Einleitung	1
1.1.	Hintergrund.....	1
1.2.	Aufbau des Berichts.....	2
2.	Informationsmaterial für Personengruppe 1.....	5
2.1.	Begriffserklärungen	5
2.2.	Natürliche, medizinische und zusätzliche Strahlenexposition	6
2.3.	Arten von Strahlung.....	9
2.4.	Strahlenschutzgrundsätze „ALARA“ und „Die drei A´s des Strahlenschutzes“	11
2.5.	Kennzeichnung und Erkennung radioaktiver Stoffe	12
2.6.	Transport radioaktiver Stoffe.....	15
2.7.	Erscheinungsbild von Strahlenquellen.....	17
2.8.	Bewertung von Alarmanzeigen.....	19
3.	Zusätzliche Informationen für Personengruppe 1a: Firmenleitung, sofern nicht zu Personengruppe 2 gehörig.....	21
3.1.	Begriffserklärungen	21
3.2.	Auftreten von Strahlenquellen	22
3.3.	Messeinrichtungen	23
3.4.	Betriebliche Vorsorge- und Optimierungsmaßnahmen.....	24
4.	Informationen für Personengruppe 2: Mitarbeiter mit strahlenschutzbezogenen Kenntnissen	25
4.1.	Begriffserklärungen	25
4.2.	Definition und Arten von Strahlung	27
4.2.1.	Alpha-Strahlung.....	27
4.2.2.	Beta-Strahlung	28
4.2.3.	Gamma-Strahlung.....	29
4.2.4.	Neutronen-Strahlung.....	30
4.3.	Dosis und Dosisleistung.....	31
4.4.	Natürliche und zivilisatorische Strahlung	32
4.5.	Strahlenschutzgrundsätze.....	33
4.6.	Kennzeichnung und Erkennung radioaktiver Stoffe	34
4.7.	Transport radioaktiver Stoffe.....	34
4.8.	Erscheinungsbild von Strahlenquellen.....	38
4.8.1.	Alpha-Strahlenquellen	38
4.8.2.	Beta-Strahlenquellen.....	38
4.8.3.	Gamma-Strahlenquellen	39
4.8.4.	Neutronenquellen.....	39

4.9.	Auftreten von Strahlenquellen	39
4.10.	Messsysteme	41
4.10.1.	Vorbemerkung	41
4.10.2.	Passive Messsysteme	42
4.10.3.	Aktive Messsysteme	43
4.10.4.	Grenzen der Messsysteme	44
5.	Tabellen zur Verwendung im Material für alle Personengruppen	45
5.1.	Dosisleistungswerte und Aufenthaltsdauer	45
5.2.	Wichtige Grenzwerte für die effektive Dosis und typische effektive Dosiswerte im Vergleich.....	45
5.3.	Abkürzungen und Einheiten	46
6.	Empfehlungen für Leitlinien.....	48
6.1.	Betriebsorganisatorische Leitlinien	48
6.1.1.	Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter	48
6.1.2.	Regelung von Zuständigkeiten und Darstellung der Vorgehensweise.....	49
6.1.3.	Erhöhung der Messhäufigkeit an Ein- und Ausgangsmonitoren.....	50
6.1.4.	Erhöhung der Anzahl an Messungen bei betrieblichen Abläufen, welche bereits eine Vereinzelung von Schrott beinhalten.....	51
6.1.5.	Regelmäßige Wartung und Überprüfung der Detektoranlagen.....	52
6.2.	Technische Leitlinien.....	52
6.2.1.	Erhöhung der Messgenauigkeit für Gammastrahler durch technische Maßnahmen.....	53
6.2.1.1.	Erhöhung der messtechnischen Abdeckung der Transportgebinde	53
6.2.1.2.	Reduktion der Umgebungsstrahlung im Bereich der Messanlage	54
6.2.1.3.	Positionierung der Detektoren näher am Transportgebinde.....	55
6.2.1.4.	Reduzierung der Durchfahrtsgeschwindigkeit an der Detektoranlage.....	55
6.2.2.	Detektion von Neutronenquellen	56
6.3.	Leitlinie zum Verhalten bei einem Alarm oder Verdacht auf Fund (zu ergreifenden Maßnahmen).....	56
6.3.1.	Bewertung von Alarmanzeigen.....	56
6.3.2.	Empfohlener Handlungsablauf (Orientierender Maßnahmenplan).....	57
6.3.3.	Richtwerte für die Dosisleistung.....	59
6.3.4.	Verantwortlichkeit von fachkundigem Strahlenschutzpersonal.....	59
6.3.5.	Einstufung eines Alarms	60
6.3.6.	Fund von Materialien mit erhöhten Gehalten natürlicher Radionuklide (NORM)	61
6.4.	Optimierungsvorschläge für die Behörden	62
7.	Literatur	63
Anhang A: Vorlagen für Maßnahmenpläne in Betrieben		65
Anhang B: Liste der zuständigen Behörden bei Funden.....		67

<u>Abbildungsverzeichnis:</u>	Seite:
Abbildung 1: Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition im Vergleich zum Grenzwert für die effektive Dosis zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung.....	7
Abbildung 2: Faustregel Eindringverhalten von Strahlenarten	10
Abbildung 3: Veranschaulichung der drei A-Regel im Strahlenschutz	12
Abbildung 4: Allgemeine Warnsymbole zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe.....	12
Abbildung 5: Übersicht möglicher Strahlenquellen.....	14
Abbildung 6: Transport- und Lagerbehälter für Strahlenquellen in geschlossenem und offenem Zustand.....	16
Abbildung 7: Gefahrentafel (Orangefarbige Warntafel) bei Gefahrguttransporten	16
Abbildung 8: Gefahrgutkennzeichnung zur Kennzeichnung umschlossener Strahlenquellen.....	16
Abbildung 9: Beispiele für Form und Aufbau für umschlossene Strahlenquellen.....	17
Abbildung 10: Beispiele für typische Formen und Größen verschiedener Gamma-Strahlenquellen.....	19
Abbildung 11: Alpha-Zerfall eines Radionuklids A unter Aussendung eines positiv geladenen Alpha-Teilchens (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl).....	28
Abbildung 12: Beta-Zerfall eines Radionuklids A unter Aussendung eines a) negativ geladenen Teilchens (Elektron): Beta-Minus-Zerfall und b) positiv geladenen Teilchens (Positron): Beta-Plus-Zerfall (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl).....	29
Abbildung 13: Ausstrahlung von Gamma-Strahlung durch ein Radionuklid A (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl).....	30
Abbildung 14: Erzeugung von Neutronenstrahlung a) durch Spontanspaltung instabiler Nuklide b) durch die (α ,n)-Kernreaktion (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl)	31

<u>Tabellenverzeichnis:</u>	Seite:
Tabelle 4.1: Gefahrennummern zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe.....	35
Tabelle 4.2: Kategorien für den Transport umschlossener Strahlenquellen.....	37
Tabelle 4.3: Beispiele zur Herkunft von Material mit erhöhtem Verdacht auf radioaktive Stoffe sowie Beispiele	40
Tabelle 5.1: Zeit, bis bei fester Dosisleistung (Messgerät-Anzeige) der Grenzwert erreicht ist.	45
Tabelle 5.2: Dosisgrenzwerte im Vergleich nach [BFS 17].....	45
Tabelle 5.3: Typische Dosiswerte im Vergleich nach [BFS 17].....	46

1. EINLEITUNG

1.1. Hintergrund

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die Brenk Systemplanung GmbH (BS) mit der Durchführung des Forschungsvorhabens „3615S52320 – Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott“ beauftragt.

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott. Um dies zu erreichen, werden im Rahmen des Forschungsvorhabens folgende Arbeitspunkte (AP) bearbeitet:

- AP1: Repräsentative Ermittlung der Ausstattung deutscher Schrottplätze und Einschmelzbetriebe mit Portalmonitoren oder ähnlichen Messeinrichtungen
- AP2: Auffindbarkeit typischer Gammastrahler im Stahlschrott
- AP3: Möglichkeit und Notwendigkeit der Detektion von Neutronenstrahlung und des Einsatzes von Strahlung zur Auffindung radioaktiver Quellen und Gegenstände im Schrott
- AP4: Ideenfindung für Leitlinien und Informationsmaterial im Rahmen der neuen EURATOM-Grundnormen

Aufbauend auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sowie auf den Ergebnissen der AP1, AP2 und AP3 wird nun in diesem Bericht Material präsentiert, das als Grundlage für die Erstellung von Informationsmaterial wie Broschüren und Aushänge für Betriebe (beispielsweise Metallrecycling- und Produktionsstätten) dienen kann, wie es in Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/EURATOM gefordert wird.

Gemäß Artikel 92 Absatz 1 der Richtlinie 2013/59/EURATOM [EU 13] sollen „*Vorkehrungen getroffen werden für*

a) die Sensibilisierung für das etwaige Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und damit verbundene Gefahren; und

b) die Herausgabe von Leitlinien für Personen, die eine herrenlose Quelle vermuten oder Kenntnis von einer herrenlosen Strahlenquelle haben, über die Unterrichtung der zuständigen Behörde und die zu ergreifenden Maßnahmen.“

Weiterhin soll gemäß Artikel 92 Absatz 3 der Richtlinie 2013/59/EURATOM sichergestellt werden, „*dass Personen, die das Vorhandensein einer herrenlosen Strahlenquelle vermuten und die normalerweise keine Handlungen ausüben, für die Strahlenschutzanforderungen gelten, unverzüglich eine spezialisierte technische Beratung und Hilfe erhalten. Deren vorrangiges Ziel ist der Strahlenschutz der Arbeitskräfte und von Einzelpersonen der Bevölkerung und die Sicherheit der Strahlenquelle.*“

Der Betreiber einer Metallrecycling- und Produktionsstätte ist für die Gesundheit und Sicherheit seiner Arbeitnehmer und aller anderen Personen verantwortlich, die von den jeweiligen Tätigkeiten betroffen sind, einschließlich der allgemeinen Bevölkerung.

Insbesondere kleinere Unternehmen und freie Schrotthändler können von der unabsichtlichen Ablieferung von herrenlosen radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen aus Medizin, Industrie, Bergbau und Landwirtschaft betroffen sein, da diese Betriebe häufig nicht ausreichend mit Mess- und Kontrollsystemen zur radiologischen Charakterisierung der Eingangsware ausgestattet sind, um dies zu

verhindern. Strahlenquellen sind oder waren in der Regel hochradioaktiv und entstammen beispielsweise medizinischen (Krebstherapie) oder industriellen Anwendungen (etwa zu Füllstandmessungen, Dickenbestimmungen oder zerstörungsfreie Werkstoffprüfung). Deren versehentlicher oder fahrlässiger Verlust bzw. Entsorgung kann zu erheblichen Problemen in der Transport- und Stahlwirtschaft führen. Unentdeckte, sogenannte herrenlose radioaktive Stoffe und Strahlenquellen (*Orphan Sources*) können die Sicherheit von Beschäftigten in metallverarbeitenden Betrieben gefährden. Hierbei kann trotz fehlender Messtechnik ein erheblicher Zugewinn an Sicherheit durch entsprechend geschultes und auf die Thematik von herrenlosen Strahlenquellen sensibilisiertes Personal erreicht werden. Häufig können herrenlose Strahlenquellen durch entsprechende Warnhinweise und Warnsymbole (sofern noch vorhanden) oder ihr z. T. typisches Erscheinungsbild optisch erkannt werden.

Zusätzlich zu den Expositionsrisiken kann das unbeabsichtigte Einschmelzen einer herrenlosen Strahlenquelle die Schmelzanlage verunreinigen, was sehr kostspielige Dekontaminationsmaßnahmen, die Notwendigkeit einer Entsorgung von entstandenen radioaktiven Abfällen und ggf. eine vorübergehende Stilllegung des Betriebes verursachen kann. Es ist daher im Interesse der Betreiber von Metallrecycling- und Produktionsstätten, entsprechende Verfahren zur Früherkennung radioaktiver Stoffe in ihren Betrieben zu etablieren. Unterweisungen und regelmäßige Schulungen können dazu beitragen, Führungskräfte und Personal auf die Risiken, die Herkunft und typischen Merkmale von herrenlosen Strahlenquellen aufmerksam zu machen und im Falle eines Fundes eine schnelle, strukturierte und sichere Gefahrenminimierung durchführen lassen zu können.

Besteht der Verdacht auf einen Fund, sind einfache und klar strukturierte Entscheidungsverfahren notwendig, um aus Sicht des Strahlenschutzes unbedeutende Funde von relevanten zu unterscheiden.

In der vorliegenden Unterlage wird umfassendes Informationsmaterial bereitgestellt, welche eine Einführung in die Grundsätze des praktischen Strahlenschutzes, insbesondere an Metallrecycling- und Produktionsstätten, gibt sowie eine Anleitung zu Präventions- und Notfallmaßnahmen bei der Entdeckung von herrenlosen Strahlenquellen liefert. Die hierbei vorgeschlagenen Vorgehensweisen bei „Verdacht auf“ oder bei Fund von herrenlosen Strahlenquellen im Metallschrott des freien Rohstoffhandels basieren auf den Strahlenschutz-Grundsätzen der Richtlinie 2013/59/EURATOM [EU 13] sowie den allgemeinen Anforderungen der deutschen Strahlenschutzverordnung [SSV 17]. Metallschrott aus kerntechnischen Anlagen und dem weiteren genehmigten Umgang mit radioaktiven Stoffen wird gemäß Auftrag bei den in diesen Bericht enthaltenen Empfehlungen für Leitlinie nicht betrachtet, bei diesen Materialien handelt es sich aufgrund der geringen Aktivität dieser Stoffe und der behördlich erfolgten Freigabe auch nicht um einen überwachungsbedürftigen radioaktiven Stoff.

1.2. Aufbau des Berichts

Der Kenntnis- und Erfahrungsstand des Personals in den verschiedenen Metallrecycling- und Produktionsstätten in Bezug auf Strahlenschutz ist sehr heterogen, so dass es erforderlich ist, das Informationsmaterial entsprechend diesem Stand aufzubereiten. Bei dem Informationsmaterial wird zwischen den folgenden drei verschiedenen Personengruppen unterschieden:

- **Personengruppe 1 (P1): Mitarbeiter/Personen ohne Strahlenschutz hintergrund:** Dies sind Personen, die normalerweise keine Handlungen ausüben, für die Strahlenschutzanforderungen gelten, d. h. Nichtfachleute.

- **Personengruppe 1a (P1a): Firmenleitung, sofern nicht zu Personengruppe 2 gehörig:** Dies sind Personen, die rechtliche Verantwortung z. B. für einen Schrott- oder Einschmelzbetrieb und dementsprechende Weisungsbefugnisse haben. Von Personengruppe 1a kann erfahrungsgemäß nicht per se erwartet werden, dass sie sich eingehend mit Strahlenschutzthemen beschäftigt haben. Der Fokus muss hier auf den folgenden Punkten liegen: grundlegenden Kenntnissen des Gefährdungspotentials, Informationen, welche Konsequenzen eine Nichtmeldung eines Fundes haben kann und wie ein Fund gemeldet werden muss.
- **Personengruppe 2 (P2): Mitarbeiter mit strahlenschutzbezogenen Kenntnissen:** Dies sind Personen, die bereits mindestens eine allgemeine Einweisung in Strahlenschutzanforderungen erhalten haben, z. B. Mitarbeiter des Strahlenschutzes von Schrott- und Einschmelzbetrieben.

Hierbei wird im Rahmen des bereitgestellten Informationsmaterials, abgestuft nach dem jeweiligen Kenntnisstand, verstärkt auf folgende Punkte eingegangen:

- **Begrifflichkeiten**
Die Nomenklatur im Strahlenschutz, welche auch in der Strahlenschutzverordnung [SSV 17] Verwendung findet, ist nicht allgemeinverständlich und zum Teil durch verkürzende Berichterstattung in den Medien mit irreführenden Vorstellungen belegt. Die wichtigsten und für Personal in Schrott- und Einschmelzbetrieben, die herrenlose Strahler auffinden können, relevantesten Begriffe werden im Unterkapitel „Begriffe“ der an die jeweiligen Personengruppe gerichteten Informationsmaterialien definiert und erläutert. Die Reihenfolge der Begriffe wurde aufeinander aufbauend für eine mögliche Einweisung gewählt, die Texte zu den einzelnen Begriffen sollen jedoch auch alleinstehend verwendet werden können.
- **Grundlegende Informationen zu ionisierender Strahlung**
Für das Auffinden von und dem vorsichtigen Umgang mit radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen sind im Interesse des Schutzes grundlegende Kenntnisse der Eigenschaften ionisierender Strahlung notwendig. Für die Personengruppen 1 und 1a sind hierbei vor allem die Eigenschaften bezüglich Messung, Gefährdungspotential und Selbstschutz relevant, während Personengruppe 2 auch über weitergehende Grundkenntnisse zu radioaktivem Zerfall, Strahlungsart und Gefährdungspotential informiert werden soll.
- **Art und Herkunft von Strahlenquellen**
Das Erkennen von Strahlenquellen sollte nicht nur über Messwerte erfolgen, da insbesondere Alpha- und niedrigenergetische Beta-Strahlung von typischen auf Gamma- und hochenergetische Beta-Strahlen ansprechenden Messgeräten nicht oder nur sehr schlecht erfasst werden. Zudem werden Strahlenquellen zumeist in Abschirmbehältern aufbewahrt und transportiert. Radioaktive Stoffe und Strahlenquellen nur durch Messung aufzufinden, genügt somit nicht für ein effizientes und sicheres Auffinden von herrenlosen Strahlenquellen. Bedeutend für eine zuverlässige Erkennung von herrenlosen Strahlenquellen sind erste Hinweise (Verdachtsmomente) durch Kennzeichnungen und Aussehen von Strahlenquellen und deren Verpackung. Die Kennzeichnung radioaktiver Stoffe durch Warnsymbole bildet daher einen wichtigen Aspekt, anhand dessen Mitarbeiter von schrottverarbeitenden Betrieben potentielle Strahlenquellen auch ohne Messung erkennen können. Das Erkennen von Markierungen mit Einheiten der Aktivität oder Dosisleistung sowie Nuklidsymbolen in verschiedenen Schreibweisen liefert weitere Anhaltspunkte, aufgrund derer Mitarbeiter selbst mit Messgeräten Verdachtsmomente erhärten oder zerstreuen können oder eine innerbetriebliche oder externe Person zur Prüfung hinzuziehen. Ähnliches gilt für die Markierungen von Radioaktivtransporten nach ADR, die insbe-

sondere bei Anlieferung in Betrieben, die kein radioaktives Material annehmen, sofort das Hinzuziehen einer mit Strahlenschutz vertrauten Person bewirken sollten. Daher sind die oben genannten Markierungen und Beschriftungen im Informationsmaterial für alle Personengruppen aufgeführt. Die typischen Formen von Strahlenquellen erkennen zu können, ist ein weiterer Aspekt, um einen Verdacht aufgrund von Kennzeichnung zu erhärten, bzw. bei fehlenden Markierungen und Beschriftungen der einzige Hinweis darauf, dass eine Strahlenquelle vorliegt.

Dem in den Strahlenschutz eingewiesenen Personal wird im Rahmen der vorgeschlagenen Informationsmaterialien zudem eine Liste der typischen Herkunft bestimmter Strahlenquellen an die Hand gegeben, um bei Anlieferungen mit entsprechender Herkunft bevorzugt mit zusätzlichen Messgeräten präsent zu sein und eventuelle Stichproben basierend auf der Erfahrungen für die Häufigkeit von Funden einer Strahlenquelle vorzunehmen.

- **Mess- und Kontrollsysteme**

Die derzeit genutzten Messsysteme an den Ein- und Ausgangskontrollen der Schrott- und Einschmelzbetriebe sind insbesondere dafür geeignet, radioaktive Quellen und Gegenstände mit Nukliden, die energiereiche Gammastrahlen aussenden (z. B. Cobalt-60 und Cäsium-137), im Stahlschrott aufzufinden. Bei der Detektion von Nukliden ohne energiereiche Gammalinien, wie z. B. Americium-241, ist es nicht möglich, alle Strahlenquellen im angelieferten Stahlschrott zu detektieren, die im Falle eines unbeabsichtigten Einschmelzens zu Kontaminationen von Metallen führen können.

Bei der Erstellung des Informationsmaterials wurde insbesondere darauf geachtet, dass das Material für Nichtfachleute (primär P1 und z. T. auch P1a) verständlich ist und die dargestellten Informationen für diesen Personenkreis in der Praxis zielführend anwendbar sind.

Für die unterschiedlichen Personenkreise werden im Rahmen der Kapitel 2, 3 und 4 sowie in Kapitel 5 Textbausteine, Abbildungen sowie Grafiken zur Erstellung von entsprechendem Informationsmaterial bereitgestellt.

Basierend auf den Ergebnissen der Arbeitspakete AP1 bis AP3 werden im Rahmen des Kapitel 6 zudem Ideen skizziert, auf deren Grundlage Leitlinien erstellt werden können. Hierin sind bereits erzielte Ergebnisse des Forschungsvorhabens berücksichtigt.

In Anhang A sind zudem Vorschläge für betriebsinterne Abläufe beim Fund von radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen enthalten, welche Personengruppe 2 vorbehalten, aber durch Aushang im Betrieb beiden Personengruppen zugänglich gemacht werden sollten. Dieses Material kann sowohl im Rahmen des Informationsmaterials als auch für die Leitlinien verwendet werden.

Anhang B listet (bundeslandesspezifische) Ansprechpartner bei Behörden auf, die im Falle eines Fundes von radioaktiven Stoffen zu informieren sind. Diese Information ist relevant für Personengruppe 1a und 2.

2. INFORMATIONSMATERIAL FÜR PERSONENGRUPPE 1

Dieses Kapitel enthält Informationsmaterial für die Personengruppe 1 (PS1), bei der keine Hintergrundkenntnisse zum Strahlenschutz vorausgesetzt werden können.

2.1. Begriffserklärungen

Radioaktivität:

Wandeln sich bestimmte instabile Atomkerne ohne äußeren Anlass von selbst in andere Atomkerne um und senden dabei energiereiche Strahlung aus, nennt man diese Eigenschaft „Radioaktivität“ und die Umwandlung „radioaktiven Zerfall“. Das zugehörige Material nennt man „radioaktiven Stoff“. Radioaktive Stoffe, d. h. Stoffe mit instabilen Atomkernen (auch Radionuklide genannt), senden so lange ionisierende Strahlung aus, bis der „letzte“ instabile Atomkern zerfällt und keine instabilen Atomkerne mehr vorhanden sind.

Radioaktiver Stoff:

Ein radioaktiver Stoff ist ein Material, das ein erhöhtes Maß an natürlich vorkommender Radioaktivität aufweist oder dem künstlich hergestellte Radionuklide zugesetzt worden sind. Manchmal spricht man auch allgemein bei jedem strahlenden Objekt (z. B. einem Stück radioaktiven Materials) von einer Strahlungsquelle. Besondere Formen von radioaktiven Stoffen sind die umschlossenen radioaktiven Stoffe, auch Strahlenquellen genannt (s. u.).

Umschlossener radioaktiver Stoff (Strahlenquelle):

Strahlenquellen sind radioaktive Stoffe in einer besonderen Form. Hierbei ist der radioaktive Stoff ständig von einer allseitig dichten, festen und inaktiven Hülle umschlossen oder in einem robusten Stoff so eingebettet, dass bei einer üblichen betriebsmäßigen Beanspruchung ein Austritt der Radioaktivität mit Sicherheit verhindert wird. Um den Verlust oder das versehentliche Verschlucken einer solchen Quelle zu erschweren, muss eine Abmessung mindestens 2 mm betragen.

Ionisierende Strahlung:

Die beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung kann beim Durchqueren von Material geladene Teilchen erzeugen, dies nennt man „ionisieren“. Bei diesem Prozess gibt die Strahlung Energie an das Material ab.

Strahlenexposition:

Wirkt Radioaktivität auf den menschlichen Körper, so wird auch im Körper, wie bei der Einwirkung auf anderes Material, Energie übertragen, was zu Schäden führen kann. Diesen Vorgang nennt man Strahlenexposition. Der Vorgang ist grundsätzlich vergleichbar mit den Vorgängen, die im Körper bei Röntgenuntersuchungen ablaufen.

Dosis (Strahlendosis, effektive Dosis)

Um die Höhe der Strahlenexposition messen, berechnen oder angeben zu können, wurde die Dosis definiert. Im Laufe der Zeit wurde die Definition der Dosis immer weiter verfeinert,

es gibt deswegen verschiedene Dosisgrößen (Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, effektive Dosis).

Die wichtigste Dosisgröße ist die so genannte „effektive Dosis“. Grundsätzlich gibt sie die in ein Kilogramm des menschlichen Körpers übertragene Menge an Energie an, es wird jedoch auch die unterschiedliche Wirksamkeit verschiedener Strahlungsarten und die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Organe im menschlichen Körper berücksichtigt. Die effektive Dosis dient somit der Abschätzung der Gefahr durch die Strahlenexposition, die im Körper zu einer Schädigung von Körperzellen (so genannter Strahlenschaden) führt.

Die physikalische Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv). Auf Anzeigen von Messgeräten sind häufig auch die abgeleiteten Einheiten mSv (0,001 Sv) oder μ Sv (0,000001 Sv) angegeben.

Grenzwerte (Dosisgrenzwerte):

Für die Strahlenexposition (Dosis) hat der Gesetzgeber Grenzwerte festgelegt. Diese Dosisgrenzwerte dienen nicht als Trennlinie zwischen gefährlicher und ungefährlicher Strahlenexposition. Gesetzliche Grenzwerte für die effektive Dosis stellen sicher, dass die Gefahr für Schädigungen von Körperzellen gering bleibt – man spricht hier davon, dass ein maximal akzeptables Risiko für Strahlenschäden nicht überschritten wird.

Natürlich vorkommendes radioaktives Material (NORM):

Seit der Entstehung der Erde kommen radioaktive Stoffe, zum Beispiel Uran, in der Natur vor, viele zerfallen über mehrere Zwischenschritte. Bei industriellen Prozessen können diese radioaktiven Stoffe ungewollt aufkonzentriert werden. Diese radioaktiven Stoffe werden als natürlich vorkommendes radioaktives Material bezeichnet, gebräuchlich sind auch die Abkürzungen NORM oder TENORM der entsprechenden englischen Bezeichnungen.

Es gibt auch in der Natur vorkommende, eigentlich stabile Stoffe, die einen sehr geringen Anteil einer radioaktiven Variante dieses Stoffes enthalten. Zum Beispiel enthält natürliches Kalium immer auch ca. 0,01 % radioaktives Kalium-40.

Umgebungsstrahlung:

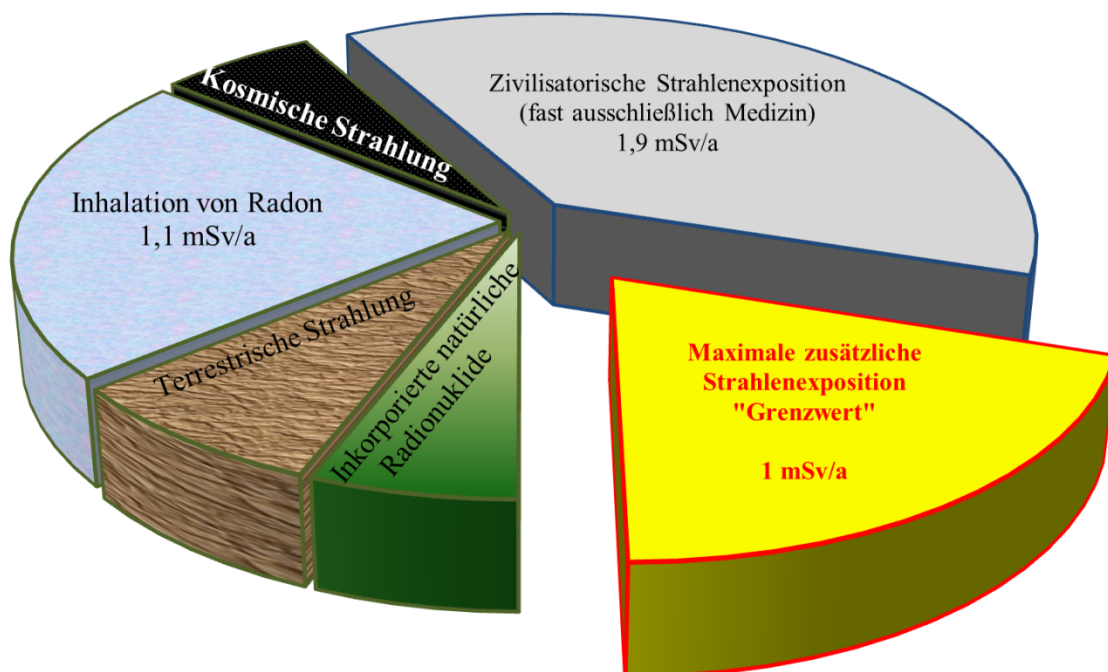
Ionisierende Strahlung, die durch natürliche Quellen in der Umwelt ausgesendet wird, nennt man Umgebungsstrahlung. Man unterscheidet zwischen terrestrischer Strahlung (Bodenstrahlung durch Bodenschichten oder Gesteinsschichten) und kosmischer Strahlung (Höhenstrahlung). Die Umgebungsstrahlung weist regionale Unterschiede auf, erhöht ist sie z. B. in Gebieten mit bestimmten Gesteinsarten, wie Granit, oder in höheren Gebirgen (Höhenstrahlung).

2.2. Natürliche, medizinische und zusätzliche Strahlenexposition

Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung kommen auch in der Natur vor, zudem werden sie in der Medizin eingesetzt. Die Strahlenexposition einer durchschnittlichen Person in Deutschland beträgt jährlich etwa 4 mSv. Um diese Dosiswerte besser einordnen zu können sind in Tabelle 5.3 verschiedene Dosiswerte für typische Strahlenexpositionssituationen aufgeführt. So verursacht z. B. bei einem Flug von München nach Japan die Höhenstrahlung eine Dosis von 0,1 mSv.

Quellen natürlich vorkommender Strahlen (ca. 2,1 Millisievert pro Jahr) und medizinische Untersuchungen und Therapien (ca. 1,9 Millisievert pro Jahr) tragen zu etwa gleichen Teilen zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei und sind in der nachfolgenden Liste aufgeführt. In Abbildung 1 sind die einzelnen Beiträge und die maximale Strahlendosis von 1 Millisievert (Grenzwert für die allgemeine Bevölkerung), die die Bevölkerung als zusätzliche Strahlenexposition aus der Verwendung von radioaktiven Stoffen pro Jahr erhalten darf grafisch dargestellt. Herrenlose radioaktive Stoffe und Strahlenquellen, die unentdeckt bleiben, können zu einer zusätzlichen Strahlendosis führen und müssen deswegen aufgefunden, gemeldet, untersucht und als radioaktive Stoffe gehandhabt und ggf. als radioaktive Abfälle entsorgt werden.

Abbildung 1: Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition im Vergleich zum Grenzwert für die effektive Dosis zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung



Die in Abbildung 1 dargestellten Komponenten der jährlichen Strahlenexposition in Deutschland im Einzelnen sind nach [Sch 15]:

- Die **kosmische Strahlung** ist ein Teil der **natürlichen** Strahlenexposition. Etwa 0,3 Milli-onstel Sievert pro Jahr (0,3 Millisievert pro Jahr, 0,3 mSv/a) trägt sie zur durchschnittlichen natürlichen Strahlenexposition in Deutschland bei. Sie besteht aus Strahlung, welche die Erde aus dem Weltraum trifft. Das Erdmagnetfeld und die Atmosphäre schützen die Erdoberfläche vor den Auswirkungen kosmischer Strahlung, so dass in großer Höhe (auf Bergen oder auf Flugreisen) und nahe der Pole der Erde die kosmische Strahlung einen größeren Anteil der natürlichen Strahlung ausmacht. Die kosmische Strahlung ist ein Teil der Umgebungsstrahlung, der auch in Abwesenheit künstlicher Strahlenquellen auf Dosisleistungsmessgeräten angezeigt wird.
- Die **Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten** spielt für die **natürliche** Strahlenexposition die größte Rolle. In Deutschland beträgt ihr Anteil an der natürlichen Strahlenexposition mit im Durchschnitt 1,1 Millisievert pro Jahr mehr als die Hälfte der natürlichen

Strahlenexposition. Radon entsteht durch den Zerfall natürlich vorkommenden Urans in der Erdkruste. Wie viel Radon in die bodennahe Luft entweicht, hängt nicht nur vom Uran-Anteil im Boden, sondern auch von der Menge an Spalten im Boden ab. Radon selbst wird in der Regel ein- und wieder ausgeatmet, allerdings zerfällt es in ebenfalls radioaktive Stoffe, die sich in der Lunge anlagern. Zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Wohnungen und am Arbeitsplatz sind Referenzwerte vorgeschrieben. Bei einer Überschreitung des Referenzwertes sind zur Reduktion der Radonbelastung Maßnahmen zu ergreifen. Diese Maßnahmen können je nach Höhe der Belastung abgestuft umgesetzt werden (z. B. konsequente Wohnraumlüftung oder bautechnische Abdichtungsmaßnahmen).

- Als **terrestrische Strahlung** bezeichnet man die Strahlung, die von im Boden enthaltenen **natürlichen** radioaktiven Stoffen ausgeht. Dies sind vor allem Uran, Thorium und ihre Zerfallsprodukte. Im Mittel beträgt die effektive Dosisleistung der terrestrischen Strahlung in Deutschland 0,4 Millisievert im Jahr.
- Neben **natürlichen** radioaktiven Stoffen im Gestein gibt es auch natürliche radioaktive Stoffe in allen anderen Substanzen – so auch im menschlichen Körper. Man spricht von **inkorporierten** (in den Körper aufgenommenen) **Radionukliden**. Diese werden teils von der kosmischen Strahlung in unserer Atmosphäre erzeugt, diese Stoffe bezeichnet man als kosmogene Radionuklide. Andere sind seit deren Bildung Bestandteil von Erde und Atmosphäre, sie werden als primordiale Radionuklide (primordial = am Uranfang stehend) bezeichnet. Kohlenstoff-14 (C-14, Radiokarbon) ist ein Beispiel für ein kosmogenes Radionuklid. Radiokarbon ist durch die Möglichkeit bekannt geworden, über seinen Zerfall den Tod von Lebewesen viele tausend Jahre später zu datieren. Ein Beispiel für ein primordiales Radionuklid ist auch Kalium-40 (K-40). Jedes zehntausendste Kalium-Atom ist ein radioaktives K-40-Atom. In einem erwachsenen Menschen finden im Durchschnitt jede Sekunde 5.000 Zerfälle von Kalium-40 und 5.000 Zerfällen von Kohlenstoff-14 (C-14) statt. Zusammen mit einigen anderen Stoffen tragen diese Stoffe 0,3 Millisievert pro Jahr zur mittleren Strahlenexposition in Deutschland bei.
- Der größte **menschgemachte (zivilisatorische)** Beitrag zur Strahlenexposition in Deutschland kommt im Wesentlichen aus der **Medizin**. Vor allem Röntgen-Untersuchungen und Computer-Tomographie (CT-Scans) tragen bei, aber auch die Nuklearmedizin spielt eine Rolle. Manche Untersuchungen oder Behandlungen, wie zum Beispiel Computertomographie, Kontrastmittel-Darstellungen des Bauchraums und Strahlenbehandlungen erzeugen große Einzeldosen, müssen aber vor Anwendung in Studien darauf geprüft sein, dass sie mehr Nutzen als Schaden bewirken – also mehr Menschen dadurch gerettet werden als eventuell durch die Behandlung geschädigt werden. Junge und gesunde Menschen haben in der Regel eine sehr geringe Strahlenexposition durch die Medizin. Im Mittel beträgt die zivilisatorische Strahlenexposition in Deutschland 1,9 Millisievert, wovon der größte Anteil aus Röntgen- und Computertomographie Untersuchungen stammt.
- Neben den oben aufgeführten Beiträgen gibt es nach [Sch 15] durch den Betrieb der Kernkraftwerke ($< 0,01$ mSv/a) und den Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl sowie der oberirdischen Atomwaffentests in der Atmosphäre ($< 0,025$ mSv/a) einen geringen zusätzlichen zivilisatorischen Beitrag zur jährlichen Strahlenexposition in Deutschland.

Die Strahlenexposition für die Bevölkerung aus der gezielten Nutzung von radioaktiven Stoffen (z. B. in Kernkraftwerken oder in Laboren) oder die gezielte Erzeugung ionisierender Strahlung (z. B. durch Teilchenbeschleuniger) ist auf **ein Millisievert** im Jahr begrenzt (Dosis-Grenzwert).

Dies führt dazu, dass beispielsweise für den Umgang mit radioaktiven Stoffen, d. h. für deren Verwendung, im Allgemeinen eine behördliche Zustimmung (Anzeige bei der Behörde, Genehmigung und Erfassung durch die Behörde) vorliegen muss. Nur, wenn sehr geringe Mengen von radioaktiven Stoffen betroffen sind, ist eine solche Zustimmung nicht erforderlich; die maximale Menge des radioaktiven Stoffes muss dann die so genannte Freigrenze unterschreiten. Ebenso dürfen erfasste radioaktive Stoffe beispielsweise nicht ohne weiteres in die Umgebung entlassen werden. Nur wenn ein Maximalwert, der sogenannte Freigabewert, unterschritten wird, darf der radioaktive Stoff nach entsprechender Zustimmung durch die Behörde, in die Umgebung entlassen werden. Überschreitet ein bisher nicht als radioaktiver Stoff bekannter Stoff die Freigrenze, könnte also im schlimmsten Fall eine Überschreitung des Grenzwertes verursachen, in solch einem Fall spricht man von einem Fund von radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen.

2.3. Arten von Strahlung

Ionisierende Strahlung (oft auch „radioaktive Strahlung“ genannt) wird von radioaktiven Stoffen abgestrahlt. Je nach Eigenschaften werden vier verschiedene Strahlenarten unterschieden:

- Alpha-Strahlung (auch α -Strahlung) verfügt über eine sehr kurze Reichweite. Selbst ein Blatt Papier oder wenige Zentimeter Luft schirmen Alpha-Strahlung vollständig ab, kann also vollständig gestoppt werden. Solange sich ein Alpha-Strahler außerhalb des Körpers befindet, ist er in der Regel nur durch in Folge des Zerfalls zusätzlich auftretende Gamma-Strahlung (siehe nachfolgend) gefährlich.
Auffinden von Alpha-Strahlern mittels Messgeräten ist daher sehr schwierig, sofern sie nicht zusätzlich Gamma-Strahler sind. Alphastrahler in eingeatmeten Stäuben oder Gasen (Inhalation) und in Stoffen, die verschluckt werden können (Ingestion) oder über offene Wunden in den Körper eintreten können, sind sehr problematisch, da die Alpha-Strahlung ihre gesamte Energie auf kurzer Strecke (ähnlich wie in einem Blatt Papier) auf den Körper überträgt und daher lokal großen Schaden anrichtet.
Alpha-Strahlung kann von natürlichen radioaktiven Stoffen (NORM) und von künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen oder technischen Strahlenquellen ausgehen.
- Beta-Strahlung (auch β -Strahlung) durchdringt dünne Metallschichten (bis zu drei Millimeter Aluminium) und reicht in Luft einige Zentimeter bis wenige Meter weit, kann also vollständig gestoppt werden. Das Auffinden von Beta-Strahlern ist in der Regel nur bei Messung auf kurze Distanz möglich. Meist entsteht zusammen mit Beta-Strahlung auch Gamma-Strahlung (siehe nachfolgend), die leichter nachgewiesen werden kann.
Beta-Strahlung kann von natürlichen radioaktiven Stoffen (NORM) und von künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen oder technischen Strahlenquellen ausgehen.
- Gamma-Strahlung (auch γ -Strahlung) durchdringt Luft und leichte Materialien (Kunststoffe, Holz, Pappe) mühelos, wird aber von Metallen teilweise abgeschirmt. Insbesondere schwere Metalle (Blei) halten große Teile der Gamma-Strahlung auf. Gamma-Strahlung kann nicht vollständig gestoppt werden, sondern nur in seiner Intensität verringert werden. Meist senden Gamma-Strahler zusätzlich Alpha- oder Beta-Strahlung aus, so dass beim Umgang mit einer aufgefundenen Gamma-Strahlenquelle nicht nur wegen der Gamma-Strahlung, sondern auch wegen möglicher weitere Strahlungsarten darauf geachtet werden muss, den fraglichen Stoff oder Gegenstand nicht einzuatmen, zu verschlucken oder ohne Handschuhe zu berühren.

Gamma-Strahlung kann von natürlichen radioaktiven Stoffen (NORM) und von künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen oder technischen Strahlenquellen ausgehen.

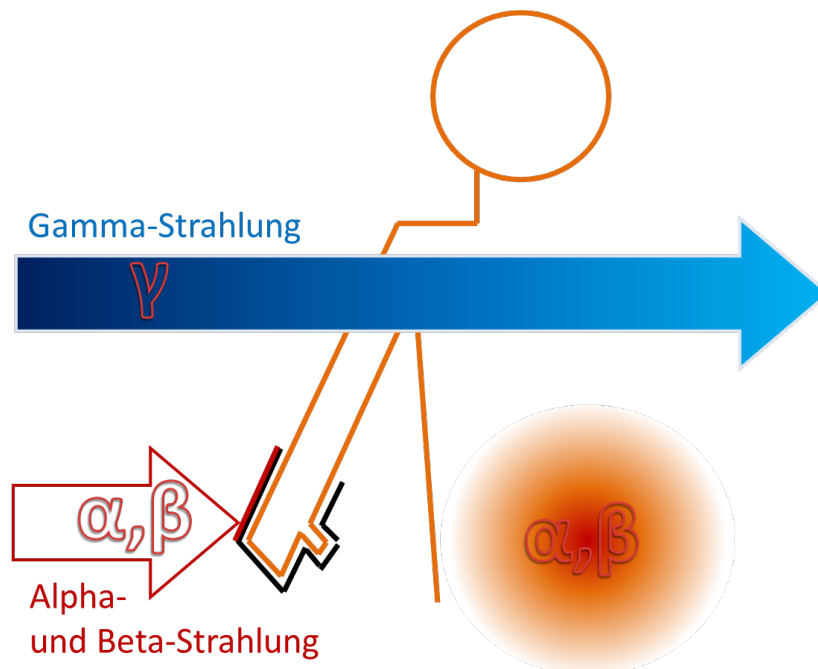
- Neutronenstrahlung (auch n-Strahlung) entsteht in der Regel durch Kernreaktionen, die allerdings auch durch Zusammenbringen von bestimmten radioaktiven Stoffen ausgelöst werden können. Neutronen durchdringen ähnlich wie Gamma-Strahlung die meisten metallischen Materialien, können aber nur mit für Neutronen optimierten Messgeräten nachgewiesen werden. Kunststoffe, Wasser und vor allem das Element Bor schirmen Neutronen ab und verhindern ggf. ein Auffinden einer Quelle für Neutronenstrahlung im Schrott. In der Regel geben Neutronenquellen auch Gamma-Strahlung ab.

Neutronenstrahlung geht in der Regel von künstlichen, in Metall gekapselten Strahlenquellen aus, die zur Abschirmung eventuell zusätzliche Kunststoffumhüllungen besitzen.

Als grobe Faustregel kann gelten, dass Alpha- und niederenergetische Beta-Strahlung nicht oder nur sehr wenig von außen in den Körper eindringen können und somit vor allem nur dann Schaden anrichten kann, wenn der radioaktive Stoff durch Einatmen oder über den Mund in den Körper gelangt und dort Alpha- und Beta-Strahlung aussendet bzw. bei Beta-Strahlung angefasst wird.

Gamma-Strahlung dagegen kann auch in den Körper eindringen und wirkt von außerhalb und von innerhalb des Körpers gleichermaßen schädlich. Dies ist in Abbildung 2 grob illustriert.

Abbildung 2: Faustregel Eindringverhalten von Strahlenarten



Aufgrund der deutlich gesteigerten Schädlichkeit von radioaktiven Stoffen innerhalb des Körpers sind im Falle eines Verdachtes auf das Vorhandensein von Radioaktivität folgende Verhaltensregeln im Gefährdungsbereich zwingend einzuhalten:

- **nicht Trinken,**
- **nicht Essen,**
- **nicht Rauchen.**

Schutz vor einer möglichen Kontamination und Inkorporation bieten zudem entsprechende Schutzkleidung, wie z. B. Handschuhe und Overalls und - falls erforderlich - auch Atemschutzgeräte. Die Anwendung solcher Schutzmaßnahmen sind **vor dem Beginn von praktischen Arbeiten** durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal festzulegen (siehe Leitlinie zum Verhalten bei Verdacht auf Fund unter Kapitel 6.3.2).

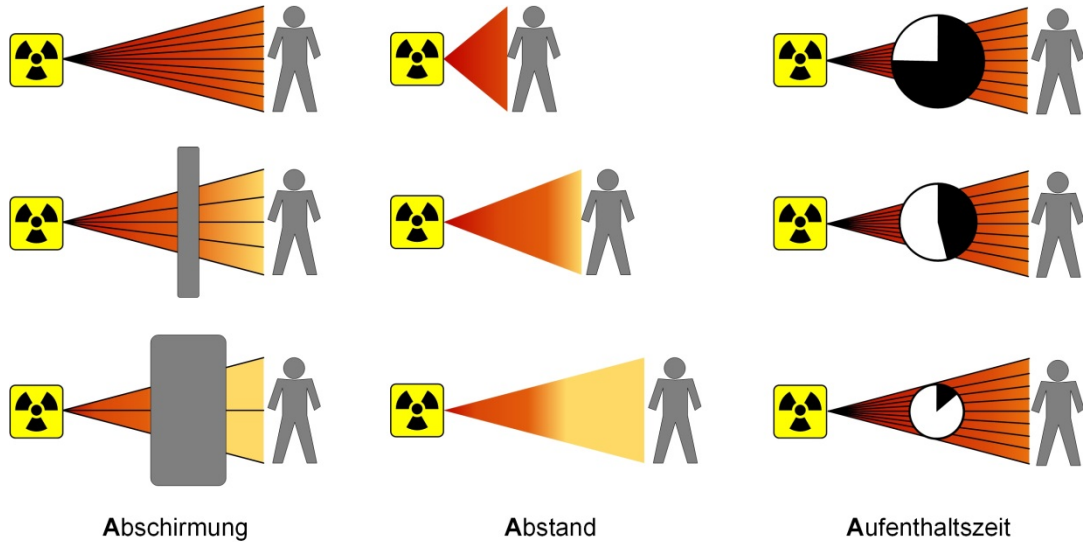
2.4. Strahlenschutzgrundsätze „ALARA“ und „Die drei A's des Strahlenschutzes“

Unabhängig von der genauen Art des radioaktiven Stoffs bzw. der ionisierenden Strahlung, die in der Umgebung einer vermutlichen oder tatsächlichen Quelle auftritt, kann die Strahlenexposition durch Beachten weniger, einfacher Grundregeln stark reduziert werden. Werden die Strahlenschutzgrundsätze beachtet, kann in vielen Fällen eine Strahlenexposition durch künstliche Strahlenquellen über die unvermeidbare natürliche Strahlenexposition hinaus verhindert werden. Diese Handlungsleitlinien werden durch die **drei A-Regel** des Strahlenschutzes zusammengefasst:

- **Abschirmung:** Alpha- und Beta-Strahlung können bereits von wenigen Millimeter dicken Kunststoffschichten mit nachfolgender dünner Blei/Betonschicht völlig abgeschirmt werden. Gamma-Strahlung und Neutronenstrahlung wird von Materialien (Blei-, Eisen- oder Betonschichten) zumindest geschwächt.
- **Abstand:** Selbst ganz ohne Abschirmung nimmt die Intensität der Strahlung mit dem Abstand stark ab. Es gilt das Abstands-Quadrat-Gesetz: In doppeltem Abstand erfährt man nur noch ein Viertel der ursprünglichen Ortsdosis, d. h. der Dosis am Ort der Messung, im dreifachen Abstand nur noch ein Neuntel.
- **Aufenthaltsdauer:** Ist ein Aufenthalt nahe der Strahlenquelle unvermeidlich, beispielsweise um sie hinter eine Abschirmung zu verbringen oder Messungen vorzunehmen, spielt die Aufenthaltsdauer eine Rolle. Messgeräte bestimmen zumeist eine Ortsdosisleistung, das heißt die Dosis pro Zeit am Ort der Messung. Kann die Aufenthaltsdauer nahe der Strahlenquelle reduziert werden, so sinkt auch die Dosis, welcher eine Person dabei ausgesetzt ist.

Mit Hilfe der drei A-Regel soll erreicht werden, dass die Strahlenexposition von Mitarbeitern und sonstige Personen so gering wird, wie vernünftigerweise möglich und für das angestrebte Ziel gerechtfertigt ist. Diese Verhaltensweisen werden in Abbildung 3 durch ein Piktogramm veranschaulicht.

Abbildung 3: Veranschaulichung der drei A-Regel im Strahlenschutz



Dieser Grundsatz im Strahlenschutz wird in der Abkürzung „**ALARA**“ wiedergegeben: „**as low as reasonably achievable**“, zu Deutsch: „so gering wie vernünftigerweise erreichbar“. Dieses bedeutet z. B., dass der Aufenthalt in einem Bereich in dem ein radioaktiver Stoff lagert nur erfolgen soll, wenn es für die Messung, Begutachtung, Dokumentation oder sichere Verbringung des Fundes unerlässlich ist und dass sich dieser Bereich möglichst weit entfernt von Aufenthaltsbereichen (Personal als auch Bevölkerung) entfernt ist. Sofern dieses nicht möglich ist, sollte der Lagerbereich möglichst gut abgeschirmt (z. B. Tresor) sein.

2.5. Kennzeichnung und Erkennung radioaktiver Stoffe

Das allgemeine Warnsymbol zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe (genauer ionisierender Strahlung) ist in Abbildung 4 dargestellt. Neben dem gebräuchlichen internationalen Piktogramm sind auch noch andere historische Piktogramme dargestellt.

Abbildung 4: Allgemeine Warnsymbole zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe

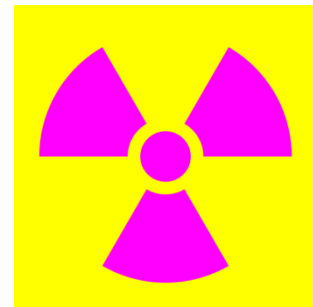
International übliche Piktogramme zur Warnung vor ionisierender Strahlung gemäß StrlSchV [SSV 17] und DIN EN ISO 7010



Ergänzendes Symbol: Warnung vor einem gefährlich hohen Strahlungslevel durch eine hochradioaktive umschlossene Strahlenquelle (nach ISO 21482)



Ältere nicht mehr gebräuchliche Piktogramme zur Warnung vor ionisierender Strahlung



Häufig sind radioaktive Stoffe mit einem schwarzen Schriftzug „Radioaktiv“, „Radioactive“ oder „Radioactive Material“ auf gelben Hintergrund durch Schilder oder Band gekennzeichnet.

Neben dem Piktogramm sind bei einem radioaktiven Stoff häufig auch noch zusätzlich die Bezeichnung für das radioaktive Element und das Aktivitätsinventar der Quelle zu einem Stichtag vermerkt. Hierbei können die folgenden Angaben gemacht werden:

- Häufig verwendete Nuklide bei radioaktiven Stoffen sind: **Kobalt 60 (Co-60)**, Selen 75 (**Se-75**), Strontium 90 (**Sr-90**), Cäsium 137 (**Cs-137**, auch Radiocäsium genannt), Iridium 192 (**Ir-192**), Radium 226 (**Ra-226**), Americium 241 (**Am-241**). Allgemein sind chemische Elementsymbole (wie Co für Kobalt) und nachgestellte Zahlen ein Anzeichen, dass es sich um einen radioaktiven Stoff handeln könnte.
- Andere Darstellungen der Nuklid-Bezeichnung sind möglich: Co-60 auch als ^{60}Co , Co^{60} oder als **Cobalt-60** sind die verschiedenen Varianten für Co-60.
- Nuklidspezifische Aktivität des radioaktiven Stoffes: Angaben in der Einheit Becquerel mit dem Symbol **Bq** und der häufigen Angabe mit Einheitenpräfixen **kBq** (Kilobecquerel, 1000 Bq), **MBq** (Megabecquerel, eine Million Bq) oder **GBq** (Gigabecquerel, eine Milliarde Bq). Es können neben den reinen Aktivitätsangaben aber auch spezifische Aktivitätsangaben wie **Bq/g** oder **Bq/l** (Becquerel pro Gramm bzw. Becquerel pro Liter) angegeben sein. Neben den genannten Einheiten ist auch die mittlerweile nicht mehr zulässige Einheit Curie mit dem Symbol **Ci** ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$) gebräuchlich und historisch tritt die Mache-Einheit **ME** oder **M.E.** (entspricht ca. 13,5 Bq/l an Radonisotopen) noch auf.

Oft fehlen derartige Angaben jedoch, wie die Beispiele in Abbildung 5 zeigen. Diese Übersicht kann aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Bauarten für Strahlenquellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben, sie soll vielmehr dem Leser das Erkennen einer solchen Quelle erleichtern und typische Merkmale aufzeigen.

Abbildung 5: Übersicht möglicher Strahlenquellen

Strahlenquelle mit Angaben des Nuklides		
Strahlenquelle mit Angaben des Nuklides und der Aktivität zu einem Stichtag		
Strahlenquellen ohne Angaben Links: 1,8 MBq Co-60-Quelle Rechts: 13 MBq Cs-137-Quelle		
Historische Strahlenquellen Links: Radium-Emanations- apparat (ca. 190 kBq Ra-226) Rechts: Teil eines alten Ionisati- onsrauchmelders (ca. 38 µCi Ra-226)		

Quellen natürlicher Strahlung (NORM) Links: Rohre mit NORM-Inkrustierungen Rechts: Rohr aus der Erdölförderung mit NORM-Inkrustierungen		
--	--	---

Bei natürlichen radioaktiven Stoffen werden in der Regel keine Angaben zu vorhandenen Aktivitäten und Nukliden gemacht und dem Lieferanten ist die erhöhte Strahlung seiner Ware auch im Regelfall nicht bekannt. Solche radioaktiven Stoffe lassen sich nur direkt über ihre ausgesandte Strahlung nachweisen oder es lässt sich aufgrund der Materialherkunft ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für das Vorhandensein solcher radioaktiven Stoffe ableiten (vergleiche auch Kapitel 4.9).

2.6. Transport radioaktiver Stoffe

Radioaktive Stoffe werden weltweit befördert. Sofern bekannt ist, dass es sich beim beförderten Gut um Gefahrgut handelt, erfolgt dies gemäß internationalen Vereinbarungen. Für die Anlieferung über die Straße gilt das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße [ADR 15]. Neben Bestimmungen zur Sicherheit von Transporteur und Bevölkerung sind im ADR auch Regeln für die Kennzeichnungen für den Transport radioaktiver Stoffe festgelegt. Diese Kennzeichen helfen den Anlieferer, radioaktive Stoffe zu erkennen und Messgeräte sowie im Strahlenschutz eingewiesene Mitarbeiter oder Sachverständige hinzuzuziehen.

Typisch für radioaktive Stoffe, die transportiert werden, ist die Abschirmung. Beispiele für deren Aussehen sind in Abbildung 6 zu sehen. Auch leere Transport- oder Lagerbehälter für radioaktive Stoffe können Spuren von radioaktiver Kontamination enthalten und sollten vor Annahme geprüft werden. In seltenen Fällen können Abschirmbehälter für hochradioaktive Strahlenquellen auch aus angereichertem Uran bestehen und somit selbst radioaktiv sein.

Radioaktivtransporte können durch die Kennzeichnungen nach ADR erkannt werden. Gefahrguttransporten mit radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen wird die Kategorie 7 nach ADR zugeordnet, die sowohl in der Gefahrennummer (siehe Abbildung 7) als auch auf der Gefahrgutkennzeichnung (siehe Abbildung 8) des Transportfahrzeuges auftritt.

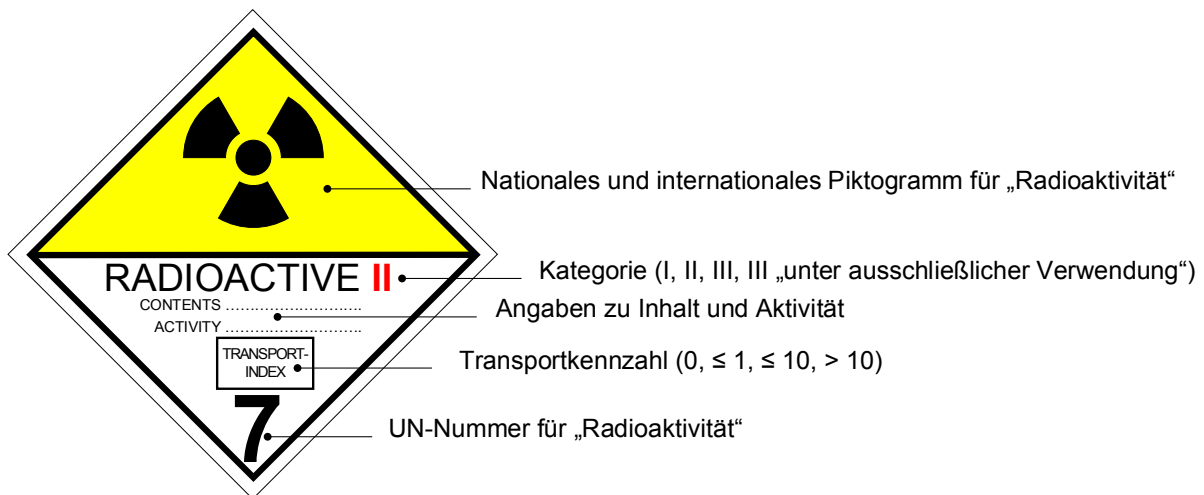
Abbildung 6: Transport- und Lagerbehälter für Strahlenquellen in geschlossenem und offenem Zustand



Abbildung 7: Gefahrentafel (Orangefarbige Warntafel) bei Gefahrguttransporten



Abbildung 8: Gefahrgutkennzeichnung zur Kennzeichnung umschlossener Strahlenquellen

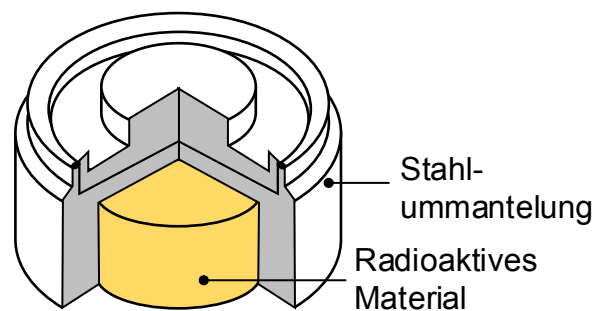
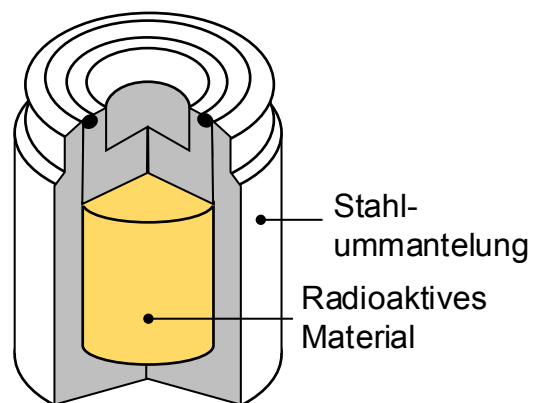


2.7. Erscheinungsbild von Strahlenquellen

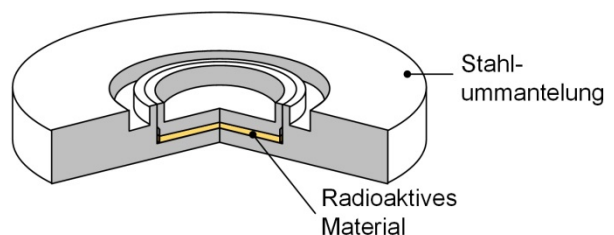
Strahlenquellen sind weit verbreitet in Medizin, Industrie, Bergbau und Landwirtschaft. Das radioaktive Material ist robust gekapselt, so dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung während der Benutzung kein radioaktives Material frei wird. Beispiele für die Form gekapselter Strahlenquellen sind in Abbildung 9 aufgeführt. Um den Austritt von radioaktivem Material aus der Quelle und dadurch eine Verteilung in der Umgebung (radioaktive Kontamination) zu vermeiden, dürfen Strahlenquellen unter keinen Umständen geöffnet werden. Die Kapselung kann bei aufgefundenen Strahlenquellen intakt aussehen, aber undicht sein, daher sollten Strahlenquellen so wenig wie möglich berührt werden, um eine Kontamination zu vermeiden. Ist eine Berührung unvermeidlich, so sollten Handschuhe (und evtl. auch andere Schutzausrüstungen) getragen werden. Die Anwendung solcher Schutzmaßnahmen sind **vor dem Beginn von praktischen Arbeiten** durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal festzulegen (siehe Vereinzelung unter Kapitel 6.3.2).

Abbildung 9: Beispiele für Form und Aufbau für umschlossene Strahlenquellen

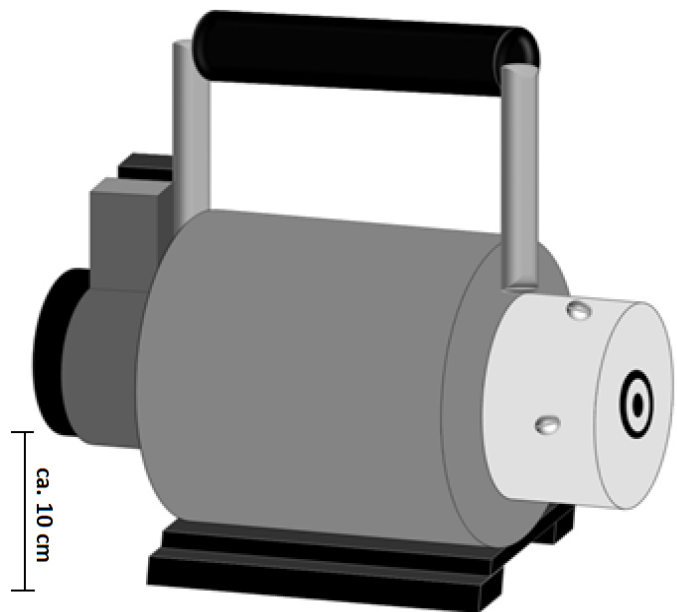
Beispiele für typische umschlossene, zylindrische Strahlenquellen (Die Abmessungen einer Seite müssen mindestens 2 mm betragen)



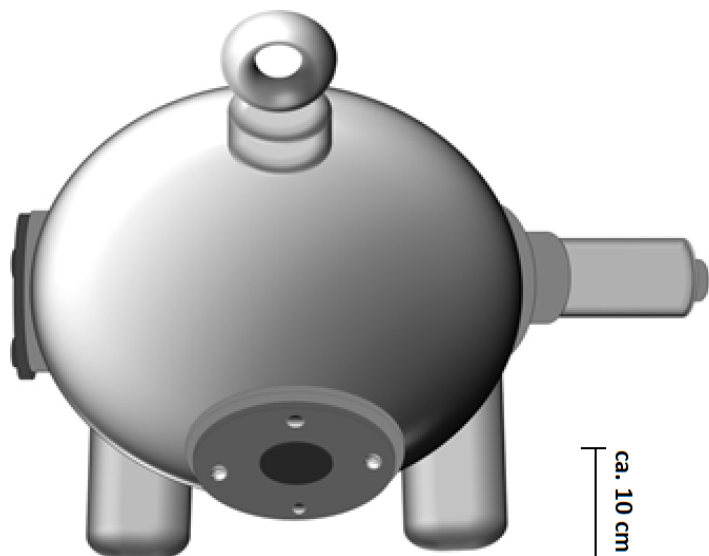
Beispiel für eine typische umschlossene scheibenförmige Strahlenquelle (Die Abmessungen einer Seite müssen mindestens 2 mm betragen)



Beispiel für die Bauart einer typischen umschlossenen Strahlenquelle (hier nur Abschirmbehälter dargestellt) welche häufig für zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen verwendet wird. Diese Abschirmbehälter sind z. T. selber als Strahlenquellen anzusehen da sie aus abgereichertem Uran gefertigt sein können.



Beispiel für die Bauart einer typischen umschlossenen Strahlenquelle (hier nur Abschirmbehälter dargestellt) welche ortsfest für Füllstands- und Dichtemessungen verbaut wird.

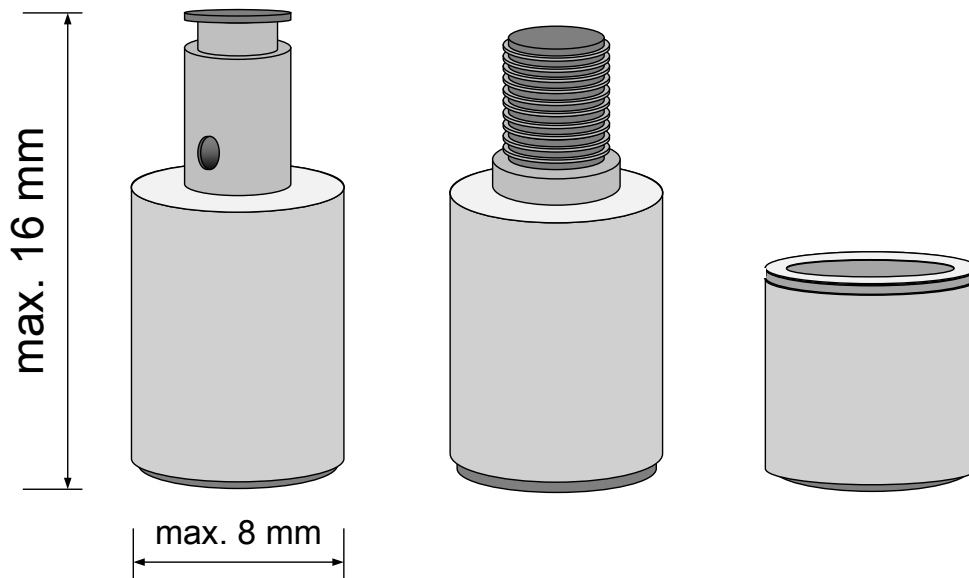


In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind verschiedene strahlenquellen dargestellt. Da sehr geringe Mengen an radioaktivem Material bereits zu erheblichen Dosisleistungen führen können, gibt es

- keine erforderliche Mindestgröße und
- kein erforderliches Mindestgewicht

ab wann radioaktive Substanzen gefährlich sein können. Daher ist eine optische Erkennung der Strahlenquellen nicht in allen Fällen möglich und es sind radiologische Messgeräte zum Aufspüren der Quelle erforderlich.

Abbildung 10: Beispiele für typische Formen und Größen verschiedener Gamma-Strahlenquellen



Neben erkennbaren industriellen Strahlenquellen können radioaktive Stoffe in allen Abfällen vorkommen, ohne direkt als radioaktiv gekennzeichnet und damit erkennbar zu sein. Dies kann insbesondere bei Abfällen aus der Medizin und Medizintechnik, verunreinigten Rohren aus Geothermie, Öl- oder Gasförderung oder aus dem Bergbau der Fall sein. Diese nicht erkennbaren, ggf. losen radioaktiven Stoffe können zur direkten Strahlenexposition von Mitarbeitern und anderen Personen, zur Kontamination von Haut und Kleidern sowie zum Einatmen von Stäuben oder Aufnahme in den Körper durch Essen, Trinken oder offene Wunden führen und erhebliche Schäden bewirken. Verdachtsmomente für das Vorhandensein nicht markierter radioaktiver Stoffe sind in jedem Falle ernst zu nehmen und durch Messung zu überprüfen.

2.8. Bewertung von Alarmanzeigen

Wird bei der Anlieferung von Metallschrott an den Eingangsportal-messanlagen von Metallrecycling- und Produktionsstätten eine erhöhte Aktivität (z. B. aufgrund einer Erhöhung der Dosisleistung) gemessen, kann dies folgende Ursachen haben:

- (1) Fehlalarm (technisch, organisatorisch oder extern),
- (2) Fund einer herrenlosen Strahlenquelle, aber Unterschreitung der Freigrenzen sowie
- (3) Fund einer herrenlosen Strahlenquelle mit Überschreitung der Freigrenzen.

Je nach Ursache sind unterschiedliche Verfahrensabläufe notwendig, welche dem Betriebsleiter sowie dem Bedienpersonal der Messeinrichtungen unbedingt bekannt sein müssen, da der gemessene Wert der Dosisleistung noch nichts über die Höhe der Aktivität und somit die evtl. Höhe der Überschreitung der Freigrenzen gemäß Strahlenschutzverordnung aussagt. Da in der Vergangenheit bereits Gamma- und Neutronenquellen mit extrem hoher Radioaktivität gefunden wurden, muss der Schutz der Mitarbeiter und anderer Personen (z. B. Anwohner) hierbei oberste Priorität haben.

In jedem Falle muss bei Alarm der Messeinrichtungen oder Verdacht auf einen Fund durch Markierungen oder Form eines angelieferten oder aufgefundenen Objekts ein in Strahlenschutz geschulter Mitarbeiter, das geschulte Bedienpersonal der Messeinrichtung oder der Betriebsleiter hinzugezo-

gen werden. Diese sind angehalten, die notwendigen Schritte selbst einzuleiten und/oder einen Experten sowie die zuständige Aufsichtsbehörde hinzuzuziehen.

Die Prüfung eines Alarms muss in jedem Fall durch geschultes Personal erfolgen. Bis zu einer solchen Prüfung sollten sich Bedienpersonal und sonstige anwesende Personen nicht im direkten Umfeld des Transportgebindes aufhalten, welcher den Alarm ausgelöst hat.

3. ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN FÜR PERSONENGRUPPE 1A: **FIRMENLEITUNG, SOFERN NICHT ZU PERSONENGRUPPE 2 GEHÖRIG**

3.1. Begriffserklärungen

Äquivalentdosis nach [SSV 17]:

Auf ein Kilogramm des menschlichen Körpers übertragene Menge Strahlungsenergie. Bei verschieden stark schädigenden Strahlenarten wird die relative biologische Wirksamkeit (RBW) berücksichtigt. Der Messwert in Sievert ist damit ein Maß für das Risiko eines Strahlenschadens. Strahlenschutz-Messgeräte zeigen in der Regel die Äquivalentdosis in Sievert (Sv) oder in deren Bruchteilen (Nanosievert nSv , Mikrosievert μSv , Millisievert mSv) an.

Dosis-Messgrößen nach [SSV 17]:

Die **Ortsdosis** in Nanosievert (nSv), Mikrosievert (μSv) oder Millisievert (mSv) und die Ortsdosisleistung z. B. in Mikrosievert pro Stunde ($\mu Sv/h$) sind die angezeigten Messwerte auf einem ortsfesten oder an einem Ort aufgestellten Dosisleistungsmessgerät. Die Ortsdosisleistung kann gemäß Tabelle 5.1 benutzt werden, um abzuschätzen, wie lange man sich am Ort des Geräts aufhalten kann, bis der Jahresgrenzwert für effektive Dosis erreicht ist.

Die **Personendosis** wird in Mikrosievert (μSv) oder Millisievert (mSv) angegeben. Personen, die beruflich mit Strahlung umgehen, tragen meist direkt ablesbare Personendosimeter und amtliche Film-Dosimeter. Über die Personendosimeter wird die Personendosis gemessen und muss nicht aus Ortsdosisleistungen und Aufenthaltsdauern berechnet werden.

Freigrenze und Fund:

Die **Freigrenze** gibt an, ab welcher Menge an radioaktiven Zerfällen (Aktivität in Zerfällen pro Sekunde oder Becquerel $Bq = 1/s$) ein radioaktiver Stoff eine Überschreitung des Dosisrichtwerts verursachen kann. Aufgefundene Stoffe, deren Radioaktivität oberhalb der Freigrenze liegen, gelten als **Fund** und müssen daher den Behörden angezeigt und als radioaktiver Abfall entsorgt werden. Die Werte der Freigrenzen wurden für alle relevanten radioaktiven Stoffe bestimmt und liegen als Tabelle vor.

Grenzwert (für nicht beruflich strahlenexponierte Personen) [SSV 17]:

Die Menge an auf den Körper übertragener Strahlenergie (Äquivalentdosis), die dem maximal akzeptablen Risiko eines Strahlenschadens entspricht. Für Personen, die nicht in einem Strahlenschutzbereich arbeiten (also keine beruflich strahlenexponierten Personen sind) beträgt der Grenzwert ein Millisievert pro Jahr ($1 mSv/a$). Dieser Grenzwert wird erreicht, wenn man ein ganzes Arbeitsjahr (2000 Arbeitsstunden) bei einem halben Mikrosievert pro Stunde $0,5 \mu Sv/h$ (Messgeräteanzeige) arbeitet. Die Aufenthaltsdauer, nach welcher der Jahresgrenzwert erreicht wäre, wird für verschiedene Dosisleistungen (Messgeräteanzeige) in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Strahlenquelle, herrenlose:

Eine radioaktive Strahlenquelle, deren Radioaktivität zum Zeitpunkt ihrer Entdeckung über den Freigrenzen gem. Strahlenschutzverordnung liegt und die keiner gesetzlichen Kontrolle unterliegt, entweder weil sie nie einer solchen Kontrolle unterstellt war oder weil die Quelle aufgegeben wurde, verloren gegangen ist oder verlegt, entwendet oder ohne eine ordnungsgemäße Benachrichtigung der zuständigen Behörde oder ohne Unterrichtung des Empfängers an einen neuen Besitzer weitergegeben wurde.

Strahlenexposition nach [SSV 17]:

Begriff für die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper.

Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlenquellen außerhalb des Körpers, innere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlenquellen innerhalb des Körpers.

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) nach [SSV 17]:

Radioaktive Stoffe in umschlossenen Strahlenquellen, deren Aktivität den Werten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3a StrlSchV [SSV 17] entspricht oder diese überschreitet, ausgenommen Brennelemente und verfestigte hochradioaktive Spaltproduktlösungen aus der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen; ständig dichte und feste Transport- oder Lagerbehälter mit radioaktiven Stoffen sind keine hochradioaktiven Strahlenquellen. Hochradioaktive Strahlenquellen sind wegen der nicht unerheblichen möglichen Strahlendosis durch Umgang mit ihnen in einem Register hochradioaktiver Strahlenquellen erfasst und können so bei Fund leichter zum eigentlichen Besitzer zurückverfolgt werden als sonstige radioaktive Stoffe oder Strahlenquellen mit geringerer Aktivität.

Organdosis nach [SSV 17]:

Durch Schutzmaßnahmen ist in der Regel nicht der gesamte Körper Strahlung ausgesetzt. Zudem sind verschiedene Organe verschieden strahlenempfindlich – Arme und Beine sind sehr strahlenunempfindlich, im Rumpf gelegene innere Organe zumeist empfindlicher. Die Organdosis ist die organspezifische Energiedosis, in der neben der unterschiedlichen Schädigung des Gewebes durch unterschiedliche Strahlenarten auch die unterschiedliche Empfindlichkeit des jeweiligen Organs auf ionisierende Strahlung berücksichtigt wird.

3.2. Auftreten von Strahlenquellen

Auch wenn die sicherste Erkennungsmethode für das evtl. Vorliegen herrenloser Strahlenquellen oder anderer Ursachen von Radioaktivität in Schrotten die Verwendung von Strahlungsmessgeräten ist, kann eine visuelle Inspektion des angelieferten Materials bereits Hinweise auf eine potenzielle umschlossene Strahlenquelle liefern, wenn

- das Piktogramm zur Warnung vor ionisierenden Strahlen zu erkennen ist oder das Wort „radioaktiv“ auf der Quelle selbst oder dem Container graviert ist,
- eine Gefahrgutkennzeichnung mit der entsprechenden UN-Gefahrennummer auf der Quelle selbst oder dem Container angebracht wurde,

- das Verdachtsstück aufgrund des Abschirmungsmaterials (Blei) schwerer ist, als es zunächst vermutet wird oder
- das Material entsprechend seiner früheren Verwendung potenzielle Strahlenquellen (natürlich oder künstlich) enthalten könnte (Herkunftsprüfung).

Die Herkunftsprüfung erleichtert auch im Falle einer Detektion von radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen, genauere Angaben zu dem Fund an das zu verständigende fachkundige Strahlenschutzpersonal weitergeben zu können.

Tabelle 4.3 gibt eine Übersicht mit Beispielen zur Herkunft von offenen und umschlossenen Strahlenquellen mit natürlicher und künstlicher Radioaktivität.

Bezüglich der Herkunftsprüfung ist hier aber darauf hinzuweisen, dass dies keine abdeckende Prüfung ist, da die direkte Herkunft einer Schrottlieferung im Rahmen des z. T. weltweiten Handels nicht immer bekannt ist und sich daher auch in z. T. als unverdächtig einzustufende Lieferungen radioaktives Material befinden kann.

3.3. Messeinrichtungen

Für die Identifikation von radioaktiven Stoffen geeignete Messeinrichtungen sollen im Interesse der Sicherheit von Mitarbeitern und der Bevölkerung gewährleisten, dass radioaktive Stoffe nicht unkontrolliert in die Umwelt gelangen können. Dies gilt insbesondere für radioaktive Stoffe und Strahlenquellen, die oberhalb der in der Strahlenschutzverordnung definierten Freigrenzen liegen. Die Freigrenzen sind so bestimmt, dass Stoffe, die unterhalb der Freigrenzen liegen, kein zu berücksichtigendes strahlenbedingtes Risiko darstellen.

Zusätzlich zum Schutzziel der Nicht-Verbreitung relevanter Mengen radioaktiver Stoffe ist die möglichst frühe Identifikation von Funden im Annahme- und Verarbeitungsprozess relevant, um möglichst wenige Mitarbeiter mit radioaktiven Stoffen in Berührung kommen zu lassen.

Bewährte Messmethoden für das Auffinden von radioaktiven Stoffen sind:

- Portalmonitore gemäß aktuellem Stand der Technik. Typische derzeit installierte Portalmonitore besitzen 2,1 l Detektorvolumen auf NaI-Basis oder 50 l Detektionsvolumen auf Plastik-Basis bei einem Abstand von 310 cm.
 - Vorteil: Detektion hochenergetischer Gamma-Strahler bereits bei der Anlieferung.
 - Nachteile: Für die Lage von Strahlenquellen im Zentrum des angelieferten Transportgebundes liegt die Nachweisschwelle oberhalb der Freigrenze, so dass die Messgeräte eine Strahlenquelle ggf. nicht detektieren können. Damit können nicht alle meldepflichtigen Strahler erfasst werden. Niederenergetische Gamma-Strahler, reine Beta- oder Alpha-Strahler werden von Portalmonitoren nicht erfasst.
- Messeinrichtungen an Förderbändern und Greifern zur Vermeidung des Schredderns oder anderweitigen Zerlegens von Strahlenquellen. Insbesondere hochradioaktive Strahlenquellen mit intakter oder weitgehend intakter Kapselung stellen nach Aufbrechen der Kapselung eine signifikante Gefährdung für die Mitarbeiter und die allgemeine Bevölkerung dar. Zudem entstehen Kontaminationen, deren Beseitigung lange Standzeiten der Einrichtungen verursachen kann.
 - Vorteil: Bei Vereinzelung des Schrotts ist der Abstand zwischen Schrott und Detektor wesentlich kleiner. Beta- und Gamma-Strahler können weit zuverlässiger identifiziert werden.

- Nachteil: Aufgrund der Nähe des Detektors zum Messgut führen unterschiedliche Beladungen zu großen Abweichungen des Untergrundsignals und somit zu einer starken Fluktuation der Nachweisgrenze.
- Neutronendetektoren eignen sich zum Auffinden von Neutronenquellen. Bei guter Abschirmung der Neutronenquelle für Gamma-Strahlung können Neutronenquellen eventuell nicht von Portalmonitoren aufgefunden werden und bei einer Zerlegung wird radioaktive Kontamination (meist auch Alphastrahler) freigesetzt. Vorfälle mit Neutronenquellen sind zwar sehr selten können aber eine signifikante Gefährdung und Störung der Betriebsabläufe verursachen, so dass ein frühes Auffinden im Interesse des Schrott- und Einschmelzbetriebes ist.
 - Vorteil: Die direkte Detektion von Neutronenquellen über die Neutronenstrahlung ist aufgrund des unterschiedlichen Abschirmverhaltens für Neutronen in den meisten Fällen deutlich sensitiver als über die Gamma-Strahlung dieser Strahlenquellen.
 - Nachteile: Die Installation von Neutronendetektoren ist mit erheblichen Investitionen verbunden.

Alle genannten Messsysteme können insbesondere bei großen, dicht gepackten Transportgebinden nur bedingt funktionieren. Eine Sensibilisierung der Mitarbeiter, bei jedem Arbeitsschritt auf Markierungen und Warnzeichen am verarbeiteten Schrott zu achten, kann diese Begrenzung ausgleichen. Um Messfehler und unnötige Fehlalarme zu vermeiden, sollte für alle installierten Messsysteme eine allgemeinverständliche Anleitung für die Bedienung auch durch ungeschultes Personal vorhanden sein, die durch geschultes Personal oder externe Sachverständige erstellt wurde (s. auch Empfehlungen für Leitlinien Kapitel 6.1.2).

3.4. Betriebliche Vorsorge- und Optimierungsmaßnahmen

Betriebliche Vorsorge- und Optimierungsmaßnahmen sollten an jeder Schmelzanlagen bzw. jedem Schrottplatz durchgeführt werden, um eine frühzeitige Detektion von herrenlosen radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen zu ermöglichen und somit personelle und wirtschaftliche Schäden zu vermeiden. Spät erkannte Funde oder sogar das Einschmelzen bzw. Zerkleinern von nicht erkannten Strahlenquellen können neben Schäden für Mensch und Umwelt zu erheblichen Störungen des Betriebsablaufs, zu rechtlichen Konsequenzen und negativer medialer Aufmerksamkeit führen. Im Rahmen der Leitlinien werden in Kapitel 6 und 6.2 organisatorische als auch technische Vorschläge zur Optimierung der Auffindung von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen als auch dem Schutz der Mitarbeiter im Falle eines Fundes aufgezeigt.

4. INFORMATIONEN FÜR PERSONENGRUPPE 2: MITARBEITER MIT STRAHLENSCHUTZBEZOGENEN KENNTNISSEN

4.1. Begriffserklärungen

Energiedosis:

Quotient aus der mittleren Energie, die durch ionisierende Strahlung auf die Materie in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse der Materie in diesem Volumenelement (Einheit: Joule pro Kilogramm, J/kg oder Gray, Gy).

Äquivalentdosis nach [SSV 17]:

Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung [ICRU 93]. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge (Einheit: Sievert, Sv).

Ortsdosis nach [SSV 17]:

Äquivalentdosis, gemessen mit den in Anlage VI Teil A StrlSchV [SSV 17] angegebenen Messgrößen an einem bestimmten Ort.

Ortsdosisleistung nach [SSV 17]:

In einem bestimmten Zeitintervall erzeugte Ortsdosis, dividiert durch die Länge des Zeitintervalls (Einheit: Sievert pro Stunde, Sv/h).

Personendosis nach [SSV 17]:

Äquivalentdosis, gemessen mit den in der Strahlenschutzverordnung, Anlage VI Teil A StrlSchV [SSV 17] angegebenen Messgrößen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche.

Dosis-Grenzwert (für nicht beruflich strahlenexponierte Personen) [SSV 17]:

Die Menge an auf den Körper übertragener Strahlenergie (*Äquivalentdosis*), die dem maximal akzeptablen Risiko eines Strahlenschadens entspricht. Für Personen, die nicht in einem Strahlenschutzbereich arbeiten (also keine beruflich strahlenexponierten Personen sind) beträgt der Grenzwert ein Millisievert pro Jahr ($1\ mSv/a$). Dieser Grenzwert wird erreicht, wenn man ein ganzes Arbeitsjahr (2000 Arbeitsstunden) bei einem halben Mikrosievert pro Stunde $0,5\ \mu Sv/h$ (Messgerätsanzeige) arbeitet. Die Aufenthaltsdauer, nach welcher der Jahreshrenzwert erreicht wäre, wird für verschiedene Dosisleistungen (Messgerätsanzeige) in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Organdosis nach [SSV 17]:

Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor (nach Anlage VI Teil C nach [SSV 17]). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B der [SSV 17] ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition.

Effektive Dosis:

Bestimmt wird die effektive Dosis als die Summe der gewichteten Organdosen in den verschiedenen Geweben und Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition. Sie berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe und Gewebe bezüglich stochastischer Strahlenwirkungen. Bei der Summation der Organdosen werden diese mit einem Gewebe-Wichtungsfaktor multipliziert, wobei die Summe der Gewebe-Wichtungsfaktoren 1 ergibt. Die Gewebe-Wichtungsfaktoren bestimmen sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten stochastischen Strahlenschaden (Detriment) des Menschen bei homogener Ganzkörperbestrahlung (Einheit: Joule pro Kilogramm, J/kg oder Sievert, Sv). In der Praxis des Strahlenschutzes werden in der Regel Bruchteile der Doseinheit verwendet, zum Beispiel: Millisievert (mSv), Mikrosievert (μSv).

Freigrenze nach [SSV 17]:

Werte der Aktivität und spezifischen Aktivität radioaktiver Stoffe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3 StrlSchV [SSV 17], bei deren Überschreitung Tätigkeiten mit diesen radioaktiven Stoffen der Überwachung nach dieser Verordnung unterliegen.

Fund:

Aufgefundene Stoffe, deren Radioaktivität oberhalb der Freigrenze (s. o.) liegt, gelten als Fund. Der Finder eines solchen radioaktiven Stoffs (oder wer die tatsächliche Gewalt über diesen Stoff erlangt) hat der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde oder der für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung zuständigen Behörde das Abhandenkommen dieser Stoffe unverzüglich mitzuteilen. Die Behörden treffen dann Anordnungen zur Sicherung und Entsorgung der Stoffe. In der Regel müssen diese Stoffe als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) nach [SSV 17]:

Radioaktive Stoffe in umschlossenen Strahlenquellen, deren Aktivität den Werten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3a StrlSchV [SSV 17] entspricht oder diese überschreitet, ausgenommen Brennelemente und verfestigte hochradioaktive Spaltproduktlösungen aus der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen; ständig dichte und feste Transport- oder Lagerbehälter mit radioaktiven Stoffen sind keine hochradioaktiven Strahlenquellen. Hochradioaktive Strahlenquellen sind wegen der nicht unerheblichen möglichen Strahlendosis durch Umgang mit ihnen in einem Register hochradioaktiver Strahlenquellen erfasst und können so bei Fund leichter zum eigentlichen Besitzer zurückverfolgt werden als sonstige Quellen.

Natürlich vorkommendes Radioaktives Material (NORM):

Als NORM (*naturally occurring radioactive material*) bezeichnetes Material aus Arbeiten welches im Wesentlichen die natürlich vorkommenden Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sowie Kalium-40 mit erhöhter spezifischer Aktivität enthält (vergleiche §§ 97 bis 102 und Anlage XII der StrlSchV [SSV 17]).

Strahlenquelle, umschlossene nach [SSV 17]:

Radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird; eine Abmessung muss mindestens 0,2 cm betragen.

Strahlenquelle, herrenlose:

Eine radioaktive Strahlenquelle, deren Radioaktivität zum Zeitpunkt ihrer Entdeckung über den Freigrenzen gem. Strahlenschutzverordnung liegt und die keiner gesetzlichen Kontrolle unterliegt, entweder weil sie nie einer solchen Kontrolle unterstellt war oder weil die Quelle aufgegeben wurde, verloren gegangen ist oder verlegt, entwendet oder ohne eine ordnungsgemäße Benachrichtigung der zuständigen Behörde oder ohne Unterrichtung des Empfängers an einen neuen Besitzer weitergegeben wurde.

4.2. Definition und Arten von Strahlung

Die Energie von ionisierender Strahlung wird in Form elektromagnetischer Wellen (wie etwa bei Röntgen- und Gamma-Strahlung) oder als Teilchenstrom (zum Beispiel bei Alpha-, Beta oder Neutronenstrahlung) transportiert. Unter ionisierender Strahlung werden folgende vier Strahlungsarten bezeichnet:

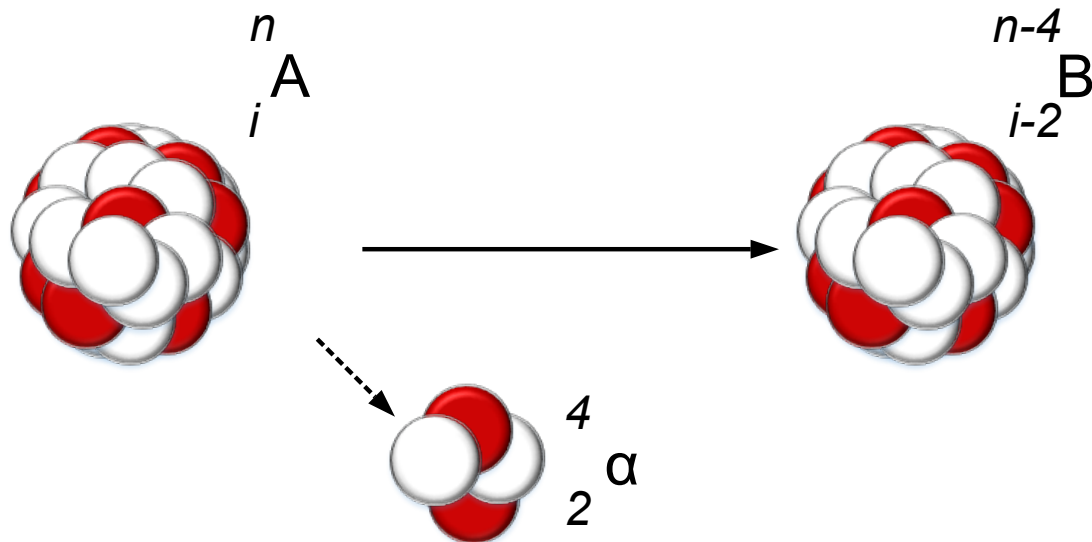
- Alphastrahlung: Teilchenstrahlung in Form von Atomkernen des Elements Helium (Alpha-Teilchen),
- Betastrahlung: Teilchenstrahlung in Form von Elektronen (Beta-Teilchen),
- Gamma-Strahlung: Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids vom Atomkern ausgesendet wird. Sie tritt häufig zusammen mit der Alpha- und Betastrahlung auf, sowie
- Neutronenstrahlung: Strahlung in Form elektrisch neutraler Elementarteilchen (Neutronen).

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Punkte zu den verschiedenen Arten von ionisierender Strahlung dargestellt.

4.2.1. Alpha-Strahlung

Beim Alpha-Zerfall von radioaktiven Stoffen wird ein positiv geladenes Teilchen bestehend aus zwei Neutronen und zwei Protonen, das Alpha-Teilchen, ausgesandt (Abbildung 11). Alphastrahlung erfährt bereits nach wenigen Zentimetern einen so hohen Energieverlust, dass keine Ionisation mehr stattfinden kann. Sie ist somit die am wenigsten durchdringende Strahlung der drei Strahlungsarten und wird schon durch einige Zentimeter Luft oder ein Blatt Papier absorbiert. Allerdings hat ein im Organismus durch Inhalation, Ingestion und/oder über Wunden (Inkorporation) aufgenommener Alphastrahler eine große biologische Wirkung, da die kurze Reichweite von Alphastrahlung lebende Zellen sehr effektiv schädigen kann.

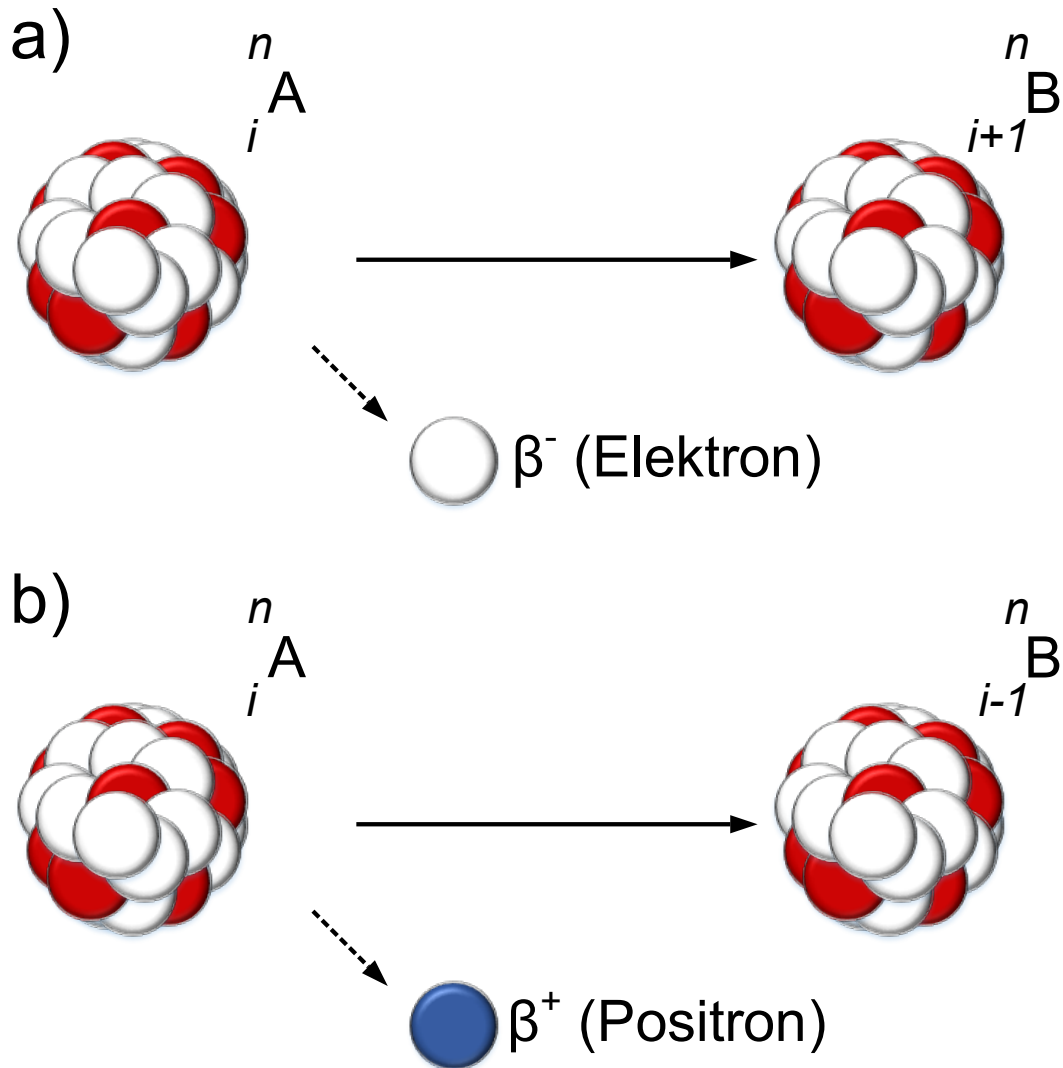
Abbildung 11: Alpha-Zerfall eines Radionuklids A unter Aussendung eines positiv geladenen Alpha-Teilchens (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl)



4.2.2. Beta-Strahlung

Als Betastrahlung wird die Emission von Elektronen oder Positronen während des Zerfalls von Radionukliden bezeichnet. Entsprechend der Ladung des emittierten Teilchens wird zwischen Beta-Plus-Strahlung (β^+ -Strahlung) und Beta-Minus-Strahlung (β^- -Strahlung) unterschieden. Die Reichweite ist etwas größer als die der Alpha-Strahlung. Betastrahlen werden aufgrund ihrer intensiven Wechselwirkung mit der Materie bereits durch Metallbleche oder dünne Schichten (ca. 5 mm) anderen Materials (z. B. Plastik) absorbiert.

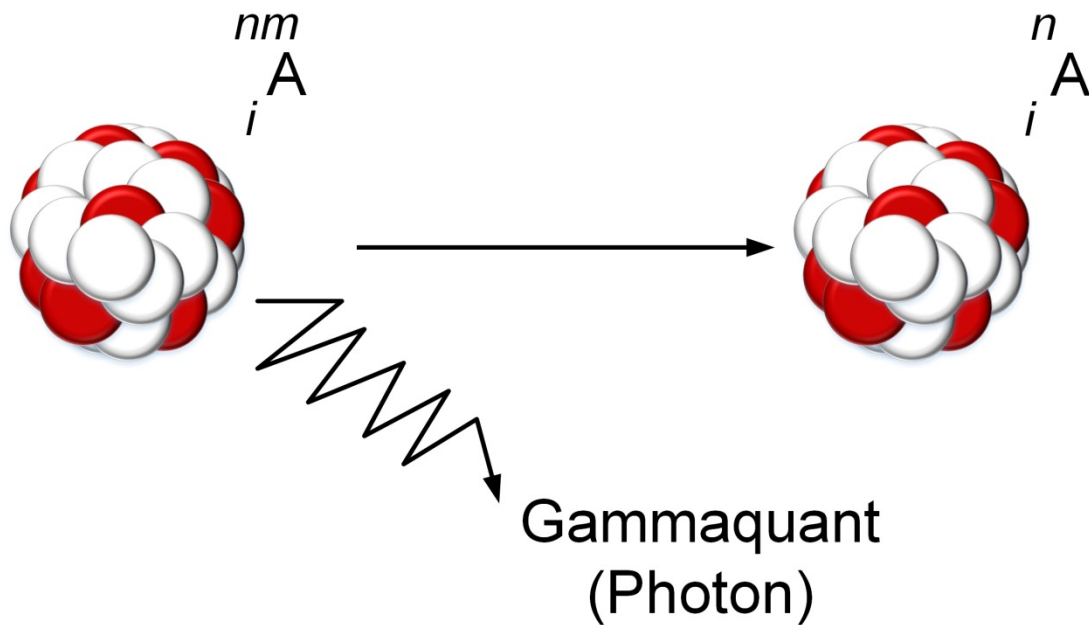
Abbildung 12: Beta-Zerfall eines Radionuklids A unter Aussendung eines a) negativ geladenen Teilchens (Elektron): Beta-Minus-Zerfall und b) positiv geladenen Teilchens (Positron): Beta-Plus-Zerfall (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl)



4.2.3. Gamma-Strahlung

Bei der Gamma-Strahlung handelt es sich um hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern während des Spaltungsvorganges sowie im Allgemeinen während oder kurz nach einem Alpha- oder Beta-Zerfalls durch die metastabilen Atomkerne ausgestrahlt wird. Gammastrahlen sind sehr durchdringend und lassen sich am effektivsten durch Materialien mit hoher Dichte (z. B. Blei) und hoher Ordnungszahl abschwächen, die Strahlung nimmt mit zunehmender Dicke des Absorbermaterials exponentiell ab. Dieses bedeutet aber auch, dass sich Gammastrahler nur abschwächen aber nicht vollständig abschirmen lassen. Die Energie der Gamma-Strahlung liegt gewöhnlich zwischen 0,01 und 10 MeV.

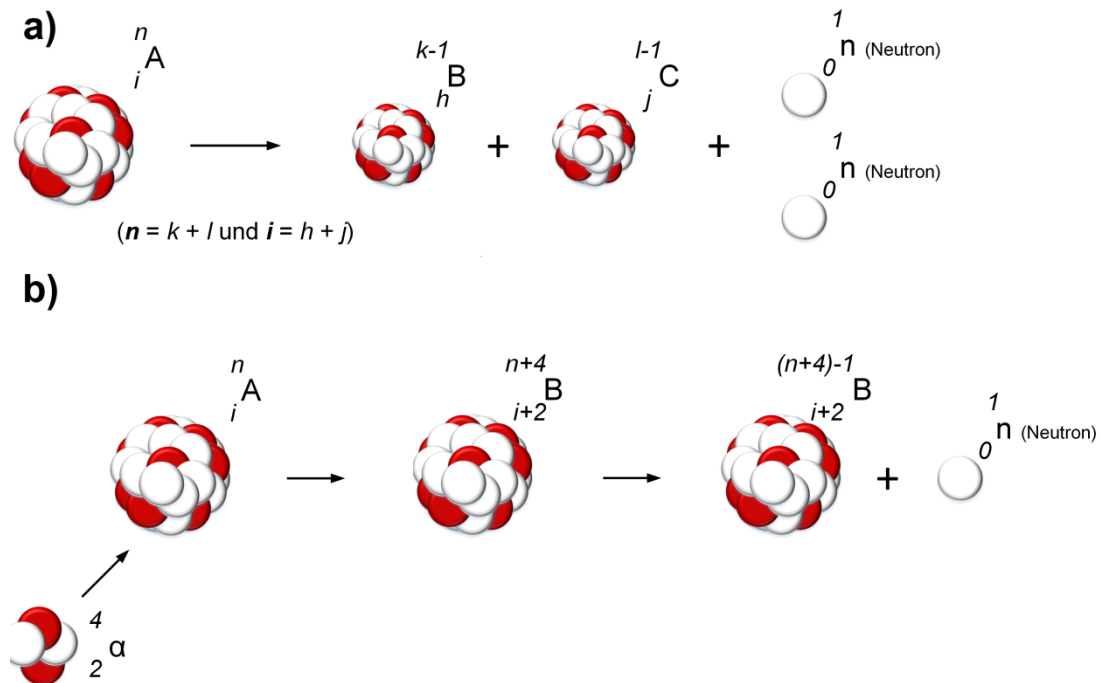
Abbildung 13: Ausstrahlung von Gamma-Strahlung durch ein Radionuklid A (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl)



4.2.4. Neutronen-Strahlung

Neutronenstrahlung ist eine Form der ionisierenden Strahlung, die aus freien Neutronen (mit u. U. verschiedenen kinetischen Energien) besteht. Da Neutronen elektrisch neutral sind, haben die Ladungen von Atomkernen und Elektronen auf ihre Bewegung keinen Einfluss. Neutronenstrahlung hat ein gänzlich anderes Absorptionsverhalten als die Gamma-Strahlung und kann daher Abschirmungen aus Blei und anderen schweren Materialien relativ leicht durchdringen. Neutronenstrahlung durchdringt diese Materie im Allgemeinen leicht, weil ihre Wechselwirkung nur mit den Atomkernen, nicht mit der Elektronenhülle erfolgt. Abschirmungen gegen Neutronen wirken meist durch eine Kombination von Moderation (Energieabgabe über unelastische Streuung) an leichten Materialien und einer anschließenden Absorption über eine Kernreaktion an Materialien mit einer hohen Absorption für Neutronen (z. B. Bor oder Cadmium). Als Quellen für permanente Neutronenstrahlung werden Nuklide, die mit einem größeren Anteil durch Spontanspaltung zerfallen (z. B. Cf-252) oder Nuklide, welche einen großen Wirkungsquerschnitt für eine (α ,n)-Kernreaktion (Einfang eines Alphateilchens) haben verwendet (vergleiche Abbildung 14).

Abbildung 14: Erzeugung von Neutronenstrahlung a) durch Spontanspaltung instabiler Nuklide b) durch die (α, n) -Kernreaktion (n = Massenzahl, i = Ordnungszahl)



4.3. Dosis und Dosisleistung

Bei ionisierender Strahlung erfolgt (z. B. pro Gamma-Strahl) ein größerer Energietransport als etwa bei sichtbarem Licht oder bei Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Materie, in die ionisierende Strahlung eindringt, kann dadurch verändert werden. Konkret werden dabei Atome oder Moleküle direkt oder durch indirekte Prozesse ionisiert, das heißt, Elektronen werden aus der Hülle von Atomen beziehungsweise Molekülen „herausgeschlagen“. Das zurückbleibende Atom oder Molekül ist dann (zumindest kurzzeitig) elektrisch positiv geladen. Elektrisch geladene Teilchen nennt man Ionen.

Wenn ionisierende Strahlung auf lebende Zellen oder Organismen trifft, kann sie durch diese Ionisationsvorgänge Schäden in den Zellen und Organismen hervorrufen. Der Umfang dieser Veränderungen hängt dabei von der Energie, die die Strahlung im Organismus verlieren kann, ab (sogenannte Energiedosis). Die Dosis ist das Maß für die Strahlenwirkung, wobei die Energiedosis die von der Materie absorbierte Strahlungsenergie beschreibt.

Die verschiedenen Strahlungsarten besitzen verschiedene biologische Wirkungen auf die unterschiedlichen Organe eines Körper, welche durch die Energiedosis noch nicht näher beschrieben werden können. Daher wurden Strahlungs-Wichtungsfaktoren eingeführt, mit deren Hilfe die Energiedosis in die strahlungsartunabhängige Organdosis für die einzelnen Organe umgerechnet werden kann. Mit Hilfe von gewebespezifischen Wichtungsfaktoren ergibt die Summe der Organdosen die effektive Dosis. Organdosis und effektive Dosis werden auch als Körperdosis bezeichnet und dienen im Strahlenschutz insbesondere dazu, Dosisgrenzwerte zum Schutz für die Bevölkerung und beruflich strahlenexponiertes Personal festzulegen.

Wird die Dosis auf eine Zeiteinheit bezogen (i. d. R. auf eine Stunde), ergibt sich daraus die Dosisleistung.

4.4. Natürliche und zivilisatorische Strahlung

Natürliche Strahlenquellen führen zu einer Strahlenexposition und diese wiederum zu einer Dosis aus natürlichen Ursachen. Die natürliche Strahlenexposition für Personen aus der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland beträgt durchschnittlich 2,1 Millisievert pro Kalenderjahr (mSv/a) [BMUB 15]. Je nach Wohnort, Ernährungs- und Lebensgewohnheiten reicht die natürliche Exposition von ca. 1 mSv/a bis zu 10 mSv/a. Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus inneren und äußeren Komponenten zusammen. Hinzu kommen sogenannte zivilisatorische Strahlenexpositionen.

Folgende natürliche und zivilisatorische Beiträge sind relevant (Stand 2015, die Zahlen wurden z. T. aus [BMUB 15] entnommen):

- Aufnahme radioaktiver Stoffe durch Atemluft und Nahrung:
 - Das Einatmen (Inhalation) des radioaktiven Edelgases Radon mit seinen Folgeprodukten bewirkt im Durchschnitt eine effektive Dosis von 1,1 mSv/a. In einigen Gebieten im Erzgebirge und dem Bayrischen Wald kann diese Exposition allerdings bei 10 mSv/a und höher liegen.
 - Bei Rauchern kommt die Inhalation der im Tabak angereicherten Radonfolgeprodukte Blei-210 und dessen Tochternuklid Polonium-210 hinzu. Diese verursachen ca. 0,001 mSv pro Zigarette, so dass sich die effektive Dosis für Raucher auf ca. 5 bis 10 mSv/a summiert.
 - Mit der Nahrung (Ingestion) werden natürliche Radionuklide aus den radioaktiven Zerfallsreihen des Thoriums und des Urans sowie Kalium-40, Kohlenstoff-14 und Tritium aufgenommen; dadurch kommt im Mittel eine Dosis von 0,3 mSv/a zu Stande.
- Äußere Strahlenexposition durch kosmische Strahlung:

Diese äußere Strahlenexposition beträgt etwa 0,3 mSv/a effektive Dosis. Die kosmische Strahlung gelangt von der Sonne und aus den Tiefen des Weltalls zur Erde und besteht im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und aus Gammastrahlung. Auf ihrem Weg durch die Lufthülle wird die kosmische Strahlung zum großen Teil absorbiert. Die Intensität der kosmischen Strahlung hängt somit von der Höhenlage ab. Sie ist auf Meeressniveau am niedrigsten und nimmt mit der Höhe eines Ortes zu. Auf der Zugspitze ist sie viermal höher als an der Küste. Die zusätzliche Strahlenexposition durch einen Flug liegt im Bereich von 0,01 mSv für Kurzstrecken- bis zu ca. 0,1 mSv für Langstreckenflüge und hängt dabei von der Flughöhe, der gewählten Route (Routen in Polnähe sind auf Grund der Struktur des abschirmenden Erdmagnetfelds strahlungsintensiver) und der Sonnenaktivität ab.
- Äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung:

Ihre Ursache sind natürliche radioaktive Stoffe, die in den Böden und Gesteinsschichten der Erdkruste vorhanden sind – in regional unterschiedlichen Konzentrationen. Steine und Erden sind wiederum wichtige Rohstoffe für mineralische Baumaterialien, wie zum Beispiel Ziegel und Beton. Die darin enthaltenen Radionuklide gehen in die Baustoffe über und tragen auf diese Weise beim Aufenthalt in Häusern ebenfalls zu einer äußeren Strahlenexposition bei. Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Mittel etwa 0,4 mSv/a, davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv/a und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,2 mSv/a. Diese Werte sind allerdings

stark von der jeweiligen Umgebung abhängig und können in Deutschland auch bei einigen mSv/a liegen. Für einige Gebiete z. B. in Indien, dem Iran bzw. Brasilien werden natürliche Expositionen aus Böden und Gesteinsschichten von mehr als 100 mSv/a effektive Dosis ermittelt.

- **Strahlenexposition durch medizinische Anwendungen:**
In der Medizin sind eine Vielzahl von Behandlungs- und Untersuchungsmethoden in Gebrauch, die auf ionisierende Strahlung basieren. Dies sind z. B. Röntgenuntersuchungen oder Bestrahlungstherapien bei entsprechender medizinischer Indikation, z. B. zur Heilung von Krebserkrankungen. Die mittlere effektive Dosis der Strahlenexposition aus dem Bereich „Medizin“ beträgt in Deutschland circa 1,9 mSv/a. Hier ist allerdings zu beachten, dass die Exposition ungleich verteilt ist. Röntgenuntersuchungen eines Zahns verursachen z. B. nur weniger als 0,01 mSv pro Untersuchungen, die Computertomografie des Bauchraums dagegen mehr als 10 mSv.
- **Andere Expositionen:**
Dazu zählen eine Vielzahl von Einzelquellen aus Forschung, industriellen Prozessen, der Kerntechnik, den oberirdischen Kernwaffenversuchen, dem Unfall von Tschernobyl oder auch dem Transport und der Entsorgung von radioaktiven Stoffe. Sie tragen zur Strahlenexposition mit insgesamt ca. 0,04 mSv/a effektive Dosis lediglich in sehr geringem Maße bei.

Für die meisten Anteile ist die Exposition nicht mit sinnvollem Aufwand beeinflussbar und unterliegt dementsprechend keinen gesetzlichen Regelungen. Die rechtlichen Regelungen betreffen i. W. Situationen, in denen die Exposition durch menschliche Handlungen erhöht werden kann. In Deutschland werden diese in erster Linie durch das Atomgesetz (AtG), die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 17], in Zukunft durch das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und noch zu erstellende Verordnungen geregelt.

4.5. Strahlenschutzgrundsätze

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 17] regelt den Umgang mit ionisierender Strahlung und enthält insbesondere Schutzvorschriften. Die wichtigsten Schutzvorschriften sind in den Strahlenschutzgrundsätzen wie folgt zusammengefasst:

- Jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt ist zu vermeiden.
- Jede Strahlenexposition oder Kontamination ist unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die vier wichtigsten Grundregeln des Strahlenschutzes lauten:

- Abstand von der Strahlenquelle halten,
- bei notwendigen Arbeiten in der Nähe der Strahlenquelle Abschirmung verwenden,
- Aufenthaltszeit in der Nähe der Strahlenquelle beschränken sowie
- Kontamination und Inkorporation von radioaktiven Stoffen vermeiden.

Schutz vor Kontamination und Inkorporation bieten entsprechende Schutzkleidung und - falls erforderlich - auch Atemschutzgeräte. Mit Hilfe eines Personendosimeters wird die Personendosis ermittelt. Sie ist ein Maß für die effektive Dosis.

4.6. Kennzeichnung und Erkennung radioaktiver Stoffe

Das allgemeine Warnsymbol zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe (genauer ionisierender Strahlung) ist ein eindeutiges Kennzeichen für das mögliche Vorhandensein von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen.

Häufig sind radioaktive Stoffe mit einem schwarzen Schriftzug „Radioactive“ oder „Radioactive Material“ auf gelben Hintergrund durch Schilder oder Band gekennzeichnet.

Neben dem Piktogramm sind bei Strahlenquellen häufig auch noch zusätzlich der radioaktive Stoff und das Aktivitätsinventar der Quelle zu einem Stichtag vermerkt. Hierbei können die folgenden Angaben gemacht werden:

- Häufig verwendete Nuklide in Strahlenquellen sind: **Co-60, Se-75, Sr-90, Cs-137, Ir-192, Ra-226, Am-241 (Kobalt 60, Selen 75, Strontium 90, Cäsium 137, Iridium 192, Radium 226 bzw. Americium 241)**. Die verwendeten Nuklide können in einer anderen Darstellungsform angegeben werden, so kann Co-60 auch als ^{60}Co , Co^{60} oder als **Cobalt-60** geschrieben werden. Entsprechendes gilt für die anderen Radionuklide.
- Nuklidspezifische Aktivität der Strahlenquelle: Angaben in der Einheit Becquerel mit dem Symbol **Bq** und der häufigen Angabe mit Einheitenpräfixen **kBq** (10^3 Bq), **MBq** (10^6 Bq), **GBq** (10^9 Bq) oder **TBq** (10^{12} Bq); neben diesen ist auch die mittlerweile nicht mehr zulässige Einheit Curie mit dem Symbol **Ci** ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$) gebräuchlich und historisch tritt die Einheit **ME** oder **M.E.** (Mache-Einheit) noch auf. Es können neben den reinen Aktivitätsangaben aber auch spezifische Aktivitätsangaben wie **Bq/g** oder **Bq/l** (Becquerel pro Gramm bzw. Becquerel pro Liter) angegeben sein.

Diese Angaben sind aber nicht zwingend vorhanden, wie auch die in Abbildung 5 gezeigte Übersicht von Strahlenquellen veranschaulicht. Diese Übersicht kann aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Bauarten für Strahlenquellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben, sie soll vielmehr dem Leser das Erkennen einer solchen Quelle erleichtern und typische Merkmale aufzeigen.

4.7. Transport radioaktiver Stoffe

Radioaktive Stoffe in unterschiedlichster Form und Zusammensetzung sowie Strahlenquellen werden weltweit befördert. Der überwiegende Anteil dieser Stoffe wird in der Medizin, Forschung und Technik verwendet. Die Beförderung radioaktiver Stoffe vollzieht sich – wie in anderen Gefahrgutbereichen – in reglementierter Form nach international vereinheitlichten Sicherheitsgrundsätzen auf dem Land-, Luft- und Wasserweg (s. Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße [ADR 15]). In der Bundesrepublik Deutschland wird die Beförderung radioaktiver Stoffe durch umfangreiche atom- und gefahrgutrechtliche Vorschriften geregelt, um den Schutz von Leben, Gesundheit und Eigentum sowohl bei der bestimmungsgemäßen Beförderung als auch bei eventuellen Transportunfällen zu gewährleisten.

Häufig werden Strahlenquellen mit hohem Aktivitätsinventar zur Reduzierung der Strahlenbelastung innerhalb Abschirmungen aufbewahrt oder transportiert. Diese Abschirmvorrichtungen sind für Gammastrahler, um die nötige Abschirmende Wirkung zu erzielen, meistens aus massivem Blei oder Wolfram (Selten auch abgereichertes Uran) gefertigt und hierdurch deutlich schwerer als andere Bauteile gleicher Größe. Diese bedeutet, dass der Verdacht auf das Vorliegen einer Strahlenquel-

le besteht, wenn ein metallisches Objekt aufgrund des Abschirmungsmaterials (Blei) deutlich schwerer ist, als es seinem Volumen nach zu urteilen normalerweise sein dürfte. In Abbildung 6 ist beispielhaft eine Bleiabschirmung zum Transport und Lagerung von radioaktiven Strahlenquellen dargestellt.

Die Vereinten Nationen haben mit den sogenannten **UN-Nummern** eine weltweite Festlegung zur Nummerierung verschiedener Stoffklassen getroffen, weitere Informationen hierzu sind in [ADR 15] zu finden. Diese Nummer ist vierstellig und wird zusammen mit einer zwei- bis dreistelligen **Gefahrennummer** angegeben.

Tabelle 4.1: Gefahrennummern zur Kennzeichnung radioaktiver Stoffe

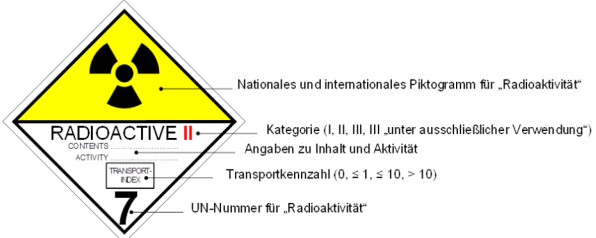
Gefahrennummer	Beschreibung
70	radioaktiver Stoff
72	radioaktives Gas
723	radioaktives Gas, brennbar
73	radioaktiver Stoff, entzündbar (Flammpunkt nicht über 61 °C)
74	radioaktiver fester Stoff, entzündbar
75	radioaktiver Stoff, brandfördernd
76	radioaktiver Stoff, giftig
78	radioaktiver Stoff, ätzend

Die erste Ziffer der Gefahrennummer beschreibt hierbei die **Gefahrenklasse** („7“ ist die von den Vereinten Nationen in den Beförderungsvorschriften zugewiesene Nummer für radioaktive Stoffe), die weiteren Ziffern kennzeichnen zusätzliche Gefahren (z. B. brennbar, giftig). Die Gefahrennummern werden wie in Abbildung 7 dargestellt auf der Gefahrentafel (Orangefarbige Warntafel) des Versandstückes angegeben.

Neben der Gefahrennummer muss eine Gefahrgutkennzeichnung zur Kennzeichnung umschlossener Strahlenquellen an dem Versandstück angebracht werden (s. Tabelle 4.2). Die darauf anzugebende **Transportkennzahl (TKZ) bzw. der Transportindex (TI)** liefert Informationen zu der maximalen Dosisleistung (DL) an jedem Punkt der Außenfläche der umschlossenen und verpackten Strahlenquelle sowie über die Dosisleistung in 1 Meter Abstand der Strahlenquelle und ordnet das Versandstück somit der Kategorie I, II, III oder „III unter ausschließlicher Verwendung“ für den Transport zu (Tabelle 4.2). Zur Festlegung der Transportkennzahl ist die höchste Dosisleistung in mSv/h in einem Abstand von 1 m von der Außenfläche des Versandstückes zu bestimmen. Dieser Wert ist mit 100 zu multiplizieren. Die so definierte Zahl wird als Transportkennzahl oder Transportindex bezeichnet.

Somit ist die Transportkennzahl ein Indikator für die maximale Dosisleistung, die ein Versandstück haben kann. Je höher sie ist, desto höher kann auch die durch das Versandstück bzw. dessen Inhalt verursachte Dosisleistung sein.

Tabelle 4.2: Kategorien für den Transport umschlossener Strahlenquellen

	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie III „unter ausschließlicher Verwendung“
				
zulässige Transportkennzahl (TI)	-	$TI \leq 1$	$TI \leq 10$	-
max. DL (Kontakt):	$\leq 0,005 \text{ mSv/h}$	$\leq 0,5 \text{ mSv/h}$	$\leq 2 \text{ mSv/h}$	$\leq 10 \text{ mSv/h}$
max. DL aus TI (1 m Abstand):	-	$\leq 0,01 \text{ mSv/h}$	$\leq 0,1 \text{ mSv/h}$	in 2 m Abstand $\leq 2 \text{ mSv/h}$
				

4.8. Erscheinungsbild von Strahlenquellen

Strahlenquellen sind weit verbreitet in Medizin, Industrie, Bergbau und Landwirtschaft und bestehen aus (hoch-)radioaktiven Stoffen, die durch ein Kapselsystem versiegelt oder in einer festen Form gebunden sind. Diese Ummantelung ist so ausgelegt, dass das radioaktive Material unter bestimmungsgemäßer Verwendung sowie unter definierten Unfallbedingungen nicht freigesetzt werden kann.

Radioaktive Stoffe oder Gegenstände, bei denen keine Ummantelung oder andere Rückhaltung des radioaktiven Stoffes vorliegt (z. B. mit NORM kontaminierte Rohrleitungen oder aufgebrochene bzw. undichte Strahlenquellen), können bei entsprechender Aktivität und hierdurch verursachter Dosisleistung eine unmittelbare Expositionsgefährdung sowohl für das Personal als auch für die Öffentlichkeit darstellen, da bei solchen radioaktiven Stoffen keine Abschirmung oder Rückhaltung des radioaktiven Materials vorhanden ist. Häufig sind solche radioaktiven Stoffe auch nicht als radioaktiv gekennzeichnet.

Umschlossene radioaktive Stoffe (oder auch Strahlenquellen) besitzen typischerweise eine Länge von einigen Millimetern bis zu einigen Zentimetern, in einzelnen Fällen können sie aber auch mehrere Dezimeter betragen. Dadurch und aufgrund des unscheinbaren Erscheinungsbildes lassen sich umschlossene Strahlenquellen nicht so leicht auf den ersten Blick erkennen – insbesondere dann nicht, wenn sie zusammen mit größeren Mengen anderen metallischen Materials transportiert werden.

Eine besondere Gefahr für Einzelpersonen der Bevölkerung stellen umschlossene Strahlenquellen dar, deren Kapselsystem beschädigt ist. Beispielsweise können alte Radiumquellen, die in Platin- oder Glasampullen eingekapselt sind, auslaufen, da der Aufbau von Zerfallsprodukten den Innendruck erhöht. In ähnlicher Weise können Strahlenquellen mit Se-75 (Selen-75), die häufig in der Gammadiagnostik verwendet werden und das Radionuklid herstellungsbedingt in Pulverform enthalten, bei Undichtigkeiten zu einer relevanten Kontaminationsursache werden. Hier ist besondere Vorsicht im weiteren Umgang geboten, welcher nur durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal erfolgen darf. Ein Berühren oder weiteres Nähern der beschädigten Strahlenquelle muss umgehend vermieden werden (vergleiche die empfohlenen Leitlinien bei Verdacht auf Fund in Kapitel 6.3). In den folgenden Kapiteln sind einige Informationen für die verschiedenen Arten von Strahlenquellen gegeben.

4.8.1. Alpha-Strahlenquellen

Einige Alpha-Strahlenquellen enthalten radioaktives Material in flüssiger oder Pulverform in zerbrechlichen Glas- oder Kunststoffampullen (z. B. Ra-226 aus der historischen medizinischen Anwendung).

4.8.2. Beta-Strahlenquellen

Beta-/Gamma-Strahler können in Form von Zylindern, Scheiben, Granulaten, Platten und Drähten vorliegen.

Der typische Aufbau von Beta-Quellen besteht aus einer soliden metallischen Kapsel mit einer dünnen Schicht eines inaktiven Substrats, auf dem das radioaktive Material abgeschieden wird, welches meist wieder mit einer sehr dünnen, inaktiven Schicht belegt wird.

Nickel-63-Quellen werden auf metallischem Röhrchen oder Draht mit einer elektrochemisch abgeschiedenen Schicht aus radioaktivem Material aufgebracht. Die Länge dieser Strahlenquellen beträgt typischerweise nicht mehr als 40 mm.

4.8.3. Gamma-Strahlenquellen

Das radioaktive Material in den Gamma-Quellen liegt gewöhnlich in einer festen, schwer löslichen und gebundenen Form vor. Eine Ausnahme ist das leicht lösliche Cs-137-Chlorid und Se-75 in hochaktiven Strahlenquellen. Im Allgemeinen werden rostfreier Stahl oder seltener Aluminium und Titan zur Ummantelung von Gamma-Quellen verwendet. Die Ummantelung der versiegelten radioaktiven Quelle u. a. basierend auf den Isotopen Se-75, Co-60, Cs-137 und Ir-192, kann aus einer oder mehreren Kapseln bestehen (siehe Kapitel 2.7). Die meisten der hoch aktiven Strahlenquellen besitzen eine doppelte Ummantelung.

Typische Beispiele für Form und Größe von Cäsium-137- und Co-60-Quellen sind in Abbildung 10 gegeben.

4.8.4. Neutronenquellen

Neutronenquellen dienen zur Gewinnung freier Neutronen für Forschungs- oder Anwendungszwecke. Sie beruhen meist auf Kernreaktionen, in einigen Fällen jedoch auf die spontane Spaltung instabiler Atomkerne. In industriellen und wissenschaftlichen Anwendungen werden Neutronenquellen für verschiedenste Zwecke eingesetzt, hier sind u. a. folgende Anwendungen zu nennen:

- Neutronenaktivierungsanalyse,
- aktive kernphysikalische Bohrlochmessungen,
- Prüfstrahler in Wissenschaft und Forschung,
- Messung des Wassergehaltes verschiedener Materialien sowie
- „Anfahrquellen“ für Kernreaktoren.

Die Anzahl an aktiv verwendeten Neutronenquellen ist aber, verglichen zu den Gammaquellen als gering anzusehen. Dieser Sachverhalt wird auch bei den hochaktiven Strahlenquellen beobachtet, wo die Neutronenquellen im Jahr 2012 ≤ 1 % an der Gesamtzahl der registrierten hochaktiven Strahlenquellen ausmachten [BFS 12].

4.9. Auftreten von Strahlenquellen

Auch wenn die sicherste (wenn auch nicht 100-prozentig erfolgreiche) Erkennungsmethode für das evtl. Vorliegen herrenloser Strahlenquellen oder anderer Ursachen von Radioaktivität in Schrotten die Verwendung von Strahlungsmessgeräten ist, kann eine visuelle Inspektion des angelieferten Materials bereits Hinweise auf eine potenzielle umschlossene Strahlenquelle liefern, wenn

- das Piktogramm zur Warnung vor ionisierenden Strahlen zu erkennen ist oder das Wort „radioaktiv“ auf der Quelle selbst oder dem Container graviert ist,
- eine Gefahrgutkennzeichnung mit der entsprechenden UN-Gefahrennummer auf der Quelle selbst oder dem Container angebracht wurde (vergleiche Kapitel 4.7),
- das Verdachtsstück aufgrund des Abschirmungsmaterials (Blei) schwerer ist, als es zunächst aussieht (vergleiche Kapitel 4.7) oder
- das Material entsprechend seiner früheren Verwendung potenzielle Strahlenquellen (natürlich oder künstlich) enthalten könnte (Herkunftsprüfung).

Die Herkunftsprüfung erleichtert auch im Falle einer Detektion von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen, genauere Angaben zu dem Fund an das zu verständigende fachkundige Strahlenschutzpersonal weitergeben zu können.

Tabelle 4.3 gibt eine Übersicht in welchen Branchen mit offenen und umschlossenen Strahlenquellen mit natürlicher und künstlicher Radioaktivität umgegangen wird bzw. radioaktive Strahlenquellen und Stoffe auftreten können.

Tabelle 4.3: Beispiele zur Herkunft von Material mit erhöhtem Verdacht auf radioaktive Stoffe sowie Beispiele

Herkunft	Beschreibung und Beispiele für radioaktive Stoffe
Bergbau	Stilllegung oder Sanierung von Betrieben aus dem Uranerzbergbau oder der Uranerzaufbereitung
	Anlagenteile zur Grubenentwässerung aus dem Kohlenbergbau (z. B. Rohre)
	Material zum Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten und Weiterverarbeiten von Erzen und fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, Erze wie z. B. Aluminium, Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Sondermetalle, Seltene Erden)
	Strahlenquellen in Bohrlochsonde
Industrie und Technik	Anlagenteile aus der Wasserwirtschaft und Wasseraufbereitung
	industrielle Produkte (z. B. Schweißelektroden, Triebwerksteile, Glühstrümpfe, zirkon- und monazithaltige Gießereisande)
	Anlagenteile aus der Papierindustrie
	Anlagenteile aus der optischen Industrie
	Anlagenteile aus der chemischen Industrie
	Anlagenteile aus Kraftwerken und Verbrennungsanlagen
	Anlagenteile aus der Geothermie
	Flugzeugturbinenteile
Militär	elektronische Bauteile (vorionisiert)
	Anzeigegeräte mit radioaktiver Leuchtfarbe

Medizin	Kontrastmittelbehälter
	Strahlenkanone aus der Teletherapie
	Strahlensterilisation
	Zyklotronbauteile
	Strahlenquellen in Bestrahlungsgeräten
Historische Anwendung	Blitzableiter, Überspannungsableiter
	Leuchtziffern von Uhren, Kompassen
	Instrumente aus der Radium-Therapie (z. B. Radon-Trinkgefäße)
	optische Linsen (thoriert)
	alte Ionisationsrauchmelder

Bezüglich der Herkunftsprüfung ist hier aber darauf hinzuweisen, dass dies keine abdeckende Prüfung ist, da

- die ursprüngliche Herkunft einer Schrottlieferung im Rahmen des z.T. weltweiten Handels nicht immer bekannt ist und sich daher auch in z. T. als unverdächtig einzustufende Lieferungen radioaktives Material befinden kann und
- es in der Vergangenheit bereits Fälle gab, bei denen durch das versehentliche Einschmelzen einer Strahlenquelle Radioaktivität in Produkte und deren Bearbeitungsrückstände wie Neuschrott (hier Späne) gelangte und dort nachgewiesen wurde.

4.10. Messsysteme

4.10.1. Vorbemerkung

Für die Identifikation von radioaktiven Stoffen geeignete Messeinrichtungen sollen im Interesse der Sicherheit von Mitarbeitern und Bevölkerung gewährleisten, dass radioaktive Stoffe nicht verarbeitet und bei der Verarbeitung verbreitet werden. Dies gilt insbesondere für radioaktive Stoffe, die oberhalb der in der Strahlenschutzverordnung definierten Freigrenzen liegen. Die Freigrenzen sind so bestimmt, dass Stoffe, die unterhalb der Freigrenzen liegen, kein zu berücksichtigendes strahlenbedingtes Risiko darstellen.

Zusätzlich zum Schutzziel der Nicht-Verbreitung relevanter Mengen von radioaktiven Stoffen ist die möglichst frühe Identifikation von Funden im Annahme- und Verarbeitungsprozess relevant, um möglichst wenige Mitarbeiter mit radioaktiven Stoffen in Kontakt kommen zu lassen und deren Strahlenexposition so gering wie möglich halten zu können.

Die Freigrenzen für radioaktive Stoffe sowie die Aktivität, ab der eine Quelle als hochradioaktive Quelle gilt und beim Bundesamt für Strahlenschutz im Register für hochradioaktive Strahlenquellen

registriert werden muss, sind in Anlage III, Tabelle 1, Spalten 2, 3 und 3a der Strahlenschutzverordnung [SSV 17] nachzulesen.

4.10.2. Passive Messsysteme

Portalmonitore

Die Portalmonitore der deutschen Schrott- und Einschmelzbetriebe, zur Überwachung der Anlieferung und dem Abtransport von Transportgebinden, besitzen gemäß aktuellem Stand der Technik [BS 16a] ein mittleres Detektorvolumen von 2,1 Liter (auf Basis von NaI) und 50 Liter (auf Basis von Plastik). Der Detektorabstand beider Portale beträgt typischerweise ca. 310 cm für eine Straßenzufahrt. Es kann davon ausgegangen werden, dass ab einem jährlichen Schrottdurchsatz von >10.000 Tonnen ein Portalmonitor zur Überwachung der Warenströme installiert ist [BS 16a]. Dies ist vergleichbar mit den vorgeschriebenen technischen Anforderungen in anderen europäischen Ländern wie Belgien und den Niederlanden. Aus diesen Parametern wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens für eine Quellposition zentral im Transportgebinde (Schüttung mit mittleren Dichte von 1 g/cm^3) eine minimal detektierbare Aktivitäten von 1,28 MBq für Co-60 und 6,57 MBq für Cs-137 ermittelt [BS 16b]. Für Am-241 konnte aufgrund der starken Abschirmung des Transportgebindes über die Simulationen keine minimal detektierbare Aktivität für mittige Quellpositionen ermittelt werden. Für eine wandnahe Quellposition wurde eine minimal detektierbare Aktivität von 8,8 kBq für Co-60, 17,8 kBq für Cs-137 und 0,91 MBq für Am-241 rechnerisch ermittelt. Die im Rahmen der theoretischen Studien bestimmten Wertebereiche für die minimalen detektierbaren Aktivitäten der Nuklide Co-60 und Cs-137 konnten im Rahmen von experimentellen Studien sehr gut reproduziert werden [BS 17A].

Messeinrichtung an Magnetgreifern und an Förderbändern

Bei vielen Schrottplätzen wird Schrott nicht ausschließlich über Straße und Schiene angeliefert und abtransportiert. So können z. B. bei der Be- und Entladung von mit Schrott beladenen Schiffen die hierbei zum Einsatz kommenden Greifer mit einem Detektor, der meist oberhalb der Schrottladung im Greifer angebracht ist, ausgestattet werden. Hierdurch kann auch für größere Schrottplätze eine lückenlose Überwachung der Schrottströme auf Radioaktivität sichergestellt werden.

Neben den bei der Anlieferung und dem Abtransport von Metallschrott durchgeführten Messungen mittels Portalmonitoren kann durch zusätzliche Messungen bei gewissen betrieblichen Abläufen die Detektionswahrscheinlichkeit erhöht werden.

Diese betrieblichen Abläufe beinhalten Schritte bei denen eine Vereinzelung des Schrotts im Rahmen der durchgeführten Prozesse notwendig ist. Hierbei werden folgende Bearbeitungseinrichtungen für Schrott eingesetzt:

- Schredderanlagen (Mühlen, Kondiratoren und Zerdiratoren)
- Scherenanlagen

Bei dieser Vereinzelung ist eine der Bearbeitung vorgeschaltete Messung auf radioaktive Stoffe und Strahlenquellen im Stahlschrott zielführend. Hierdurch können die minimal detektierbaren Aktivitäten aufgrund der lokal geringen Massenbelegung, noch deutlich weiter verringert werden.

In den oben aufgeführten Bearbeitungseinrichtungen kommt es zu einer mechanischen Bearbeitung des Schrottes, so dass bei der versehentlichen Bearbeitung einer herrenlosen Strahlenquelle eine Zerstörung der Umhüllung und somit eine Freisetzung von offener Radioaktivität auf dem Gelände des Schrottplatzes nicht ausgeschlossen werden kann. Bei solch einer Freisetzung ist das Gefähr-

dungspotenzial für die Mitarbeiter, aufgrund einer möglichen Inkorporation, deutlich erhöht. Auch die akute Minimierung der möglichen Strahlenexposition (zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit) und Dekontaminationsprozesse gestalten sich aufgrund möglicher Kontaminationsverschleppung und Aktivitätsausbreitung deutlich schwieriger. Im Falle einer Freisetzung aus einer radioaktiven Quelle ist ebenfalls mit einer größeren Menge radioaktiv kontaminierten Materials, das eventuell als radioaktiver Abfall zu entsorgen ist, zu rechnen. Neben den genannten Bearbeitungseinrichtungen werden häufig Transportbänder für den innerbetrieblichen Schrotttransport verwendet.

Automatisierte betriebliche Abläufe, welche bereits eine Vereinzelung von Schrott beinhalten und einen großen Massenfluss an Schrott aufweisen, sollten daher messtechnisch auf radioaktive Stoffe und Strahlenquellen im Stahlschrott überwacht werden.

Neutronendetektion

Die gängigsten Verfahren zum Nachweis von Neutronenstrahlung beruhen auf der Wechselwirkung der Neutronen mit Isotopen über spezifische Kernreaktionen. Reaktionsprodukte dieser Kernreaktionen erzeugen dabei im Rahmen von Sekundärreaktionen geladene Teilchen bzw. Gammastrahlen, die mittels Proportionalzählrohre oder Szintillationsmaterialien detektiert werden. Um Neutronenquellen im Transportgebinde sicher zu identifizieren, muss das Signal der Quellenaktivität von dem Signal der Umgebungsstrahlung und vom Detektorrauschen unterschieden werden. Der Hauptbeitrag zum Neutronenfluss durch Umgebungsstrahlung auf der Erdoberfläche ist kosmogener Natur.

4.10.3. Aktive Messsysteme

Durchleuchtung mittels Röntgen- und Gammastrahlung

Die Durchleuchtung von Containern mittels Röntgen- bzw. Gammastrahlung hat sich als ein relativ schnelles Verfahren zur Prüfung des Containerinhalts bewährt. Hierzu stehen teilmobile Röntgenanlagen (TMR) und vollmobile Röntgenanlagen (VMR) zur Verfügung. Bei einer VMR ist die Röntgenanlage auf einem LKW montiert. Um ein Fahrzeug zu durchleuchten, fährt die VMR mit ausgeklapptem Röntgenarm daran vorbei und das Röntgenbild wird dann von geschultem Personal ausgewertet.

Die Messverfahren mittels Röntgen- und Gammastrahlung dienen primär der Identifizierung von falsch deklarerter Ware innerhalb von Transportcontainern. Hierbei kann davon ausgegangen werden, dass sich die Ware innerhalb des Transportbehälters in einem geordneten Zustand befindet. Dieser Sachverhalt ist aber aufgrund der Schüttung von Stahlschrott nicht ohne weiteres auf ein Transportgebinde zu übertragen. Die Hauptproblematik stellt hierbei die mögliche Bleiabschirmung der herrenlosen Strahlenquellen dar, welche eine eindeutige Identifizierung mittels Bildauswertung nicht ermöglicht.

Vergleichende Untersuchungen konnten nicht zeigen (siehe hierzu [BS 17b]), dass dieses Verfahren zu einer Verbesserung der Detektierbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen an großen Schrott- und Einschmelzbetrieben führt und somit den Mehraufwand, den diese Verfahren im Vergleich zur passiven Detektion von Neutronen erzeugen, rechtfertigen würde. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik wird daher der Einsatz dieser Verfahren an solchen Standorten nicht empfohlen.

„Nuclear Car Wash“

Das zu messende Material wird mit Neutronen bestrahlt, um Kernspaltungsprozesse im darin möglicherweise vorhandenen spaltbaren Material herbeizuführen. Die dabei freiwerdende Gamma- und Neutronenstrahlung kann dann mittels Detektoren nachgewiesen werden.

Diese Methodik befindet sich derzeit noch in der Konzeptphase, d. h. es existieren zurzeit nur Prototypaufbauten. Das System ist in seiner jetzigen Auslegung nicht für die Detektion von herrenlosen Strahlenquellen, wie sie üblicherweise im Stahlschrott auftreten, ausgelegt, sondern für die Erkennung von größeren Mengen (> einige 100 g) an spaltbarem Material bzw. Kernbrennstoff, welches gezielt in Transportcontainern versteckt illegal eingeführt werden könnte. Dies ist daher keine Problematik, welche explizit den Schrotthandel und die Schrottbearbeitung betrifft, sondern den allgemeinen Warenverkehr.

Vergleichende Untersuchungen lassen derzeit nicht erkennen, dass dieses Verfahren zu einer Verbesserung der Detektierbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen an großen Schrottplätzen, Schmelzbetrieben und Stahlwerken führt und somit den Mehraufwand, den diese Verfahren im Vergleich zur passiven Detektion von Neutronen erzeugen, rechtfertigen würde. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik wird daher der Einsatz dieser Verfahren an solchen Standorten nicht empfohlen.

4.10.4. Grenzen der Messsysteme

Häufige Fehlalarme durch die Anlage entstehen aus Bedienfehlern durch das Personal, Anlagenfehlern durch unregelmäßige Wartungen sowie sich verändernde Nachweisgrenzen der Detektoren. Einfluss auf die Empfindlichkeit und somit auf die Messgenauigkeit der Detektoren besitzen folgende Faktoren:

- Höhe der Umgebungsstrahlung
- Detektoren:
 - Art und Größe der Detektoren
 - Abstand der Detektoren zum Material
 - Alarmschwelle des Detektors
 - Auswerteverfahren
 - Messzeit
- Ladungsart, Ladungsmenge und Dichte der Materiallagerung
- Lage und Abschirmung der herrenlosen Strahlenquelle im übrigen Material
- Nuklidzusammensetzung und Aktivität der herrenlosen Strahlenquelle

Die meisten Messanlagen, welche insbesondere in kleineren Betrieben installiert sind, können nur Gammastrahlung detektieren. Messanlagen zur Neutronendetektion haben sich bisher nicht etabliert und sollten aufgrund der Häufigkeit von Zwischenfällen mit Neutronenquellen zum Stand der Technik werden.

5. TABELLEN ZUR VERWENDUNG IM MATERIAL FÜR ALLE PERSONENGRUPPEN

5.1. Dosisleistungswerte und Aufenthaltsdauer

Um unabhängig vom Verständnis der Dosisgrößen ein Gefühl zu vermitteln, welche Dosisleistungswerte relevant oder problematisch sind, wurden in Tabelle 5.1 für ausgewählte Dosisleistungswerte die Zeiten aufgelistet, nach welchen der Jahres-Grenzwert für die effektive Dosis für die allgemeine Bevölkerung von 1 mSv/a erreicht wird.

Tabelle 5.1: Zeit, bis bei fester Dosisleistung (Messgerät-Anzeige) der Grenzwert erreicht ist.

Dosisleistung (Anzeige Messgerät)	Aufenthaltsdauer bis Grenzwert von 1 mSv/a erreicht wird	
0,12 µSv/h entspricht der Umgebungsstrahlung	8.760 h	(1 Kalenderjahr)
0,50 µSv/h	2.000 h	(1 Arbeitsjahr)
1,30 µSv/h	744 h	(1 Kalendermonat)
5,70 µSv/h	176 h	(22 Arbeitstage à 8 Stunden)
41,70 µSv/h	24 h	(1 voller Tag)
125,00 µSv/h	8 h	(1 Arbeitstag)

5.2. Wichtige Grenzwerte für die effektive Dosis und typische effektive Dosiswerte im Vergleich

In Kapitel 4.3 wurde der Begriff effektive Dosis eingeführt. Zur besseren Einordnung dieser Größe sind in Tabelle 5.2 Dosisgrenzwerte und in Tabelle 5.3 typische Dosiswerte für die effektive Dosis (z. B. medizinische Anwendungen) zusammengestellt [BFS 17].

Tabelle 5.2: Dosisgrenzwerte im Vergleich nach [BFS 17]

effektive Dosis	Art der Strahlenexposition
1 mSv pro Jahr	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) der jährlichen Strahlenexposition für Personen der allgemeinen Bevölkerung.
20 mSv pro Jahr	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) der jährlichen Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland

250 mSv	Richtwert für eine freiwillige Person (Retter, Helfer) beim Einsatz lebensrettender Maßnahmen oder zur Vermeidung großer Katastrophen in Deutschland
400 mSv	Grenzwert der maximal zulässige effektive Dosis im Berufsleben (Berufslebensdosis) bei beruflich strahlenexponierten Personen in Deutschland

Tabelle 5.3: Typische Dosiswerte im Vergleich nach [BFS 17]

effektive Dosis	Art der Strahlenexposition
0,01 mSv pro Jahr	Rechnerisch ermittelte Größenordnung der jährlichen Höchstdosis der Bevölkerung in Deutschland durch Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen im Normalbetrieb (Diese Berechnungen gehen von konservativen Annahmen unter anderem des Aufenthaltsortes und der Ernährung aus, so dass die tatsächlichen Expositionswerte darunter liegen.)
0,01 - 0,03 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich bei einer Röntgenaufnahme des Brustkorbs (Thorax)
bis zu 0,1 mSv pro Flug	Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug z. B. von München nach Japan
1 bis 3 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich für eine Computertomographie des Hirnschädels
2 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Dosis einer Person in Deutschland aus zivilisatorischen Strahlenexposition, vornehmlich Medizin (Wert für 2012: etwa 1,9 mSv)
2 mSv, kumuliert über einen Zeitraum von 50 Jahren	Gesamte Dosis für eine Person im Voralpengebiet auf Grund des Reaktorunfalls von Tschernobyl für den Zeitraum 1986-2036
2 bis 3 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland aus natürlichen radioaktiven Stoffen
10 bis 20 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich für eine Ganzkörper-Computertomographie eines Erwachsenen

5.3. Abkürzungen und Einheiten

Abkürzungen

DL	Dosisleistung
IAEO / IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation (International Atomic Energy Agency)

ICSRS	International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices
NORM	Naturally occurring radioactive material (Natürlich vorkommendes Radioaktives Material)
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TeMR	Terminal Mobile Röntgenanlage
TI	Transportkennzahl
TMR	teilmobile Röntgenanlage
VMR	vollmobile Röntgenanlage

Einheiten

a	Annum (Jahr)
Bq	Becquerel
kBq	Kilobecquerel (entspricht 1.000 Bq)
MBq	Megabecquerel (entspricht 1.000 kBq)
GBq	Gigabecquerel (entspricht 1.000 MBq)
TBq	Terrabecquerel (entspricht 1.000 GBq)
cm	Zentimeter
g	Gramm
Gy	Gray
h	Hour (Stunde)
J	Joule
kg	Kilogramm
mm	Millimeter
Sv	Sievert (entspricht 1.000 mSv)
mSv	Millisievert (entspricht 1.000 μ Sv oder 0,001 Sv)
μ Sv	Mikrosievert (entspricht 1.000 nSv oder 0.000001 Sv)
nSv	Nanosievert (entspricht 0.000000001 Sv)

6. EMPFEHLUNGEN FÜR LEITLINIEN

Betriebliche Vorsorgemaßnahmen sollten in jedem Schrott- und Schmelzbetrieb durchgeführt werden, um eine frühzeitige Detektion von herrenlosen radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen zu ermöglichen und somit personelle und wirtschaftliche Schäden zu vermeiden. Zu diesem Zweck sollten die bestehenden Betriebs- und Organisationsstrukturen und insbesondere die bestehenden Messsysteme bei allen Schrott- und Schmelzbetrieben technisch und organisatorisch auf Optimierungspotentiale überprüft werden. Leitlinien über die Verbesserung der Detektierbarkeit von herrenlosen radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen sowie über das Verhalten bei einem Fund sollen diesen Zielen dienen.

Nachfolgend beschreibt der Auftragnehmer fachliche Komponenten, auf deren Grundlage die erforderlichen Leitlinien durch das BfS oder das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMU) erstellt werden können.

6.1. **Betriebsorganisatorische Leitlinien**

Eine organisatorische Optimierung im Hinblick auf das **Vorgehen zur Detektion** von herrenlosen Strahlenquellen im Metallschrott beinhaltet folgende, einfache Maßnahmen:

- Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter,
- Regelung von Zuständigkeiten und Darstellung der Vorgehensweise,
- Erhöhung der Messhäufigkeit an Ein- und Ausgangsmonitoren,
- Erhöhung der Anzahl an Messungen bei betrieblichen Abläufen, welche bereits eine Vereinzelung von Schrott beinhalten sowie
- Regelmäßige Wartung und Überprüfung der Detektoranlagen.

Diese Maßnahmen werden in den folgenden Unterkapiteln weiter beschrieben und insbesondere Empfehlungen vorgestellt, die in eine Leitlinie aufgenommen werden könnten.

6.1.1. **Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter**

Situation: Neben der messtechnischen Erkennung von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen Stahlschrott, durch installierte Detektionshardware, kann die Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter von Schrott- und Einschmelzbetrieben bezüglich der Erkennung von und dem Umgang mit herrenlosen Strahlenquellen einen wichtigen Beitrag zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit liefern.

Bewertung: Durch eine stärkere Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter der Schrott- und Einschmelzbetriebe bezüglich der Erkennung und dem Verhalten bei einem möglichen Fund von herrenlosen Strahlenquellen sind folgende Verbesserungen zu erwarten:

- Die Auseinandersetzung der Angestellten mit der herrenlosen Strahlenquellen-Thematik, vor allem den optischen Erkennungsmerkmalen, führt zu einer verbesserten direkten optischen Erkennung von möglichen Funden.
- Ein verbesserter Wissensstand von leitenden als auch nicht leitenden Angestellten bezüglich der Vorgehensweise bei einem möglichen Fund, welches eine nicht reguläre Arbeitssituation darstellt, führt zu einer deutlich besseren Einhaltung der Arbeits- und Strahlenschutzregeln.

Durch diese stärkeren Sensibilisierungen wird ein besserer Schutz für die allgemeine Bevölkerung sowie eine zielgerichtete Gefahrenminimierung realisiert.

Empfehlung für Leitlinien: Es ist grundsätzlich zu empfehlen, dass Mitarbeiter von Schrott- und Einschmelzbetrieben, die für das mögliche Auftreten von u. a. herrenlosen Strahlenquellen gefährdet sind, in regelmäßigen Abständen adäquat informiert und entsprechend vorbereitet werden. Unterweisungen oder Schulungen mit entsprechenden Inhalten (vergleiche Kapitel 2 bis 4) sind daher zu empfehlen und diese sollten primär die drei verschiedenen Personengruppen berücksichtigen.

Die Wissensvermittlung dieser Unterweisungen oder Schulungen kann durch die Herausgabe von entsprechendem Informationsmaterial unterstützt werden. Bei der Erstellung dieses Informationsmaterials ist darauf zu achten, dass das Material für Nichtfachleute verständlich ist und die vermittelten Informationen für diesen Personenkreis in der Praxis zielführend anwendbar sind.

Anmerkung: Für Betreiber von Metallrecycling- und Produktionsstätten besteht außerdem die Möglichkeit, Zugang zu der **ICSRS-Datenbank** (*International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices*) der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) zu erhalten [IAEA 17]. Diese Datenbank enthält wichtige Fertigungsdaten und Abbildungen zu Geräten, welche Strahlenquellen enthalten und kann somit bei der Identifizierung von Typ, Hersteller und Gefahrenpotenzial gefundener herrenloser Strahlenquellen helfen. Sie enthält keine Informationen zu Seriennummern, Eigentümern oder Standorten. Das Bildmaterial der Datenbank kann auch zu internen Schulungszwecken verwendet werden.

6.1.2. Regelung von Zuständigkeiten und Darstellung der Vorgehensweise

Situation: Der Verdacht auf oder der direkte Fund einer herrenlosen Strahlenquelle bzw. eines radioaktiven Stoffs ist gemäß den Ergebnissen des AP1 [BS 16a] ein Szenario auf das viele kleine und mittlere Schrott- und Einschmelzbetriebe personell als auch organisatorisch nicht eingestellt sind.

Bewertung: Das Gefährdungspotential bei Verdacht auf oder beim direkten Fund einer herrenlosen Strahlenquelle oder eines radioaktiven Stoffes, welches wie bereits in Kapitel 6.1.1 erwähnt, eine nicht reguläre Arbeitssituation darstellt, sollte durch den Betrieb möglichst schnell erkannt werden und zielgerichtet entsprechende Sicherungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Empfehlung für Leitlinien:

Es ist grundsätzlich zu empfehlen, dass bei Verdacht auf oder der direkte Fund einer herrenlosen Strahlenquelle bzw. radioaktiven Stoffs betriebsintern geregelt wird, welche der folgenden Aufgaben durch welche Person wahrgenommen werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass diese Personen auch die nötigen Qualifikationen für solche Arbeiten besitzen:

- Zuständigkeit für die Meldung an die Behörde und Einleiten von Maßnahmen,
- Zuständig für den praktischen Strahlenschutz (s. Kapitel 6.3.4) sowie
- Bedienung sowie Wartung der jeweiligen radiologischen Messgeräte und der Interpretation der Messergebnisse.

Des Weiteren sollten im Vorfeld bereits folgende organisatorische Anweisungen und Pläne zusammengestellt werden.

- Eine betriebliche Handlungsanweisung für die Suche nach radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen und das Vorgehen im Falle eines Fundes auf einem Blatt erstellt durch den jewei-

ligen Betrieb. Diese soll die Messgeräte des Betriebes, die konkreten Ansprechpartner mit Strahlenschutzweisung und die konkreten Ansprechpartner für die Meldung von Funden (Behörde direkt oder innerbetrieblich für Meldungen verantwortliche Person) auflisten.

- Eine kompakte, verständliche Messanweisung für die Benutzung der Messgeräte des Betriebs erstellt durch den jeweiligen Betrieb, die auch einer nicht strahlenschutzeingewiesenen Person der Personengruppe 1 erlaubt, Hinweise auf möglicherweise meldepflichtige Funde zu erkennen und eine Person der Personengruppen 2 oder 1a hinzuzuziehen.
- Im Vorfeld sollte bereits zwischen dem Verkäufer und dem Käufer eine eindeutige **Abgrenzung der Zuständigkeiten** im Falle eines Fundes von herrenlosen Strahlenquellen getroffen werden. Dies erleichtert die Zusammenarbeit mit den Behörden und regelt die Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Behördenverständigung und gemeinsamen Vorort-Maßnahmen zwischen allen Beteiligten, insbesondere zwischen den jeweiligen Schrott- und Einschmelzbetriebe und deren Anlieferer (Fahrer).
- **Orientierende Maßnahmenpläne** sollten in Betrieben, insbesondere an den Eingangs- und Ausgangsportalen, sichtbar ausgelegt werden. Diese sollten die betriebspezifische Zuständigkeiten, Notfallnummern und vereinfachte Schritt-für-Schritt-Anweisungen des generellen Verfahrensablaufes bei Alarmschwellenüberschreitung enthalten sowie die Angabe der Ansprechpartner des Sachverständigen und der Behörde.

6.1.3. Erhöhung der Messhäufigkeit an Ein- und Ausgangsmonitoren

Situation: Im Rahmen der theoretischen Arbeiten des AP2.1 [BS 16b] wurde festgestellt, dass für das typische Transportgebinde eine Co-60-Strahlenquelle mit ca. 2 MBq in zentraler Position minimal detektiert werden kann. Für Positionen weiter vom Zentrum entfernt ist eine exponentielle Abnahme der minimal detektierbare Aktivität bis zu ca. 9 kBq für wandnahe Positionen zu beobachten. Dies bedeutet, dass radioaktive Stoffe oder schwache Strahlenquellen bei der ersten Messung mit ungünstiger Positionierung zentral im Transportgebinde nicht aufgefunden werden können aber nach einem Umladevorgang mit einer wandnahen Position bei einer Wiederholungsmessung detektiert werden. Gemäß den Ergebnissen des AP3 [BS 17b] skaliert die effektive Detektierbarkeit mit der Messhäufigkeit nach Umschlagvorgängen.

Bewertung: Aus den theoretischen (AP 2.1 [BS 16b]) und experimentellen (AP 2.2 [BS 17A]) Betrachtungen zur Detektierbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Stoffen wurde für Gammastrahler deutlich,

- dass entlang der gesamten Transportkette über mehrere Schrottplätze eine Erhöhung der Messung an einem Portalmesssystem (Ein- und Ausgangsmonitore) zu einer signifikanten Verbesserung der Nachweiswahrscheinlichkeit für radioaktive Stoffe oder Strahlenquellen führt,
- dass auch bei einer Erhöhung der Anzahl der Messungen an Portalmessanlagen eine Detektion von Am-241-Strahlenquellen mit Aktivitäten < 1 GBq sehr schwierig ist bzw. bleibt und
- dass bei der Detektion radioaktive Stoffe oder Strahlenquellen entlang der gesamten Transportkette über mehrere Schrottplätze neben dem Einsatz modernster Portalmessanlagen der zusätzliche Einsatz älterer Messtechnik mit höheren Nachweisgrenzen (geringere Anlagensensitivität) zu einer besseren Gesamterfassungswahrscheinlichkeit führt. Dies bedeutet,

dass ältere Systeme, sofern sie nicht durch neue ersetzt werden, weiter betrieben werden sollten.

Ausnahme zur Verbesserung der Detektionswahrscheinlichkeit durch mehrfaches Umladen:

- Betriebe, die nur mit Schrott umgehen, der im Rahmen einer Vereinzelung gemessen wurde. Hier ist die Detektionsempfindlichkeit im Rahmen einer Vereinzelung so niedrig, dass die zusätzliche Messung in einer Portalmessanlage keine Verbesserung darstellt.
- Betriebe, die Primärsammlung von Schrott durchführen und den gesammelten Schrott in Kleingebinden (z. B. mit Fahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 3,5 Mg) an einen größeren Schrotthändler abgeben, der den Wareneingang mit Portalmonitoren überwacht. Hier ist die Eingangsmessung bei der Abgabe als ausreichend anzusehen.
Hinweis: Da ein Großteil der hier betrachteten Betriebe nur einen kleinen Durchsatz aufweist, wären die Investitionskosten für eine Portalmessanlage sehr hoch, daher ist bei diesen Betrieben zum Schutz der Mitarbeiter eine Sensibilisierung und Aufklärung im Rahmen der frühzeitigen Erkennung von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen gemäß Kapitel 6.1.1 zu empfehlen. Des Weiteren ist, zur Identifikation von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen, die Entwicklung einfacher Handgeräte für diese Zielgruppe zu empfehlen.

Eine alleinige Überwachung von Transportgebinden mittels Handmessgeräten ist bei der Anlieferung mit großen Transportgebinden als nicht zielführend anzusehen.

Empfehlung für Leitlinien: Es ist grundsätzlich zu empfehlen, dass Schrott- und Einschmelzbetriebe die Stahlschrott verarbeiten zur Erhöhung der Messhäufigkeit an Transportgebinden mit Portalmonitoren zur automatisierten Messung der Anlieferung ausgestattet werden. In allen Betrieben, bei denen eine Umladung stattfindet, ist es grundsätzlich als verhältnismäßig anzusehen, dass neben der Anlieferung auch der Abtransport der Transportgebinden mittels Portalmonitoren überwacht wird. Dieses führt in der gesamten Transportkette zu einer Erhöhung der Messhäufigkeit an einem Portalmesssystem.

6.1.4. Erhöhung der Anzahl an Messungen bei betrieblichen Abläufen, welche bereits eine Vereinzelung von Schrott beinhalten

Situation: Neben den bei der An- und Ablieferung von Metallschrott durchgeführten Messungen mittels Portalmonitoren kann, durch zusätzliche Messungen bei gewissen betrieblichen Abläufen, die Detektionswahrscheinlichkeit erhöht werden.

Zu diesen betrieblichen Abläufen gehören Schritte bei denen eine Vereinzelung des Schrotts im Rahmen der durchgeführten Prozesse notwendig ist. Hierzu zählen gemäß [IAEA 14] die folgenden Bearbeitungseinrichtungen für Schrott:

- Schredderanlagen (Mühlen, Kondiratoren und Zerdiratoren)
- Scherenanlagen

Neben diesen Bearbeitungseinrichtungen werden häufig Transportbänder für den innerbetrieblichen Schrotttransport verwendet.

Bewertung: Die unbeabsichtigte Bearbeitung von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen im Stahlschrott kann durch eine frühzeitige Detektion bei Anlieferung und Vereinzelung an Anlagen unterbunden werden. Gemäß [IAEA 14] ist die Überwachung des angelieferten Schreddervormaterials auf radioaktive Stoffe und Strahlenquellen im Stahlschrott vor dem Schredder zwingend erforder-

derlich. In [IAEA 14] wird aber nur auf Detektionsmöglichkeiten im Anlieferungsbereich (Portalmonitore, Greifer und Umschlaggeräte) verwiesen. Auch für die im Rahmen der experimentellen und theoretischen Betrachtungen hergeleiteten minimal detektierbaren Aktivitäten für Co-60-, Cs-137- und Am-241-Prüfstrahler für Portalmonitore in [BS 16b] und [BS 17A] ist für die vor Ort tätigen Mitarbeiter immer noch von einem erheblichen Gefährdungspotenzial, bei einer Freisetzung dieser Aktivitätsmenge, auszugehen.

Empfehlung für Leitlinien: Es ist grundsätzlich zu empfehlen, dass automatisierte betriebliche Abläufe, welche bereits eine Vereinzelung von Schrott beinhalten und einen großen Massenfluss an Schrott aufweisen, messtechnisch auf radioaktive Stoffe und Strahlenquellen im Stahlschrott überwacht werden. Die Umstellung auf vollautomatisierte Messanlagen (z. B. Bandmessanlagen) wird hierbei für alle relevanten Schrott- und Einschmelzbetriebe empfohlen.

6.1.5. Regelmäßige Wartung und Überprüfung der Detektoranlagen

Situation: Die Detektoreffizienz eines Detektorsystems hängt von vielen unterschiedlichen Parametern ab, welche sich im Laufe der Zeit, durch äußere Einwirkungen oder Fehlbedienungen der Anlage, ändern können.

Bewertung: Da die Wahrscheinlichkeit zur Auffindung von radioaktiven Stoffen primär von der Detektoreffizienz anhängt, sind durch den Anlagenbetreiber sowohl abrupte (z. B. durch technische Fehlfunktionen) als auch schleichende Veränderungen (z. B. durch die Alterung des Detektormaterials) der Detektoreffizienz zu überwachen und zu protokollieren.

Empfehlung für Leitlinien: Um Alterungsprozesse des Detektormaterials zu erkennen und mögliche Anlagenfehler zu vermeiden ist grundsätzlich zu empfehlen, dass regelmäßige Wartungen durch die Herstellerfirma (gemäß Herstellervorgabe, sonst spätestens alle zwei Jahre) und regelmäßige betriebsinterne Überprüfungen (jeden Monat) an den Detektoranlagen stattfinden. Hierbei kann eine regelmäßige betriebsinterne Prüfung mittels Prüfstrahlern (nur bauartzugelassene radioaktive Strahlenquellen unterhalb der Freigrenze) durchgeführt werden. Hierfür sollte ein internes Prüfprotokoll, welches den genauen Ablauf der Prüfung und die zu erwartende Messergebnisse der Anlage beschreibt, erstellt werden.

6.2. Technische Leitlinien

Die Durchführbarkeit technischer Optimierungsmaßnahmen hängt im Wesentlichen von der Verfügbarkeit und Art der Mess- und Kontrollsysteme im Betrieb ab. werden folgende Maßnahmen als Empfehlung für Leitlinien betrachtet:

- Erhöhung der Messgenauigkeit für Gamma-Strahler durch technische Maßnahmen sowie
- Detektion von Neutronenquellen

Diese Maßnahmen werden in den folgenden Unterkapiteln weiter beschrieben und es werden insbesondere Empfehlungen vorgestellt, die in einer Leitlinie aufgenommen werden können.

Hinweis: Gemäß den Ergebnissen des [BS 16a] verfügen kleinere Betriebe meist nur über Handmessgeräte, die im Verdachtsfall manuell von dem Betriebspersonal bedient werden. Für solche Betriebe steht die Risikominimierung mehr im Vordergrund. Je nach Sachkunde des Personals und Messempfindlichkeit der Geräte besteht hierbei eine hohe Fehleranfälligkeit.

6.2.1. Erhöhung der Messgenauigkeit für Gammastrahler durch technische Maßnahmen

Zur **Erhöhung und Wahrung der Messgenauigkeit** für Gammastrahler an den Mess- und Kontrollsystemen werden folgende Punkte bezüglich der Herleitung von Maßnahmenempfehlungen untersucht:

- Erhöhung der messtechnischen Abdeckung der Transportgebinde,
- Reduktion der Umgebungsstrahlung im Bereich der Messanlage,
- Positionierung der Detektoren näher am Transportgebinde,
- Reduzierung der Durchfahrtsgeschwindigkeit an der Detektoranlage (z. B. durch Bodenschwellen) für längere Messzeiten sowie
- Verbesserungen der Messtechnik und Auswertungsmethoden.

In den folgenden Unterkapiteln werden diese Punkte weiter ausgeführt.

6.2.1.1. Erhöhung der messtechnischen Abdeckung der Transportgebinde

Situation: Im Rahmen der theoretischen Arbeiten des AP2.1 [BS 16b] wurde festgestellt, dass aus einem Transportgebinde mit realer Anisotropie die radioaktive Gamma-Strahlung der Strahlenquelle nicht homogen über die Außenflächen des Transportgebundes austritt, sondern dass lokal begrenzte Bereiche des Transportgebundes einen deutlich erhöhten Photonenfluss aufweisen. Der Bereich der Außenfläche des Transportgebundes, in dem der höchste Photonenfluss aus der Strahlenquelle vorliegt und somit die effizienteste Detektion mittels Messgeräten möglich ist muss notwendigerweise nicht der Bereich auf der Außenfläche sein, der am nächsten an der Strahlenquelle liegt. Eine größere messtechnische Abdeckung der Außenflächen des Transportbehälters erhöht somit die Wahrscheinlichkeit, den Bereich zu erfassen, in dem die effizienteste Detektion möglich ist. Hierdurch wird die Detektierbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Stoffen in Transportgebünden verbessert.

Bewertung: Diese Maßnahme sollte in dem Rahmen umgesetzt werden, wie sie auch technisch sinnvoll zu realisieren ist. So sind z. B. Messungen unterhalb des Transportgebundes technisch nur schwer durchführbar und aufgrund der höheren Abschirmung durch Teile des Fahrzeugs ineffizient. Im Rahmen des AP2.1 [BS 16b] konnte gezeigt werden, dass Messungen mit Plastiksintillationsdetektor die oberhalb des Transportgebundes durchgeführt werden, aufgrund der höheren Untergrundzählrate, eine geringere Sensitivität aufweisen. Ebenso ist hier eine Positionierung des Detektors nahe am Messgut nur schwer zu realisieren.

Die Kosten für solch eine Erhöhung der messtechnischen Abdeckung sind je nach Bereich des Transportgebundes, verwendetem Detektormaterial und Zeitpunkt der Umsetzung sehr unterschiedlich:

- Es ist zu erwarten, dass für einen Plastiksintillationsdetektor, der gemäß aktuellem Stand der Technik ein Detektorvolumen je Portal von 25 Liter und einer Oberfläche von 0,5 m² besitzt, eine sehr gute Abdeckung des Messgutes allein schon durch eine vertikale Ausrichtung des Messpaneels erreicht werden kann.
- Für Portalmonitore auf NaI-Basis ist zur Erreichung einer ausreichenden messtechnischen Abdeckung, aufgrund der jeweils geringeren Detektorvolumen, eine Erhöhung der Anzahl von Detektoren zu erwarten. Die Mehrkosten hierfür skalieren im Wesentlichen mit der Anzahl an benötigten Detektoren.

Da ein Auswechseln der Detektoren in den meisten Fällen nicht mit vertretbarem Aufwand möglich ist, muss diese Maßnahme bereits bei der Installation einer Portalmessanlage berücksichtigt werden.

Aufgrund der lokal begrenzten Bereiche mit erhöhtem Photonenfluss würde eine segmentierte Ausführung der Detektoren die Anlagensensitivität erheblich steigern, allerdings würden aufgrund der zusätzlichen erforderlichen Hardware wie Photomultiplier die Kosten erheblich steigen.

Empfehlung für Leitlinien: Es ist grundsätzlich zu empfehlen, dass bei der Neuanschaffung von Portalmessanlagen der aktuelle Stand der Technik und ein ausreichend großes Detektorvolumen berücksichtigt wird. Im Fall einer ohnehin notwendigen Neuanschaffung einer Anlage sehen wir die Mehrkosten für Detektoren mit einer geeigneten Abdeckung des typischen Füllstands als verhältnismäßig an. Detektoren ober- und unterhalb des Transportgebindes sind im Allgemeinen nicht sinnvoll.

Anmerkung: Da der Stand der Technik 2017 bereits eine gute Detektierbarkeit gewährleistet, sehen wir einen Austausch von Anlagen über dem aktuellen Stand der Technik im Allgemeinen nicht als notwendig an.

6.2.1.2. Reduktion der Umgebungsstrahlung im Bereich der Messanlage

Situation: Im Rahmen der theoretischen Arbeiten des AP2.1 [BS 16b] konnte gezeigt werden, dass die Anlagensensitivität bei Portalmessanlagen durch eine erhöhte Untergrundstrahlung stark reduziert wird. Zur Reduzierung der Untergrundstrahlung am Detektor werden hier zwei verschiedene Maßnahmen diskutiert:

- Abschirmung der Untergrundstrahlung durch Bleiabschirmungen o. ä. an den Detektoren oder
- Austausch von Erdreich im Bereich der Portalmessanlage durch Material mit geringer Aktivität (insbesondere in Regionen mit erhöhter terrestrischer Untergrundstrahlung oder bei vorhandenen Materialien mit erhöhten Aktivitäten natürlicher Nuklide).

Diese Untergrundreduktion kann sowohl für Plastik- als auch NaI-Portalmessanlagen zu einer verbesserten Anlagensensitivität führen.

Bewertung: Für Portalmessanlagen, die noch nicht mit einer Bleiabschirmung o. ä. ausgestattet sind ist eine Nachrüstung im Allgemeinen als einfach durchführbar und die Kosten hierfür sind als gering zu bewerten. Insbesondere führt es bereits zu einer deutlichen Reduktion des Untergrunds, im Rückraum der Portalmessanlage ein 1 bis 2 cm starkes Stahlblech zu montieren. Diese Maßnahme ist sowohl für Portalmessanlagen auf Basis von Plastik- als auch NaI-Detektormaterial empfehlenswert.

Um eine deutliche Reduktion des Untergrunds zu erreichen ist ein Austausch von ca. 10 - 30 cm Bodenmaterial erforderlich. Die Auffüllung kann z. B. aus Recyclingmaterial geringer Untergrundstrahlung und einer Asphaltdecke bestehen.

Der Austausch des Erdreiches im Bereich der Portalmessanlage ist aufgrund der umfangreichen Erdarbeiten mit erheblichen Kosten verbunden. Daher ist diese Maßnahme nur für die Installation von Neuanlagen und für Betriebe in denen Erdarbeiten im Bereich der Portalmessanlage anstehen (z. B. Austausch der LKW-Waage) empfehlenswert.

Empfehlung für Leitlinien: Portalmessanlagen sollten mit einer Abschirmung (Blei an der Abgewandten Seite) zur Untergrundreduktion versehen sein. Hier ist, wenn dieses technisch möglich ist, auch eine Nachrüstung bestehender Anlagen zu empfehlen.

Ein Austausch von Untergrundmaterial bei Bestandsanlagen wird als nicht verhältnismäßig angesehen. Bei der Neuinstallation oder dem Umbau von Anlagen ist im Einzelfall zu prüfen, ob hier Maßnahmen verhältnismäßig sind.

6.2.1.3. Positionierung der Detektoren näher am Transportgebinde

Situation: Im Rahmen der theoretischen Arbeiten des AP2.1 [BS 16b] konnte gezeigt werden, dass die Platzierung der Detektoren näher am Transportgebinde die Effizienz der Detektion (Abstandsquadratgesetz und bessere Abschirmung des Detektors durch das Transportgebinde) erhöht und damit die minimal detektierbare Aktivität von radioaktiven Stoffen im Stahlschrott verringert.

Bewertung: Diese Maßnahme kann bei der Neuanschaffung einer Portalmessanlage einfach umgesetzt werden, hierbei sind praktisch keine Mehrkosten zu erwarten. Dabei sind insbesondere Beschränkungen durch den Arbeitsschutz (wie z. B. Quetschschutz) zu berücksichtigen.

Bei bestehenden Anlagen sind deutlich höhere Kosten aufgrund anfallender Umbaumaßnahmen zu erwarten.

Empfehlung für Leitlinien: Im Fall einer Neuanschaffung einer Anlage sollten die Detektorpositionen der Anlage so nah wie möglich, aber auch unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes, am Transportgebinde realisiert werden.

Einen Umbau von Anlagen nach dem aktuellen Stand der Technik sehen wir nicht als notwendig an.

6.2.1.4. Reduzierung der Durchfahrtsgeschwindigkeit an der Detektoranlage

Situation: Die Anlieferung und Abholung von Schrott erfolgt meistens durch eigene oder externe Logistikunternehmen, welche in der Regel einem hohen Zeitdruck ausgesetzt sind. Hierdurch werden Arbeitsabläufe beschleunigt durchgeführt, so dass beispielsweise die Durchfahrt durch Portalmonitore schneller erfolgt als unter messtechnischen Gesichtspunkten wünschenswert ist.

Bewertung: Die Anlagensensitivität nimmt gemäß der theoretischen Arbeiten des AP2.1 [BS 16b] für höhere Durchfahrtsgeschwindigkeiten ab. Um eine gleichbleibend hohe Anlagensensitivität zu gewährleisten ist durch technische Maßnahmen die erforderliche Durchfahrtsgeschwindigkeiten zu realisieren, welche je nach Detektorsystem zwischen 5 und 10 km/h beträgt.

Empfehlung für Leitlinien: Es sind technische Maßnahmen zu treffen, dass Messungen mittels Portalmonitoren an LKW unter definierten Bedingungen durchgeführt werden. Hierzu ist die Geschwindigkeit des Fahrzeuges mittels Schwellen zu begrenzen und über Messsysteme automatisch zu erfassen. Im Falle einer Geschwindigkeitsübertretung ist die Messung als ungültig anzusehen und dementsprechend zu wiederholen.

Schwellen zur Geschwindigkeitsbegrenzung lassen sich bei alten Anlagen einfach nachrüsten. Automatisierte Systeme zur Geschwindigkeitserfassung sollten bei einer Neuanschaffung einer Anlage mit berücksichtigt werden.

6.2.2. Detektion von Neutronenquellen

Situation: Bezüglich der Neutronenquellen haben die Erhebungen im Rahmen des AP1 [BS 16a] gezeigt, dass bisher fast ausschließlich Am-241/Be-Neutronenquellen als herrenlose Strahlenquellen im Stahlschrott aufgefunden wurden. Die Monte-Carlo-Simulationen im Rahmen des Arbeitspunktes 3 [BS 17b] haben gezeigt, dass durch die direkte Detektion von Neutronenstrahlung solche Strahlenquellen gut identifiziert werden können.

Bewertung: In Deutschland liegen allerdings gegenwärtig nur sehr wenige praktische Erfahrungen in der Detektion von Neutronenquellen im Stahlschrott vor [BS 17b]. Die fehlende Aufklärung und Ausstattung hinsichtlich der Neutronendetektion von Betrieben, bei denen der Schrott mechanisch bzw. thermisch bearbeitet oder aufgeschmolzen wird, stellt somit derzeit noch eine Lücke im Strahlenschutz dar. Aufgrund der Schwere der Auswirkungen auf Personal und Betrieb durch Freisetzung und Inkorporation von Alphastrahlern als häufiger Bestandteil der typischen Neutronenquellen, ist die unbeabsichtigte Bearbeitung (mechanisch oder thermisch) von herrenlosen Neutronenquellen durch eine frühzeitige Erkennung bei deren Anlieferung auf dem Betriebsgelände unbedingt zu verhindern.

Empfehlung für Leitlinien: Die Empfehlung gemäß Stand der Technik lautet daher, insbesondere bei Neuinvestition, Neutronendetektoren zu berücksichtigen. Dadurch kann sowohl das Gefährdungspotenzial durch eine externe Bestrahlung der Mitarbeiter als auch durch eine versehentliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus den Neutronenquellen deutlich reduziert werden. Hierbei sollte das Messsystem im Anlieferungsbereich installiert werden.

Da Neutronendetektoren mit erheblichen Investitionen verbunden sind, ist deren Anschaffung insbesondere für große Schrott- und Einschmelzbetriebe mit automatisierten Behandlungseinrichtungen für Schrott wirtschaftlich. Kleinere Betriebe sollten – solange keine automatisierten Messsysteme installiert sind – daher auf eine verstärkte Sensibilisierung und Aufklärung der Mitarbeiter Wert legen sowie sich regelmäßig über die Weiterentwicklung der Helium-3-freien Detektionstechnik und der damit verbundenen Kostenreduktion informieren, da damit zukünftig auch neuentwickelte Messsysteme für Neutronenstrahlung bei mittleren und/oder sogar kleineren Schrottplätzen (< 10.000 t/Jahr) kostengünstig installiert werden können.

6.3. Leitlinie zum Verhalten bei einem Alarm oder Verdacht auf Fund (zu ergreifenden Maßnahmen)

Im Folgenden werden Empfehlungen für einen Musterablauf bei Alarm der Portalmessanlage und somit bei einem möglichen Verdacht auf einen Fund von radioaktiven Stoffen oder Strahlenquellen gegeben.

6.3.1. Bewertung von Alarmanzeigen

Wird bei der Anlieferung von Metallschrott an den Eingangsportalmessanlagen von Metallrecycling- und Produktionsstätten eine erhöhte Aktivität (z. B. aufgrund einer Erhöhung der Dosisleistung) gemessen, kann dies folgende Ursachen haben:

- Fehlalarm (technisch, organisatorisch oder extern),
- Fund einer herrenlosen Strahlenquelle, aber Unterschreitung der Freigrenzen sowie
- Fund einer herrenlosen Strahlenquelle mit Überschreitung der Freigrenzen.

Je nach Ursache sind unterschiedliche Verfahrensabläufe notwendig, welche der Firmenleitung sowie dem Bedienpersonal der Messeinrichtungen unbedingt bekannt sein müssen, da der gemessene Wert der Dosisleistung noch nichts über die Höhe der Aktivität und somit die evtl. Höhe der Überschreitung der Freigrenzen gemäß Strahlenschutzverordnung aussagt. Da bereits häufig Gamma- und Neutronenquellen im Aktivitätsbereich mehrerer hundert GBq gefunden wurden, muss der Schutz der eigenen Mitarbeiter hierbei oberste Priorität haben.

6.3.2. Empfohlener Handlungsablauf (Orientierender Maßnahmenplan)

Wird ein Alarm angezeigt, d. h. die mögliche Detektion einer Strahlenquelle, empfehlen sich folgender Maßnahmenplan:

1. Bei geringer Alarmschwellenüberschreitung – durchzuführen durch die hierfür laut Organisationsplan zuständige Person (z. B. Rohstoffmeister):
 - a. Erneute Messung mit verringerter Durchfahrtsgeschwindigkeit des Transportfahrzeuges durchführen, um Fehlalarm auszuschließen.
 - b. Prüfen, ob der Alarm auf technische Fehleinstellungen zurückzuführen ist. Beispiel: zu niedrig eingestellte Alarmschwelle an der Detektoranlage.
 - c. Prüfung möglicher externer Alarmursachen: z. B. Radioaktivtransport in der Umgebung, Personen mit nuklearmedizinischen Untersuchungen.
2. Nach Verifikation des Alarms – durchzuführen durch die hierfür laut Organisationsplan zuständige Person (z. B. Rohstoffmeister):
 - a. Bereich um die Fundstelle absperren.
 - b. Nicht autorisierte Personen vom Fundort fernhalten.
 - c. Firmenleitung informieren.
3. Bei Zuordnung des Alarms zum Fahrzeug und seiner Ladung:
 - a. LKW separat abstellen an einer wenig frequentierten und hierfür bereits im Rahmen der Planung von Maßnahmen vorgesehenen Stelle des Firmengeländes.
 - b. Eigenes oder externes fachkundiges Strahlenschutzpersonal informieren.
Die Anwendung von Schutzmaßnahmen ist **vor dem Beginn von praktischen Arbeiten** durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal festzulegen (vergleiche Kapitel 6.3.4). **Sofern kein eigenes fachkundiges Strahlenschutzpersonal vorhanden ist soll externes fachkundiges Strahlenschutzpersonal hinzugezogen werden.**
 - c. Durchführung von Messungen durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal.
Falls bei diesem Schritt bereits eine hohe Dosisleistung im Bereich von 100 $\mu\text{Sv/h}$ oder höher (vergleiche Kapitel 6.3.3) gemessen wird, die zu einer Störung der öffentlichen Sicherheit führen kann (Stichpunkt Gefahrenabwehr), ist die zuständige Behörde direkt zu informieren (s. Anhang B). Der Bereich um das Transportgebinde ist abzusperren und den Anweisungen der Behörde ist Folge zu leisten.
4. Bei der Feststellung einer Dosisleistung von deutlich unter 100 $\mu\text{Sv/h}$:
 - a. Zum Auffinden der Ursache ist kontrolliertes vorsichtiges Entladen unter kontinuierlicher Überwachung der Dosisleistung und Kontamination durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal durchzuführen. Zum Schutz vor offener Kontamination sind entsprechende Schutzkleidung und Atemschutz erforderlich. Die Entscheidung über Abbruch oder Fortsetzung der Suche wird durch das fachkundige Strahlenschutzpersonal nach der Entwicklung der Dosisleistung getroffen.

- b. Wird ein Fundstück durch die Messungen über Dosisleistung oder durch optische Sichtung erkannt, ist dieses geeignet zu separieren. Ein Berühren oder weiteres Nähern einer beschädigten Strahlenquelle muss vermieden werden.
 - c. Quellen mit höherer Dosisleistung (im Bereich von 50 $\mu\text{Sv/h}$) sind nur durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal selbst unter entsprechenden Schutzmaßnahmen zu bergen. Hierbei ist zu beachten, dass die Dosisleistung im Bereich des Fundes für kürzere Abstände sehr schnell ansteigen kann.
 - d. Nach einer erfolgten Sicherstellung der Strahlenquelle ist die Ladung auf weitere Funde zu überprüfen. Die isolierten Strahlenquellen sollte so aufbewahrt werden, dass durch Abschirmungen und Abstand (Absperrungen) eine möglichst geringe Dosisleistung im allgemein zugänglichen Bereich und durch eine geeignete Verpackung auch die evtl. mögliche Verbreitung von Kontamination unterbunden wird.
5. Nach vollständiger Entladung sind der LKW und/oder das Transportbehältnis auf erhöhte Strahlung zu überprüfen. Häufig befinden sich NORM-Rückstände im Transportbehältnis, die zu Alarmen führen. Dieses kann das nicht Auffinden einer Strahlenquelle bei der Vereinzelung erklären.
6. Wird ein Fund mit Überschreitung der Freigrenzen gem. Anlage III (Tabelle 1 Spalte 2 und 3) der Strahlenschutzverordnung durch das fachkundige Strahlenschutzpersonal durch Aktivitätsmessungen bestätigt, ist umgehend die zuständige Behörde zu informieren (siehe Anhang B). Dabei sollten folgende Auskünfte gegeben werden:
- Betrieb, Name und Erreichbarkeit des Meldenden,
 - Ort, Datum und Uhrzeit des Fundes,
 - Stichwortartige Beschreibung des Zwischenfalls (Höhe der Alarmschwellenüberschreitung, Anzahl der Wiederholungsmessungen, Personenkontaminationen, Kontamination von Gelände) sowie
 - Bereits veranlasste Maßnahmen beschreiben (Absperrungen, Separierungen, Dekontamination etc.).

Wichtig: Bei dem Auffinden von Materialien mit einem erhöhten Gehalt an natürlichen Radionukliden (NORM) sind die besonderen Regelungen für NORM-Materialien zu berücksichtigen, vergleiche Kapitel 6.3.6.

Sofern möglich können folgende Informationen zu dem Fund weitergegeben werden:

- a. Erkennbare/vorhandene Kennzeichnungen (Piktogramme, Gefahrgut-/ Transportkennzeichnungen, UN-Nummer),
 - b. Erkannte Freisetzungen von Flüssigkeiten oder Stäuben, welche radioaktive Stoffe enthalten könnten sowie
 - c. Angaben aus Begleitpapieren (Art, Menge des Materials bzw. dessen Aktivität), sofern ersichtlich sowie zum Zustand der radioaktiven Stoffe, nur soweit dies ohne Eigengefährdung und ohne Anfassen erkennbar ist!
7. Auf weitere Anweisungen seitens der Behörde warten.
8. Eine mögliche Entsorgung des Fundes mit der Behörde abstimmen (Abgabe an Landesammelstelle, Verbrennung). Der Erfolg von Dekontaminationsmaßnahmen durch offene radioaktive Stoffe ist durch Messungen zu Überprüfen und zu Dokumentieren. Umfang und Art dieser Messungen sollten ebenfalls mit der Behörde abgestimmt werden.

Anhang A enthält Vorlagen für ein generelles Ablaufschema zu Maßnahmen bei Funden herrenloser Strahlenquellen als Aushang in Betrieben. Hierbei wird auch auf die unterschiedlichen Zuständigkeiten innerhalb des Betriebes eingegangen. Wie in Kapitel 6.1.2 dargestellt ist grundsätzlich zu

empfehlen, dass für die Szenarien „Verdacht auf“ oder der „direkte Fund“ einer herrenlosen Strahlenquelle bzw. eines radioaktiven Stoffs im Vorhinein betriebsintern geregelt wird, welche Aufgaben durch welche Person wahrgenommen werden soll. Hierbei sollte beachtet werden, dass diese Personen auch die nötigen Qualifikationen für solche Arbeiten besitzen.

6.3.3. Richtwerte für die Dosisleistung

Solange ein durch ein Messgerät ausgelöster Alarm nicht durch geschultes Personal als Fehlalarm identifiziert wurde, sind zur Sicherheit des Personals Strahlenschutzmaßnahmen vorzunehmen. Ableitung der DL-Schwellen, bis zu denen eigenverantwortliches Handeln bzw. Hinzuziehen der Behörde usw. erfolgen soll (in Analogie zu [BDSV 15]),

- Dosisleistung $< 5 \mu\text{Sv/h}$: Untersuchung durch sachkundigen Mitarbeiter möglich,
- Dosisleistung $> 5 \mu\text{Sv/h}$: Untersuchung durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal sowie
- Dosisleistung $> 100 \mu\text{Sv/h}$: Einstellen der Arbeiten, Sperren des Bereiches und unverzügliche Information der zuständigen Behörde.

Die hier angegebenen Dosiswerte sind nur anwendbar beim Vorliegen eines Gammastrahlers. Für Alpha- und Neutronenstrahlen sind diese Richtwerte nicht anwendbar.

Es ist generell zu beachten, dass radiologische Messungen nur von Personen durchgeführt werden dürfen, die in der Bedienung des jeweiligen Messgerätes und in der Bewertung von Messergebnissen ausgebildet wurden.

6.3.4. Verantwortlichkeit von fachkundigem Strahlenschutzpersonal

Das fachkundige Strahlenschutzpersonal vor Ort ist entsprechend den organisatorischen Regelungen, die im Rahmen der Planung von Maßnahmen bei Fund von Strahlenquellen festzulegen sind, verantwortlich für folgende Maßnahmen und Aufgaben:

- Durchführung von erweiterten Strahlenschutzmessungen am Fundort sowie an ggf. betroffenen Personen und ggf. weitere Untersuchung von Materialien in einem Strahlenmesslabor.
- Abhängig vom Ergebnis der erweiterten Strahlenschutzmessungen: Festlegung von Maßnahmen zum Strahlenschutz, z. B. Absperrungen, Maßnahmen zur Vermeidung der Verschleppung von Kontamination, Schutzkleidung und Ausrüstung für das Personal, welches praktische Arbeiten durchführt.
- Sicherung der herrenlosen Strahlenquelle durch fachgerechte Zwischenlagerung oder Abgabe an die Landessammelstelle für radioaktive Abfälle nach Rücksprache mit den Behörden.
- Veranlassung und ggf. Durchführung von Dekontaminationsmaßnahmen am Fundort.
- Überprüfung von beteiligten Personen und verwendeten Gegenstände auf eine mögliche Kontamination sowie eine abschließende Überprüfung des Fundortes auf Kontaminationsfreiheit (Hinweis: Bei Verdacht auf Personenkontamination ist die zuständige Behörde unverzüglich zu informieren und das weitere Vorgehen abzustimmen).
- Ggf. abhängig von der einzelnen Aufgabenzuteilung regelmäßige Wartung und Prüfung der Messgeräte.

Durch das fachkundige Strahlenschutzpersonal vor Ort ist abhängig vom Ablaufplan in Kapitel 6.3.2 zu entscheiden, ob die Arbeiten in Eigenregie durchgeführt werden können oder ob externes fachkundiges Strahlenschutzpersonal hinzuzuziehen ist.

6.3.5. Einstufung eines Alarms

Bei der Bewertung eines Alarms kann zwischen Alarmen, deren Ursache keine Strahlenquelle oder radioaktive Stoffe im Transportgut ist („Fehlalarme“) und Alarmen, die auf herrenlose Strahlenquellen oder radioaktive Stoffe im Transport zurückgehen („Funde“), unterschieden werden.

Beide Klassen von Alarmen werden nachfolgend kurz erläutert:

(1) Mögliche Ursachen eines Fehlalarms

Interner Fehlalarm:

- defekte Detektoren
- zu niedrig eingestellte Alarmschwellen
- Bedienfehler

Externe Fehlalarme:

- beteiligte oder unbeteiligte Personen mit kürzlich durchgeführter nuklearmedizinischer Behandlung
- Radioaktivtransport in der Umgebung
- veränderte Umgebungsstrahlung

Wie bereits im Handlungsablauf beschrieben wurde, wird bei einem Alarm zuerst geprüft, ob ein Fehlalarm vorliegt. Kann ein Fehlalarm nicht zweifelsfrei identifiziert werden, dann ist von dem Vorhandensein einer Strahlenquelle oder von radioaktiven Stoffen im Transportgut auszugehen.

Es ist zu beachten, dass auch bei externen Fehlalarmen das Risiko einer Strahlenexposition von Mitarbeitern und weiteren Personen bestehen kann.

Weiterhin ist zu beachten, dass eine Anpassung der eingestellten Alarmschwelle nur durch das hierfür zuständige Personal, i. A. das fachkundige Strahlenschutzpersonal, angepasst werden darf.

(2) Fund eines radioaktiven Stoffes oder einer herrenlosen Strahlenquelle: Unterschreitung der Freigrenzen

Ist ein Fehlalarm ausgeschlossen, muss geklärt werden, ob die gefundenen radioaktiven Stoffe meldepflichtig sind, also die Freigrenze überschreiten. Bei einem Fund besteht nach § 71 der Strahlenschutzverordnung erst behördliche Meldepflicht, wenn die Aktivität der gefundenen Stoffe die festgelegten Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung übersteigt (hierbei ist die besondere Regelung für NORM-Materialien nach Kapitel 6.3.6 zu berücksichtigen).

Manuelle Messungen und die Bewertung müssen hierbei durch **fachkundiges Strahlenschutzpersonal** (betriebseigen oder extern) erfolgen. Dieses sollte bei Ausschluss eines Fehlalarmes, d. h. bei mutmaßlicher Bestätigung eines realen Alarms, umgehend informiert werden. Es müssen anschließend Vorsorgemaßnahmen durch Absperrung des potenziellen Fundortes getroffen werden, um eine mögliche Gefährdung des Personals durch Inkorporation sowie Verschleppung von Kontamination zu vermeiden. Sofern kein betriebseigenes fachkundiges Strahlenschutzpersonal vorhanden ist, kann eine Sachverständigenliste für jedes Bundesland bei den entsprechenden Behörden und Auskunftsstellen (s. Anhang B) erfragt werden und sollte in jedem Betrieb mindestens an der Eingangs- und Ausgangskontrolle sichtbar für das Personal ausliegen.

Bestätigt das fachkundige Strahlenschutzpersonal durch Aktivitätsmessungen (ggf. erst nach Entladung des angelieferten Materials) eine Unterschreitung der Freigrenzen, kann der Käufer – abhängig von den vertraglichen Regelungen – entscheiden, wie er mit dem Material weiter verfahren möchte. Grundsätzlich besitzt dieser aufgrund der standardmäßigen Gestaltung der Lieferverträge auf privatrechtlicher Basis die Berechtigung der Verweigerung einer Annahme des angelieferten Materials, wenn dieses zum Zeitpunkt der Übernahmekontrollmessung (auch nach erneuter Kontrollmessung) eine Überschreitung der Umgebungsstrahlung aufweist.

(3) Fund eines radioaktiven Stoffes oder einer herrenlosen Strahlenquelle: Überschreitung der Freigrenzen

Ergeben die Messungen durch fachkundiges Strahlenschutzpersonal, dass das angelieferte Material die Freigrenzen der Anlage III (Tabelle 1 Spalte 2 oder 3) der Strahlenschutzverordnung überschreitet, fällt dieses in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung (hierbei ist die besondere Regelung für NORM-Materialien gemäß Kapitel 6.3.6 zu berücksichtigen). Es ist somit durch die Person, welche die tatsächliche Gewalt über die Strahlenquelle hat, die **zuständige Behörde** (laut StrlSchV ist dieses die Ordnungsbehörde) zu informieren und den Anweisungen des Strahlenschutzpersonals und der Behörde zu folgen. Hier gilt insbesondere, Vorsorgemaßnahmen durch Absperrung des potenziellen Fundortes zu treffen, um eine Gefährdung des Personals durch Inkorporation sowie Verschleppung von Kontamination zu vermeiden.

Anhang B gibt eine Übersicht über Kontaktdaten zu neben Ordnungsbehörden ebenfalls zuständigen Behörden der einzelnen Bundesländer sowie ggf. deren direkte Ansprechpartner. **Polizei** und **Feuerwehr** können bei Nichterreichen und in äußerst dringenden Fällen (Störung der öffentlichen Sicherheit) der Behörde ebenfalls sofort verständigt werden.

6.3.6. Fund von Materialien mit erhöhten Gehalten natürlicher Radionuklide (NORM)

Für die Bewertung von Materialien aus Arbeiten und Handlungen, bei denen die natürlich vorkommende Radioaktivität erhöht sein kann, ist der Begriff des Fundes gemäß § 70 der StrlSchV [SSV 17] nicht heranzuziehen. Die Einordnung als radioaktiver Stoff erfolgt hierbei nicht über die Freigrenzen. Die rechtlichen Regelungen zur Entsorgung und Verwertung von Rückständen aus Industrie und Bergbau mit erhöhten spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide sind in §§ 97 bis 102 und Anlage XII der StrlSchV [SSV 17] dargelegt.

In aller Regel handelt es sich bei den NORM-Rückständen nicht um einen überwachungsbedürftigen Rückstand im Sinne von Anlage XII Teil A StrlSchV [SSV 17]. Die in der genannten Anlage enthaltene Positivliste ist recht knapp gefasst und wird künftig in der neuen Strahlenschutzverordnung erweitert werden, mindestens um Rückstände aus der Geothermie. Gegenwärtig – nach geltendem Recht – gelten aber nur die 4 Punkte aus Anl. XII Teil A StrlSchV [SSV 17], d. h.

- Schlämme und Ablagerungen aus der Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Erdöl und Erdgas,
- nicht aufbereitete Phosphogypse, Schlämme aus deren Aufbereitung sowie Stäube und Schlacken aus der Verarbeitung von Rohphosphat (Phosphorit),
- Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube
 - aus der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit, Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit, Kupferschiefer-, Zinn-, Seltene-Erden- und Uranerzen

- aus der Weiterverarbeitung von Konzentraten und Rückständen, die bei der Gewinnung und Aufbereitung dieser Erze und Mineralien anfallen, sowie den o.g. Erzen entsprechende Mineralien, die bei der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe anfallen;
- Stäube und Schlämme aus der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Roheisen- und Nichteisenmetallurgie,

per se als überwachungsbedürftige Rückstände.

Im Sinne von § 102 der StrlSchV [SSV 17], der die Überwachung sonstiger Materialien regelt, muss jedoch sichergestellt sein, dass nicht die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nicht erheblich erhöht ist, so dass keine Strahlenschutzmaßnahmen notwendig sind. Hieraus ergibt sich, dass auch weitere Materialien, die nicht ausdrücklich unter Anlage XII Teil A StrlSchV [SSV 17] fallen, den überwachungsbedürftigen Rückständen gleichzusetzen und entsprechend den für diese geltenden Regelungen zu behandeln sind.

6.4. Optimierungsvorschläge für die Behörden

Im Rahmen des AP1 [BS 16a] wurden die organisatorischen Rahmenbedingungen als auch Vorschriften und Empfehlungen zum Auffinden von und den Umgang mit herrenlosen radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen in anderen Ländern analysiert. Hieraus ergeben sich folgende Empfehlungen für die zuständigen Behörden in Deutschland.

- **Situation:** Der „Verdacht auf“ sowie der tatsächliche Fund von radioaktiven Stoffen und vor allem Strahlenquellen stellt für viele Betriebe als auch Behörden eine nicht alltägliche Situation dar.
Empfehlungen: Es sollte Informationsmaterial bezüglich der Vorgehensweise beim Fund einer Quelle bzw. eines Verdachts über eine zentrale Internetseite der jeweiligen Strahlenschutzbehörde bereitgestellt werden. Hierbei sollte auch erwogen werden, dass der Betreiber der Behörde den Fund von radioaktivem Material und Strahlenquellen über eine Eingabemaske auf einer Internetseite melden kann. Für Fragen des Betreibers zum weiteren Vorgehen sollte zusätzlich eine Telefonnummer der für den Strahlenschutz verantwortlichen Person bereitgestellt werden.
- **Situation:** Die Beurteilung eines Fundes und die anschließende Entsorgung von radioaktiven Stoffen als auch Strahlenquellen sind für die Betriebe mit erheblichen Kosten verbunden. Diese Kosten werden nach dem Verursacherprinzip geregelt. Folglich wird versucht den Verursacher zu identifizieren, um ihm die entstandenen Kosten in Rechnung zu stellen. Weitere strafrechtliche Konsequenzen können je nach Schwere des Falles folgen. Wenn kein Verursacher ermittelt werden kann oder wenn die Bemühungen ihn zu identifizieren in keinem Verhältnis zu den mit der Ermittlung verbundenen Kosten stehen, kann die Quelle als herrenlose Strahlenquelle betrachtet werden. Da in diesem Fall der Finder für sämtliche Kosten aufkommen muss sollte vermieden werden, dass der Finder, um diese Kosten zu vermeiden, den Fund ebenfalls wieder illegal entsorgt.
Empfehlung: Um die wiederholte illegale Entsorgung von Strahlenquellen aus Kostengründen zu vermeiden, sollte in Betracht gezogen werden die entstandenen Kosten oder einen Teil dieser durch einen öffentlichen oder privaten Fonds zu beglichen.

7. LITERATUR

- [ADR 15] ACCORD EUROPÉEN RELATIF AU TRANSPORT INTERNATIONAL DES MARCHANDISES DANGEREUSES PAR ROUTE

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 2015 geltenden Fassung)

Anlageband zum Bundesgesetzblatt Teil II Nr. 13 vom 8. Mai 2015

- [BMUB 15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (EHEMALS BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT)

Bericht „*Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2015*“

Salzgitter, November 2012

- [BDSV 15] BUNDESVEREINIGUNG DEUTSCHER STAHLRECYCLING- UND ENTSORGUNGSUNTERNEHMEN E.V. (BDSV)

Bericht „*Radioaktivität im Schrott - Verantwortlichkeit der Schrottlieferanten*“

Salzgitter, November 2012

- [BFS 12] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Bericht „*Wissenswertes über hochradioaktive Strahlenquellen*“

Salzgitter, November 2012

- [BFS 15] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Bericht „*Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2015*“

Salzgitter, November 2012

- [BFS 17] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Homepage des BfS:

<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>

Aufgerufen im November 2017

- [BS 16A] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott

Bericht zu AP1 des BfS-Forschungsvorhabens 3615S52320, Aachen, 29.07.2016

- [BS 16B] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH

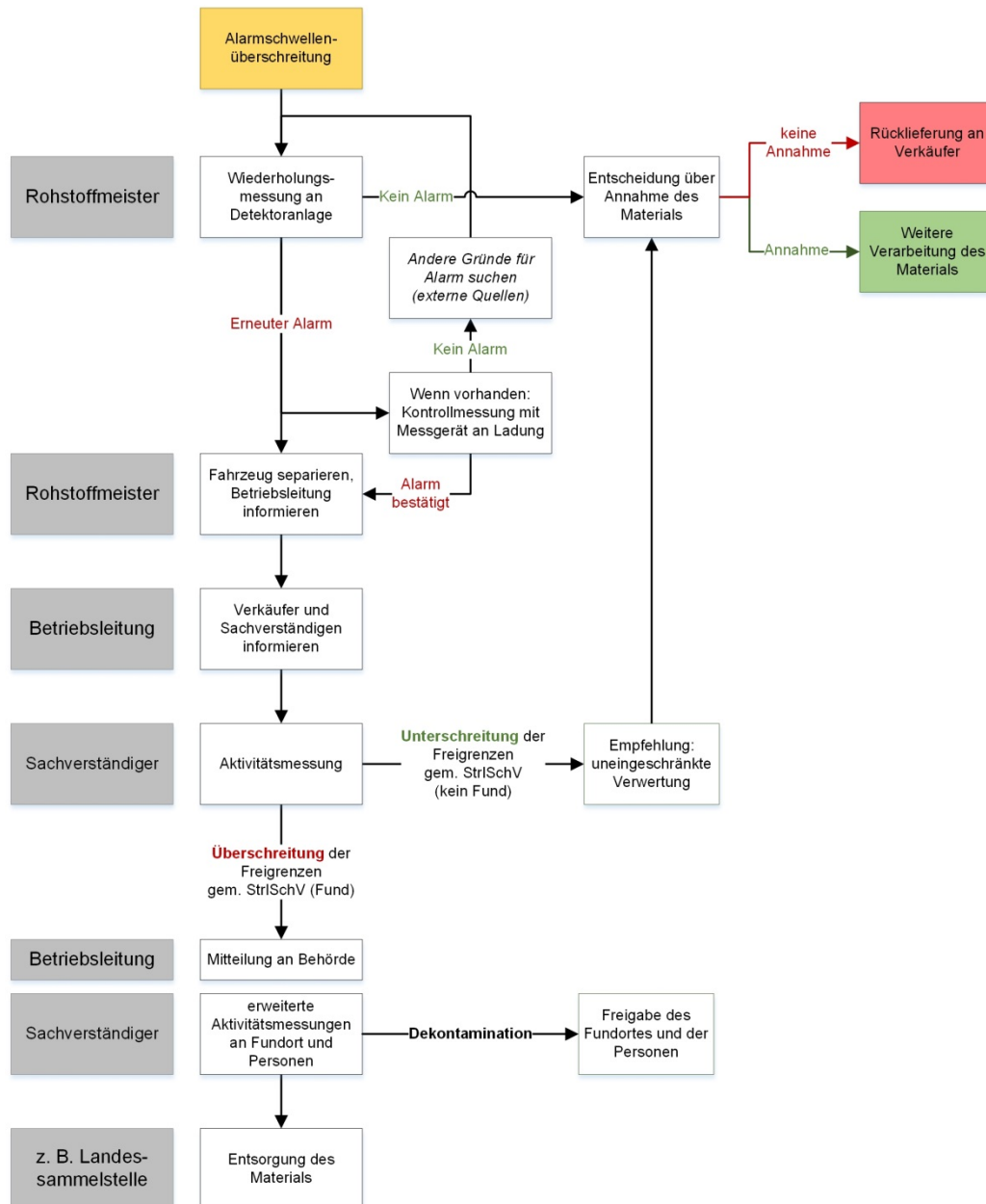
Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott

Bericht zu AP2.1 des BfS-Forschungsvorhabens 3615S52320, Aachen, 29.07.2016

- [BS 17A] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
„Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott“
Bericht zu AP2.2 des BfS-Forschungsvorhabens 3615S52320, Aachen, 19.04.2017
- [BS 17B] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
„Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott“
Bericht zu AP3 des BfS-Forschungsvorhabens 3615S52320, Aachen, 19.04.2017
- [EU 13] EUROPÄISCHE UNION
Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom
- [IAEA 13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
IAEA: Sealed Radioactive Sources - Information, resources, and advice for key groups about preventing the loss of control over sealed radioactive sources. Wien; Oktober 2013
- [IAEA 14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Management of Disused Sealed Radioactive Sources. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.3, Wien, 2014
- [IAEA 17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices (ICSRS), URL: www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/WTS/information-SOURCE.html (letzter Aufruf: 25. Juli 2017)
- [ICRU 93] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS
ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A., September 1993
- [SCH 15] SCHRÖDER, UWE G.; SCHRÖDER, BEATE
Strahlenschutzkurs für Mediziner
Schröder, Uwe G.; Schröder, Beate S., 3. Auflage Thieme Verlagsgruppe, Stuttgart, New York, Delhi, Rio, 2015
- [SSV 17] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV)
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114) geändert worden ist

ANHANG A: VORLAGEN FÜR MAßNAHMENPLÄNE IN BETRIEBEN

Abb. 1: Beispiel für Verfahrensablaufdiagramm bei einem Verdacht auf Fund und Beispiele für den jeweils Verantwortlichen



Wichtige Notfallnummern:

Betriebsleitung: 0XXX-XXX XXX
 Betriebsfeuerwehr: XXXXX
 (betriebseigener) Sachverständiger: 0XXX-XXX XXX
 Zuständige Behörde: 0XXX-XXX XXX

Abb. 2: Beispiel für Sofortmaßnahmenplan bei Fund als Aushang



Verhalten bei radioaktiven Funden

Sofortmaßnahmen

1 Absperrung und Kennzeichnung des Fundortes

Personen von Fundort fernhalten
Abstand halten!

2 Fund melden

Betriebsleitung	Wer meldet?
Telefon:	Woher stammt Fund?
	Wie viele hatten Kontakt zu Fund?
	Warten auf Anweisungen!

Sachverständiger Strahlenschutz	Zuständige Behörde
<NAME>	<NAME>
Telefon: 02...	Telefon: 02...
Adresse: Thorium-Weg 23	Adresse: Uranstraße 21
5....	5....



ANHANG B: LISTE DER ZUSTÄNDIGEN BEHÖRDEN BEI FUNDEN

Tab. 1: Liste der zuständigen Behörden der einzelnen Bundesländer bei Fund einer herrenlosen Strahlenquelle (Angaben ohne Gewähr)

Bundesland	zuständige Behörde	Kontakt / Telefon
Baden-Württemberg	Regierungspräsidien, Referate 54.4	RP Stuttgart Referatsleitung A. Maxion: +49 (0)711 904-15457 Zentrale: +49 (0)711 904-0 RP Karlsruhe Referatsleitung Dr. A.-C. Burckhardt: +49 (0)721 926-7454 Zentrale: +49 (0)721 926-0 RP Freiburg Referatsleitung U. Willimsky +49 (0)771 8966-2760 Zentrale: +49 (0)761 208-0 RP Tübingen Referatsleitung Dr. T. Weimer: +49 (0)7071 757-5285 Zentrale: +49 (0)7071 757-0
Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)	Zentrale: +49 (0)821 9071-0
Berlin	Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit Berlin (LAGetSi)	Zentrale: +49 (0)30 902 545 – 0
Brandenburg	Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit (LAVG) Abteilung Verbraucherschutz, Dezernat V4	Dezernatsleitung M. Hahn: +49 (0)335 560-3127 Zentrale: +49 (0)331 8683-0

Bremen	Gewerbeaufsicht des Landes Bremen, Arbeits- und Immissions- schutzbehörde Referat 40	Referatsleitung Dr. B. Klein: +49 (0)471 596 13291 Zentrale (Dienstort Bremen): +49 (0)421 361 6260 Zentrale (Dienstort Bremerhaven): +49 (0)471 596 13270
Hamburg	Amt für Arbeitsschutz sowie Behörde für Inneres und Sport –Wasserschutzpolizei	Amt für Arbeitsschutz: 040/42837-3562, 040/42837-3158, 040/42837-2756, 040/42837-3142, 040/42837-3747 oder 040/42837-2112 Behörde für Inneres und Sport –Wasserschutzpolizei: 040/428665- 402
Hessen	Regierungspräsidien (RP), Abteilungen Arbeitsschutz und Umwelt	RP Darmstadt Zentrale: +49 (0)6151 12 0 Dezernat Wi 43.1, Dr. A. Kraatz: +49 (0)611 3309-2402 Dezernat F 43.3, D. Dräger: +49 (0)69 2714-4950 Dezernat Da 43.1, S. Peters: +49 (0)6151 12-3738 RP Gießen Zentrale: +49 (0)641 303-0 Dezernatsleitung S. Fellner von Feldegg: +49 (0)641 303-4520 RP Kassel Zentrale: +49 (0)6621 406 6 A. Tanneberg: +49 (0)6621 406 860 Dr. U. Sliwczuk: +49 (0)561 106 3812

Mecklenburg-Vorpommern	Landesamt Umwelt, für Naturschutz und Geologie, Dezernat 430: Radioaktivitätsmessstelle, Küstengewässeruntersuchung	Dezernatsleitung Dr. T. Ernst: +49 (0)3831 696-630 Außenstelle Strahlenschutz, Zentrale: +49 (0)3831 6 96-0
Niedersachsen	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Sachverständigenstelle Strahlenschutz	Dr. H. Brüggemeyer: +49 (0)5121 509-311 Dr. M. Knauer: +49 (0)5121 509-117 Zentrale: +49 (0)5121 509-0
Nordrhein-Westfalen	Landesinstitut für Arbeitsgestaltung NRW (LIA)sowieBezirksregierungen, Abteilung Arbeitsschutz	LIA. NRW die Rufbereitschaftsnummer ist im Lagezentrum des Ministeriums für Inneres und Kommunales NRW hinterlegt. Der Strahlenschutz ist erreichbar unter: +49 (0)211 3101 1133 Bez. Reg. Köln Zentrale: +49 (0)221 147 4977 Bez. Reg. Düsseldorf , Dezernat 55: Technischer Arbeitsschutz Dr. O. Reinhold: +49 (0)211 475-9576 Bez. Reg. Münster , Bereich Strahlenschutz G. Sondermann: +49 (0)251 411-5251 Bez. Reg. Detmold , Dezernat 55: Technischer Arbeitsschutz Zentrale: +49 (0)5231 71-5500 Bez. Reg. Arnsberg Zentrale: +49 (0)2931 82-0

Rheinland-Pfalz	Struktur- und Genehmigungsdirektionen (SGD) Nord und Süd	SGD Nord: Dr. W. Mikolaiski, T. Gottschling: +49 (0)261 120-2173 Zentrale: +49 (0)261 120-0
		SGD Süd: Zentrale: +49 (0)6321 99-0
Saarland	Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz	Zentrale: +49 (0)681 5014500
Sachsen	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) Referat 53: Strahlenschutz	W. Niegoth: +49 (0)351 2612-5307 Zentrale: +49 (0)351 2612-0
Sachsen-Anhalt	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Fachbereich 1, Fachgebiet 14	J.-G. Langhammer: +49 (0)345 5704-240
Schleswig-Holstein	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Referat Strahlenschutz	Zentrale: +49 (0)431 988-0
Thüringen	Landesamt für Verbraucherschutz	Zentrale: +49 (0)361 57-3815000

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz