

Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform
zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende
radioaktive Materialien (NORM) Datenbank
- Vorhaben 3609S10006**

**Auftragnehmer:
IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg**

**H. Schulz
E. Ettenhuber
R. Gellermann
A. Schellenberger**

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (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-69/12

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de: 0221-201210019649

Salzgitter, Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	5
2	Arbeitspaket 1: Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik.....	7
2.1	Zielsetzung.....	7
2.2	Leistungsumfang.....	7
2.3	Zusammenfassung der Bearbeitungsergebnisse.....	8
3	Arbeitspaket 2: Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz	10
3.1	Zielsetzung.....	10
3.2	Leistungsumfang.....	10
3.3	Zusammenfassung der Bearbeitungsergebnisse.....	12
3.3.1	Merkblätter für 2 ausgewählte Vertreter der NORM Industrie	12
3.3.2	Übersichtserhebung zu den herkömmlichen Regelungen des Arbeitsschutzes in der NORM Industrie	14
4	Workshops	36
4.1	2 nd EAN _{NORM} Workshop	36
4.2	3 rd EAN _{NORM} Workshop.....	36
5	Zusammenfassung.....	38

Anlagen

Anlage 1	Merkblatt Erdöl-/Erdgasindustrie (Deutsche Version)
Anlage 2	Merkblatt Erdöl-/Erdgasindustrie (Englische Version)
Anlage 3	Merkblatt Zirkonindustrie (Deutsche Version)
Anlage 4	Merkblatt Zirkonindustrie (Englische Version)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gefährdungsbeurteilung nach BG BAU (2008)	23
Abbildung 2: Risikogrenzen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. Das deutsche Ampelmodell.....	27
Abbildung 3: Priorisierung der Maßnahmeoptionen im Risikokontinuum (aus [18])	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der in die Erstellung des Merkblattes für die Zirkonindustrie eingebundenen Firmenvertreter	13
Tabelle 2: Alternative Nomenklaturen für die Risikobereiche (nach [18])	27

1 Einführung

Das European ALARA Network (EAN) - EAN_{NORM} und die Internetplattform (www.ean-norm.net) wurden im Auftrag der Europäischen Kommission (EC) von einem Firmenkonsortium unter Führung der IAF - Radioökologie GmbH in den Jahren 2007 und 2008 geschaffen, fachlich betreut und die Ergebnisse der fachlichen Diskussionen für die EC ausgewertet.

Im Rahmen des durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Vorhabens sollte eine weitere Qualifizierung des EAN_{NORM} als Instrument zum Informationsaustausch und zur Diskussion grundsätzlicher und angewandter Themen erreicht werden, die von Interesse für alle Teilnehmer des Netzwerkes und andere Interessierte sind. Die vorhandenen Möglichkeiten zum Informationsaustausch, vor allem aber die Plattform www.ean-norm.net sollten genutzt und weiter ausgebaut werden.

Die im Rahmen des Gesamtvorhabens im Einzelnen zu erfüllenden Aufgaben waren den nachfolgend genannten Arbeitspaketen zugeordnet:

AP 1: Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

AP 2: Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz

AP 3: Abschlussbericht

Zudem umfasste das Projekt die Organisation und Durchführung von *zwei Workshops*.

Zeitnah nach Projektbeginn fand vom 24.11.2009 - 26.11.2009 der "2nd EAN_{NORM} workshop" in Dresden statt. Die Organisation und Durchführung dieses Workshops ist in einem Bericht dokumentiert, der dem Auftraggeber (AG) übergeben wurde [1]. Das Fachprogramm und die Diskussionen waren ein wesentlicher Input für die Arbeiten zum Arbeitspaket 1. Diese wurden schwerpunktmäßig von September 2009 bis Juni 2010 durchgeführt und sind in zwei Berichten dokumentiert, die dem AG übergeben wurden [2, 3].

Im November 2010 wurde ein erster Zwischenbericht zum Arbeitspaket 2 beim AG eingereicht [4]. Gegenstand des Berichtes war eine umfassende Auswertung der Vorträge und Diskussionen des EAN_{NORM} Workshops im November 2010 [5]. Darauf aufbauend erfolgte die Auswahl der relevanten Industriebranchen für die Erarbeitung der technischen Empfehlungen für den Strahlenschutz in Arbeitspaket 2. Im Ergebnis dessen wurden die Erdöl- / Erdgasindustrie und die Zirkonindustrie für die weitere Bearbeitung vorgeschlagen. Der AG stimmte dieser Auswahl zu. Die beiden Merkblattentwürfe wurden

erstellt und mit dem AG diskutiert. Dieser Arbeitsstand ist im zweiten Zwischenbericht zum Arbeitspaket 2 vom August 2011 dokumentiert worden [6].

Der vorliegende Abschlussbericht illustriert in Kurzform die Inhalte und Ergebnisse des Gesamtprojektes. Dabei wird an den gegebenen Stellen auf die vorgenannten Zwischenberichte verwiesen. Des Weiteren sind die erstellten Merkblätter in den Anlagen zum Endbericht enthalten und die Ergebnisse der Recherche zu den herkömmlichen Regelungen zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes in den relevanten Industrien als Übersichtserhebung in einem separaten Abschnitt dargestellt.

2 Arbeitspaket 1: Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

Die Arbeiten zur Realisierung des AP1 sind ausführlicher in den Berichten [2, 3] dokumentiert. In den nachfolgenden Abschnitten werden hier in Kurzform die Zielsetzung, der Leistungsumfang und die Ergebnisse des AP1 dargestellt.

2.1 Zielsetzung

Im Rahmen des AP1 sollte aus der Analyse des Abschlussberichts über die erste Phase des EAN_{NORM} und der Bewertung der Situation abgeleitet werden, worin die wichtigsten bisher ungelösten Fragen zum Thema NORM in Deutschland und anderen europäischen Ländern bestehen und welche fachlichen Vorgaben derzeit fehlen. Dazu sollte ein Statusbericht vorgelegt werden, der als Vorlage für das BfS/BMU und die Arbeit in der "Article 31 Group of Experts" dienen kann und den aktuellen internationalen Diskussionsstand berücksichtigt. In Abstimmung mit dem AG war über Reihenfolge und Schwerpunkte der anschließend zu erarbeitenden Dokumente zu entscheiden, die mit den für das Netzwerk entwickelten Instrumenten diskutiert werden sollten. Dazu wurde die Pflege der bereits geschaffenen nationalen und europäischen Kontakte weitergeführt und so die möglichst lückenlose Fortführung des Erfahrungsaustausches unter Nutzung der Internetplattform gewährleistet. Die Schwerpunktthemen für diese Entwicklungsphase des Netzwerkes, die in den Diskussionen zu erreichenden Ziele und die fachlichen Beiträge der in das Netzwerk integrierten Kontaktpersonen wurden in Auswertung des 2. Workshops des EAN_{NORM} im Jahr 2009 in Dresden festgelegt [1]. Die Verbindung zum EAN sollte gehalten werden.

2.2 Leistungsumfang

Zur Erreichung der Zielstellung für das AP 1 im Rahmen dieses Vorhabens und für die Etablierung und weitere Pflege von EAN_{NORM} wurden

- die gegenwärtige Praxis des Strahlenschutzes in der NORM Industrie zur Identifizierung von Optimierungspotential weiter erfasst,
- der Kenntnisstand zur Entwicklung und Pflege von Leitlinien für eine gute Strahlenschutzpraxis in der NORM Industrie aufgearbeitet,
- Kooperationen zu anderen internationalen Organisationen und Vereinigungen sowie zu bestehenden Netzwerken aufgebaut,
- die fachliche Betreuung und Pflege des Web-Portals und

- die Infrastruktur des EAN_{NORM} weiter entwickelt.

Außerdem wurden einige Elemente weiter ausgebaut bzw. vervollständigt, die den Nutzern des Netzwerks einen intensiven Informationsaustausch zu fachlichen und organisatorischen Fragen des Strahlenschutzes in den relevanten Arbeitsfeldern bieten:

- Die Liste von Fachleuten ("Contact Points") aus der Industrie, den Behörden und Forschungsinstitutionen aus den am Netzwerk beteiligten Ländern wurde kontinuierlich erweitert.
- Das Dokumentenmanagementsystem ("NORM survey"), in dem Publikationen, verfügbare Gesetzestexte etc. zum Download oder mit Linkadresse zur originalen Quelle von Experten oder durch die fachlichen Betreuer des Web-Portals bereitgestellt werden, wurde ergänzt.
- Das Diskussionsforum ("NORM forum"), in dem von allen im Netzwerk registrierten Fachleuten intensive bi- und multilaterale Diskussionen zu den allgemein interessierenden Fragestellungen geführt oder wichtige Erfahrungen/Informationen mitgeteilt werden können, wurde aktiviert und neu strukturiert.
- Der Online-Fragebogen ("NORM questionnaire") wurde in Abständen zu bestimmten aktuellen Themen auf dem Gebiet NORM erneuert.

2.3 Zusammenfassung der Bearbeitungsergebnisse

Die Arbeiten im Rahmen des AP 1 zum vorliegenden Projekt waren thematisch schwerpunktmäßig auf die

- Erfassung der gegenwärtigen Praxis des Strahlenschutzes in der NORM Industrie sowie die
- Aufarbeitung des Kenntnisstandes zur Entwicklung und Pflege von Leitlinien für eine gute Strahlenschutzpraxis in der NORM Industrie

ausgerichtet. Dies implizierte eine umfassende Auswertung der derzeit z.T. auch als Entwurf vorliegenden internationalen Empfehlungen (z.B. ICRP, IAEA, EC) zum Strahlenschutz in Bezug auf NORM.

Auf der Basis der im Netzwerk bestehenden Kontakte ("Contact Points") und technischen Möglichkeiten (z.B. Forum, Fragebögen) wurden überblicksartige Dokumente (z.B. Überblick über die nationale Strahlenschutzgesetzgebung bezüglich NORM in den EU-Mitgliedsstaaten, Überblick der für NORM zuständigen nationalen Behörden, Übersicht der Implementierung der sog. Positivliste in die unterschiedlichen nationalen Gesetzgebungen), erstellt, die die Grundlage für weiterführende Recherchen bilden und der Infor-

mation der Mitglieder des EAN_{NORM} dienen. Diese Dokumente sind auf der EAN_{NORM} web-site in der Rubrik "NORM survey" publiziert. Des Weiteren wurden in dieser Rubrik Verknüpfungen zu den web-sites der unterschiedlichen nationalen Strahlenschutzbehörden und Strahlenschutzgesetzgebungen erstellt, so dass ein umfangreicher Datenpool zur Verfügung steht, der auch in Zukunft kontinuierlich erweitert werden kann. Es ist hervorzuheben, dass die Erstellung der unterschiedlichen Dokumente ohne die Unterstützung der "Contact Points" sowohl deutlich arbeitsintensiver gewesen wäre als auch einen signifikant längeren Bearbeitungszeitraum erfordert hätte. In einer nicht geringen Anzahl von Fällen wäre wahrscheinlich überhaupt keine belastbaren Ergebnisse erzielt worden. So manifestieren sich auch in dieser Arbeit die Vorteile des Netzwerks.

Zur Daten- und Informationsgewinnung wurde im Rahmen der Realisierung des AP 1 ein Fragebogen entwickelt und an die Mitglieder des EAN_{NORM} verschickt sowie die Diskussionsforen zu unterschiedlichen Themen auf der EAN_{NORM} web-site initiiert. Die vorliegenden Ergebnisse aus den Antworten zum Fragebogen gaben einen vergleichsweise guten Überblick zum aktuellen Status des Strahlenschutzes in der NORM Industrie. Die Auswertung zum Fragebogen ist ebenfalls auf der EAN_{NORM} web-site verfügbar.

3 Arbeitspaket 2: Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz

Die Arbeiten zur Realisierung des AP 2 sind ausführlicher in den Berichten [4, 6] dokumentiert. In den nachfolgenden Abschnitten werden hier in Kurzform die Zielsetzung, der Leistungsumfang und die Ergebnisse des AP 2 dargestellt.

3.1 Zielsetzung

Entsprechend des Vertrages zum vorliegenden Vorhaben wurden im Rahmen des AP 2 aus der Analyse der Probleme und bisher fehlender Vorgaben im Strahlenschutz vom AN allgemein als optimal akzeptierte technische Empfehlungen auf Basis der Gesetze und der bestehenden Erfahrungen abgeleitet. Wegen der Spezifik von Materialien und Technologien erfolgte dies spezifisch für 2 Industriebranchen. Bei der Ableitung der Empfehlungen wurden folgende Themen behandelt:

- Messtechnik/Messmethodik für verschiedene Materialien,
- Dosisabschätzung und Bewertung sowie
- Überwachung der Beschäftigten.

3.2 Leistungsumfang

Der zur Erreichung der Zielstellung für das AP 2 im Rahmen dieses Vorhabens vorgesehene Leistungsumfang wird nachfolgend dargestellt. Im Netzwerk können Fragestellungen zur Strahlenschutzpraxis initiiert und diskutiert werden. Das Netzwerk soll auch Erfahrungen und Praktiken vermitteln, die in bestimmten Industrien eingeführt sind. In Deutschland ist es vor allem die Erdöl-/Erdgasindustrie, die über den Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V (WEG) "Technische Leitlinien für den Strahlenschutz bei Arbeiten" entwickelt hat. Diese Leitlinien decken z.B. mit dem "Schutz von Beschäftigten bei Arbeiten mit Materialien/Rückständen" ein Strahlenschutzfeld ab, das in der deutschen StrlSchV so gar nicht gefordert wird. Die Sammlung und Verbreitung solcher Leitlinien muss auch zukünftig eine wesentliche Aufgabe des EAN_{NORM} sein.

Die Strahlenschutzpraxis in den NORM Industrien wurde in den vergangenen Jahren auf zahlreichen Tagungen vorgestellt und diskutiert. Für den europäischen Raum sind die Tagungen NORM I bis NORM VI (Amsterdam 1997, Krefeld 1998, Brüssel 2001, Szczyrk 2004, Sevilla 2007, Marrakesch 2010) hervorzuheben. Aus den Berichten dieser Tagungen und den Ergebnissen der Diskussionen in der ersten Phase des EAN_{NORM} kann man folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Modelle zur Abschätzung der Strahlenexposition sind auch im NORM-Bereich eher konservativ als realistisch. Beispiele dafür sind auch die Empfehlungen der EC RP 95 bzw. RP 107.
- Modelle und Annahmen, die eine realistische Abschätzung der zu erwartenden Strahlenexpositionen ermöglichen, sollten eingeführt werden.
- Die Überwachung der Beschäftigten, die in einzelnen Bereichen unverzichtbar ist, wird in den Ländern nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt. Eine Harmonisierung der Vorgehensweisen zur Überwachung und Dokumentation der Überwachungsergebnisse ist unbedingt erforderlich.
- Grenz- bzw. Richtwerte des Strahlenschutzes werden in der Regel nicht überschritten. Deshalb ist zu klären, welche Zielstellungen der Strahlenschutz bei Arbeiten ("work activities") in der NORM Industrie unter diesen Umständen verfolgen soll?
- In welchem Umfang ist eine regulatorische Kontrolle des Strahlenschutzes künftig erforderlich (notification, registration, licensing)?
- Sollte der Strahlenschutz in den konventionellen Arbeitsschutz (Schutz der Beschäftigten) und ggf. Umweltschutz (Schutz der Bevölkerung) integriert werden?

Auf der Grundlage dieser Kenntnisse und der Nutzung der vorhandenen "Werkzeuge" in der Internetplattform www.ean-norm.net wurden auf der Grundlage der technischen Möglichkeiten und der bestehenden Erfahrungen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Rahmenbedingungen praktikable Empfehlungen zur Dosisabschätzung, zur Überwachung und zum Umfang der regulatorischen Strahlenschutzkontrolle abgeleitet.

Wegen der Spezifik von Materialien und Technologien erfolgte dies speziell für 2 Industriebereiche, die über das Netzwerk direkt kontaktiert wurden. In Abstimmung mit dem AG waren dies die Erdöl- und Erdgasindustrie sowie die Zirkonindustrie. Die Entwürfe der technischen Empfehlungen wurden zunächst dem AG vorgelegt und im EAN_{NORM} diskutiert.

Integriert in AP 2 war in Ergänzung zum praktischen Strahlenschutz eine Übersichtserhebung der herkömmlichen Regelungen zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes in den relevanten Industrien in Deutschland.

Um die Zielstellung dieses Arbeitspaketes zu erreichen, war die Mitwirkung der am Netzwerk beteiligten Industriebranchen unverzichtbar.

3.3 Zusammenfassung der Bearbeitungsergebnisse

3.3.1 Merkblätter für zwei ausgewählte Vertreter der NORM Industrie

Im Rahmen des AP 2 zum vorliegenden Vorhaben wurden technische Empfehlungen für den Strahlenschutz für zwei ausgewählte Vertreter der NORM Industrie erstellt. Im Ergebnis der vorangegangenen Arbeiten und der Fachdiskussionen mit dem Auftraggeber wurden die Erdöl-/Erdgasindustrie und die Zirkonindustrie für die weitere Bearbeitung ausgewählt. Es wurde übereinstimmend festgelegt, dass die technischen Empfehlungen einen Merkblattcharakter aufweisen sollen und ein gemeinsames Vorwort erhalten. Die Gliederung der Merkblätter soll soweit als möglich der nachfolgend aufgeführten Struktur entsprechen:

1. Einführung
2. Internationale Standards und nationale Regelungen zur Gewährleistung des Strahlenschutzes der Beschäftigten
3. Strahlenschutz beim Transport
4. Ermittlung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen
 - 4.1 Expositionsszenarien und Expositionspfade
 - 4.2 Messungen zur Bewertung der Strahlenexposition
 - 4.3 Ermittlung der jährlichen effektiven Dosis
5. Strahlenschutzmaßnahmen
6. Umgang mit Rückständen

3.3.1.1 Erdöl- / Erdgasindustrie

Das Merkblatt für die Erdöl-/Erdgasindustrie ist in Anlage 1 enthalten. In die Erstellung des Merkblattes war als Vertreter der deutschen Erdöl-/Erdgasindustrie und als Mitglied im EAN_{NORM} Herr Dr. Steffan (W.E.G. Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. / ExxonMobil Production Deutschland GmbH) eingebunden.

Im EAN_{NORM} wurde eine englische Version des Merkblattes erstellt, die in Anlage 2 enthalten ist und gegenwärtig unter den europäischen Fachkollegen diskutiert wird. Es wird eingeschätzt, dass im Frühjahr 2012 eine im EAN_{NORM} abgestimmte Version vorliegt, die dann auf der EAN_{NORM} web-site veröffentlicht wird.

3.3.1.2 Zirkonindustrie

Das Merkblatt für die Zirkonindustrie ist in Anlage 3 enthalten. In die Erstellung des Merkblattes waren die in Tabelle 1 aufgeführten Personen/Firmen eingebunden. Zudem wurde der Entwurf mit Frau Angelika Kunte vom Bayerischen Landesamt für Umwelt fachlich diskutiert.

Im EAN_{NORM} wurde eine englische Version des Merkblattes erstellt die in Anlage 4 enthalten ist und gegenwärtig unter den europäischen Fachkollegen diskutiert wird. Es wird eingeschätzt, dass im Frühjahr 2012 eine im EAN_{NORM} abgestimmte Version vorliegt, die dann auf der EAN_{NORM} web-site veröffentlicht wird.

Tabelle 1: Übersicht der in die Erstellung des Merkblattes für die Zirkonindustrie eingebundenen Firmenvertreter

Firma	Ansprechpartner
COFERMIN Rohstoffe GmbH & Co. KG Alfredstr. 61 45130 Essen	Herr Liertz
Top Mineral GmbH Industriegebiet 3 79206 Breisach	Herr Bellm
Speform Giesserei-Chemie GmbH 46286 Dorsten	Herr Schulz
Mineralmahlwerk C. Welsch GmbH Friedenstr. 36 46485 Wesel	Herr Pawellek
Helmut Kreutz GmbH Werkstraße 35708 Haiger-Langenaubach	Herr Stettner
Mineralmühle Leun, Rau GmbH & Co. KG Braunfelser Str. 8 – 12 35638 Leun	Herr Klöckner
Possehl Erzkontor GmbH Beckergrube 38-52 23552 Lübeck	Herr Mengel
DKG e.V. (Deutsche Kera- mische Gesellschaft) Köln	Frau Ullrich
DIFK GmbH (Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik) Bonn	Herr Wuthnow
VDG e.V. (Verein Deutscher Gießereifachleute) Düsseldorf	Frau Schmieg

3.3.2 Übersichtserhebung zu den herkömmlichen Regelungen des Arbeitsschutzes in der NORM Industrie

3.3.2.1 Vorbemerkung

Der § 93 StrlSchV [7] fordert, dass bei erhöhter terrestrischer Strahlung an Arbeitsplätzen (Teil 3 Kapitel 2 StrlSchV) sowie für Personen, die erhöhter kosmischer Strahlung ausgesetzt sind (Teil 3 Kapitel 4 StrlSchV) Grenzwerte der Dosis einzuhalten sind. Für den Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (Teil 3 Kapitel 3) ist kein Grenz- sondern ein Richtwert vorgegeben. Allerdings wird im § 94 gefordert, dass in allen vorgenannten Bereichen geeignete Maßnahmen zu treffen sind, um unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.

Da nicht für alle Arbeiten in den durch die Anlage XII Teil A beschriebenen NORM Industrien in Deutschland Grenzwerte vorgeschrieben sind, wurden für diese Arbeiten auch keine systematischen Erhebungen der Strahlenexpositionen durchgeführt. Spezifische Untersuchungen sind bekannt aus:

- der Erdöl-/Erdgasindustrie [8],
- der Zirkonindustrie [9], [10],
- dem Quecksilber-Recycling von Rückständen aus der Erdöl-Erdgasindustrie [11],
- der Hydrometallurgie [12],
- der Wasserwirtschaft bezüglich der dort vorkommenden Wasserwerksrückstände [13], [14].

Vereinzelte Messungen und Expositionsabschätzungen wurden an ausgewählten Arbeitsplätzen der Roheisenverhüttung sowie an Arbeitsplätzen durchgeführt, an denen Rückstände z.B. zur Rezyklierung von Quecksilber oder zur Reinigung von Rohren aus der Erdgasproduktion behandelt werden.

Diese Abschätzungen zeigten, dass die Strahlenexpositionen der Beschäftigten bei Arbeiten in den NORM Industrien praktisch immer unter 1 mSv pro Jahr liegen. Dieser Befund wird auch durch internationale Arbeiten im Wesentlichen gestützt (siehe z.B. Fachvorträge auf dem NORM V Symposium und den EAN_{NORM} Workshops). Abschätzungen potentieller Expositionen an konkreten Arbeitsplätzen zeigten aber auch, dass ohne spezifische Maßnahmen wie z.B. die Staubreduzierung, durchaus Expositionen über 1 mSv pro Jahr auftreten könnten. Die Reduzierung von Strahlenexpositionen auf ein unter Beachtung der Umstände des Einzelfalls erreichbares Niveau ist daher auch weiterhin eine Aufgabe des Strahlenschutzes. Die Bedeutung dieser Aufgabe kann zunehmen, wenn in

Zukunft Arbeiten mit NORM als geplante Situationen betrachtet werden und damit grundsätzlich die Frage der Dosisermittlung und Dosisreduzierung neu gestellt wird.

Vor diesem Hintergrund erfordert die Entwicklung eines optimalen Strahlenschutzes für die Beschäftigten bei Arbeiten ("work activities") in den NORM Industrien bzw. allgemein bei Arbeiten mit Anwesenheit von NORM ein abgestimmtes Vorgehen von Strahlenschutz sowie Gesundheits- und Arbeitsschutz. Um eine Basis für die Entwicklung von Handlungsweisen zu erarbeiten, mit denen dieser Prozess unterstützt werden kann, wurden mit Hilfe des EAN_{NORM} durch direkten Kontakt zu Fachleuten aus Berufsgenossenschaften die herkömmlichen Regelungen zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes in den relevanten Industrien als Übersichtserhebung erfasst. Darüber hinaus wurde Literatur zur Thematik ausgewertet und eigene Erfahrungen der Bearbeiter analysiert und verallgemeinert.

3.3.2.2 Informationserhebung

Zum Erfassen des Status quo hinsichtlich der vorhandenen technischen Empfehlungen zum Strahlenschutz in der NORM Industrie in Deutschland wurde eine Abfrage bei Berufsgenossenschaften durchgeführt. Die gewerblichen Berufsgenossenschaften sind die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung für die Unternehmen der deutschen Privatwirtschaft und deren Beschäftigte. Daneben gibt es die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften. Aufgrund ihrer Aufgabe, Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten zu verhindern, erarbeiten und verbreiten die Berufsgenossenschaften auch Rahmenregelwerke zum Arbeitsschutz.

Die gewerblichen Berufsgenossenschaften sind nach Wirtschaftszweigen gegliedert, die landwirtschaftlichen nach Regionen. Da in der Landwirtschaft bisher keine Arbeiten mit NORM (außer evtl. P-Dünger) stattfinden, sind in diesem Bereich keine spezifischen Erfahrungen mit NORM zu erwarten. Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaften wurden daher im der Informationserhebung nicht berücksichtigt.

In den vergangenen Jahren fusionierten diverse kleinere Berufsgenossenschaften, so dass es im Jahr 2011 noch neun gewerbliche Berufsgenossenschaften gab:

1. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU; Hauptsitz: Berlin).
2. Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution (BGHW, Hauptsitz: Mannheim). Entstanden durch Fusion der Berufsgenossenschaft für den Einzelhandel und der Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft.
3. Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM; Hauptsitz: Köln). Entstanden durch Fusion der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro und der Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung ab 01.01.2010. Weitere Vorläufer: Berufsgenossenschaft der Gas-, Fernwärme- und Wasserwirtschaft, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Textil- und Bekleidungs-Berufsgenossenschaft.
4. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft - Berufsgenossenschaft der Banken, Versicherungen, Verwaltungen, freien Berufe, besonderen Unternehmen, Unternehmen der keramischen und Glas-Industrie sowie Unternehmen der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen (VBG, Hauptsitz: Hamburg). Entstanden durch Fusion der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft mit der Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen ab 01.01.2010. Weiterer Vorläufer: Berufsgenossenschaft der keramischen und Glas-Industrie.
5. Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie (BG RCI, Hauptsitz Heidelberg). Entstanden durch Fusion der Bergbau-Berufsgenossenschaft, der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, der Papiermacher-Berufsgenossenschaft, der Lederindustrie-Berufsgenossenschaft und der Zucker-Berufsgenossenschaft.
6. Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr; Hauptsitz: Hamburg). Entstanden durch Fusion der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen und der See-Berufsgenossenschaft ab 01.01.2010.
7. Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN; Hauptsitz: Mannheim). Entstanden am 01.01.2011 durch Fusion der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten mit der Fleischerei-Berufsgenossenschaft.
8. Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM, Hauptsitz: Mainz). Entstanden am 01.01.2011 durch Fusion der Hütten- und Walzwerks-Berufsgenossenschaft, Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd und Holz-Berufsgenossenschaft.

9. Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW; Hauptsitz: Hamburg).

Aufgrund der Umstrukturierung der Berufsgenossenschaften wurden auch die fachlichen Aufgaben und Kompetenzen gebündelt. Nachfragen bei den Berufsgenossenschaften und den Instituten ergaben:

- Die Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) St. Augustin befasst sich in der Zentralen Betreuungsstelle Wismut (ZeBWis) auch mit Fragen des Strahlenschutzes bei ionisierender Strahlung (Hauptsächlich Anerkennung Berufskrankheiten). Zum Sachgebiet natürlicher terrestrischer Strahlenquellen wurden bisher keine Regelungen verfasst.
- Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Sankt Augustin, Referat Strahlung (Leiter Dr. Harald Siekmann) befasst sich inzwischen nur noch mit optischer Strahlung und elektromagnetischen Feldern.
- Die BG HW verweist bezüglich Strahlenschutz auf das Institut für Strahlenschutz als Einrichtung der BG Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) und der BG Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI).
- Die VBG hat keine gesonderten Regelungen und Unfallverhütungsvorschriften zum Strahlenschutz.
- Bei der BG-Verkehr kommen sporadisch Anfragen zu Funden radioaktiver Stoffe im Metallschrott vor. Dazu erfolgt in der Regel eine operative Beurteilung. Merkblätter zu Arbeitsschutz/Strahlenschutz wurden in diesem Zusammenhang noch nicht erarbeitet. Spezielle Erfahrungen mit natürlichen Strahlenquellen (außer kosmischer Strahlung in der Luftfahrt) liegen nicht vor.
- Die BGHM sieht im Bereich Gesundheitsschutz / physikalischer Einwirkungen die Themen Lärm, Vibrationen, Elektromagnetische Felder und Optische Strahlungen als Schwerpunkte.

Kompetenzen zu Fragen von Strahlenschutz bei natürlichen Strahlenquellen und Arbeitsschutz gibt es bei:

1. Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
Präventionsabteilung
Fachgebiet Strahlenschutz
Gustav-Heinemann-Ufer 130
50968 Köln
Leiter: Th. Ludwig.
2. Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie.
Bergbau-Berufsgenossenschaft
Bezirksverwaltung Gera
Amthorstraße 12,
07545 Gera
Ansprechpartner: Dr. Frank Lehmann
(Hauptsächlich Radon, Uranbergbau)
3. Das Institut für Gefahrstoff-Forschung der BG RCI bewertet gemeinsam mit dem Hygiene-Institut des Ruhrgebietes Produkte für den Bergversatz. Dabei werden ggf. auch Fragen zur Radioaktivität bei Einsatzstoffen, die nach § 98 aus der Strahlenschutzüberwachung entlassen werden sollen, geprüft und bewertet.

Als inzwischen von den Berufsgenossenschaften unabhängiges Unternehmen hat die B.A.D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH mit der Abteilung ArGUS (Arbeits-, Gesundheits-, Umwelt- und Strahlenschutz) spezielle Erfahrungen mit Arbeiten an der Schnittstelle Arbeitsschutz und Strahlenschutz.

Zur Informationsgewinnung wurden folgende Fragen an die BG ETEM und den B.A.D. versandt:

Einer der derzeit von uns zu prüfenden Aspekte betrifft die Abstimmung des Strahlenschutzes mit den Anforderungen des allgemeinen Gesundheits- und Arbeitsschutzes, die für die jeweiligen Arbeitsfelder gelten. Dazu bitten wir Sie um Informationen, zu folgenden Fragen:

1. Welche Regelungen gibt es im Verantwortungsbereich Ihrer Berufsgenossenschaft zu Arbeiten mit gefährlichen (chemisch-toxischen) Stoffen allgemein?
2. Gibt es spezielle Regelungen für Arbeiten mit kanzerogenen Stoffen?
3. Gibt es spezielle Vorschriften für radioaktive Stoffe?
4. Liegen diesen Vorschriften allgemeinen Prinzipien zugrunde, wenn "ja" – welche?
5. Welche Berufe und/oder Industrien sind nach Ihren Informationen mit Fragen zu natürlich radioaktiven Materialien ("NORM") konfrontiert?

Darüber hinaus wurden die o.g. Fragen auf einer Besprechung im IGF Bochum am 10.10.11 angesprochen.

Aus den Antworten und Auskünften ergibt sich folgendes Bild:

Zu Frage 1 - Welche Regelungen gibt es im Verantwortungsbereich Ihrer Berufsgenossenschaft zu Arbeiten mit gefährlichen (chemisch-toxischen) Stoffen allgemein?

Die berufsgenossenschaftliche Sichtweise auf Arbeiten mit gefährlichen Stoffen ist durch den Gedanken der Prävention geprägt. Durch Bezugnahme auf staatliches Recht wird sichergestellt, dass sich die Unfallversicherungsträger auch auf staatliche Arbeitsschutzvorschriften stützen können. Die Erarbeitung von spezifischen Regeln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung bzw. der Landwirtschaftlichen Sozialversicherung (DGUV/LSV-Regeln) sowie von Informationsschriften / Handlungsanleitungen ist nur möglich, wenn bestimmte Anforderungen an den Bedarf solcher Schriften erfüllt sind.

Folgende berufsgenossenschaftliche Schriften enthalten grundlegende Informationen zur Prävention

- BGV A1: Grundsätze der Prävention,
- BGR A1: Grundsätze der Prävention,
- BGV A4: Arbeitsmedizinische Vorsorge.

Die (staatliche) Gefahrstoffverordnung ist rechtsverbindliche Vorschrift und Grundlage für alle daraus abzuleitenden Regeln der BG. Sie befasst sich umfassend mit Gefahrstoffen und kanzerogenen Stoffen.

Für die Verwendung von Stoffen in untertägigen Betrieben wird die aus dem Präventionsgedanken abgeleitete Forderung (§ 4 Abs. 4 GesBergV), nach dem die *Zulassung von kennzeichnungspflichtigen Gefahrstoffen zu versagen ist, wenn ... weniger gefährliche Stoffe für den vorgesehenen Verwendungszweck verfügbar sind*, dahingehend ausgelegt, dass auf eine Prüfung, ob bei realistischer Betrachtung die tatsächliche Gefährdung in die Größenordnung relevanter Strahlenexpositionen kommt, verzichtet wird.

Zu Frage 2 - Gibt es spezielle Regelungen für Arbeiten mit kanzerogenen Stoffen?

Zum Umgang mit den Risiken aus der Exposition mit kanzerogenen Stoffen wird seit einigen Jahren ein neues Konzept verfolgt. Die Entwicklung dieses Konzeptes ist noch nicht abgeschlossen, allerdings gibt es erste zusammenfassende Darstellungen (s. Kapitel 3.3.2.3).

Zu Frage 3 - Gibt es spezielle Vorschriften für radioaktive Stoffe?

Zu radioaktiven Stoffen gibt es keine expliziten Regelungen, da dieser Bereich durch die StrlSchV abgedeckt wird. Folgende Merkblätter beinhalten Informationen und Handlungsvorgaben, die über die StrlSchV hinausgehen:

- BGI746 "Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen"
- BGI723 "Überwachung von Metallschrott auf radioaktive Bestandteile"
- BGI668 "Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung"
- BGI668-1 "Strahlenunfallerberhebungsbogen"

Außerdem gibt es eine BG-Vorschrift C16 "Kernkraftwerke".

Zur Frage 4 - Liegen diesen Vorschriften allgemeinen Prinzipien zugrunde, wenn „ja“ – welche?

Die Vorgaben der Strahlenschutzverordnung sind in allen Merkblättern (natürlich) berücksichtigt worden

Zur Frage 5 - Welche Berufe und/oder Industrien sind nach Ihren Informationen mit Fragen zu natürlich radioaktiven Materialien ("NORM") konfrontiert?

Folgende Angaben wurden gemacht:

- hinsichtlich der Radonproblematik alle Betriebe der Wasserwirtschaft, Wasserwerke,
- Umgang mit Thorium in offener Form z. B. bei der Herstellung von thoriumhaltigen Elektroden für Lampen,
- in Schweißereien die Verwendung von thorierten Elektroden,
- die Verwendung von thoriumhaltigen Gasglühkörpern,
- die Verwendung von thoriumhaltigen Legierungen bei speziellen Produkten (überwiegend militärischer Bereich),
- das Aufdampfen von Thorium zur Vergütung von Gläsern (militärischer Bereich)
- Alle Industrien/Berufe, die aktiv mit Tiefbohrungen zu tun haben,
- Bergbau,
- Temporär, bis zur Gebäudesanierung, jeder Industriezweig bzw. jeder Arbeitnehmer mit Standorten in Gebieten, die hohe Radonkonzentrationen aufweisen (sofern die Radonkonzentrationen relevant werden),
- Forschungseinrichtungen, die sich mit entsprechender Forschung an natürlichen radioaktiven Stoffen befassen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Thematik von NORM in der Industrie bei den Berufsgenossenschaften noch wenig beachtet wird. Spezielle Regelungen aus berufsgenossenschaftlicher Sicht sind auf wenige Arbeitsfelder beschränkt.

3.3.2.3 Literaturlauswertung

3.3.2.3.1 Vorbemerkung

Untergesetzliche Leitfäden für Arbeiten mit natürlichen Strahlenquellen sind aus folgenden Industrien bekannt:

- Erdöl-/Erdgasgewinnung [8]
- Steinkohlenbergbau [15]
- WIG-Schweißen [16]

Der WEG-Leitfaden [8] enthält auch Hinweise zum Arbeitsschutz speziell bei Arbeiten mit radioaktiven Materialien. Die Schnittstelle von konventionellem Arbeitsschutz und Strahlenschutz wird dabei aber nicht explizit thematisiert. Im Leitfaden des Steinkohlenbergbaus [15] wird der Arbeitsschutz ebenfalls erwähnt. Spezielle Vorgaben zu Handlungsweisen sind aber nicht enthalten.

Durch das Landesamt für Arbeitsschutz Brandenburg wurde ein Merkblatt "Arbeitsschutz für Arbeiten auf radiologischen Altlast- und Altlastverdachtsflächen in Oranienburg" [17] erstellt, in dem speziell "Arbeitsschutzanforderungen, die bei Arbeiten allgemeiner Art sowie bei Arbeiten im Zusammenhang mit der Kampfmittelsuche auf radiologischen Altlast und Altlastverdachtsflächen zu beachten sind" aufgeführt werden.

Für die hier zu prüfenden Fragen ist aber das allgemeine Vorgehen bei Gefahren durch toxische Stoffe an Arbeitsplätzen und die daraus ableitbaren Möglichkeiten zur Reduzierung von Strahlenexpositionen in den Mittelpunkt zu stellen.

Mit § 5 des Arbeitsschutzgesetzes von 1996 (ArbSchG) wurden Arbeitgeber verpflichtet, durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Das Gesetz schreibt vor, dass die Beurteilung je nach Art der Tätigkeiten vorzunehmen ist, wobei bei gleichartigen Arbeitsbedingungen die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit ausreicht. Als Gefahrenquellen werden u.a. physikalische, chemische und biologische Einwirkungen benannt. Aber auch die unzureichende Qualifikation und Unterweisung der Beschäftigten werden als Gefahrenquelle aufgeführt.

Eine weitere Untersetzung der Gefährdungsbeurteilung speziell für (chemische) Gefahrstoffe erfolgte durch Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS). Diese Regeln geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder. Sie werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst. Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben (s. [18]).

Der im Zusammenhang mit der Gefährdungsbeurteilung zu realisierende Prozess, der ausgehend von einer Gefahrenermittlung sicheres und gesundheitsgerechtes Arbeiten gewährleisten soll, ist in Abbildung 1 dargestellt. Ausgehend von diesem Prozess werden folgende Aspekte im Folgenden untersucht und diskutiert:

1. Gefahrenermittlung und Gefährdungsbeurteilung,
2. Schutzmaßnahmen auswählen, Einhaltung überprüfen – das Risikoakzeptanzkonzept,
3. Aus- und Weiterbildung zur Thematik.



Abbildung 1: Gefährdungsbeurteilung nach BG BAU (2008)

3.3.2.3.2 Gefahrenermittlung und Gefährdungsbeurteilung

Die fallkonkrete und sachgerechte Ermittlung und Beurteilung von Gefährdungen ist die Voraussetzung von wirksamen betriebsbezogenen Arbeitsschutzmaßnahmen. Solche Prüfungen sind grundsätzlich für alle Arbeitsplätze in einem Unternehmen auszuführen (und zu dokumentieren).

In der TRGS 400 werden folgende Grundsätze zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung aufgeführt:

- Die Gesamtverantwortung für die Gefährdungsbeurteilung liegt beim Arbeitgeber, er kann die Durchführung aber an fachkundige Personen delegieren oder sich fachkundig beraten lassen. Er muss allerdings sicherstellen, dass die für ihn tätig werdenden Personen über die notwendigen Kenntnisse verfügen.
- Der Arbeitgeber muss alle für die Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Unterlagen und Informationen zur Verfügung stellen.
- Werden in einem Betrieb Fremdfirmen tätig und besteht die Möglichkeit einer gegenseitigen Gefährdung durch Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, haben alle Arbeitgeber, Auftraggeber und Auftragnehmer bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung zusammenzuwirken und sich abzustimmen (§17 GefStoffV).
- Die Prüfung kann bei gleichartigen Tätigkeiten oder Arbeitsplätzen musterhaft an Beispielen durchgeführt werden. Bei Änderungen im Betriebsablauf, bei neuen Arbeitsverfahren oder nach Unfällen und Beinaheunfällen sind die Prüfungen zu wiederholen.

Als Grundlagen der Gefahrenbeurteilung benennt die TRGS 400 Informationen

- über die verwendeten chemischen Arbeitsstoffe,
- über die Tätigkeiten,
- zu den Möglichkeiten einer Substitution (ausgenommen bei Tätigkeiten mit geringer Gefährdung),
- über mögliche und vorhandene Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit und
- zu Schlussfolgerungen aus durchgeführten arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen.

Als wichtigste Informationsquellen für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen werden das Etikett mit der Kennzeichnung der gefährlichen Stoffe und Zubereitungen, das Sicherheitsdatenblatt sowie ggf. eine bereits angefertigte Gefährdungsbeurteilung angeführt. Angaben auf den Sicherheitsdatenblättern sollten u. a. physikalische und chemische Eigenschaften umfassen sowie toxikologische Angaben mit Hinweisen auf noch nicht geprüfte gefährliche Eigenschaften.

Die TRGS 400 gibt weiterhin Vorgaben für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei vorgegebenen Maßnahmen (standardisierte Arbeitsverfahren) aber auch bei Arbeiten ohne vorgegebene Maßnahmen. In letztem Fall ist Grundlage der Beurteilung die mit den Tätigkeiten verbundene Inhalation, dermale Kontakte und physikalisch-chemische Gefahren (z.B. Brand- und Explosionsgefahren) und sonstigen durch den Gefahrstoff bedingten Gefährdungen. Die Beurteilung muss so durchgeführt und dokumentiert werden, dass die auf ihrer Grundlage getroffenen Entscheidungen nachvollziehbar sind.

Bei der Beurteilung können Tätigkeiten mit geringer Gefährdung ausgewiesen werden. Tätigkeiten mit geringer Gefährdung sind Tätigkeiten, bei denen aufgrund der Arbeitsbedingungen, einer nur geringen verwendeten Stoffmenge und einer nach Höhe und Dauer niedrigen Exposition Maßnahmen nach § 8 GefStoffV zum Schutz der Beschäftigten ausreichen. Sind für Tätigkeiten weitergehende Maßnahmen nach den §§ 9 bis 12 GefStoffV notwendig, so liegen keine Tätigkeiten mit geringer Gefährdung vor.

Insgesamt gibt die TRGS 400 einen umfassenden Ansatz, mit dem grundsätzlich auch radiologische Situationen bei Arbeiten mit NORM beurteilt werden könnten. Formal beschränkt sich die TRGS zwar auf chemische Gefahrstoffe, sie enthält allerdings auch die Forderung, krebserzeugende Stoffe besonders zu prüfen und zu bewerten. Da allerdings keine Hinweise auf Radioaktivität oder ionisierende Strahlung als kanzerogene Noxe gegeben werden, ist der Sachbereich von Radioaktivität formal ausgeschlossen und wird auch in der Praxis zumeist ausgeblendet.

3.3.2.3.3 Das Risikoakzeptanzkonzept

Der Ausschuss Gefahrstoffe (AGS) des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) verabschiedete im Jahr 2008 als Teil der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen. (BekGS 910) ein neues Risikoakzeptanzkonzept [19], mit dem die praxisgerechte Umsetzung des Minimierungsgebotes für krebserzeugende Stoffe gemäß § 10 (1) der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) erreicht werden soll. Das Konzept und die ersten Erfahrungen mit seiner Umsetzung wurden in einer Arbeit von H. Wriedt [20] beschrieben. Die folgenden Ausführungen basieren, soweit nicht anders ausgewiesen, auf dieser Arbeit.

Das Risikoakzeptanzkonzept soll dann angewandt werden, wenn die Substitution eines krebserregenden Stoffes nicht oder noch nicht möglich ist. Der AGS hat dazu ein stoffun-

abhängiges Rahmenkonzept entwickelt, in dem Schutzmaßnahmen und risikobasierte Konzentrationswerte miteinander verknüpft sind. Um dieses Konzept auf konkrete Stoffe anwenden zu können, müssen stoffspezifische Expositions-Risiko-Beziehungen bekannt sein. Die Ableitung derartiger Beziehungen für chemisch-toxische krebserregende Stoffe wird vom AGS daher seit 2008 mit Vorrang bearbeitet. Für die vollständige Anwendung des Konzeptes sind auch noch rechtliche Veränderungen in der GefStoffV vorgesehen.

Neu am Risikoakzeptanzkonzept ist sein dynamischer, maßnahmeorientierter Ansatz: je höher eine Belastung (auch in einem "erlaubten" Bereich) ist, desto höher der Minimierungsdruck. Damit unterscheidet sich das Risikoakzeptanzkonzept vom eher statischen Ansatz der Technischen Richtkonzentrationen (TRK). Bei letzterem Konzept führte die Einteilung in die Klassen "eingehalten" und "nicht eingehalten" dazu, dass bei Einhaltung der TRK-Werte kein weiterer Druck zur Minimierung von Expositionen mehr vorlag.

Das neue Risikoakzeptanzkonzept stützt sich auf drei Kategorien: Expositionen, Maßnahmen und Risikozahlen.

Expositionen werden anhand des daraus resultierenden Risikos (an Krebs zu erkranken) in drei Bereiche eingeteilt: Bei Überschreiten eines Toleranzrisikos (Toleranzschwelle) liegen *hohe Expositionen* vor, bei Unterschreiten des Akzeptanzrisikos (Akzeptanzschwelle) *geringe Expositionen*. Dazwischen liegt der Bereich *mittlerer Expositionen*, in dem mit weniger aufwendigen Maßnahmen als bei Überschreiten der Toleranzschwelle eine Minimierung der Expositionen anzustreben ist.

Die Begrifflichkeiten zum Risikoakzeptanzkonzept sind bisher noch nicht exakt festgelegt. In Tabelle 2 werden alternative Bezeichnungsweisen zusammengestellt, wie sie in der BekGS 910 /19/ enthalten sind.

Tabelle 2: Alternative Nomenklaturen für die Risikobereiche (nach [19])

I.	Bereich unterhalb der Akzeptanzschwelle	niedriges Risiko	Bereich der Grundmaßnahmen
II.	Bereich zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle	mittleres Risiko	Maßnahmen
III.	Bereich oberhalb der Toleranzschwelle	hohes Risiko	Gefahrenbereich

Zur Abgrenzung der Expositionsbereiche hat der AGS die in Abbildung 2 dargestellten stoffübergreifende Risikogrenzen beschlossen. Übergangsweise gilt derzeit ein Akzeptanzrisiko von 4:10 000, das aber spätestens ab 2018 auf 4:100.000 gesenkt werden soll. Das Toleranzrisiko wurde mit 4:1.000 festgelegt. Die Risiken beziehen sich auf eine Arbeitslebenszeit von 40 Jahren bei einer kontinuierlichen arbeitstäglichen Exposition.

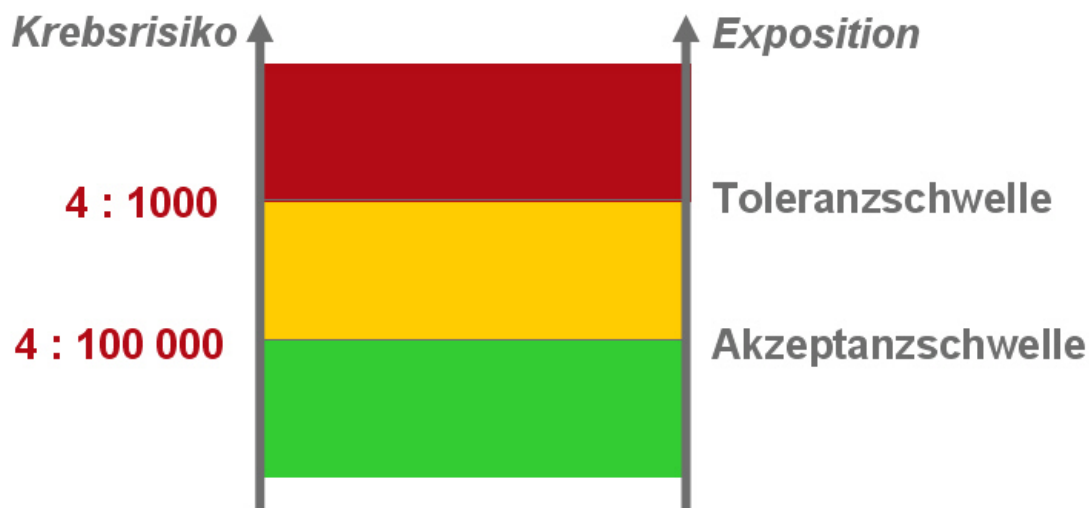


Abbildung 2: Risikogrenzen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. Das deutsche Ampelmodell (aus [21])

Der Kategorie "Maßnahmen" liegt der Ansatz zugrunde (s. [19]), dass mit steigender Konzentration eines krebserzeugenden Stoffes am Arbeitsplatz (und dem damit steigen-

den Risiko) die Notwendigkeit der Umsetzung zusätzlicher betrieblicher Risikominderungsmaßnahmen steigt. Das Risikoakzeptanzkonzept sieht vor, Minderungsmaßnahmen risikoabhängig festzulegen und durch Priorisierung von Maßnahmen Risiken aus Expositionen gegenüber Stoffen mit einem höheren Gesundheitsrisiko prioritär zu reduzieren. Damit wird die Chance gesehen, auf betriebliche Gesamtsituationen bezogene verhältnismäßige Lösungen zu erarbeiten.

Die Verhältnismäßigkeit orientiert sich zum einen an Aufwand (Kosten) und Erfolg, wird zum anderen aber auch am relativen Abstand zum Akzeptanzrisiko gemessen. Ein gegenüber dem Akzeptanzrisiko nur leicht erhöhtes Gesundheitsrisiko durch einen krebserregenden Arbeitsstoff ist weniger dringlich zu minimieren als ein deutlich erhöhtes Risiko. Deutliche Verbesserungen im Bereich eher kleiner Risiken dürften in der Regel mit einem erheblichen und somit unverhältnismäßigen Aufwand verbunden sein. Andererseits sind bei deutlich höheren Risiken (im Maßnahmenbereich nahe des Toleranzrisikos) auch aufwendigere Risikominderungsmaßnahmen notwendig. Dieses dreistufige stoffunabhängige Maßnahmenkonzept ist in Abbildung 3 veranschaulicht. Zielgröße des Konzeptes ist es, Expositionen im Bereich der Expositionen zu erreichen, die durch die Hintergrundkonzentration eines Stoffes unvermeidlich ist.

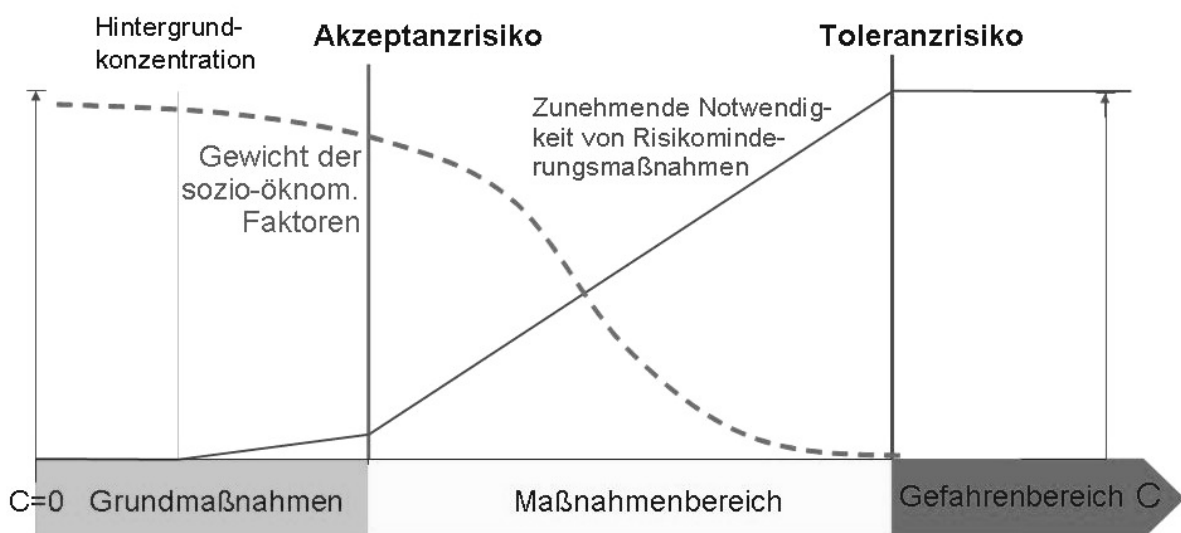


Abbildung 3: Priorisierung der Maßnahmeoptionen im Risikokontinuum (aus [19])

Das in der BekGS 910 [19] beschriebene Maßnahmekonzept umfasst 19 in sich gestufte Einzelmaßnahmen, die fünf Maßnahmegruppen zugeordnet sind (s. Anlage 1 Nr. 5.2 der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen, BekGS 910):

- Administrative Maßnahmen: Verbot, Genehmigung mit Auflagen, Kommunikation mit der Behörde, Maßnahmeplan.
- Technische Maßnahmen: Räumliche Abtrennung, Reduzierung expositionsrelevanter Mengen, Atemschutz, Expositionsminimierung.
- Organisatorische Maßnahmen: (Grund)Hygienemaßnahmen, Minimierung der Expositionsdauer, Minimierung Exponiertenzahl, Risikotransparenz und Kommunikation, Betriebsanweisung, Unterweisung, Schulung.
- Arbeitsmedizinische Maßnahmen: Pflichtuntersuchung, Angebotsuntersuchung.
- Maßnahmen der Substitution. Substitutionsprüfung, Verwendung expositionsmindernder Verwendungsformen, Durchführung der Substitution.

Neben Einzelmaßnahmen, die bereits in der GefStoffV explizit benannt sind (und die auch im Strahlenschutz üblich sind, wie z.B. Hygienemaßnahmen, Minimierung der Expositionsdauer, Minimierung Exponiertenzahl), enthält das Risikoakzeptanzkonzept damit weitere Maßnahmen, die von der Verordnung zwar grundsätzlich abgedeckt sind, dort aber nicht, oder nur für Einzelfälle, vorgegeben sind. Eine dieser Maßnahmen ist die Risikotransparenz und Kommunikation. Damit ist die Verpflichtung des Arbeitgebers gemeint, bei einer Exposition mit einem krebserregenden Stoff das Ausmaß des Krebsrisikos zu ermitteln und die Beschäftigten hierüber zu informieren. Diese Maßnahme kann als eine Konkretisierung von Unterrichtungspflichten bei Tätigkeiten mit krebserregenden Stoffen verstanden werden.

Eine weitere Maßnahme, die sich nicht explizit in der GefStoffV findet, ist der Maßnahmeplan. Dieser Plan ist bei allen Expositionen über der Akzeptanzschwelle durch den Arbeitgeber zu erstellen. Darin muss unter Angabe konkreter Einzelheiten beschrieben sein, wie, in welchen Zeiträumen und mit welchem Ausmaß sowie aufgrund welcher Maßnahmen eine weitere Expositionsminderung erreicht werden soll. Der Maßnahmeplan ist der zuständigen Behörde auf Anfrage zu übermitteln.

Die Kommunikation mit der Aufsichtsbehörde beinhaltet zum einen eine Informationspflicht. Liegen Expositionen im Bereich hohen Risikos und ist im Maßnahmenplan eine

Reduzierung der Expositionshöhe in den Bereich mittleren Risikos innerhalb von drei Jahren nicht vorgesehen, so hat der Arbeitgeber eine Genehmigung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde zu beantragen. Als Teil des Antrages sind die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung und der Maßnahmenplan einzureichen. Auch bei mittleren Risiken ist der Behörde anzuzeigen, wenn eine Reduzierung der Expositionshöhe um einen festzulegenden Faktor innerhalb einer bestimmten Zeit nicht möglich ist.

Alle diese Instrumente sollen dem Unternehmen Freiräume für eigenverantwortliches Handeln schaffen und gleichzeitig den Aufsichtsbehörden und den regelsetzenden Gremien helfen, die Bereiche zu erkennen, die besonders hoher Anstrengungen zur Risikominderung bedürfen. Sie sind umso verbindlicher, je höher das (mögliche) Risiko ausfällt. Im Bereich geringer Expositionen liegt die Verantwortung für die Expositionsminimierung ausschließlich in der Eigenverantwortung der Unternehmen mit den betrieblichen Akteuren Arbeitgeber, Beschäftigte und Betriebsrat.

Die dritte Kategorie des Risikoakzeptanzkonzeptes umfasst die *Methodik zur Ableitung von Expositions-Risiko-Beziehungen*. Diese Methodik liegt für radioaktive Stoffe als LNT-Hypothese und die international gebräuchlichen Risikokoeffizienten der ICRP vor. Daher wird auf das toxikologische Konzept an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

3.3.2.3.4 Aus- und Weiterbildung

Eine Voraussetzung für die Umsetzung des Risikoakzeptanzkonzeptes sind Kenntnisse zu den damit verbundenen Aufgaben und Methoden. Daher sind Risikotransparenz und Kommunikation, Betriebsanweisung, Unterweisung, Schulung unmittelbar im Risikoakzeptanzkonzept geforderte Maßnahmen. Auch im Strahlenschutz sind Aus- und Weiterbildung aller Verantwortlichen grundlegende Elemente der effektiven Umsetzung des Regelwerkes.

Von Gellermann [22] wurde bereits 2008 darauf hingewiesen, dass der Vollzug von Teil 3 Kapitel 3 StrlSchV noch vielfach an fehlendem Wissen der Verpflichteten und Interpretationsunsicherheiten einiger zuständiger Behörden krankt. Er stellte fest, dass eine objektive Beurteilung von Expositionssituationen von Personen der Bevölkerung sowohl in Betrieben, in denen Rückstände anfallen, mehr jedoch in den Bereichen der Wirtschaft,

die Rückstände weiter verarbeiten, behandeln und beseitigen werden, daher vielfach kaum möglich ist. Andererseits erfordert die Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen neben besserem Wissen eine möglichst einfache und verständliche Kommunikation.

Bildungsstätten, die mit speziellen Kursen auf dem Gebiet Arbeiten mit natürlichen Strahlenquellen zu einer sachgerechten Kommunikation über NORM beitragen, sind:

- LPS Berlin (1 – 2 Kurse im Jahr),
- IRS Hannover / teilweise gemeinsam mit Bohrmeisterschule Celle (1 – 2 Kurse im Jahr),
- IWU Magdeburg (Informative Weiterbildung für Abfallwirtschaft und NORM Industrien, kein zertifizierter Strahlenschutzkurs).

Bei allen diesen Kursen steht die Vermittlung von Wissen zu Strahlung und Strahlenrisiken sowie zur StrlSchV und ihrer betrieblichen Umsetzung im Mittelpunkt. Darüber hinaus werden (elementare) Fähigkeiten im Zusammenhang mit Messungen von Strahlung vermittelt. Fragen der Synergie von Strahlenschutz und Arbeitsschutz stehen bei keiner der Veranstaltungen im Mittelpunkt. Eine Weiterbildung, die gezielt das Akzeptanzrisikokonzept im Zusammenhang mit NORM und dem Optimierungsgebot des Strahlenschutzes behandelt, ist nicht bekannt.

3.3.2.4 Zwischenfazit

Die hier ausgeführte Untersuchung zeigte, dass der Strahlenschutz auch bei natürlich vorkommenden Strahlenquellen weitgehend als in sich abgeschlossener Bereich gesehen wird, der *neben* dem konventionellen Arbeitsschutz organisiert und betrieben wird. Von Seiten der Berufsgenossenschaften sind bisher vor allem Expositionen durch Radon und Arbeiten mit Stoffen, denen radioaktive Elemente (Thorium) zugesetzt worden sind, als Thema erkannt und bearbeitet worden. Nur in der Erdöl-Erdgasindustrie gibt es einen Leitfaden, in dem Strahlenschutz an Arbeitsplätzen bei niedriger Exposition als Arbeitsschutz umgesetzt wird.

Auf der anderen Seite gibt es mit dem Gefahrstoffrecht und speziell dem Risikoakzeptanzkonzept für krebserregende Stoffe einen Rahmen, der die machbare und verhältnismäßige Reduzierung von Expositionen mit konkreten Maßnahmen ausgestaltet. Da ionisierende Strahlung wissenschaftlich erwiesen krebsauslösend ist, können radioaktive Stoffe als (spezielle) kanzerogene Noxen angesehen werden. § 6 Abs. 6 der GefStoffV

fordert sehr allgemein, die mit den Tätigkeiten verbundenen inhalativen, dermalen und physikalisch-chemischen Gefährdungen unabhängig voneinander zu beurteilen und in der Gefährdungsbeurteilung zusammenzuführen. Treten bei einer Tätigkeit mehrere Gefahrstoffe gleichzeitig auf, sind Wechsel- oder Kombinationswirkungen der Gefahrstoffe, die Einfluss auf die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten haben, bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen, soweit solche Wirkungen bekannt sind.

NORM zeichnen sich häufig dadurch aus, dass in ihnen chemisch-toxische Stoffe (z.B. Barium in Rückständen der Erdöl-/Erdgasindustrie, Blei in Hüttenstäuben) vorkommen. Vor diesem Hintergrund scheint es nicht sinnvoll, mit unterschiedlichen Herangehensweisen die Risiken begrenzen zu wollen. Die Trennung des Strahlenschutzes vom Arbeitsschutz erwies sich im Bereich der NORM Industrien und der Abfallwirtschaft in der Praxis vielfach als hinderlich, insbesondere auch, weil Strahlung gesellschaftlich stigmatisiert ist und daher anders wahrgenommen wird als chemische Noxen. Ein funktionierender Gesundheitsschutz der Beschäftigten im Bereich NORM könnte einfacher erreicht werden, wenn er in einem einheitlichen Rahmen umgesetzt wird. Daher sollte das Risikoakzeptanzkonzept auf seine Anwendbarkeit bei NORM hin geprüft und ggf. weiter entwickelt werden.

Betrachtet man als einen formalen Aspekt die Höhe der akzeptablen Risiken bzw. der Toleranzschwelle, so zeigt sich, dass mit dem Risikofaktor nach der ICRP Publikation 103 von 5 % je Sv die Toleranzschwelle $4E-3$ einer Lebenszeitdosis von 80 mSv entspricht. Das ist 5fach weniger als die zulässige berufliche Lebenszeitdosis der StrlSchV von 400 mSv, liegt aber in Anbetracht der völlig unterschiedlichen Festlegungshintergründe in einem vergleichbaren Wertebereich. Bei den unterstellten 40 Berufsjahren ergibt sich für die Toleranzschwelle eine Jahresdosis von 2 mSv, ein Wert der genau zwischen 1 mSv/a, der Richtdosis für zulässige Erhöhungen der Strahlenexposition von (nicht überwachten) Personen der Bevölkerung und 6 mSv/a, der Schwelle für erhöhte Anforderungen im beruflichen Strahlenschutz (Beschäftigte der Kategorie A nach StrlSchV) liegt.

Das Akzeptanzrisiko von $4E-5$ führt demnach zu einer Lebenszeitdosis von nur 0,8 mSv und damit auf den ersten Blick auf Werte weit unterhalb des Niveaus der allgemeinen Umgebungsstrahlung, das in Deutschland bei etwas 2,1 mSv/a liegt und das bezogen auf 40 Jahre zu 84 mSv Dosis führt. Dieser Vergleich ist aber nicht stichhaltig, da:

- Die berufliche Strahlenexposition den Expositionspfad "Nahrung" nicht enthält.
- Eine Exposition mit Radon eine besondere Situation darstellt, die nicht unmittelbar mit dem Vorkommen von NORM an Arbeitsplätzen in Verbindung stehen muss und die daher ggf. gesondert zu bewerten ist.
- Die kosmische Strahlung (in Bodennähe) als unvermeidbarer Teil der Exposition außerhalb strahlenschutzrechtlichen Regelungen liegt/nicht regelbar ist.
- Die berufliche Strahlenexposition im Zusammenhang mit den hier betrachteten Arbeiten sich auf Erwachsene bezieht.
- Die berufliche Strahlenexposition bei realistischer Betrachtung mit ca. 2000 h pro Jahr nur 23 % der gesamten Expositionszeit einer Person ausmacht.

Realistische Bezugsgröße für die Hintergrundexposition von Beschäftigten ist daher eine effektive Jahresdosis aus:

- Äußerer terrestrischer Strahlenexposition von 23 % der Jahresdosis der Bevölkerung (lt. BMU Parlamentsbericht 2009) $0,4 \text{ mSv/a} = 0,092 \text{ mSv/a}$ oder alternativ abgeschätzt aus Wichtungsfaktor Erwachsene $0,6 \times$ terrestrische Ortsdosisleistung $0,06 \mu\text{Sv/h} \times$ Arbeitszeit $2000 \text{ h} = 0,07 \text{ mSv/a}$.
- Strahlenexposition durch Staub bei $0,05 \text{ mg/m}^3$ Staubkonzentration und Aktivitätskonzentrationen der allgemeinen Werte lt. BGIBb /23/ von $0,003 \text{ mSv/a}$.

Richtet man den Gesundheitsschutz an diesen beiden Bezugsgrößen aus, so sind Expositionen von unter $0,1 \text{ mSv/a}$ (4 mSv Lebenszeitdosis) als Zielwert für den Reduzierungsprozess möglich. Damit wird zwar die formale Akzeptanzschwelle des Risikoakzeptanzkonzeptes nicht völlig erreicht, das Konzept der Risikominimierung kann aber mit leichten Modifikationen inhaltlich voll übernommen werden. Gleichzeitig unterstreicht diese Betrachtung, dass es in hohem Maße gerechtfertigt ist, natürlich vorkommende Radionuklide in ein Risikoakzeptanzkonzept einzubeziehen, da die aus der Exposition mit Radionukliden resultierenden Risiken deutlich höher ausfallen können als sie ansonsten toleriert werden. Da Gesundheitsrisiken von Personen letztlich ganzheitlich wirksam sind, erweist sich die historisch gewachsene und regulatorisch festgeschriebene Grenze im Gefahrstoffrecht und Strahlenschutz insbesondere bei NORM an Arbeitsplätzen eher als hinderlich. Ein einheitlicher Prozess für den Strahlenschutz / Arbeitsschutz sollte daher vorteilhaft sein. Insbesondere könnte eine konsequente Anwendung des Risikoakzeptanzkonzeptes auf NORM dazu beitragen, das ALARA-Prinzip in der Praxis stärker zu etablieren. Durch einen solchen Prozess kann die Informationsflut für Verantwortliche und Beschäftigte reduziert werden. Derzeit enthalten Arbeitsschutzunterwei-

sungen und Strahlenschutzunterweisungen vielfach ähnlichen bis gleiche Inhalte zu Handlungsweisen.

Um diese Synergien zu nutzen und die Effektivität im beruflichen Gesundheitsschutz zu steigern, sind allerdings folgende Voraussetzungen zu schaffen:

- Radioaktivität ist als Noxe am Arbeitsplatz in das Spektrum der Gefahrstoffe einordnen. Die besondere Rolle von Strahlung und die damit verbundene Stigmatisierung sind abzubauen.
- Bei einer Gefährdungsprüfung muss dem Ausführenden der Sachverhalt "Radioaktivität" als Prüfgegenstand bekannt sein und er in der Lage sein, die Gefahren durch Strahlung sachkundig zu beurteilen. Dazu müssen ggf. entsprechend sachübergreifende Leitfäden / Merkblätter / Checklisten zur Verfügung gestellt werden.
- Die Kommunikation über Radioaktivität muss deutlich verbessert werden. Insbesondere müssen, wie im Risikoakzeptanzkonzept gefordert, alle Beschäftigten an Arbeitsplätzen mit NORM über den Sachverhalt Radioaktivität informiert werden.
- Die bisher stark getrennten Wege der Wissensvermittlung zu Gefahrstoffen und Radioaktivität müssen durch neue Wege erweitert werden. Ergänzende Bausteine zur Radioaktivität in Weiterbildungsangeboten über Gefahrstoffrecht, Abfallrecht und Arbeitsschutz könnten hilfreich sein.

Als ein Baustein zur Umsetzung dieser Forderungen wurde im Rahmen dieses Projektes das "3-i-Konzept" als Ergänzung zum "3-A-Konzept" des klassischen Strahlenschutzes (Abstand, Aufenthaltszeit, Abschirmung) vorgeschlagen (s. [24]). Dieses auch in einigen Weiterbildungsveranstaltungen bereits vorgestellte Konzept beinhaltet die Punkte:

- *Informationen beschaffen* (Informationen zu den vorkommenden Radionukliden, deren spezifischen Aktivitäten und den daraus ableitbaren potentiellen Strahlenexpositionen.)
- *Informationen sachgerecht beurteilen* (Messwerte regelkonform einstufen, Maßnahmen sachgerecht ableiten.)
- *Informationen weitergeben* (Außer an Verantwortliche und soweit erforderlich an Behörden auch an die Beschäftigten und bei der Entsorgung von Materialien die Unternehmen der Abfallwirtschaft – auch bei Aktivitäten unter den Überwachungsgrenzen.)

Da in den kommenden Jahren durch die Novellierung der EU-Grundnormen gerade das Sachgebiet NORM einer konzeptionellen Neuausrichtung unterzogen werden muss, bietet es sich an, die hier herausgearbeiteten Vorschläge bei der nationalen Implementierung der Grundnormen mit zu bedenken. Die nationale und internationale Diskussion über das EAN_{NORM} könnte (und sollte) dazu beitragen, die Möglichkeiten, die sich aus einer stärkeren Vernetzung von Strahlenschutz und Gefahrstoffmanagement in der Praxis ergeben, herauszuarbeiten.

4 Workshops

4.1 2nd EAN_{NORM} Workshop

Der 2. Workshop des EAN_{NORM} wurde vom 24.11.2009 bis 26.11.2009 im Konferenz Zentrum des Dorint Hotels in Dresden durchgeführt. Insgesamt haben 58 Personen aus 16 europäischen Ländern und 1 Person aus Korea am Workshop teilgenommen. Ausführlich ist der Workshop in [1] dokumentiert.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Analyse und der Diskussionen mit den "Contact Points" wurden die Themen formuliert, die sowohl den gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik reflektieren als auch aktuelle Trends auf dem Gebiet des Strahlenschutzes bei NORM berücksichtigen. Die Themen für die insgesamt 3-tägige Veranstaltung wurden in folgende fünf Fach-Sitzungen eingeordnet:

- Session 1 - General requirements against exposures due to NORM /natural sources,
- Session 2 - Input and output of the ALARA network,
- Session 3 - Implementation of new BSS in industry,
- Session 4 - NORM experience in different countries,
- Session 5 - Practical applications.

Insgesamt wurden 24 Fachbeiträge in die Tagesordnung des Workshops aufgenommen. Im Anschluss an jede Sitzung wurden "round-table-discussions" durchgeführt, die die Möglichkeit boten, aktuelle Fragen zu diskutieren.

4.2 3rd EAN_{NORM} Workshop

Der vom 23.11.2010 - 25.11.2010 im Dorint Hotel in Dresden durchgeführte 3. Workshop des EAN_{NORM} zum Thema "Scenarios for Dose Assessments in the NORM industry" wurde mit positiver Resonanz in der "NORM-Community" aufgenommen. Insgesamt haben 45 Personen aus 14 europäischen Ländern am Workshop teilgenommen.

Die Beiträge, die zum Workshop eingereicht und vom Vorbereitungskomitee zur Präsentation ausgewählt wurden, spiegeln das breite Spektrum von Situationen wider, in denen die bloße Anwesenheit von natürlicher Radioaktivität in der Arbeitsumgebung zu Strahlenexpositionen für die Beschäftigten in einer Höhe führen kann, die aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden sollten. Es hat sich gezeigt, dass

- auch die Deponierung von Rückständen aus der Industrie immer unter dem Blickwinkel der natürlichen Radioaktivität und den möglicherweise daraus resultierenden Strahlenexpositionen für die Bevölkerung betrachtet werden sollte. Auf-

kommen, Weiterverwendung und Beseitigung von Rückständen dürfen deshalb bei der Optimierung des Strahlenschutzes in der NORM Industrie nicht unbeachtet bleiben.

- die Weiterverwendung von mineralischen Rückständen zur Herstellung von Baumaterialien zu Strahlenexpositionen für eine große Zahl von Personen führen kann, so dass dieses Problem von besonderer Bedeutung ist. In den meisten Mitgliedsländern der EU ist die Weiterverwendung von mineralischen Rückständen zur Herstellung von Baumaterialien heute gängige Praxis. In dem Entwurf der Europäischen Basic Safety Standards sind deshalb einschlägige Festlegungen getroffen worden, um eine einheitliche Vorgehensweise zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei der Verwendung derartiger Materialien zu gewährleisten. Diese Festlegungen bedürfen allerdings noch der fachlichen Diskussion.
- in den Fällen, in denen industrielle oder bergbauliche Rückstände in der Umwelt deponiert worden sind, ohne dass die natürliche Radioaktivität in diesen Materialien beachtet wurde, auch Strahlenexpositionen für die Bevölkerung auftreten können, die nachträglich eine sorgfältige Bewertung der daraus resultierenden Situation und ggf. auch Maßnahmen erfordern. Die in das Programm aufgenommenen Beiträge regten zur Diskussion dieser Themen an. Zudem waren vor allem
 - das "realistic dose assessment",
 - die Frage "What do you think about harmonisation?",
 - die Beurteilung von Radonexpositionen sowie
 - Stand und Zukunft des EAN_{NORM}

Gegenstand der Diskussionen.

5 Zusammenfassung

Das Vorhaben 3609S10006 "Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM)" wurde im Zeitraum vom 25.9.2009 bis 15.11.2011 realisiert. Die Schwerpunkte der Bearbeitung waren drei Arbeitspaketen zugeordnet:

AP 1: Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

AP 2: Erarbeitung technischer Empfehlungen für den Strahlenschutz

AP 3: Abschlussbericht

Zudem umfasste das Projekt die Organisation und Durchführung von *zwei Workshops*.

Die Arbeiten im Rahmen des AP 1 zum vorliegenden Projekt waren thematisch schwerpunktmäßig auf die

- Erfassung der gegenwärtigen Praxis des Strahlenschutzes in der NORM Industrie sowie die
- Aufarbeitung des Kenntnisstandes zur Entwicklung und Pflege von Leitlinien für eine gute Strahlenschutzpraxis in der NORM Industrie

ausgerichtet. Auf der Basis

- von umfassenden Auswertungen der derzeit z.T. auch als Entwurf vorliegenden internationalen Empfehlungen zum Strahlenschutz in Bezug auf NORM,
- der Entwicklung überblicksartiger Dokumente (z.B. zu den nationalen Strahlenschutzgesetzgebungen, zur sogenannten "Positivliste") unter Nutzung der im Netzwerk bestehenden Kontakte und technischen Möglichkeiten,
- einer Fragebogenaktion im EAN_{NORM} zur Daten- und Informationsgewinnung und
- der Initiierung von Diskussionsforen zu unterschiedlichen Themen auf der EAN_{NORM} web-site

konnte ein guter Überblick zum aktuellen Status des Strahlenschutzes in der NORM Industrie erarbeitet werden. Dieser wurde in entsprechenden Projektberichten gegenüber dem AG dokumentiert und in Form von speziellen Dokumenten den Mitgliedern des EAN_{NORM} auf der web-site zur Verfügung gestellt. Parallel dazu wurde die web-site aktualisiert.

Im Rahmen des AP 2 zum vorliegenden Vorhaben wurden technische Empfehlungen in Form von Merkblättern für den Strahlenschutz der Beschäftigten in der Erdöl-

/Erdgasindustrie und der Zirkonindustrie erstellt. Dabei wurden schwerpunktmäßig die Themenbereiche

- Internationale Standards und nationale Regelungen zur Gewährleistung des Strahlenschutzes der Beschäftigten
- Strahlenschutz beim Transport
- Ermittlung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen
- Strahlenschutzmaßnahmen
- Umgang mit Rückständen

betrachtet. Die Merkblattentwürfe wurden im EAN_{NORM} mit den nationalen Vertretern diskutiert. Die Diskussion im internationalen Maßstab wird im Anschluss an das BfS-Projekt erfolgen. Die Merkblätter sind auf der EAN_{NORM} web-site publiziert.

Neben der Erarbeitung der Merkblätter wurde eine Übersichtserhebung zu den herkömmlichen Regelungen des Arbeitsschutzes in der NORM Industrie durchgeführt. Die Untersuchung zeigte, dass der Strahlenschutz auch bei natürlich vorkommenden Strahlenquellen weitgehend als in sich abgeschlossener Bereich gesehen wird, der neben dem konventionellen Arbeitsschutz organisiert und betrieben wird.

Vertragsgemäß wurden 2 EAN_{NORM} Workshops in Dresden durchgeführt. Die je 3tägigen Veranstaltungen trafen auf gute Resonanz im Netzwerk. Die Tradition dieser jährlichen Workshops wird nach Abschluss des BfS-Projektes mit dem 4. Workshop Ende November 2011 in Hasselt (Belgien) fortgeführt.

Im Zeitraum der Projektbearbeitung wurde der Kontakt zum EAN gepflegt. Außerdem ist das EAN_{NORM} auf 170 Mitglieder und 44 „Contact Points“ angewachsen. Die weitere Entwicklung des Netzwerkes wird Gegenstand der Diskussionen auf dem 4. Workshop sein.

Literatur-/Quellenverzeichnis

- [1] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), Bericht zum 2. Workshop, Dresden, 01.03.2010, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [2] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), Zwischenbericht zum Arbeitspaket 1, Dresden, 12.03.2010, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [3] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), Bericht zum Arbeitspaket 1, Dresden, 18.5.2010, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [4] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), Zwischenbericht zum Arbeitspaket 2, Dresden, 26.11.2010, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [5] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), Bericht zum 3. Workshop, Dresden, 26.11.2010, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [6] IAF - Radioökologie GmbH: Fortführung und technische Betreuung der Internetplattform zum europäischen Netzwerk für natürlicherweise auftretende radioaktive Materialien (NORM), 2. Zwischenbericht zum Arbeitspaket 2, Dresden, 31.08.2011, Vorhaben 3609S10006 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- [7] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S 1714 ber. I 2002 S. 1459)
- [8] Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V.. Technische Regel: Leitfaden für Arbeiten mit natürlicher Radioaktivität. Stand: 7/10 (2010)
- [9] J. Döring, T. Beck, M. Beyermann, J. Gerler, G. Henze, J. Mielcarek, U.-K. Schkade: Exposure and radiation protection for work areas with enhanced natural radioactivity. In: NORM V p. 399.
- [10] Döring, J.; Kümmel, M. (BfS, Germany): Dose assessment for working areas in Zr-sand and oil & gas industries. EAN-NORM Round-Table Workshop "Scenarios for Dose Assessments in the NORM industry" Nov. 23rd - 25th 2010, Dresden (Germany)
- [11] vertrauliche Mitteilung von IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

-
- [12] vertrauliche Mitteilung der Fugro Consult GmbH
- [13] D. Weiß, T. Tennstedt: Ergebnisse der Untersuchungen zur Strahlenexposition in einem Berliner Was-serwerk. Vortrag auf der 38. Sitzung des AKNAT am 16.10.2009
- [14] T. Tennstedt: Umgang mit Rückständen aus der Wasseraufbereitung. Vortrag auf der 32. Sitzung des AKNAT am 03.11.2006 Tennstedt
- [15] Leitfaden Natürliche Radioaktivität für die Ermittlung und Bewertung der Expositionen durch natürliche Radioaktivität im Steinkohlenbergbau und die sich daraus ergebenden Maßnahmen. Erarbeitet von der Projektgruppe „Leitfaden Natürliche Radioaktivität im Bergbau“: Deutsche Steinkohle AG. Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen. Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW
- [16] Merkblatt WIG-Schweißen, siehe [http://www.sz-schweisstechnik.de/fachwissen/Merkblatt Wolfram-Elektroden.pdf](http://www.sz-schweisstechnik.de/fachwissen/Merkblatt_Wolfram-Elektroden.pdf).
- [17] Merkblatt Arbeitsschutz für Arbeiten auf radiologischen Altlast- und Altlastverdachtsflächen in Oranienburg (einschließlich Lehnitz). (Fassung vom 15.06.2011)
- [18] Technische Regeln für Gefahrstoffe Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. TRGS 400 (2008)
- [19] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen. Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. Bekanntmachung 910 (BekGS 910). Ausgabe: Juni 2008, zuletzt geändert: GMBI 2011 S. 194 [Nr. 10]
- [20] Wriedt, H.: Das Risikoakzeptanzkonzept für krebserregende Gefahrstoffe. In: Gefahrstoffe 70(2010) Nr. 9, S. 351ff
- [21] Internetseite des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Nov. 2011
- [22] Gellermann, R.: Nebenaufgabe Strahlenschutz. Welches Wissen brauchen Führungskräfte und Mitarbeiter in Industrie und Entsorgungswirtschaft für die Beurteilung von NORM? In: Kompetenz im Strahlenschutz - Ausbildung, Weiterbildung und Lehre. 40. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz. (Herausg.: R. Michel, M. Täschner, H.-G. Vogt). TÜV Media GmbH, Köln 2008. S. 272-278
- [23] Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt: Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau), Salzgitter, März 2010
- [24] Beitrag von R. Gellermann zum EAN_{NORM} Forum , April 2010

Praktische Hinweise zur Vorgehensweise bei der Bewertung und Kontrolle der Strahlenexposition der Beschäftigten in der NORM Industrie – Merkblätter

Vorwort

Strahlenexpositionen für Beschäftigte oder Personen der Bevölkerung, die aus der Sicht des Strahlenschutzes beachtet werden müssen, können nicht nur beim Umgang mit künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen und bei der Nutzung der Radioaktivität oder anderer kernphysikalischer Eigenschaften natürlicher radioaktiver Stoffe entstehen. Solche Situationen können auch auftreten, wenn Materialien, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe enthalten, ver- oder bearbeitet werden ohne dass deren Radioaktivität oder andere kernphysikalische Eigenschaften genutzt werden. Für solche Materialien ist heute der Begriff NORM (**N**aturally **O**ccuring **R**adioactive **M**aterials) üblich.

Für Handlungen mit oder in Anwesenheit von NORM wird in den Europäischen Basic Safety Standards (Direktive 96/29 des Rates der Europäischen Union) [1] der Begriff 'work activities' verwendet. Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) [2] verwendet in Anlehnung an die Europäischen Standards für diese Situationen den Begriff 'Arbeiten'.

Die Plattform für eine europaweite Diskussion von Strahlenschutzfragen in der NORM Industrie ist das **European ALARA Network for Naturally Occurring Radioactive Material** (EAN_{NORM}). In den Diskussionen hat der Austausch von Erfahrungen, die in der betrieblichen Praxis gewonnen worden sind, besondere Bedeutung. Einzelheiten über den Stand der Diskussionen sind unter <http://www.ean-norm.net> oder <http://www.ean-norm.eu> aktuell verfügbar.

Ergebnisse dieser Diskussionen für einzelne NORM Industrien werden von den Organisatoren des EAN_{NORM} in Merkblättern zusammengefasst. Schwerpunkte sind neben rechtlichen Aspekten die Messmethodik und Messtechnik, die Abschätzung und Bewertung der Strahlenexpositionen sowie die Einbindung der Strahlenschutzmaßnahmen in das betriebliche System zur Gewährleistung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes.

Die Merkblätter sollen dazu beitragen, dass in den Mitgliedsländern der Europäischen Gemeinschaft eine harmonisierte Vorgehensweise bei der Ausgestaltung der betrieblichen Strahlenschutzkontrolle in der NORM Industrie erreicht wird. Sie richten sich deshalb vor allem an die Personen, die in den Betrieben der relevanten Industriezweige für den Gesundheits-, Arbeits- und Strahlenschutz verantwortlich sind.

A) Praktische Hinweise zur Vorgehensweise bei der Bewertung und Kontrolle der Strahlenexposition der Beschäftigten bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien – Merkblatt für die Zirkonindustrie

1 Zirkonminerale – natürlich vorkommende radioaktive Stoffe

Zirkon (Zirkonsilikat) und die anderen in der Natur vorkommenden Zirkonminerale (z.B. Baddeleyite) enthalten natürlich vorkommende Radionuklide, vor allem die Radionuklide der Uran(U-238)- und der Thorium(Th-232)-Zerfallsreihen. Aus der Sicht des Strahlenschutzes von untergeordneter Bedeutung sind die Radionuklide der U-235-Zerfallsreihe. Zwischen U-238 und U-235 liegt auch in den Zirkonmineralien das natürliche Isotopenverhältnis vor (99,3% zu 0,7%). Die Radionuklide ersetzen in der Kristallstruktur der Zirkonminerale Zirkonatome und sind so sehr fest in den Mineralien gebunden. Eine Freisetzung der Radionuklide aus den Zirkonmineralien ist ohne Zerstörung des Kristallgitters der Zirkonminerale praktisch nicht möglich.

Die spezifischen Aktivitäten der Radionuklide in den heute handelsüblichen Zirkonmineralien sind unterschiedlich. Der typische Bereich für U-238 in Zirkon reicht von 1 Bq/g bis 4 Bq/g. In Mineralien aus einigen Lagerstätten wurden auch deutlich höhere Werte gefunden (z.B. in China ca. 15 Bq/g, in Malaysia sogar bis zu 60 Bq/g).

Die spezifischen Aktivitäten für Th-232 sind geringer. Der typische Bereich bei Zirkon reicht von 0,5 Bq/g bis 1 Bq/g. Es treten aber auch deutlich höhere Werte auf (z.B. in China 8 Bq/g, in Malaysia 40 Bq/g).

Die spezifischen Aktivitäten im Baddeleyite sind im Allgemeinen etwas höher. Der typische Bereich für U-238 reicht von 3 Bq/g bis 10 Bq/g. Extreme Werte wie im Zirkon wurden im Baddeleyite nicht gefunden. Die spezifischen Aktivitäten für Th-232 sind wiederum geringer. Der typische Wertebereich reicht von 0,1 Bq/g bis 2 Bq/g.

Die Radionuklide der Zerfallsreihen liegen in den Zirkonmineralien näherungsweise im radioaktiven Gleichgewicht¹ vor. Das ist für experimentelle Untersuchungen und für Abschätzungen von Strahlenexpositionen von Bedeutung.

Wegen des höheren Gehaltes natürlicher Radionuklide in den Zirkonmineralien können bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung für die Beschäftigten Strahlenexpositionen auftreten, die aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden sollten. Sie können sogar in einem Wertebereich liegen, der nach den Grundprinzipien des Strahlenschutzes Maßnahmen erfordert. Zirkonminerale erfüllen deshalb die Begriffsdefinition für NORM.

Die wirtschaftlich wichtigen Zirkonminerale sind Zirkon (Zirkonsilikat) und Zirkonia (Zirkonoxid), das als Mineral Baddeleyite in der Natur vorkommt. Zirkonsilikate kommen in der Natur als Begleitminerale von Eruptivgesteinen oder in sekundären Lagerstätten ('Zirkonsand') vor. Letztere sind durch natürliche Trennprozesse aufgrund der hohen Dichte des Zirkonsilikats gebildet worden. Die Vorkommen von Baddeleyite sind nicht so häufig. Es kommt nur in wenigen Lagerstätten als Begleitmineral von Karbonatgesteinen vor.

Die Korngrößen von Zirkon sind in vielen Fällen für eine Weiterverarbeitung nicht geeignet. Deshalb werden die Rohprodukte zunächst gemahlen. Die dabei entstehenden Zwischenprodukte (mikronisiertes Zirkonsilikat – micronized zircon, Zirkonmehl – zircon flour) werden dann vor allem in der Keramikindustrie, in der Gieß-

¹ Im radioaktiven Gleichgewicht ist die massenspezifische Aktivitätskonzentration eines Zerfallsprodukts ('Tochternuklid') gleich der massenspezifischen Aktivitätskonzentration des Ausgangsnuklids ('Mutternuklid').

reitechnik (Formenbau) und in der Feuerfestindustrie verwendet. In der letzten Zeit hat auch die Herstellung von Zirkonia an Bedeutung gewonnen, da die natürlichen Vorkommen begrenzt sind.

Die Feuerfestindustrie und die Keramikindustrie sind auch die Hauptanwendungsgebiete für Zirkonia. Die Produktion von anderen Zirkonverbindungen aus Zirkonia ist von geringerer Bedeutung.

Die Verwendung von Zirkonia bei der Herstellung von Halbleitern und mikroelektronischen Bauteilen ist zwar von großer wirtschaftlicher Bedeutung, jedoch sind die dabei verarbeiteten Materialmengen gering verglichen mit den Mengen, die in anderen Industriebereichen verwendet werden.

Strahlenschutzprobleme können in allen Industrien auftreten, in denen Zirkonminerale, Zwischenprodukte oder Zirkonverbindungen verarbeitet werden. Besondere Beachtung erfordern aber die Situationen, bei denen mit größeren Materialmengen umgegangen wird (z.B. Mahlen von Zirkonmineralien).

Die Grundprinzipien des Strahlenschutzes sind in europäischen Standards und in den auf diese Standards aufbauenden nationalen Vorschriften zum Schutz des Menschen vor der schädlichen Einwirkung ionisierender Strahlung festgelegt worden.

2 Europäische Standards und nationale Vorschriften zur Gewährleistung des Strahlenschutzes der Beschäftigten bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien

2.1 Die Direktive 96/29 EURATOM

In der Direktive 96/29 des Rates der Europäischen Union [1] wurden die Grundprinzipien des Strahlenschutzes festgelegt, die auch für solche Arbeiten anzuwenden sind, bei denen die bloße Anwesenheit natürlicher Strahlenquellen zu einer signifikanten Erhöhung der Strahlenexposition der Beschäftigten oder Personen der allgemeinen Bevölkerung führen kann, die aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden kann (Artikel 2 Ziffer 2). Die Mitgliedsländer werden verpflichtet, solche Arbeiten zu identifizieren (Artikel 40 Ziffer 2) und erforderlichenfalls Maßnahmen einzuleiten, um die Strahlenexpositionen zu reduzieren und unvermeidliche Strahlenexpositionen zu kontrollieren (Artikel 41). In [3] wird die Auf- und Verarbeitung von Zirkonsanden ausdrücklich als eine Industrie genannt, in der erhöhte Strahlenexpositionen für Beschäftigte auftreten können. Als Kriterium für eine erhöhte Strahlenexposition gilt allgemein eine jährliche effektive Dosis von 1 mSv (Grenzwert für Personen der Bevölkerung).

Strahlenexpositionen oberhalb von 1 mSv/a können bereits bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien mit einer spezifischen Aktivität von 1 Bq/g U-238 oder Th-232 (jeweils im radioaktiven Gleichgewicht mit den Zerfallsprodukten s.o.) erreicht werden. Bei der Verarbeitung von Mineralien mit einer spezifischen Aktivität oberhalb dieser Werte müssten dann die Standards für den Strahlenschutz der Beschäftigten angewendet werden.

Es liegt allerdings im Ermessen der nationalen Behörden, ob und in welcher Weise die Standards angewendet werden (Artikel 41). Das hat in der Praxis in den Mitgliedsländern zu unterschiedlichen Entscheidungen geführt. Nicht in allen Mitgliedsländern ist die Verarbeitung von Zirkonmineralien in den Geltungsbereich der nationalen Vorschriften zur Kontrolle der Strahlenexpositionen einbezogen.

2.2 Entwurf der überarbeiteten europäischen Standards

Mit der Überarbeitung der europäischen Standards [4] strebt die Europäische Kommission auch strengere Festlegungen für die Durchsetzung der Strahlenschutzgrundsätze an, um eine einheitliche Vorgehensweise in den Mitgliedsländern zu erreichen. Das betrifft auch die Standards für den Strahlenschutz in der Industrie, in der mit NORM umgegangen wird (NORM Industrien). In einer Anlage (Annex 8 des Entwurfs) werden die relevanten Industrien ausdrücklich genannt, u.a. die Verarbeitung von Zirkonmineralien (zircon and zirconium industry). Diese Industrien fallen grundsätzlich in den Geltungsbereich der Standards. In einer weiteren Anlage (Annex 9 des Entwurfs) werden allerdings Zahlenwerte der spezifischen Aktivität für K-40, U-238 und Th-232 (letztere im radioaktiven Gleichgewicht mit ihren Zerfallsprodukten) genannt, an Hand derer im Einzelfall über die Notwendigkeit zur Anwendung der Standards entschieden werden soll. Für die Verarbeitung von Zirkonmineralien folgt daraus, dass diese Arbeiten nur dann in den Geltungsbereich der europäischen Standards fallen, wenn die Zahlenwerte der spezifischen Aktivität für U-238 oder Th-232 in den verarbeiteten Mineralien oder den Zwischenprodukten das Kriterium von 1 Bq/g überschreiten.

Im Hinblick auf die Arbeitsplätze könnte daraus abgeleitet werden, dass für jeden Beschäftigten in einem Betrieb, der Zirkonmineralien oder daraus hergestellte Zwischenprodukte verarbeitet, die Standards anzuwenden sind. Durch die Einführung der Kategorie 'exposed worker' wird diese Personengruppe aber deutlich eingeschränkt. 'Exposed worker' sind solche Beschäftigte, bei denen die durch die Arbeiten verursachte Strahlenexposition den Dosisgrenzwert für Personen der Bevölkerung (jährliche effektive Dosis von 1 mSv) überschreitet. Die Standards sind folglich nur für diese Gruppe der Beschäftigten anzuwenden. Allerdings ergibt sich für die Betriebe daraus die Verpflichtung, die Arbeitsplätze im Hinblick auf mögliche Strahlenexpositionen der Beschäftigten zu bewerten.

2.3 Nationale Regelungen zum Strahlenschutz

Im Zuge der Umsetzung der europäischen Standards in nationales Recht wurden in Deutschland umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um die aus der Sicht des Strahlenschutzes relevanten Industrien zu identifizieren. Diese Industrien wurden in der Anlage XI der Strahlenschutzverordnung [2] genannt. Die Verarbeitung von Zirkonmineralien wurde nicht in diese Liste aufgenommen, da der Gesetzgeber nach Prüfung der Situation in relevanten Betrieben zu dem Schluss gekommen ist, dass dort keine Strahlenexpositionen auftreten, die zusätzlich zu den Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes noch Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition erfordern und die deshalb zu kontrollieren sind. Die Anforderungen dafür sind in den §§ 95 bis 102 festgelegt. Die zuständigen Behörden können allerdings die Anwendung der Strahlenschutzvorschriften bei anderen Arbeiten als den in der Anlage XI genannten verlangen (vgl. § 102 StrlSchV), wenn dort mit erhöhten Strahlenexpositionen für die Beschäftigten zu rechnen ist. Gleiches gilt, wenn bei Arbeiten Rückstände entstehen, die nicht in der Anlage XII Teil A genannt sind, die aber zu erheblich erhöhten Strahlenexposition bei Personen der Bevölkerung führen können.

Da die europäischen Standards zum Strahlenschutz verbindlich sind und in nationales Recht umgesetzt werden müssen, ist zu erwarten, dass nach Inkrafttreten der überarbeiteten Europäischen Standards bei einer entsprechenden Überarbeitung der

nationalen Strahlenschutzvorschriften die Strahlenschutzsituationen bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien und daraus hergestellten Zwischenprodukten in den Geltungsbereich aufgenommen werden müssen. Daraus würde dann für die Verantwortlichen in den Betrieben die Verpflichtung folgen, zunächst zu prüfen, ob die spezifischen Aktivitäten der Radionuklide U-238 oder Th-232 den Wert von 1 Bq/g überschreiten. Ist das nicht der Fall, sind weitere Untersuchungen nicht erforderlich. Anderenfalls sind Abschätzungen der Strahlenexpositionen für die Beschäftigten und ggf. weitere Kontrollmaßnahmen erforderlich.

In den folgenden Abschnitten wird deshalb die generelle Vorgehensweise zur Ermittlung und zur Begrenzung der Strahlenexpositionen bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien und daraus hergestellten Zwischenprodukten behandelt.

3 Strahlenschutz beim Transport von Zirkonmineralien

Die Anforderungen an den sicheren Transport von NORM sind in den internationalen und nationalen Regelungen für den Transport von radioaktiven Materialien festgelegt worden [5, 6]. Für den Transport von Zirkonmineralien gilt, da die Radionuklide der U-238- und Th-232-Zerfallsreihen im radioaktiven Gleichgewicht mit den Zerfallsprodukten vorliegen, dass der Transport nur dann den Regelungen unterliegt, wenn die spezifische Aktivität das 10fache der bereits in Abschnitt 2 genannten Kriterien von jeweils 1 Bq/g überschreitet. Da die Radionuklide im Zirkonmineral aber als 'Gemisch' vorliegen, gilt

$$\sum \frac{c_i}{x_i} > 10 \quad (1)$$

mit

c_i Messwerte der spezifischen Aktivität von U-238- bzw. Th-232 und
 x_i die Kriterien von jeweils 1 Bq/g.

Deshalb sind die Regelungen nur dann anzuwenden, wenn die Summe der spezifischen Aktivität im Material > 10 Bq/g ist. Daraus folgt, dass Materialien mit spezifischen Aktivitäten im typischen Wertebereich für Uran-238 zwischen 1 Bq/g und 4 Bq/g und für Th-232 zwischen 0,5 Bq/g und 1 Bq/g nicht in den Geltungsbereich der Regelungen nach ADR [6] fallen. Für sie sind die Regelungen, die für den Transport radioaktiver Stoffe gelten (Klasse 7 ADR) nicht anzuwenden. Es handelt sich nach Abschnitt 1.7.1.4 e ADR um *freigestellte Stoffe*. Da es sich bei der Radioaktivität um Uran und Thorium in natürlicher Form handelt und dafür die Gesamtaktivität nicht begrenzt ist, handelt es sich bei solchen Transporten auch um *freigestellte Sendungen*. Sollte die spezifische Aktivität die Kriterien für freigestellte Stoffe überschreiten wäre eine Einstufung in die Klasse 7 ADR die Konsequenz. Dann wären die Bedingungen für den Transport von Stoffen mit geringer Radioaktivität (Low Specific Activity - LSA) zu beachten.

Systematische Studien wurden durchgeführt, um die Strahlenexposition der Beschäftigten beim Transport von NORM zu ermitteln [7, 8]. In [7] wurden aus experimentellen Untersuchungen Koeffizienten abgeleitet, mit denen aus der spezifischen Aktivität des Transportgutes und der Anzahl der durchgeführten Transporte die jährliche effektive Dosis für einen Lkw-Fahrer abgeschätzt werden kann. Obgleich die Untersuchungen für den Transport von Niob/Tantal-Erzen durchgeführt worden sind, können die abgeleiteten Dosiskoeffizienten auch für die Abschätzung der Strahlenexposition

eines Lkw-Fahrers beim Transport von Zirkonmineralien angewendet werden. Aus solchen Abschätzungen folgt, dass die jährliche effektive Dosis eines Lkw-Fahrers beim Transport von Zirkonmineralien im Wertebereich von $< 1\text{mSv}$ liegt. Eine Strahlenschutzkontrolle ist für diese Arbeitsplätze also nicht erforderlich.

4 Ermittlung der Strahlenexposition bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien

4.1 Expositionsszenarien und Expositionspfade

Bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien und daraus hergestellten Zwischenprodukten in den eingangs genannten Industrien können Strahlenexpositionen

- durch äußere Bestrahlung (Gammastrahlung aus dem Material),
- durch Inhalation von Staub oder
- durch Inhalation von kurzlebigen Radonzerfallsprodukten² verursacht werden.

Die Inhalation von kurzlebigen Radonzerfallsprodukten ist in der Regel jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Werden die Vorschriften des allgemeinen Arbeits- und Gesundheitsschutzes eingehalten, kann eine Strahlenexposition durch die Ingestion von Radionukliden vernachlässigt werden.

Die Szenarien, die nach der Mehrzahl der Studien zu den höchsten Strahlenexpositionen führen, sind der Aufenthalt der Beschäftigten in Räumen, in denen größere Materialmengen (z.B. als Schüttgut) lagern, und der Umgang mit diesen Materialien (z.B. Verladen, Beschicken von Mühlen, Wartung von Anlagen unter Staubeentwicklung). Deshalb wird die Vorgehensweise zur Abschätzung der Strahlenexpositionen dafür beschrieben. Die Methoden können allerdings auch für andere Fälle angewendet werden.

4.2 Berechnungen und Messungen zur Ermittlung der Strahlenexposition

4.2.1 Berechnung der Strahlenexposition aus der spezifischen Aktivität

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Strahlenexposition der Beschäftigten mit Hilfe von Modellen aus der spezifischen Aktivität der Materialien zu berechnen. Die Zahlenwerte der spezifischen Aktivitäten sind häufig bekannt. Wenn diese Informationen nicht vorliegen, sollten die Werte der spezifischen Aktivitäten ermittelt werden. Die „Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen“ [9] beschreiben Vorgehensweisen dafür.

In [10] wird eine einfache Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der jährlichen effektiven Dosis aus der spezifischen Aktivität der Materialien angegeben. Anhand der Beziehung

$$E = \frac{t_A}{2000} (c_{MU} \cdot K_U + c_{MTh} \cdot K_{Th}) \quad (2)$$

mit

² In den radioaktiven Zerfallsreihen kommen Isotope des radioaktiven Edelgases Radon vor. Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist das in der U-238-Zerfallsreihe vorkommende Radonisotop (Rn-222) von Bedeutung, da sich seine kurzlebigen Zerfallsprodukte im Atemtrakt ablagern, dort zerfallen und so zu einer Strahlenexposition führen.

c_{MU} und c_{MTH} spezifischen Aktivität für U-238 und Th-232 in den Materialien,
 K_U und K_{Th} normierte jährliche effektive Dosiswerte jeweils für die spezifische
Aktivität von U-238 (0,78 mSv/Bq/g) oder für Th-232 (0,98 mSv/Bq/g)
und

t_A Expositionszeit in h/a

lässt sich die jährliche effektive Dosis E in mSv aus den Werten der spezifischen Aktivitäten für U-238 und Th-232 in den Materialien berechnen.

Die normierten Werte der effektiven Dosis gelten für den Aufenthalt einer Person in etwa 1 m Entfernung von einer aufgeschütteten großen Materialmenge. Deshalb führen Abschätzungen mit diesen Werten häufig zu einer Überschätzung der tatsächlichen Strahlenexpositionen. Sollten auf diese Weise Strahlenexpositionen ermittelt werden, die Grenz- oder Richtwerte übersteigen, so sollte die Überwachung gemäß Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3 erfolgen.

In [11] werden die Anwendung des Modells *Microshield* für Dosisabschätzungen von Beschäftigten beim Mahlen von Zirkonmineralien und anderen Arbeiten beschrieben und die Ergebnisse der Berechnungen diskutiert. Mit Hilfe dieses Modells lassen sich die Strahlenexpositionen für unterschiedliche Betriebspunkte berechnen. So bietet das Modell eine gute Möglichkeit für die Identifikation der Arbeiten/Betriebspunkte, bei denen mit erhöhten Strahlenexpositionen gerechnet werden muss und für die Überwachungsmessungen sinnvoll sind. Eine Nachweisführung über die Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten sollte auf der Grundlage von Messungen vorgenommen werden (siehe 4.2.2)

4.2.2 Messungen zur Ermittlung der äußeren Strahlenexposition

Die Strahlenexposition durch äußere Gammastrahlung kann durch Messung direkt ermittelt werden. Dazu wird die Personendosis mit Ganzkörperdosimetern gemessen. Geeignete Messgeräte, die von der zu überwachenden Person getragen werden, werden von Personendosismessstellen, die solche Messungen im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung [2] durchführen, bereitgestellt und ausgewertet. Die Strahlenexposition durch äußere Gammastrahlung kann auch durch Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ oder der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ und der Aufenthaltszeit ermittelt werden. Die Messungen sollten an den Stellen durchgeführt werden, an denen sich die Beschäftigten während ihrer Tätigkeit tatsächlich aufhalten. Die dafür in Frage kommenden Messgeräte müssen für die Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis oder der Dosisleistung geeignet sein (auf die Gerätespezifikation ist unbedingt zu achten). Die Geräte, die für die Durchführung von amtlichen Messungen geeignet sind, sind auf der Internetseite der PTB www.ptb.de veröffentlicht.

Aus der gemessenen Umgebungs-Äquivalentdosisleistung ergibt sich die jährliche effektive Dosis E in mSv nach

$$E = f \cdot \dot{H}^*(10) \cdot t_A \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

f Umrechnungsfaktor der Umgebungs-Äquivalentdosis in die effektive Dosis für Beschäftigte (hier ca. 1)

$\dot{H}^*(10)$ Messwert der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$ und

t_A Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) am Ort der Messung in h/a.

Um eine realistische Bewertung der Strahlenexpositionen an den Arbeitsplätzen zu erreichen, ist unbedingt zu beachten, dass für die Berechnung der Strahlenexposition (in der Regel die jährliche effektive Dosis) nur die Messungen für Situationen verwendet werden, die im Hinblick auf die Strahlenexpositionen realistisch sind (tatsächliche Arbeitszeit unter Expositionsbedingungen, repräsentativen Messwerte der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung für die Betriebspunkte, Arbeitsplätze). Sind mehrere Arbeitsplätze für eine Person relevant, so ist die Summe der einzelnen Berechnungen zu bilden.

4.2.3 Messungen zur Ermittlung der Strahlenexposition aus der Inhalation von Staub

Um die Strahlenexposition durch die Inhalation von Staub abzuschätzen, muss die Radionuklidkonzentration bestimmt werden, die an den zu überwachenden Arbeitsplätzen im Staub in der Atemluft vorhanden ist. Dann kann die jährliche effektive Dosis E in mSv mit Hilfe der Beziehung

$$E = 10^3 \cdot V \cdot t_A \cdot (g_{Inh,U-238} \cdot c_{U-238} + g_{Inh,Th-232} \cdot c_{Th-232}) \quad (4)$$

berechnet werden. Dabei sind

V	das Atemvolumen eines Beschäftigten (1,2 m ³ /h)
$g_{Inh,U-238}, g_{Inh,Th-232}$	Inhalationsdosiskoeffizienten für U-238 und Th-232 in Sv/Bq
c_{U-238}, c_{Th-232}	Aktivitätskonzentrationen von U-238 bzw. von Th-232 in der Atemluft in Bq/m ³ und
t_A	die Arbeitszeit des Beschäftigten am zu überwachenden Arbeitsplatz in h/a.

Wegen des radioaktiven Gleichgewichts müssen die Inhalationsdosiskoeffizienten für die Radionuklide U-238 und Th-232 jeweils im radioaktiven Gleichgewicht mit den Zerfallsprodukten benutzt werden. Sie betragen $3 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq für U-238 und $4 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq für Th-232. Die Koeffizienten wurden aus den Koeffizienten für die einzelnen Radionuklide berechnet, die in Tabelle C-2 in [10] zusammengestellt worden sind. Der Inhalationsdosiskoeffizient für U-238 berücksichtigt auch das natürliche Isotopenverhältnis zwischen U-238 und U-235.

Eine einfache Möglichkeit zur Berechnung der Aktivitätskonzentrationen c_{U-238} und c_{Th-232} besteht darin, die Staubkonzentration mit den im Arbeitsschutz vorgeschriebenen Methoden oder vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) empfohlenen Methoden zu ermitteln.

Aus der Staubkonzentration in g/m³ und der spezifischen Aktivität c_{MU} und c_{MTh} des Materials (jeweils in Bq/g) können die Aktivitätskonzentrationen c_{U-238} und c_{Th-232} in der Atemluft mit guter Näherung bestimmt werden.

In der Überwachungspraxis hat sich die Messung der auf einem Atemschutzfilter, das von einem Beschäftigten bei einer zu überwachenden Arbeit getragen wird, als eine einfache und zuverlässige Methode zur Ermittlung der durch die Inhalation bedingten Strahlenexposition erwiesen. Dazu sollte die auf dem Filter einer Atemschutzmaske

niedergeschlagene Aktivität der relevanten Radionuklide ermittelt werden. Die Effektivität der üblicher Weise eingesetzten Atemschutzmasken beträgt ca. 99%. Die auf der Atemschutzmaske abgeschiedene Aktivität entspricht somit in guter Näherung der Aktivität, die ohne das Tragen der Maske in der entsprechenden Tragezeit von dem jeweiligen Arbeiter inhaliert würde. Die jährliche effektive Dosis E in mSv für den Fall, dass kein Atemschutzfilter getragen wird, berechnet sich nach

$$E = 10^3 \cdot \frac{t_A}{T} (a_{U-238} \cdot g_{U-238} + a_{Th-232} \cdot g_{Th-232}) \quad (5)$$

mit

T	Tragezeit des Atemschutzfilters in h,
t_A	jährliche Arbeitszeit am zu überwachende Arbeitsplatz h/a,
a_{U-238}, a_{Th-232}	auf dem Atemschutzfilter niedergeschlagene Aktivität der Radionuklide U-238 und Th-232 in Bq,
g_{U-238}, g_{Th-232}	Inhalationsdosiskoeffizienten für U-238 oder Th-232 (jeweils im radioaktiven Gleichgewicht) in Sv/Bq (s. oben).

4.2.4 Messungen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch die Inhalation von Radon/Radonzerfallsprodukten

Bei der Routineüberwachung der Strahlenexposition der Beschäftigten kann die Bewertung der Exposition, die durch die Inhalation von Radon/Radonzerfallsprodukten verursacht wird, in der Regel vernachlässigt werden. Ob das generell gilt, kann durch einfache Abschätzungen geprüft werden. Dazu müssen zunächst die Freisetzung von Rn-222 aus dem Material und die dadurch bedingte Rn-222-Konzentration in dem Arbeitsraum ermittelt werden. In [12] wird dafür ein einfaches Rechenmodell beschrieben. Die für die Berechnung der Rn-222-Konzentration im Arbeitsraum erforderliche Rn-222-Freisetzung (gemessen in Bq(Rn-222)/m²·sec) kann aus dem Emanationsfaktor³ ermittelt werden. Für die meisten Anwendungsfälle kann der Emanationsfaktor von 0,002 verwendet werden. Deshalb ist auch die Radonfreisetzung sehr niedrig. Höhere Radonkonzentrationen sind nur bei großen Materialmengen in kleinen Räumen möglich.

³ Anteil der Rn-222-Atome, die von den im Mineral durch radioaktiven Zerfall insgesamt gebildeten Rn-222 Atomen in die Porenräume des Materials freigesetzt werden

5 Strahlenschutzmaßnahmen

Im Teil 3 Kapitel 1 der StrlSchV [2] werden die Grundpflichten des Strahlenschutzes bei Arbeiten definiert. Strahlenschutzmaßnahmen sind dann erforderlich, wenn trotz Einhaltung der Maßnahmen zur Gewährleistung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes [13, 14] Strahlenexpositionen für die Beschäftigten auftreten, die oberhalb eines Wertes der jährlichen effektiven Dosis von 1 mSv liegen (§ 93) und die unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls noch weiter reduziert werden können (§ 94).

Mögliche Maßnahmen lassen sich aus den Gleichungen (2), (3) und (4) ableiten, da die jährliche effektive Dosis linear von der spezifischen Aktivität der verarbeiteten Mineralien, von der Staubkonzentration an den Arbeitsplätzen und von der für das Zustandekommen von Strahlenexpositionen relevanten Aufenthaltszeit an den Arbeitsplätzen abhängt. Mögliche Maßnahmen lassen sich zu folgenden Grundsätzen zusammenfassen:

1. Es ist darauf zu achten, dass möglichst das Material mit der niedrigsten spezifischen Aktivität eingesetzt wird, da die Dosis immer linear von der spezifischen Aktivität des verarbeiteten Materials abhängt.
2. Identifikation der Hauptquellen für eine Staubentwicklung. Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen und ggf. Maßnahmen zur Vermeidung der Staubfreisetzungen.
3. Überprüfung und Optimierung der Arbeitszeiten an den Arbeitsplätzen, an denen die größten Beiträge zur jährlichen effektiven Dosis zustande kommen. Das gilt vor allem für die Arbeitsplätze in den Räumen, in denen größere Mengen von Zirkonmineralien gelagert werden.
4. Verwendung individueller Atemschutztechnik, insbesondere bei Wartungsarbeiten mit unvermeidbarer Staubentwicklung.

Welche Maßnahmen im Einzelfall durchgeführt werden können, hängt von der betrieblichen Situation und der Situation an dem jeweiligen Arbeitsplatz ab.

Besteht trotz der Maßnahmen, die sich an diesen Grundsätzen orientieren, die Möglichkeit, dass die jährliche effektive Dosis den Wert von 6 mSv überschreiten kann, so besteht nach § 95 (2) der StrlSchV [2] für den Verantwortlichen die Verpflichtung zur Anzeige. Inhalt der Anzeige sind zunächst die konkrete Art der Arbeit, das relevante Arbeitsfeld oder die relevanten Arbeitsfelder und die Anzahl der betroffenen Personen. Für diese Personen ist die Körperdosis⁴ auf geeignete Weise durch Messungen zu ermitteln. Die Vorgehensweise kann sich an den unter 4.2. beschriebenen Methoden orientieren. Sie sollte mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden, da die Behörde nach § 95 (10) ohnehin die anzuwendenden Messmethoden und Messverfahren festlegen oder auch Messstellen bestimmen kann, die solche Messungen durchführen. Die Behörde kann auch zusätzliche Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexpositionen festlegen. Für die Verantwortlichen besteht auch die Verpflichtung zur Aufzeichnung und Aufbewahrung der Ergebnisse der Untersuchungen. Ebenso besteht die Verpflichtung, die Ergebnisse an das Strahlenschutzregister der Bundesagentur für Strahlenschutz (BfS) weiterzuleiten.

⁴ Die Körperdosis ist nach StrlSchV § 3 (2) Ziff. 9 c die Dosis, die in einem Bezugszeitraum (in der Regel ein Kalenderjahr) für eine Person durch äußere Strahlenexposition und durch Radioaktivitätszufuhr (z.B. durch Inhalation) verursachte innere Strahlenexposition zustande kommt.

6 Rückstände

Rückstände fallen bei der Verarbeitung von Zirkonmineralien und daraus hergestellten Zwischenprodukten nur in geringem Maße an, da die betrieblichen Prozesse aus Kostengründen so gestaltet werden, dass Materialverluste weitestgehend vermieden werden. Treten Materialverluste auf, so sind die Zirkonmineralien mit anderen Materialien vermischt. In einigen Fällen besteht die Möglichkeit, die Zirkonmineralien daraus abzutrennen und wieder in den Prozess zurückzuführen. In den meisten Fällen werden sie aber auf Deponien beseitigt. Die Mengen sind jedoch gering.

Rückstände aus der Verarbeitung von Zirkonmineralien sind in die Liste der aus der Sicht des Strahlenschutzes zu berücksichtigenden Rückstände (Anlage XII Teil A der StrlSchV [2]) nicht aufgenommen worden, da bei der Beseitigung oder Verwertung der Rückstände keine Strahlenexpositionen zu erwarten sind, die aus der Sicht des Strahlenschutzes zu beachten wären. Die Gründe dafür sind vielfältig. Die Mineralien sind gegenüber solchen Prozessen, wie sie an der Erdoberfläche ablaufen und auch solchen Prozessen, die bei der Deponierung mit anderen Rückständen und Abfällen zu beachten sind, resistent. Die Freisetzung von Radionukliden aus den deponierten Materialien in das Grundwasser ist äußerst gering und alle Strahlenexpositionen, die über diese Expositionspfade zustande kommen könnten, können außer Acht gelassen werden. So wären nur die Expositionen zu beachten, die bei der Deponierung der Rückstände für die Beschäftigten entstehen können. Da aber die Anzahl der Deponierungen derartiger Rückstände pro Jahr und die Mengen der deponierten Rückstände gering sind, liegen die Strahlenexpositionen bei der Deponierung weit unter denen, die bei der Verarbeitung der Mineralien auftreten. Strahlenschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.

Können jedoch im Ausnahmefall bei Arbeiten mit Rückständen aus der Verarbeitung von Zirkonmineralien oder Zwischenprodukten Strahlenexpositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung so erheblich erhöht werden, dass Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich sind, trifft die Behörde Anordnungen über Schutzmaßnahmen, über die Aufbewahrung der Materialien oder über die Art und Weise der Beseitigung (vgl. § 102 in [2]).

7 Literatur

- [1] European Commission Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers from ionising radiation Official Journal of the European Commission, L 159, Vol. 30, 29 June 1996
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S 1714 ber. I 2002 S. 1459)
- [3] European Commission: Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides EUR-STR-095
- [4] European Commission: Draft of The European Basic Safety Standards Directive Version 24. February 2010
- [5] IAEA: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2005)
- [6] Anlagen A und B zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (BGBl. 1969 II S. 1489), in der Fassung der Bekanntmachung der Anlagen A und B vom 07.04.2009 (BGBl. II S. 396)
- [7] Schwela, U.: Exposure Scenarios in Tantalum Raw Material Transport, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [8] Weiß, D. Feige, S.: Scenarios Concerning Transportation of NORM in Germany, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [9] Schkade, U.: Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen in Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, Bundesamt für Strahlenschutz, Februar 2008
- [10] Beck, T., Ettenhuber, E.: Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten Leitfaden für die Umsetzung der Regelungen nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 der StrlSchV, BfS-SW-03/06
- [11] Welbergen, J.: Dose scenario in Zircon industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [12] Kümmel, M. et.al.: Dose assessment for working areas in zircon sand and oil & gas industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [13] Staatlicher Arbeitsschutz: Arbeitsschutzgesetz, Arbeitssicherheitsgesetz, Siebtes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Unfallversicherung und Gefahrstoffverordnung, siehe <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Rechtsgrundlagen-und-Vorschriften/Arbeitsschutzsystem%20in%20Deutschland.html>

-
- [14] Arbeitsschutz der gesetzlichen Unfallversicherungsträger, hier gewerbliche Berufsgenossenschaften, siehe
http://publikationen.dguv.de/dguv/udt_dguv_main.aspx?ID=0

Weiterführende Literatur

IAEA: Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries, Safety Report Series No.51, IAEA, Vienna 2007

Practical advice on the procedure for the evaluation and control of radiation exposure of workers in the NORM industry – Leaflets

Preface

Radiation exposures of workers or members of the public, which must be considered from the viewpoint of radiation protection may result not only in dealing with artificial radioactive materials and the use of radioactivity or other nuclear physical properties of natural radioactive substances. Such situations may also occur when materials containing naturally occurring radioactive substances are processed without using their radioactivity or other nuclear properties. For such materials, today the term NORM (**N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterials) is commonly accepted.

For any act with or in the presence of NORM in the European Basic Safety Standards (Directive 96/29 of the Council of the European Union) [1] the term 'work activities' is applied.

The platform for an Europe-wide discussion of radiation protection issues in the NORM industry and for the promotion of the development of a good radiation protection practice in this field is the **European ALARA Network for Naturally Occurring Radioactive Material (EAN_{NORM})**. In the discussions, the exchange of experience, which have been obtained performing radiation protection practice at workplaces, are of particular importance. Details on the status of these discussions are available at <http://www.ean-norm.net> or <http://www.ean-norm.eu>. Results of these discussions are summarized in leaflets for individual NORM industries by the organizers of the EAN_{NORM}. Thereby, the focus is on legal aspects, the measurement methodology, estimation and evaluation of radiation exposure and the integration of radiation protection measures in the internal operating system to ensure the health and safety at work.

The leaflets are designed to support the harmonization of the approach of design of the operational radiation protection supervision in the NORM industry in the Member States of the European Community. They are directed primarily to persons who are responsible for health, safety and radiation protection in the relevant industries.

A) Practical information about the procedure for the evaluation and control of radiation exposure of workers processing zirconium minerals - Leaflet for the zircon industry

1. Zirconium minerals - naturally occurring radioactive materials

Zircon (zirconium silicate) and other naturally occurring zirconium minerals (e.g. baddeleyite) contain naturally occurring radionuclides, particularly the radionuclides of the uranium (U-238) and the thorium (Th-232) decay series. U-238 and U-235 are present in the zirconium minerals in natural isotope ratio (99.3% to 0.7%). From the viewpoint of radiation protection, the radionuclides of the U-235 decay series are of minor importance.

Since the radionuclides replace the zircon atoms in the crystal structure of zirconium minerals, they are strongly bound to them. Release of these radionuclides from the zirconium minerals without destroying the crystal lattice is virtually impossible.

The activity concentrations of U-238 in commercially available zircon are in a typical range from 1 Bq/g to 4 Bq/g. In some deposits of minerals significantly higher values were found (e.g. in China 15 Bq/g, in Malaysia up to 60 Bq/g). The activity

concentrations of Th-232 are lower and range from 0.5 Bq/g to 1 Bq/g. There are however, considerably higher values (e.g. in China 8 Bq/g, in Malaysia 40 Bq/g).

In baddeleyite, the activity concentrations of U-238 and Th-232 are slightly higher and typically range from 3 Bq/g to 10 Bq/g for U-238. Extreme values as in zircon have not been found in baddeleyite. For Th-232, activity concentrations are lower and typical values range from 0.1 Bq/g to 2 Bq/g.

In zirconium minerals, the radionuclides of the decay chains are approximately in the radioactive equilibrium¹. For experimental studies and for estimates of radiation exposures this is of importance.

Because of the elevated content of natural radionuclides in zirconium minerals, exposures during production and processing should not be ignored and, according to the basic principles of radiation protection, exposures should be subject to radiation protection control (zirconium minerals meets the definition for NORM).

Economically important zirconium minerals are zircon (zirconium silicate) and zirconia (zirconium oxide), which occurs in nature as the mineral baddeleyite. Zirconium silicate which can be found as accompanying mineral of igneous rocks or in secondary deposits ('zircon sand'), have been formed by natural processes of separation due to the high density of zirconium silicate. The occurrence of baddeleyite is not common since it is found only in a few deposits of carbonate minerals.

The grain sizes of zircon are in many cases not suitable for further processing and therefore, the raw material is milled (micronized). The resulting intermediates (micronized zirconium silicate - micronized zircon, zircon - zircon flour) will be mainly used in the ceramics industry, in the foundry techniques (mould construction) and refractory industry. In recent years, the production of cubic zirconia has gained importance.

The refractory industry and ceramics industry are the main applications of zirconia, which is used in the manufacture of semiconductors and microelectronic components. However, the volumes of material processed are low compared to the amounts used in other industrial sectors.

Radiation protection problems can occur in industries, in which zirconium minerals, zirconium compounds or intermediates are processed. It requires special radiological attention especially in situations where larger amounts of material are used (e.g. milling of zirconium minerals).

The basic principles of radiation protection are laid down in European Basis Safety Standards and from these standards, national regulations for the protection of humans against the harmful effects of ionizing radiation are derived.

2. European Basis Safety Standards for the radiation protection of workers processing zirconium minerals

2.1. Council Directive 96/29 EURATOM

In the Council Directive 96/29 EURATOM [1] the basic principles of radiation protection were established to be used in case a significant increase in radiation exposure of workers and/or the general public occurs. The principles shall be also

¹ The activity concentration of a decay product ('daughter nuclide') equals that of the decaying nuclide ('mother nuclide') in secular equilibrium.

applied to human activities which involve the presence of natural radiation sources and lead to significant increase in the exposure of workers or members of the public which cannot be disregarded from the radiological point of view (*Article 2, paragraph 2 of [1]*). Such human activities are termed 'work activities'. The member states are obliged to identify such work activities (*Article 40, paragraph 2 of [1]*) and if necessary, to initiate measures in order to reduce radiation exposures and to control unavoidable exposures (*Article 41 of [1]*). In [2] the production and processing of zirconium minerals are explicitly mentioned as an industry that can give elevated radiation exposures to workers. As a criterion for increased radiation exposure an annual effective dose of 1 mSv (limit for members of the public) is generally used. Exposures above 1 mSv/a can be achieved by processing of zirconium minerals with a activity concentration of 1 Bq/g U-238 or Th-232 (all in radioactive secular equilibrium with its decay products). During the processing of minerals with a activity concentration above these values, the standards for radiation protection should be applied to the employees. It is, however, at the discretion of national authorities, if and in what way the standards must be applied (*Article 41 of [1]*). In practice, this has resulted in different decisions in the Member States and some (still) do not regulate the processing of zirconium minerals to control radiation exposure.

2.2. Draft of the revised European Basic Safety Standards

With the revision of the European Basic Safety Standards [3], the European Commission aims to adopt stricter requirements for the enforcement of radiation protection principles to achieve a consistent approach in the Member States. This also concerns the standards for radiation protection in the industry dealing with NORM.

In Annex 8 of the draft [3] the relevant industries are specifically mentioned, including the processing of zirconium minerals (zircon and zirconium industry). These industries generally are within the scope of the standards. In the draft of Annex 9 of [3], numerical values of the activity concentration for K-40, U-238 and Th-232 (the latter in radioactive equilibrium with its decay products) are given. Basing on these values, for individual cases decisions whether the standards have to be applied or not can be made.

For the processing of zirconium minerals it means these work activities are only within the scope of European standards, if the numerical values of the activity concentration of U-238 or Th-232 in the minerals or the intermediate products exceed the criterion of 1 Bq/g.

In terms of employment it could mean that in any process with zirconium minerals or derived intermediates the standards must be applied. Through the introduction of the category 'exposed worker' this group is clearly limited. 'Exposed workers' are those employees where the radiation exposure caused by the work exceeds the dose limit for members of the public (annual effective dose of 1 mSv). The standards are therefore only applicable for this group of employees. However, companies have the obligation to evaluate possible radiation exposure of employees.

3. Radiation protection during transport of zirconium minerals

The requirements for the safe transport of NORM have been established in the international regulations for transport of radioactive materials [4]. It also applies to the

transport of zirconium minerals, if the activity concentration of the radionuclides of U-238 and Th-232 (in radioactive equilibrium with the decay products) exceeds 10 times the criteria of 1 Bq/g mentioned in chapter 2 of this leaflet.

Since the radionuclides present in zircon mineral are in a 'mixture', the sum rule applies:

$$\sum \frac{c_i}{x_i} > 10 \quad (1)$$

c_i values of the specific activity of U-238 or Th-232

x_i criteria of 1 Bq/g.

The regulations for transport of radioactive materials [4] apply only if the sum of the activity concentrations in the material is above 10 Bq/g. Materials with activity concentrations in the range of 1 Bq/g to 4 Bq/g for U-238 and 0.5 Bq/g to 1 Bq/g for Th-232 are not within the scope of the international regulations for transport: For these materials the regulations of transport do not apply. Since the overall radioactivity of uranium and thorium in natural form is not limited, such transports are exempt consignments. If the activity concentration exceeds the criteria for exempt material, the regulations for the transport of substances with low radioactivity (Low Specific Activity - LSA) have to be applied.

Systematic studies were conducted to determine the radiation exposure of workers in the transport of NORM [5, 6 and 7]. In these studies [5, 6] the annual effective dose for a truck driver is derived from experimental studies of dose coefficients from the activity concentrations of the cargo and the number of transports. From these studies the annual effective dose of a truck driver is estimated to be below 1 mSv and therefore radiation protection control is not necessary.

4. Determination of radiation exposure in the processing of zirconium minerals

4.1. Exposure scenarios and exposure pathways

During the processing of zirconium minerals and derived intermediates in the above mentioned industries radiation exposure can occur

- by external radiation (gamma radiation from the material),
- due to inhalation of dust or
- by inhalation of short-lived radon decay products.

The inhalation of short-lived radon decay products in general, however, is of minor importance.

The ingestion of radionuclides can largely be avoided if the conventionally established HSE measures are observed.

Scenarios that, according to the majority of several investigations, give the highest radiation exposures are the residence of the employees in areas where large amounts of material (such as bulk) are stored, loading and handling of these materials (e.g. feeding of mills, maintenance of plants under dust). Therefore, the procedure for estimating the radiation exposure is described for these applications. But, it can be applied for other applications as well.

4.2. Calculation and measurements to determine the radiation exposure

4.2.1. Calculation of radiation exposure from the activity concentration

Generally, there is the possibility to calculate the radiation exposure of workers from the activity concentration of the material. The numerical values of the activity concentrations are often known and, if this information is not available, the values of the activity concentrations should be determined. The "Method for rapid determination of the specific activity of NORM materials" [8] describes a methodology how to do it.

In [9] a simple calculation rule for determining the annual effective dose E in mSv/a from the activity concentration of the material is given. Based on the correlation

$$E = \frac{t_A}{2000} (c_{MU} \cdot K_U + c_{MTh} \cdot K_{Th}) \quad (2)$$

with

c_{MU} , c_{MTh} activity concentration of U-238 and Th-232 in the material,
 K_U and K_{Th} normed annual effective dose values for each of the activity concentrations of U-238 (0.78 mSv/Bq/g) or Th-232 (0.98 mSv/Bq/g) and
 t_A exposure time in h/a

the annual effective dose can be calculated from the values of the activity concentrations of U-238 and Th-232.

The normed values of the effective dose apply to one's occupancy in the vicinity (approximately 1 meter) of a large amount of material. Therefore, estimates with these values often lead to an overestimation of actual exposures.

Should the annual effective dose be determined in this way and exceed the limit or guideline, monitoring should take place in accordance with chapter 4.2.2 and 4.2.3 of this leaflet.

In [10] dose estimates of employees during milling (or other works) of zirconium minerals calculated with the model MicroshieldTM are discussed. Using this model allows one to calculate the radiation exposure for different work areas. This model is a good opportunity for the identification of the work areas with increased radiation exposure which have to be monitored. A verification of compliance with limit values or guidelines should be made on the basis of measurements (see chapter 4.2.2 of this leaflet).

4.2.2. Measurements of external radiation exposure

The radiation exposure from external gamma radiation can be determined directly by measurement. Individual dose meters can be used for measurements and should be worn by the exposed worker to be monitored. The national dosimetric service makes qualified instruments available and takes the analysis.

The radiation exposure from external gamma radiation can also be determined by measuring the ambient equivalent dose $H^*(10)$ or the ambient equivalent dose rate $\dot{H}^*(10)$ in combination with the determined residence time. The measurements should be performed at the places where employees actually reside during their

work. The dosimeters must be suitable for the measurement of ambient equivalent dose or ambient equivalent dose rate (check specification of dosimeter). The measurement of ambient equivalent dose rate results in an annual effective dose E in mSv per year

$$E = f \cdot \dot{H}^*(10) \cdot t_A \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

- f conversion factor of ambient equivalent dose to effective dose for workers (in this case the coefficient is approximately 1.0),
- $\dot{H}^*(10)$ measurement of ambient equivalent dose rate in $\mu\text{Sv/h}$ and
- t_A residence time at the workplace (working time) in h/a.

To achieve a realistic assessment of radiation exposure at workplaces it is important to use only the results of measurements from situations that are realistic in terms of radiation exposure (actual working time under conditions of exposure, representative measurements of ambient equivalent dose rate for the workplace) for the calculation of radiation exposure (usually the annual effective dose). If several workplaces for a person are relevant, the sum of the individual dose of each workplace has to be calculated.

4.2.3. Measurements of radiation exposure from the inhalation of dust

Handling of zirconium minerals can generate airborne dust and lead to the inhalation of zircon particles by workers. The radiation exposure at the workplaces due to the inhalation of dust can be determined by means of the concentration of radionuclides in the breathing air. The annual effective dose E in mSv/a is calculated using the correlation

$$E = 10^3 \cdot V \cdot t_A \cdot (g_{Inh,U-238} \cdot C_{U-238} + g_{Inh,Th-232} \cdot C_{Th-232}) \quad (4)$$

- V the respiratory volume ($1.2 \text{ m}^3/\text{h}$),
- $g_{Inh,U-238}, g_{Inh,Th-232}$ inhalation dose coefficients for U-238, Th-232 (Sv/Bq),
- C_{U-238}, C_{Th-232} activity concentrations of U-238, Th-232 in the air (Bq/m^3),
- t_A working time of employees at the workplace (h/a).

Inhalation dose coefficients for the radionuclides U-238 and Th-232 in the secular equilibrium with their decay products are $3 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq for U-238 and $4 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq for Th-232. The coefficients were calculated from the coefficients of the individual radionuclides, which have been summarized from Table C-2 in [9]. The inhalation dose coefficient for U-238_{sec} also takes into account the natural isotopic ratio of U-238 and U-235.

A simple way to calculate the activity concentrations C_{U-238} and C_{Th-232} in the air is to determine the concentration of dust using the methods recommended for the common industrial safety. From the dust concentration in g/m^3 and the activity concentration C_{MTh} and C_{MU} of the material (in Bq/g), the activity concentrations C_{U-238} and C_{Th-232} in the air can be determined.

In practice, to evaluate the inhalation pathway for the exposure of workers at workplaces the determination of the filter of a respiratory mask worn by the employee doing the work has become a simple and reliable way. The efficiency of the filter materials usually used is about 99%. Therefore the activity precipitated on the filter of the respirator is approximately the activity which would be inhaled in the period during the respiratory mask is worn. The annual effective dose E in mSv is then calculated by

$$E = \frac{t_A}{T} (a_{U-238} \cdot g_{U-238} + a_{Th-232} \cdot g_{Th-232}) \quad (5)$$

T collection period of the respirator filter at workplace (h),
 t_A annual working hours to be monitored at the workplace (h/a),
 a_{U-238}, a_{Th-232} activity on the respirator filter of U-238 and Th-232 (Bq),
 g_{U-238}, g_{Th-232} inhalation dose coefficients for U-238 or Th-232 (all in radioactive equilibrium in Sv/Bq (see above).

4.2.4. Measurements of radiation exposure by the inhalation of radon / radon decay products

During routine monitoring of radiation exposure of workers, the assessment of exposure which is caused by the inhalation of radon/radon decay products is usually neglected. Whether this is true in general, can be checked by simple estimates. These require the investigation of the release of Rn-222 from the material and the resulting Rn-222 concentrations at the workplace.

In [11] a simple mathematical model is described. The Rn-222 release (measured in Bq/m²sec) necessary for the calculation of the Rn-222 concentration at the workplace can be determined from the emanation factor. For most applications the emanation factor of 0.002 can be used. Therefore, the release of radon is very low. Higher radon concentrations can only occur in the presence of large amounts of material in small rooms.

5. Radiation protection measures

The basic duties of radiation protection of workers are defined in *Title VI, Article 18 of the European Basic Safety Standards [1]*. Radiation protection measures are required if the exposure of a worker (the annual effective dose) can exceed a value of 1 mSv/a. The measures must be appropriate to the situation, taking into account the process, installations, magnitude of the exposure and the possibilities of lowering the dose (graded approach).

Formatiert

Possible measures can be derived from equations (2), (3) and (4) as the annual effective dose is linearly related to the activity concentration of the processed minerals, the concentration of dust at the workplaces and the relevant residence time at the workplaces. Possible tasks can be summarized to the following principles:

1. It is important to ensure that the material used has activity concentrations of the relevant radionuclides as low as possible, since the dose always depends linearly on the activity of the processed material.

2. Identification of the main sources of dust. Periodical revision of the equipment for prevention of dust release and, if necessary remedial action (e.g. repair of dust leaks, improvement of the exhaust air filtration) to reduce the release of dust and the dust levels.
3. Use of individual respiratory protection equipment, especially during maintenance with unavoidable dust.
4. Review and optimize the working time on the job, where the largest contributions to the annual effective dose occur (particular for jobs in areas where large amounts of zirconium minerals are stored).

The kind of measures which can be performed in individual cases depends on the operational situation and the situation at the particular workplace.

6. Residues

Residues are generated during the processing of zirconium minerals and derived intermediates only in small quantities, because the operational processes are designed to avoid loss of materials for economical reasons. If material losses occur, the zirconium minerals are mixed with other materials and, in some cases, it is possible to separate zirconium minerals from it and return it into the process.

If the materials cannot be returned into the process, in most cases, they are disposed of in landfills even if the amounts are small. The release of radionuclides from the deposited materials into groundwater is extremely low and any exposures that might occur from these pathways are to neglect.

The only exposure that are observed is the external exposure of the workers at the landfill site. However, since the number of annual depositions of such waste and residues and the amount of waste and residues are low, radiation exposure is far below those that occur during the processing of minerals. This means that radiation protection measures are not necessary.

7. Literature

- [1] European Commission Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers from ionising radiation Official Journal of the European Commission, L 159, Vol. 30, 29 June 1996
- [2] European Commission: Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides EUR-STR-095
- [3] European Commission: Draft of The European Basic Safety Standards Directive Version 24. February 2010
- [4] IAEA: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2005)
- [5] Schwela, U.: Exposure Scenarios in Tantalum Raw Material Transport, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [6] Weiß, D. Feige, S.: Scenarios Concerning Transportation of NORM in Germany, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [7] Tsurikov, N.: Radiation exposure in the transport of heavy mineral sand, Report for the Australian Radiation Protection and Nuclear safety Agency (ARPANSA), 2008
- [8] Schkade, U.: Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen in Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, Bundesamt für Strahlenschutz, Februar 2008
- [9] Beck, T., Ettenhuber, E.: Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten Leitfadens für die Umsetzung der Regelungen nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 der StrlSchV, BfS-SW-03/06
- [10] Welbergen, J.: Dose scenario in Zircon industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [11] Kümmel, M. et.al.: Dose assessment for working areas in zircon sand and oil & gas industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010

Further Literature

IAEA: Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries, Safety Report Series No.51, IAEA, Vienna 2007

B) Praktische Hinweise zur Vorgehensweise bei der Bewertung und Kontrolle der Strahlenexposition der Beschäftigten in der Erdöl- und Erdgasindustrie – Merkblatt für die Erdöl- und Erdgasindustrie

1 Herkunft und Auftreten der Radioaktivität in den Rückständen

Für das Auftreten von NORM in der Erdöl- und Erdgasindustrie sind die Radionuklide der U-238-Zerfallsreihe und Th-232-Zerfallsreihe von besonderer Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung sind die Radionuklide der U-235-Zerfallsreihe. U-235 liegt nur im natürlichen Isotopenverhältnis zum U-238 vor (0,7% zu 99,3%). In den Gesteinen der Öl- und Gaslagerstätten liegen die Radionuklide einer Zerfallsreihe im radioaktiven Gleichgewicht¹ vor.

Aufgrund der hydrochemischen Bedingungen in den Lagerstätten werden die in den Gesteinen enthaltenen Elemente der II. Hauptgruppe des Periodischen Systems Calcium (Ca), Strontium (Sr), Barium (Ba) und Radium (Ra) in die Lagerstättenwässer freigesetzt. Radium liegt nur als Gemisch radioaktiver Isotope vor. Die Lagerstättenwässer enthalten die Isotope Ra-226, Ra-228 und Ra-224. Hingegen sind U-238 und Th-232 praktisch nicht in den Lagerstättenwässern vorhanden. In stark Chloridhaltigen Wässern finden sich auch Blei und Bleichlorid (PbCl₂).

In den Aufbereitungsanlagen der Erdöl- und Erdgasindustrie werden die Lagerstättenwässer, d. h. eine Mischung aus salinen Wässern des Lagerstättenaquifers und anfallendem Kondenswasser, obertägig von Öl und Gas getrennt. Nach der Aufbereitung werden sie entweder in die Lagerstätte selbst oder in andere tiefliegende Salzwasser führende Aquifere verpresst.

Durch Abnahme von Druck und Temperatur bei der Gewinnung von Öl und Gas oder andere technologisch notwendige Maßnahmen kann es zu einer Überschreitung der Löslichkeitsprodukte der Sulfate und Carbonate der genannten Elemente in den Lagerstättenwässern und zu Ausfällungen (Bildung von Niederschlägen) an Rohrleitungen und anderen Anlagenteilen kommen, in denen die o.g. Radionuklide in hohen Konzentrationen vorliegen. Die Niederschlagsbildung wird durch den Einsatz von Seewasser zur Verbesserung der Öl- oder Gasausbeute aufgrund der damit einhergehenden höheren Sulfatkonzentration in den Wässern erhöht. In den Niederschlägen ist auch das Radionuklid Pb-210 enthalten, das ebenfalls schwer lösliche Sulfate oder Karbonate bildet. Die durch radioaktiven Zerfall aus dem Pb-210 entstehenden Radionuklide Bi-210 und Po-210 müssen ebenso beachtet werden. In Gasproduktionsbohrungen fallen bereits ca. 25 % der im Lagerstättenwasser vorhandenen Sulfate im Steigrohr aus, ca. 20% in den obertägigen Produktionsanlagen. Zusammen mit den Sulfaten werden > 95 % des Radiums und Bleis mit ausgefällt.

Eine weitere Ursache für radioaktive Kontaminationen in den Produktionsanlagen ist das radioaktive Edelgas Rn-222. Aus dem Gestein wird es in das Lagerstättenwasser freigesetzt. So gelangt Rn-222 in den Gas-Wasser-Strom der Produktionsanlage. Durch radioaktiven Zerfall entsteht aus seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten das langlebige Radionuklid Pb-210, das sich als sehr dünne Kontaminationsschicht ('Film') an die innere Oberfläche der Gasproduktionsanlagen anlagert. In vielen Fällen ist jedoch die Pb-210-Nachbildung aus den Ra-226-Ablagerungen (Scales) an der Rohrrinnenwand der dominante Prozess. Zu beachten ist auch, dass sich Rn-222

¹ Im radioaktiven Gleichgewicht ist die spezifische Aktivität eines Zerfallsprodukts ('Tochternuklid') gleich der spezifischen Aktivität des Ausgangsnuklids ('Mutternuklid').

in geschlossenen Produktionssystemen, aber auch in mit trockenen Scale-Reinigungsrückständen befüllten Gebinden, anreichern und bei der Öffnung solcher Anlagenteile freigesetzt werden kann. Strahlenexpositionen für die Beschäftigten müssen in diesem Fall immer in Betracht gezogen werden.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes haben jedoch die Niederschläge Priorität. Ihre Konsistenz ist sehr unterschiedlich. Sie treten als sehr feste Ablagerungen (Scales) vor allem in Steigrohren, Leitungssystemen, Ventilen und Pumpen auf. Sie fallen aber auch zusammen mit anderen Produktionsrückständen als feinst verteilte Bestandteile von Schlämmen in Abscheidern, Behältern und Tanks oder als die erwähnten Pb-210-Filme an.

Die Menge der Scales und/oder der Schlämme hängt vor allem vom Salzgehalt der Lagerstättenwässer und der Temperatur in der Lagerstätte ab. Es muss mit der Bildung von Ablagerungen in strahlenschutzrechtlich relevanten Mengen gerechnet werden [1]. Die Bildung von Ablagerungen kann aber auch durch die Technologie der Öl- oder Gasgewinnung beeinflusst werden. Wird zur Erhöhung der Förderung in Öllagerstätten Süßwasser oder Wasserdampf in die Lagerstätte gepresst, so sind die Produktionswässer hinsichtlich der Sulfate oder Karbonate häufig untersättigt. Dann unterbleibt die Bildung von Niederschlägen [1].

Nach den bisher vorliegenden Messungen reicht die spezifische Aktivität der Radionuklide in den Scales von < 1 Bq/g bis zu hohen Aktivitäten von ca. 3.000 Bq/g für Ra-228 und sogar bis 15.000 Bq/g für Ra-226. Die spezifische Aktivität von Pb-210 ist teils deutlich geringer und hängt wegen dessen Nachbildung aus dem Mutternuklid stark vom Alter der Scales ab. Sie liegt im Bereich von < 1 Bq/g bis 75 Bq/g. In den Schlämmen sind die spezifischen Aktivitäten im Allgemeinen niedriger als in den Scales. Für Ra-226 liegen sie in einem Bereich von < 1 Bq/g bis 800 Bq/g, für Ra-228 in einem Bereich von < 1 Bq/g bis 50 Bq/g. Die spezifische Aktivität von Pb-210 in den Schlämmen kann dagegen mit Werten bis zu 1.300 Bq/g auch höher sein als in den Scales.

Wegen des hohen Gehaltes natürlicher Radionuklide in den Scales, Schlämmen und anderen Rückständen können für die Beschäftigten in Anlagen der Erdöl- und Erdgasindustrie Strahlenexpositionen auftreten, die aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden können. Während des Produktionsprozesses, insbesondere bei der Wartung und Reinigung von Anlagen, beim Umgang mit radioaktiv kontaminierten Anlagenteilen und Ausrüstungen, bei der Aufbereitung von Rückständen und ihrer Deponierung kann es zu Strahlenexpositionen der Beschäftigten kommen. Bei der Deponierung von Rückständen muss auch die mögliche Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung in Betracht gezogen werden. Vor allem die Strahlenexposition der Beschäftigten kann in einem Wertebereich liegen, der nach den Grundprinzipien des Strahlenschutzes Maßnahmen erfordert. Scales, Schlämme und andere Rückstände der Erdöl- und Erdgasindustrie erfüllen deshalb die Begriffsdefinition für NORM.

Die Grundprinzipien des Strahlenschutzes sind in europäischen Standards und in den auf diesen Standards aufbauenden nationalen Vorschriften zum Schutz des Menschen vor der schädlichen Einwirkung ionisierender Strahlung festgelegt worden.

2 Europäische Standards und nationale Vorschriften zur Gewährleistung des Strahlenschutzes der Beschäftigten in der Erdöl- und Erdgasindustrie

2.1 Die Direktive 96/29 EURATOM

In der Direktive 96/29 des Rates der Europäischen Union [2] wurden die Grundprinzipien des Strahlenschutzes festgelegt, die auch für solche Arbeiten anzuwenden sind, bei denen die bloße Anwesenheit natürlicher Strahlenquellen zu einer signifikanten Erhöhung der Strahlenexposition der Beschäftigten oder Personen der allgemeinen Bevölkerung führen kann und die aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden kann (Artikel 2 Ziffer 2). Die Mitgliedsländer werden verpflichtet, solche Arbeiten zu identifizieren (Artikel 40 Ziffer 2) und erforderlichenfalls Maßnahmen einzuleiten, um die Strahlenexpositionen zu reduzieren und unvermeidliche Strahlenexpositionen zu kontrollieren (Artikel 41). In [3] wird die Erdöl- und Erdgasindustrie ausdrücklich als eine Industrie genannt, in der erhöhte Strahlenexpositionen für Beschäftigte auftreten können. Als Kriterium für eine erhöhte Strahlenexposition gilt allgemein eine jährliche effektive Dosis von 1 mSv (Grenzwert für Personen der Bevölkerung).

Die spezifische Aktivität in den Scales, Schlämmen und anderen Rückständen und damit die Höhe der möglichen Strahlenexpositionen hängen wesentlich von den Standortbedingungen (Bedingungen in der Lagerstätte) und den Produktionsbedingungen ab. Nach [3] muss man aber davon ausgehen, dass in der Erdöl- und Erdgasindustrie generell erhöhte Strahlenexpositionen für Beschäftigte auftreten. Es liegt jedoch im Ermessen der nationalen Behörden, ob und in welcher Weise die Standards angewendet werden (Artikel 41 der Direktive 96/29). Das hat in der Praxis in den Mitgliedsländern zu unterschiedlichen Entscheidungen geführt. Das gilt auch für die Erdöl- und Erdgasindustrie.

2.2 Entwurf der überarbeiteten europäischen Standards

Mit der Überarbeitung der europäischen Standards [4] strebt die Europäische Kommission auch strengere Festlegungen für die Durchsetzung der Strahlenschutzgrundsätze an, um eine einheitliche Vorgehensweise in den Mitgliedsländern zu erreichen. Das betrifft auch die Standards für den Strahlenschutz in der NORM Industrie. In Annex 8 des Entwurfs der europäischen Standards werden die relevanten Industrien ausdrücklich genannt, u.a. die Erdöl- und Erdgasindustrie, die grundsätzlich in den Geltungsbereich der Standards fallen. In Annex 9 des Entwurfs wird eine Vorgehensweise beschrieben, wie im Einzelfall auf einfache Art und Weise durch Vergleich der spezifischen Aktivität der relevanten Radionuklide in den kontaminierten Materialien (Scales, Schlämme etc.) mit den von der Kommission aus dosimetrischen Abschätzungen abgeleiteten Ausschließungskriterien (exemption values), über die Notwendigkeit zur Anwendung der Standards entschieden werden soll.

Im Hinblick auf die Arbeitsplätze könnte daraus abgeleitet werden, dass jeder Beschäftigte in einem Betrieb, in dem Materialien mit spezifischen Aktivitätswerten oberhalb der Ausschließungskriterien vorkommen, den Standards unterliegt. Durch die Einführung des Begriffs 'exposed worker' wird diese Personengruppe aber deutlich eingeschränkt. 'Exposed worker' sind solche Beschäftigte, bei denen die durch die Tätigkeiten verursachte Strahlenexposition den Dosisgrenzwert für Personen der Be-

völkerung (jährliche effektive Dosis von 1 mSv) überschreitet. Die Standards sind folglich nur für diese Gruppe der Beschäftigten anzuwenden. Wegen der unterschiedlichen Expositionsbedingungen in den Anlagen der Erdöl- und Erdgasindustrie (die Ablagerungen in den Anlagen hängen von zahlreichen technischen und technologischen Bedingungen der Produktion und der damit verbundenen Möglichkeit zur Akkumulation der Scales ab) muss die relevante Gruppe der Beschäftigten für die einzelnen Betriebe identifiziert werden. Daraus ergibt sich für die Betriebe die Verpflichtung, die Arbeitsplätze im Hinblick auf mögliche Strahlenexpositionen der Beschäftigten systematisch zu bewerten.

2.3 Nationale Regelungen zum Strahlenschutz

Im Zuge der Umsetzung der derzeit geltenden europäischen Standards in nationales Recht wurden in Deutschland umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um die aus der Sicht des Strahlenschutzes relevanten Industrien zu identifizieren. Diese Industrien wurden in der Anlage XI der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [5] genannt. Arbeitsplätze in der Erdöl- und Erdgasindustrie wurden nicht in diese Liste aufgenommen, da der Gesetzgeber nach Prüfung der Situation auf der Grundlage einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) [6] zu dem Schluss gekommen ist, dass dort keine Situationen vorliegen, die auch aufsichtliche Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten erfordern. Solche Situationen würden dann vorliegen, wenn die jährliche effektive Dosis für Beschäftigte den Zahlenwert von 6 mSv übersteigt. Die zuständigen Behörden können allerdings die Anwendung der Strahlenschutzvorschriften bei anderen Arbeiten als den in der Anlage XI genannten verlangen, wenn dort mit erhöhten Strahlenexpositionen für die Beschäftigten zu rechnen ist, so dass dies auch für Beschäftigte in der Erdöl- und Erdgasindustrie zutreffen kann.

Die Schlämme und Ablagerungen aus der Gewinnung von Erdöl und Erdgas fallen in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung (siehe Anlage XII Teil A Ziff. 1 StrlSchV). Sie gelten als überwachungsbedürftige Rückstände. Hier geht der Gesetzgeber davon aus, dass durch die Verwertung oder Beseitigung dieser Rückstände für Einzelpersonen der Bevölkerung die jährliche effektive Dosis von 1 mSv überschritten werden kann und Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung erforderlich sein können.

Die künftigen europäischen Standards zum Strahlenschutz sind verbindlich. Sie müssen in nationales Recht umgesetzt werden. Es ist somit zu erwarten, dass die Beschäftigten in der Erdöl- und Erdgasindustrie in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung aufgenommen werden müssen. Daraus würde dann die Verpflichtung folgen, zunächst zu prüfen, ob die spezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide die dann geltenden Ausschließungskriterien überschreiten. Ist das nicht der Fall, sind weitere Untersuchungen nicht erforderlich. Anderenfalls sind Abschätzungen der Strahlenexpositionen für die Beschäftigten und ggf. weitere Kontrollmaßnahmen erforderlich. Daraus ergibt sich für die Betriebe der Erdöl- und Erdgasindustrie die Verpflichtung, die Arbeitsplätze in den relevanten Bereichen im Hinblick auf mögliche Strahlenexpositionen der Beschäftigten systematisch zu bewerten. In den folgenden Abschnitten wird deshalb die generelle Vorgehensweise zur Ermittlung und Begrenzung der Strahlenexpositionen in der Erdöl- und Erdgasindustrie und bei der Verwertung und Beseitigung von Rückständen aus diesen Industrien behandelt.

3 Ermittlung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen in der Erdöl- und Erdgasindustrie

3.1 Expositionsszenarien und Expositionspfade

In der Erdöl- und Erdgasindustrie können für die Beschäftigten Strahlenexpositionen durch

- äußere Bestrahlung durch die in den Rohren und Behältern abgelagerten Rückstände (Scales, Schlämme) während der Produktion,
- äußere Bestrahlung durch die Rückstände bei Wartungs- oder Reinigungsarbeiten an offenen Anlagen,
- äußere Bestrahlung beim Umgang mit und der Verpackung von Rückständen,
- die Inhalation von Radionukliden bei Arbeiten an offenen Anlagen, bei Reinigungsarbeiten (Entfernung von Scales oder anderen Rückständen von Rohren oder Anlagenteilen) und durch
- Inhalation von Radionukliden bei der Behandlung, dem Transport und der Beseitigung von Rückständen

entstehen.

Umfangreiche Untersuchungen wurden durchgeführt, um die Bedeutung der Expositionsszenarien und Expositionspfade für das Zustandekommen der Strahlenexpositionen der Beschäftigten zu bewerten. Allgemein werden Wartungs- und Reinigungsarbeiten sowie der Umgang mit und die Verpackung von Rückständen als die Expositionsszenarien betrachtet, die besondere Beachtung erfordern (siehe auch [1]). Die äußere Strahlenexposition ist meist für die Gesamtexposition bestimmend. Die Inhalation von Radionukliden wird bei Beachtung der herkömmlichen Arbeitsschutzmaßnahmen weitgehend unterbunden.

Welche Expositionsszenarien im Einzelfall zu beachten sind, kann nur durch Prüfung der betrieblichen Situation (Zeiträume für die Akkumulation von Scales und anderen Rückständen in den Anlagen, Wartungsarbeiten, Reinigungstechniken) und vor allem durch Messungen erfolgen. In [1] werden Expositionsszenarien bei Arbeiten, bei denen äußere Strahlenexpositionen von $> 4 \mu\text{Sv}$ pro Arbeitsschicht (8 Stunden) auftreten, als Szenarien betrachtet, die aus der Sicht des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Bei einer Arbeitszeit von 2000 Stunden pro Jahr ergibt das gerade eine effektive Dosis von 1 mSv, die üblicherweise das Kriterium für die Relevanz eines Arbeitsplatzes ist.

3.2 Messungen und Berechnungen zur Bewertung der äußeren Strahlenexposition

Die Strahlenexposition durch äußere Gammastrahlung kann durch Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis H^*10 oder der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ und der Aufenthaltszeit ermittelt werden. Die Messungen sollten an den Stellen durchgeführt werden, an denen sich die Beschäftigten während ihrer Tätigkeit tatsächlich aufhalten. Die dafür in Frage kommenden Messgeräte müssen für die Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis oder der Dosisleistung geeignet sein. Auf die Gerätespezifikation ist unbedingt zu achten. Die Geräte, die für die Durchführung von amtlichen Messungen geeignet sind, sind auf der Internetseite der PTB www.ptb.de veröffentlicht.

Aus der gemessenen Umgebungs-Äquivalentdosisleistung ergibt sich die jährliche effektive Dosis E in mSv nach

$$E = f \cdot \dot{H}^*(10) \cdot t_A \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

mit

f	Umrechnungsfaktor der Umgebungs-Äquivalentdosis in die effektive Dosis für Beschäftigte (hier ca. 1),
$\dot{H}^*(10)$	Messwert der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$ und
t_A	Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) am Ort der Messung in h/a.

Um eine realistische Bewertung der Strahlenexpositionen an den Arbeitsplätzen zu erreichen, ist unbedingt zu beachten, dass für die Berechnung der Strahlenexposition (in der Regel die jährliche effektive Dosis) nur die Messungen für Situationen verwendet werden, die im Hinblick auf die Strahlenexpositionen realistisch sind (tatsächliche Arbeitszeit unter Expositionsbedingungen, repräsentative Messwerte der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung für die Arbeitspunkte oder Arbeitsplätze). Sind mehrere Arbeitsplätze für eine Person relevant, so ist die Summe aus den Ergebnissen der einzelnen Berechnungen zu bilden. Arbeitsplätze, für die systematische Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung durchgeführt werden müssen, sollten durch Screeningmessungen an den Arbeitsplätzen identifiziert werden.

Die Strahlenexposition durch äußere Gammastrahlung kann aber auch durch Messung direkt ermittelt werden. Dazu wird die Personendosis mit Ganzkörperdosimetern gemessen. Geeignete Messgeräte, die von der zu überwachenden Person getragen werden, werden von Personendosismessstellen, die solche Messungen im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung [5] durchführen, bereitgestellt und ausgewertet. Ganzkörperdosimeter sollten vor allem zur Überwachung der Beschäftigten eingesetzt werden, wenn die Strahlenexpositionen an den Arbeitsplätzen großen Schwankungen unterliegt. Personen, für die eine Überwachung mit Ganzkörperdosimetern sinnvoll ist, sollten an Hand von Expositionsabschätzungen identifiziert werden, die auf der Grundlage einer Bewertung der Arbeitsplätze im Hinblick auf mögliche Strahlenexpositionen ermittelt worden sind. Dazu sollten Screeningmessungen mit Dosisleistungsmessgeräten während der Arbeiten durchgeführt und die Arbeitszeiten abgeschätzt werden.

3.3 Messungen und Berechnungen zur Ermittlung der Strahlenexposition aus der Inhalation von Staub

Um die Strahlenexposition durch die Inhalation von Radionukliden abzuschätzen, muss an den zu überwachenden Arbeitsplätzen die in der Atemluft vorhandene Konzentration der relevanten Radionuklide bestimmt werden. Dann kann die jährliche effektive Dosis E in mSv mit Hilfe der Beziehung

$$E = 10^3 \cdot V \cdot t_A \cdot \sum g_{Inh,i} \cdot c_i \quad (2)$$

berechnet werden. Dabei sind

V das Atemvolumen eines Beschäftigten $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$,
 $g_{\text{Inh},i}$ Inhalationsdosiskoeffizient für das Radionuklid i in Sv/Bq ,
 c_i Aktivitätskonzentrationen der zu betrachtenden Radionuklide i in Bq/m^3 und
 t_A die Arbeitszeit des Beschäftigten am zu überwachenden Arbeitsplatz in h/a .

Die aus [7] entnommenen Inhalationsdosiskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt worden.

Radionuklid	Inhalationsdosiskoeffizient AMAD = $5 \mu\text{m}$ in Sv/Bq
Ra-226	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Pb-210	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Ra-228	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Ra-224	$2,4 \cdot 10^{-6}$

Die Radionuklidkonzentrationen in der Atemluft können nicht aus den spezifischen Aktivitäten der Rückstände abgeleitet werden, die Ursache der Strahlenexposition am Arbeitsplatz sind. Sie müssen gemessen werden. Dazu wird eine Luftprobe aus dem Atembereich der zu überwachenden Person(en) entnommen und die darin enthaltenen Radionuklide analysiert. In der Regel wird dazu die Luft über ein geeignetes Schwebstofffilter (bevorzugt Membranfilter) geleitet. Geräte, die für die Luftprobenentnahme eingesetzt werden, sollten vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) empfohlen sein. Die auf dem Schwebstofffilter abgeschiedenen Radionuklide und ihre Aktivitätskonzentrationen werden analysiert. Die Messungen sollten von dafür qualifizierten Laboratorien durchgeführt werden. In vielen Fällen ist die Bestimmung der Radionuklide Ra-226, Ra-228 und Pb-210 ausreichend. Wenn Pb-210 nennenswert zur Exposition beiträgt, sollte auch immer Po-210 betrachtet werden, da es durch radioaktiven Zerfall aus Pb-210 entsteht. In einigen Fällen müssen zusätzlich auch Th-228 und Ra-224 beachtet und gemessen werden. Th-228 (Halbwertszeit: 1,9 Jahre) entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Ra-228 (Halbwertszeit: 5,75 Jahre) und zerfällt zu Ra-224 (Halbwertszeit: 3,66 Tage). Ob und in welchem Maße diese Radionuklide bei der Expositionsabschätzung zu berücksichtigen sind, hängt also vom 'Alter' der Rückstände ab, die Ursache der Radionuklidkonzentrationen in der Atemluft sind. Bei den Messungen ist dieser Sachverhalt zu beachten.

In der Überwachungspraxis hat sich die Messung des Atemschutzfilters, das von einem Beschäftigten bei einer zu überwachenden Arbeit getragen wird, als eine einfache und zuverlässige Methode zur Ermittlung der durch die Inhalation bedingten Strahlenexposition erwiesen. Dazu sollte die auf dem Filter einer Atemschutzmaske niedergeschlagene Aktivität der relevanten Radionuklide ermittelt werden. Die Effektivität der üblicher Weise eingesetzten Atemschutzmasken beträgt ca. 99%. Die auf der Atemschutzmaske abgeschiedene Aktivität entspricht somit in guter Näherung der Aktivität, die ohne das Tragen der Maske in der entsprechenden Tragezeit von dem jeweiligen Arbeiter inhaliert würde.

Die jährliche effektive Dosis E in mSv für den Fall, dass kein Atemschutzfilter getragen wird, berechnet sich nach

$$E = 10^3 \cdot \frac{t_A}{T} \sum a_i \cdot g_{Inh,i} \quad (3)$$

mit

T	Tragezeit des Atemschutzfilters in h,
t_A	jährliche Arbeitszeit am zu überwachende Arbeitsplatz h/a,
a_i	auf dem Atemschutzfilter niedergeschlagene Aktivität des Radionuklids i ,
$g_{Inh,i}$	Inhalationsdosiskoeffizient des Radionuklids i .

4 Strahlenschutzmaßnahmen

Im Teil 3 Kapitel 1 der StrlSchV [5] werden die Grundpflichten des Strahlenschutzes bei Arbeiten definiert. Strahlenschutzmaßnahmen sind dann erforderlich, wenn trotz Einhaltung der Maßnahmen zur Gewährleistung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes [8, 9, 10] Strahlenexpositionen für die Beschäftigten auftreten, die oberhalb eines Wertes der jährlichen effektiven Dosis von 1 mSv liegen (§ 93 StrlSchV) und die unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls noch weiter reduziert werden können (§ 94 StrlSchV).

Mögliche Maßnahmen lassen sich aus den Gleichungen (1) und (2) ableiten, da die jährliche effektive Dosis linear von der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung am Arbeitsplatz, der Radionuklidkonzentration in der Atemluft am Arbeitsplatz und von der für das Zustandekommen von Strahlenexpositionen relevanten Aufenthaltszeit an den Arbeitsplätzen abhängt. Sie lassen sich zu folgenden Grundsätzen zusammenfassen:

1. Aufspüren von radioaktiven Kontaminationen durch regelmäßige Überprüfung der Arbeitsplätze und Messung der Ortsdosisleistung. Bei signifikanter Erhöhung der Ortsdosisleistung sollten Einschätzungen über Art und Höhe der radioaktiven Kontamination und mögliche Strahlenexpositionen der Beschäftigten durchgeführt werden.
2. Bewertung der Arbeitsgänge und der Arbeitszeiten an den Arbeitsplätzen, an denen nennenswerte Beiträge zur jährlichen effektiven Dosis zustande kommen und Optimierung im Hinblick auf den Strahlenschutz. Überprüfung in angemessenen Zeitabständen.
3. Vermeidung von Staubentwicklungen bei Zerlege-, Trenn- und Reinigungsarbeiten (z.B. Feuchthalten der Rückstände und Ablagerungen).
4. Konsequente Verwendung individueller Atemschutztechnik, insbesondere bei Wartungsarbeiten mit unvermeidbarer Staubentwicklung.
5. Tragen von Schutzkleidung.
6. Vermeidung der Verbreitung von radioaktiven Kontaminationen.
7. Unterlassen von Rauchen, Essen und Trinken an den Arbeitsplätzen.

Welche Maßnahmen im Einzelfall durchgeführt werden müssen, hängt von der betrieblichen Situation ab.

Besteht trotz der Maßnahmen, die sich an diesen Grundsätzen orientieren, die Möglichkeit, dass die jährliche effektive Dosis den Wert von 6 mSv überschreiten kann, so besteht nach § 95 (2) der StrlSchV [5] für den Verantwortlichen die Verpflichtung zur Anzeige bei der zuständigen Behörde. Inhalt der Anzeige sind zunächst die konkrete Art der Arbeit, das relevante Arbeitsfeld oder die relevanten Arbeitsfelder und die Anzahl der betroffenen Personen. Für diese Personen ist die Körperdosis² auf geeignete Weise durch Messungen zu ermitteln. Die Vorgehensweise kann sich an den in Abschnitt 3 beschriebenen Methoden orientieren. Sie sollte mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden, da die Behörde nach § 95 (10) StrlSchV ohnehin die anzuwendenden Messmethoden und Messverfahren festlegen oder auch Messstellen bestimmen kann, die solche Messungen durchführen. Die Behörde kann auch zusätzliche Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexpositionen festlegen.

Für die Verantwortlichen besteht auch die Verpflichtung zur Aufzeichnung und Aufbewahrung der Ergebnisse der Untersuchungen. Ebenso besteht die Verpflichtung, die Ergebnisse an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) weiterzuleiten.

5 Rückstände

5.1 Charakteristik von Rückständen

Rückstände (z.B. Schlämme aus Behältern und Tanks, Scales oder Suspensionen von Scales) fallen bei der Wartung und vor allem bei der Reinigung von Anlagen und Ausrüstungen an. Die spezifische Aktivität der Rückstände kann in weiten Bereichen variieren und sehr hohe Werte erreichen (z.B. bei Ra-226 bis zu 15.000 Bq/g, bei Ra-228 bis zu 3.000 Bq/g, siehe Abschnitt 1). Es muss beachtet werden, dass neben den natürlichen Radionukliden in den Rückständen auch zahlreiche andere Bestandteile (organische Rückstände, Chemikalien, Schwermetalle, insbesondere Blei, Zink und Quecksilber) vorkommen, die zusätzliche Schutzmaßnahmen bei der Verwertung und Beseitigung erfordern. Eine Verwertung der Rückstände erfolgt bisher nur in wenigen Fällen/Ausnahmefällen. Ein Beispiel dafür ist die Gewinnung von Quecksilber aus solchen Rückständen [13]. In der Regel werden die anfallenden Rückstände beseitigt.

5.2 Rechtliche Grundlagen für die Beseitigung von Rückständen

Da die Rückstände aus der Erdöl- und Erdgasindustrie nach Anlage XII Teil A Ziff. 1 der Strahlenschutzverordnung [5] in den Geltungsbereich dieser Verordnung fallen, müssen bei ihrer Beseitigung nicht nur abfallrechtliche Forderungen sondern auch die Forderungen des Strahlenschutzes beachtet werden. Es handelt sich um überwachungsbedürftige Rückstände. Die Forderungen des Strahlenschutzes sind in den §§ 97 bis 101 StrlSchV festgelegt worden.

² Die Körperdosis ist nach § 3 (2) Ziff. 9 c der Strahlenschutzverordnung [5] die Dosis, die in einem Bezugszeitraum (in der Regel ein Kalenderjahr) für eine Person durch äußere Strahlenexposition und durch Radioaktivitätszufuhr (z.B. durch Inhalation) verursachte innere Strahlenexposition zustande kommt.

Rückstände aus der Erdöl- und Erdgasindustrie sind grundsätzlich überwachungsbedürftig, es sei denn, dass die spezifische Aktivität für jedes Radionuklid aus den U-238 oder Th-232-Zerfallsreihen $< 0,2$ Bq/g ist oder diese Rückstände als Rohstoffe in die in Anlage XII Teil A StrlSchV genannten technologischen Prozess eingebracht werden. Werden also Rückstände zur Gewinnung von Quecksilber genutzt, handelt es sich nicht um überwachungsbedürftige Rückstände. Das bedeutet jedoch nicht, dass bei diesen Prozessen die Anforderungen des Strahlenschutzes außer Acht gelassen werden können. Schließlich können dabei Strahlenexpositionen für die Beschäftigten auftreten, die Strahlenschutzmaßnahmen und eine Überwachung der Beschäftigten erfordern (siehe auch § 96 Abs. 5 StrlSchV). Auch bei der Beseitigung der Rückstände, die nach der Gewinnung von Quecksilber anfallen, müssen die Forderungen des Strahlenschutzes beachtet werden.

Unter bestimmten Voraussetzungen können Rückstände beseitigt werden, ohne dass eine Überwachung aus der Sicht des Strahlenschutzes erforderlich ist. Das ist dann der Fall, wenn die Beseitigungswege und die dafür ausdrücklich in Anlage XII Teil B Ziffern 1 bis 5 der StrlSchV [5] genannten Kriterien beachtet werden. Unter diesen Bedingungen ist sichergestellt, dass Strahlenexpositionen von > 1 mSv für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht auftreten. Von besonderer Bedeutung ist die allgemeine Überwachungsgrenze von 1 Bq/g. Sie gilt für die Summe der höchsten Werte eines Radionuklids aus der U-238 und der Th-232 Zerfallsreihe. In den Rückständen kommen praktisch nur die Radiumisotope Ra-226 (es tritt in der U-238-Zerfallsreihe auf) und Ra-228 (es tritt in der Th-232-Zerfallsreihe auf) vor. Ist also die Summe der spezifischen Aktivitäten von Ra-226 und Ra-228 < 1 Bq/g können die Rückstände aus der Sicht des Strahlenschutzes ohne Überwachungsmaßnahmen beseitigt werden (StrlSchV, Anlage XII Teil B Ziff.1). Sollen allerdings Rückstände im Einzugsbereich eines Grundwasserleiters beseitigt werden, oder ist eine untertägige Beseitigung vorgesehen, gelten andere Kriterien (StrlSchV, Anlage XII Teil B Ziff. 2 und Ziff. 5). Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass in der StrlSchV, Anlage XII Teil B auch Kriterien für die Verwendung von Rückständen zur Produktion von Baustoffen genannt werden. Bei der Planung von optimalen Konzepten für die Beseitigung von Rückständen sind diese Bedingungen von großer Bedeutung. Allerdings werden diese Bedingungen in vielen Fällen nicht eingehalten werden können. In solchen Fällen kann die Behörde die überwachungsbedürftigen Rückstände zur Beseitigung (oder Verwertung) aus der Überwachung entlassen, wenn unter den gegebenen Umständen die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung die jährliche effektive Dosis von 1 mSv nicht überschreitet und wenn keine Bedenken gegen die abfallrechtliche Zulässigkeit der Beseitigung vorliegen.

Die wichtigste Grundlage für die Entwicklung optimaler Konzepte für die Beseitigung von Rückständen ist die Kenntnis der spezifischen Aktivität der Rückstände. Die Messung der spezifischen Aktivität der relevanten Radionuklide Ra-226 und Ra-228, in einigen Fällen auch Pb-210, ist unverzichtbar. Einfache Methoden dafür sind in [11] beschrieben. Diese Messungen sollten aber von qualifizierten Laboratorien durchgeführt werden, die auch über Erfahrungen bei der Messung von Proben verfügen, die teilweise hohe Gehalte an Schwermetallen aufweisen.

5.3 Beispiele für die Beseitigung von Rückständen

In Norwegen erfolgt die Beseitigung der Rückstände in Fässern, die in einer untertägigen Deponie einbetoniert werden [12]. Eine Strahlenexposition für Personen der Bevölkerung wird auch für lange Zeiträume ausgeschlossen. Die Strahlenexpositionen für die Beschäftigten beim Transport der Rückstände und bei den Arbeiten in der Deponie liegen ebenfalls unterhalb des Wertes von 1 mSv/Jahr.

In Deutschland existiert keine untertägige Deponierungsmöglichkeit für NORM. Die Untertagedeponien in Deutschland akzeptieren, mit Ausnahme von belasteten Staubfiltern, keine Rückstände mit spezifischen Aktivitäten oberhalb des allgemeinen Überwachungswertes für die untertägige Deponierung nach StrlSchV von „C“ = 5 Bq/g. Die Deponierung von Kohlenwasserstoffhaltigen Schlämmen, speziell von Quecksilber(Hg)haltigen Schlämmen ist nur nach einer Entgiftung bzw. Verfestigung durch Vorbehandlung möglich. Zwecks Entgiftung werden die Rückstände entweder in Sonderabfallbehandlungsanlagen, teilweise nach Hg-Konditionierung durch Mischung mit Hg-freien Abfällen, mit verbrannt. Schlämme mit Quecksilbergehalten > 1 g/kg TM, im Regelfall die NORM-Abfälle mit höheren spezifischen Aktivitäten, werden 'entquickt'. Die Rückstände aus der Mitverbrennung bzw. der Entquickung werden auf Deponien gemäß TA Siedlungsabfall beseitigt. Die Rückstände aus der Quecksilbergewinnung (Demerkurisation) [13] werden vor Deponierung mit einem Geopolymerzement verfestigt. Durch umfangreiche Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass die Radionuklide aus diesen Polymerisaten auch nach längeren Zeiträumen (> 1000 Jahre) nicht freigesetzt werden. Da die Radionuklide zudem im Kristallgitter schwer wasserlöslicher Sulfate eingebunden sind, ist eine Kontamination der Grundwässer und damit eine Strahlenexposition, die über den Expositionspfad „Wasserpfad“ zustande kommen könnte, auszuschließen.

Zur Mitverbrennung gelangen nur schwach radioaktive Rückstände, die nach Gefahrgutrecht nicht als radioaktive Transportgüter einzustufen sind. Die Rückstände aus der Mitverbrennung weisen nur spezifische Aktivitäten unterhalb des allgemeinen Überwachungsgrenzwertes für die ober-tägige Deponierung von „C“ = 1 Bq/g auf. In Ausnahmen erfolgt ein Einbau in einer Sonderabfalldeponie unter technischen Sicherungsmaßnahmen. Diese bestehen im Bau spezieller, mit Ton ausgekleideten Kassetten sowie im Einschlämmen mit einer Flugasche-Zement Suspension.

Da die Strahlenexpositionen des Deponiepersonals beim Einbau der Rückstände auf den Deponien weit unter 1 mSv/Jahr liegen, wurden die Rückstände für diese Beseitigung aus der Überwachung entlassen.

6 Transport von Rückständen

6.1 Anforderungen an den Transport

Die Anforderungen an den Transport von NORM sind in den internationalen und nationalen Regelungen für den Transport von radioaktiven Materialien festgelegt worden [14]. Die Regelungen des „Europäische Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße“ (Abkürzung ADR) [15] und des „Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr“ (Abkürzung RID) [16] bauen darauf auf.

Für radioaktive Stoffe ab einer definierten Summenaktivität gelten die Bestimmungen der Gefahrgutklasse 7. Zunächst ist deshalb zu prüfen, in welchen Fällen diese Regelungen anzuwenden sind. Nach ADR gilt, dass Rückstände nicht der Gefahrgutklasse 7 zuzuordnen sind, wenn die Summe der Werte der spezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide im Rückstand den Wert von 10 bis 100 Bq/g (Mischungsrechnung erforderlich) nicht überschreitet. Nach der Terminologie des ADR/RID handelt es sich bei dem Unterschreiten des Grenzwertes nach der Mischungsregel um einen freigestellten Stoff, der nicht dem ADR unterliegt. Ebenfalls nicht dem ADR/RID unterliegt eine Sendung, bei der die Gesamtaktivität der relevanten Radionuklide den Wert von 1.000 bis 10.000 Bq (Mischungsrechnung erforderlich) nicht überschreitet. Hierzu ist die Gesamtaktivität im Versandstück zu prüfen.

Nicht freigestellte Stoffe und Sendungen können als freigestelltes Versandstück transportiert werden, sofern die Stoffmenge im Versandstück begrenzt ist. Freigestellte Versandstücke unterliegen zwar der Klasse 7, sie müssen jedoch an der sichtbaren Außenseite nicht mit einem Radioaktivitätssymbol gekennzeichnet werden, sondern nur mit der UN-Nummer 2910.

Materialien, die unter alle Regeln der Klasse 7 ADR/RID fallen, sind entweder als LSA (Low Specific Activity) oder als SCO (Surface Contaminated Object) zu klassifizieren und in einer geprüften transportsicheren Verpackung zu verpacken.

6.2 Strahlenschutz beim Transport

Einige Studien wurden durchgeführt, um die Strahlenexposition der Beschäftigten beim Transport von Rückständen aus der Erdöl-/Erdgasindustrie zu ermitteln [13, 12, 17]. In [17] wurde nach den experimentellen Untersuchungen bei unterschiedlichen Materialtransporten festgestellt, dass der Transport zu keinen signifikanten Strahlenexpositionen für die Beschäftigten führt. Die ermittelten Werte der jährlichen effektiven Dosis liegen in einem Bereich von $< 0,2$ mSv. Zu ähnlichen Ergebnissen führten die Untersuchungen in [13] und [12]. Aus allen Abschätzungen folgt, dass die jährliche effektive Dosis eines Lkw-Fahrers beim Transport von Rückständen aus der Erdöl-/Erdgasindustrie generell im Wertebereich von < 1 mSv liegt. Eine Strahlenschutzkontrolle ist für diese Arbeitsplätze also nicht erforderlich. Das gilt nach [13] und [12] auch für die Beschäftigten bei der Deponierung der Rückstände.

7 Literatur

- [1] Steffan, E.M.: Risk Evaluation Process – Build-up of exposure scenarios for the E&P industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [2] European Commission Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers from ionising radiation Official Journal of the European Commission, L 159, Vol. 30, 29 June 1996
- [3] European Commission: Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides EUR-STR-095
- [4] European Commission: Draft of The European Basic Safety Standards Directive, Version 24. February 2010
- [5] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S 1714 ber. I 2002 S. 1459)
- [6] Stellungnahme der Strahlenschutzkommission: Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide, Berichte der Strahlenschutzkommission Heft 10, 1997
- [7] Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition: Dosiskoeffizienten bei innerer beruflicher Strahlenexposition, Bundesanzeiger Verlagsges. Köln 2001
- [8] Wirtschaftverband Erd- und Erdgasgewinnung e.V.: Leitfaden für Arbeiten mit natürlicher Radioaktivität, Technische Regeln, Stand 4/06
- [9] Staatlicher Arbeitsschutz: Arbeitsschutzgesetz, Arbeitssicherheitsgesetz, Siebtes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Unfallversicherung und Gefahrstoffverordnung, siehe <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Rechtsgrundlagen-und-Vorschriften/Arbeitsschutzsystem%20in%20Deutschland.html>
- [10] Arbeitsschutz der gesetzlichen Unfallversicherungsträger, hier gewerbliche Berufsgenossenschaften, siehe http://publikationen.dguv.de/dguv/udt_dguv_main.aspx?ID=0
- [11] Schkade, U.: Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen in Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, Bundesamt für Strahlenschutz, Februar 2008
- [12] Varskog, P.: Exposure to radiation in an underground NORM repository, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- [13] Schulz, H. Mothes, W.: Dose assessment for workers at mercury recycling of sludge and scale from natural gas production, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010

-
- [14] IAEA: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2005)
- [15] Anlagen A und B zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (BGBl. 1969 II S. 1489), in der Fassung der Bekanntmachung der Anlagen A und B vom 07.04.2009 (BGBl. II S. 396)
- [16] Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr, http://www.otif.org/fileadmin/user_upload/otif_verlinkte_files/05_gef_guet/06_notifi_10/NOT_2011_D.pdf
- [17] Weiss, D., Feige, S.: Scenarios concerning transportation of NORM in Germany, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010

Weiterführende Literatur

IAEA: Radiation Protection and Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, Safety Report Series No.34

Practical advice on the procedure for the evaluation and control of radiation exposure of workers in the NORM industry - Fact Sheets

Foreword

The exposure to ionising radiation of workers or the public at large, which from a radiation protection point of view cannot be neglected, does not only occur upon handling of artificial radionuclides and the beneficial use of radioactivity or other specific nuclear-physical properties of natural radioactive substances. These situations may also occur, when resources containing Naturally Occurring Radionuclides (NOR's) are treated or processed without the aim of using this radioactivity or any other nuclear physical properties. Resources or materials containing relatively enhanced NOR concentrations are generally denoted as Naturally Occurring Radioactive Material (NORM).

The term 'work activity' has been introduced by the European Union Basic Safety Standards (EU BSS [i]) in relation to storage, handling, treating or processing of NORM.

The platform for a European discussion on radiation protection issues in the NORM industry is the European ALARA Network for NORM (EAN_{NORM}). Paramount in these discussions is the exchange of practical industrial experience acquired in the NORM industry. Details of the current state of the discussion can be downloaded from <http://www.ean-norm.net> or <http://www.ean-norm.eu>.

The outcomes of the discussion for some NORM industries are summarised by the EAN_{NORM} organisation in so-called Codes of Conduct. Next to the regulatory aspects of measurement methods and technology applied, the assessment and control of the radiation exposure and how these are embedded in the corporate Health Safety and Environment (HSE) management systems, is important.

The Code of Conduct is meant to contribute to a harmonised approach for the design of operational radiation protection control in NORM industries in EU Member States. Consequently, this code is primarily directed at persons, who are responsible for the Health, Safety and radiation protection within the premises of the relevant industries.

B) Practical advice on the procedure for the evaluation and control of radiation exposure of workers in the gas and gas industry - Information Sheet for the oil and gas industry

1 Origin and occurrence of radioactivity in deposits and residues

The NOR's of the ^{238}U - and ^{232}Th -decay series are of particular importance for the occurrence of NORM in the oil and gas industry. Those of the ^{235}U -decay series are only of secondary importance as its natural abundance is only 0.7% whereas that of

^{238}U is 99.3%. In the reservoir rock material of oil and gas deposits are both ^{238}U and ^{232}Th are heading a decay series of NORM's in secular equilibrium¹.

Because of the hydrochemical conditions in the elements of the second main group of the periodic system, notably calcium (Ca), strontium (Sr), barium (Ba) and radium (Ra) reservoirs contained in the reservoir rock material dissolve in the reservoir connate water. Here Ra only will be present as a mixture of radioactive nuclides, notably ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{224}Ra , in extremely low chemical concentrations, e.g. 1Bq [^{226}Ra]/L corresponds to about 0.03 parts per trillion (ppt[mass]). On the other hand due to the reducing environment in gas/oil reservoirs ^{238}U (secular equilibrium up to including ^{234}U) and ^{232}Th practically do not dissolve in connate water. Under special geological conditions also lead (Pb) may dissolve in connate water [ii].

In the gas/oil treating facilities produced water, *i.e.* mixture of saline connate and condense water, is separated from gas-oil. After the treatment, this water is either reinjected underneath the gas/oil reservoir or in another deep-lying saline aquifer.

Pressure and temperature decrease towards the surface, well heads, valves, bends, *etc.* may cause the supersaturated saline produced water to form precipitates or deposits inside risers, flow lines or other parts of a gas/oil producing facility. This might occur especially when stable group II ions (*vide supra*) are present in combination with sulphate and carbonate ions, thereby leading to sulphate or carbonate scales. Scale formation is increased in case seawater, which is relatively high in sulphate contents, is applied to improve gas/oil recovery from the reservoirs. When also relatively high concentrations of Ra ions are present, these scales will become radioactive (Low Specific Activity² or LSA scales [iii]) by co-precipitation of Ra with stable group II elements; nowadays LSA scales are classified as NORM. Here the NORM is characterised by their ^{226}Ra and ^{228}Ra contents where the $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ ratio is reservoir dependent. For HSE considerations ^{226}Ra should be considered to be in secular equilibrium up to including ^{214}Po with substantially lower (if any) ^{210}Pb concentrations, ^{228}Ra in secular equilibrium with ^{228}Ac and ^{228}Th (secular equilibrium till ^{208}Pb) and the ^{224}Ra subseries will have effectively decayed.

If the geological conditions are so that stable Pb nuclides and ^{210}Pb dissolve in water co-produced with (slightly sour) gas, also radioactive deposits (mainly galena, PbS, and mixture of lead metal/lead oxides) with a peculiar gas/oil-field stable lead fingerprint will be formed [ii]. Here the NORM is characterised by its ^{210}Pb contents, virtually without any ^{226}Ra present. However, for HSE considerations of such deposits ingrowth of ^{210}Po should be taken into account as well.

Another cause for radioactive contamination in gas/oil production facilities is the radioactive noble gas radon (^{222}Rn). ^{222}Rn emanates from reservoir rock material into the contained gas and/or reservoir fluids (partitioning) and reaches the surface with produced gas and/or well fluids, where at lower pressure it completely transfers to the (natural) gas phase. Especially in facilities, where Liquefied Natural Gas (LNG) is produced, or Natural Gas Liquids (NGL) are processed, such high ^{222}Rn concentrations in LNG or ethane/propane fractionators may be encountered that the

¹ The activity concentration of a decay product ('daughter nuclide') equals that of the decaying nuclide ('mother nuclide') in secular equilibrium. Please note that this not imply that the chemical concentration of daughter and mother nuclide are equal.

² The term Low Specific Activity is stemming from the International Atomic Energy Agency (IAEA) Transport Regulations [] and refers to materials containing up to about 100 kBq/g. Note that despite the fact that specific activity is used, the regulations refer to activity concentration.

external radiation level around the facilities become enhanced. By radioactive decay of its short-lived decay products, the long-lived radionuclide ^{210}Pb is produced, which due to its metallic nature attaches itself as a very thin (invisible) contamination layer ('film') onto the inner surface of the gas production and transmission facilities. Upon maintenance of the inside of NGL pump housings, thin layers with substantial concentrations of ^{210}Pb (ingrowth of ^{210}Po) may be encountered. The standard procedure of venting before vessel entry is also very helpful in lowering any enhanced ^{222}Rn concentrations to acceptable concentrations inside such a system. Radiation exposures to workers in this case must be always considered.

From the radiation protection viewpoint deposited radioactive scales are the most important. Their consistency is very different. They occur as hard solid deposits (scales) on primarily inside risers, flow lines, valves and pumps. However, they appear also with other production residues as finely dispersed particulates in sludge from separators, tanks or containers and ^{210}Pb in sludge from gas filters and booster stations.

The amount of scale and/or sludge present will depend primarily on the salinity of the produced water, the temperature in the reservoir and commingling of well fluids. For dose/risk assessments a conservatively estimated amount of deposits has to be taken into account [iv]. The formation of deposits can also be influenced by the technology applied for gas/oil gas production. When for improved oil recovery freshwater or steam is injected into the reservoir, with a focus to sulphates or carbonates the produced water is often not supersaturated, so that precipitates are not formed [iv].

From a literature review [v], it appears the NOR activity concentrations in scale ranges from < 1 up to as high as about $3,000 \text{ Bq}[^{228}\text{Ra}]/\text{g}$ and even up to $15,000 \text{ Bq}[^{226}\text{Ra}]/\text{g}$. ^{210}Pb activity concentrations are much lower and due to ingrowth from the mother nuclide depends strongly on the time the scale resided inside the facilities. They range from < 1 to $75 \text{ Bq}[^{210}\text{Pb}]/\text{g}$. Due to the dilution with oily substances activity concentrations in sludge are generally lower than those in scale. They range from < 1 to $800 \text{ Bq}[^{226}\text{Ra}]/\text{g}$ and $50 \text{ Bq}[^{228}\text{Ra}]/\text{g}$. However, ^{210}Pb activity concentrations in sludge can be higher than those in scale: up to $1,300 \text{ Bq}[^{210}\text{Pb}]/\text{g}$.

Due to the relatively high NOR contents in scale, sludge and other residues from gas/oil production and/or treatment facilities, facility workers may contract radiation doses which from a radiation protection point of view cannot be ignored. During gas/oil production operations contracted doses will be mainly caused by enhanced gamma dose rates around the facilities. However, maintenance and cleaning of equipment of NOR-contaminated plant parts and equipment, treatment of NOR-contaminated residues and their disposal may lead to radiation exposure of workers. Once approved by the competent authority, for final NORM disposal also any future does to the public at large have to be assessed beforehand. Especially, the contracted radiation dose by workers may be in a range, which according to the basic principles of radiation protection requires the establishment of HSE measures. Consequently, scale, sludge and other residues of the gas/oil industry meet the NORM definition.

The basic principles of radiation protection are laid down in European standards and in building on these standards, national regulations for the protection of humans against the harmful effects of ionising radiation.

2 European standards to ensure the radiation protection of workers in the gas/oil industry

2.1 The 96/29 EURATOM directive

In Directive 96/29 of the Council of the European Union [i] the basic principles of radiation protection have been laid down that should be applied for those jobs where the mere presence of natural radiation sources may lead to a significant increase in radiation exposure of workers or public at large and that the contracted dose cannot be ignored from the viewpoint of radiation protection (Article 2, paragraph 2). Member States are obliged to identify such work (Article 40 Paragraph 2) and, if deemed necessary, indicate actions to reduce exposures and to control unavoidable exposures (Article 41). The gas/oil industry has been listed as an industry where increased radiation exposure to workers may occur [vi]. As a criterion for increased radiation exposure is generally an annual effective dose of 1 mSv (dose limit for the public at large).

The activity concentrations encountered in scale, sludge and other residues and consequently the potential level of radiation exposures are largely dependent on reservoir and production conditions. As a conservative approach it must be assumed increased radiation exposure to workers generally occurs in the gas/oil industry [vi]. However, it is at the discretion of national authorities if and how the standards (Article 41 of Directive 96/29) will be applied. In practice this resulted at different implementations in the Member States. This also applies to the gas/oil industry.

2.2 Draft of the revised European standards

With the revision of the European standards [vii] the European Commission aims to adopt the stricter requirements for the enforcement of radiation protection principles to achieve a consistent approach in Member State. This also is applicable to the standards for radiation protection in NORM industries. In Annex 8 of the draft European Standard, the relevant industries are specifically mentioned, including the gas/oil industry, which in principle fall within the scope of the standards. In Annex 9 of the draft a procedure is described – comparing activity concentration of relevant NOR's in contaminated materials (scales, sludge, etc.) with the exemption values derived via conservative dose assessment by the Commission – that will decide on the need for application of the standards.

In terms of work places it can be deduced that each worker of a business, in which materials with activity concentrations above exempted concentrations are present, will be subjected to the standards. This group of workers will significantly be limited by introducing the term 'exposed worker'. 'Exposed workers' are employees carrying out 'work activities' so that their radiation dose will be exceeding the dose limit for the public at large (annual effective dose of 1 mSv). Consequently, the standards are only applied to this group of employees. Because of the different exposure conditions in gas/oil production and treatment facilities (the encounter of NORM deposits in facilities depends on a number of technical and technological production conditions and associated potential accumulation of scale or sludge), the relevant group of employees has to be identified for each individual company. Consequently, companies are obligated to categorise all jobs systematically in terms of potential radiation exposure *c.q.* dose.

3 Assessment of job related exposures in the gas/oil industry

3.1 Exposure scenarios and exposure pathways

Gas/oil industry workers may contract radiation doses via

- external irradiation from deposits in tubulars, flow lines and tank residues (scale, sludge) during production (operations – closed system),
- external irradiation from residues during maintenance or cleaning work (maintenance/cleaning - open system),
- external irradiation during treatment and packaging of residues,
- inhalation of airborne NOR's during maintenance (e.g. pump repairs, well head refurbishments) or cleaning (e.g. scale/sludge removal from flow lines/separators) work,
- inhalation of NOR's during treatment, transport and disposal of residues

Extensive investigations were conducted to evaluate the significance of exposure scenarios and exposure pathways of potential radiation exposure of workers. In general, maintenance and cleaning work and also sorting and packing of NORM residues are considered to be exposure scenarios that require special attention (see also [iv]). Radiation exposure to external radiation is usually a good indicator for the overall exposure. Just like ingestion, the inhalation of airborne NOR's can largely be avoided in accordance with the conventionally established HSE measures.

Which exposure scenarios have to be considered on a case by case basis can only be determined by scrutinising the actual operational, maintenance or cleaning work activities (time intervals for scale or sludge accumulation in the facilities, for maintenance or cleaning) and should be performed primarily by dose rate measurements and personal dosimeters. Based on work exposure scenario's [iv] external radiation exposures exceeding 4 μSv per shift (8 hours) should be paid attention from a radiation protection point of view. With a working time of 2000 hours per year the worker would contract an effective dose of 1 mSv just equalling the worker annual dose limit.

3.2 Measurements and calculations to evaluate the external radiation exposure

The radiation exposure due to external or gamma radiation can also be determined by measuring the ambient dose equivalent $H^*(10)$ or the ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ and residence time. The measurements should be carried out at the places, where the workers actually reside during their work activity, but as a conservative approach the ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ at 1 m height and 1 m from a NOR-contaminated installation may be used in dose assessments. Of course the monitoring instruments should be suitable for measurement of the ambient dose equivalent $H^*(10)$ or the ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ and should comply with other HSE measures (e.g. intrinsically safe in explosion zones). Suitable monitors for the carrying out of official measurements are available on the website of the Physikalische Technische Bundesanstalt www.ptb.de published.

From measured ambient dose equivalent rates the annual effective dose E can be computed in mSv

$$E = f \cdot \square^{*(10)} \cdot t_A \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

where

f conversion factor of the ambient dose equivalent to effective dose to workers (in this case approximately 1),

$\square^{*(10)}$ measured value for ambient dose equivalent rate in $\mu\text{Sv/h}$ and

t_A residence time (working time) at the place of measurement h/a.

To achieve a realistic assessment of radiation exposure in the workplace it is important to note that for the calculation of radiation exposure (usually the annual effective dose) only the measurements for situations will be used that in terms of radiation exposures are realistic (actual working time under exposure conditions, representative values of the ambient dose equivalent rate at the place under consideration). If several exposure places are relevant for a worker, the results of each calculation should be summed. Places of potential exposure, for which systematic measurements of the ambient dose equivalent rate must be carried out, should be identified by screening measurements at those places.

The radiation exposure due to external gamma radiation can also be determined directly by measurement. For this, the worker dose is monitored by whole body gamma dosimeters. Suitable measuring devices that have to be worn by the monitored worker, like passive Thermo-Luminescent Dosimeters (TLD) or Electronic Personal Dose (rate) monitors (EPD, not to be used in explosion zones), should be provided and evaluated for official dose recording according the Radiation Protection Ordinance [viii]. Whole body dosimeters should primarily be used to monitor workers if the exposure levels are subject to large fluctuations at the workplaces. Individuals, for whom monitoring with whole body dosimeters is useful, should be identified on the basis of potential exposure derived from job dose assessments. This should include screening dose rate measurements with dose rate/dose monitors with logging capabilities so that both dose rate and hours spent in the radiation field can be estimated.

3.3 Measurements and calculations to determine the radiation exposure from the inhalation of dust

For the estimation of radiation exposure due to inhalation of airborne NOR's their concentration in ambient air must be determined by air monitors at the workplace. Then, the annual effective dose be calculated by using the relationship

$$E = V \cdot t_A \cdot \sum DCC_{inh,i} \cdot c_i \quad (2)$$

where

V worker breathing rate: under normal conditions $1.2 \text{ m}^3[\text{air}]/\text{h}$,

t_A residence time (working time) in the supervised workplace in h/a,

$DCC_{inh,i}$ dose conversion factor for inhalation of NOR i in $\text{Sv/Bq}[\text{NOR}_i]$,

c_i airborne concentration for NOR i in $\text{Bq}[\text{NOR}_i]/\text{m}^3[\text{air}]$

The relevant DCC_{inh} have been published [viii] and are summarized in the table below

NOR	DCC_{inh} : AMAD = 5 μm
^{226}Ra	$2.2 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
^{210}Pb	$1.1 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
^{210}Po	$2.2 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
^{228}Ra	$1.7 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
^{228}Th	$2.5 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq
^{224}Ra	$2.4 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq

The NOR concentration in ambient air cannot be derived from the NOR activity concentrations in the residues, the root cause of radiation exposure in the workplace. These concentrations have to be measured. Breathing air is sampled by area monitors located in the workplace, where airborne particulates are collected on an appropriate HEPA filter (preferable a membrane filter). More accurate data can be obtained by personal air sampling. Devices used for air sampling should have been approved by a Labour Institute for Occupational Safety. The HEPA filters are analyzed for the amount of dusty material collected and the NOR activity concentrations determined. Measurements should be taken by qualified laboratories. In most cases, the determination of NOR's ^{226}Ra and ^{210}Pb , ^{228}Ra and ^{228}Th will be sufficient from a dose point of view.

In monitoring practice, the measurement of the respirator filter worn by a worker during a supervised job proved to be a simple and reliable method for inhalation dose determination. Here the material collected on the filter of the respirator should be measured and analysed for the relevant NOR's present and their activity concentration. In general the effectiveness of respirators used is about 99%. The on the mask collected activity thus corresponds in good approximation to the activity that would have been inhaled without wearing the mask during the monitoring time.

The annual effective dose inhalation component in case no filter respirator is worn, is calculated by

$$E = t_A/T \cdot \sum DCC_{inh,i} \cdot a_i \quad (3)$$

where

- t_A residence time (working time) in the supervised workplace in h/a,
- T time period that respiratory mask is worn in h,
- $DCC_{inh,i}$ dose conversion factor for inhalation of NOR i in Sv/Bq[NOR _{i}],
- a_i collected activity for NOR i on the respiratory filter in Bq[NOR _{i}]

4 Radiation protection measures

The basic requirements of radiation protection of employees are defined Title VI, Article 18 [i]. Radiation protection measures are required, if potential exposures are expected to exceed annual dose limit for the public at large: 1 mSv/a. The radiation protection measures must be proportionate to the situation.

Possible measures can be derived from equations (1) and (2), since the annual effective dose linearly depends on the ambient dose equivalent rate at the workplace, on the airborne NOR concentration in ambient air at the workplace and on the relevant time spent at the workplace. The measures can be summarized as the following principles:

1. Detection of radioactive contamination by regular surveys and measurement of local dose rates. Upon significant increase in dose rate the characteristics and amount of radioactive contamination and potential radiation exposures of workers should be carried out.
2. Review of operations and the working hours spent for each the job, especially if they substantial contribute to the annual effective dose and optimization of residence in view of radiation protection. Review at reasonable intervals.
3. Avoidance of dust generation in analysis, cutting and cleaning operations (e.g. keeping residues and deposits moist during work activities).
4. Consistent use of individual protective breathing equipment, especially during maintenance with unavoidable dust.
5. Wearing protective clothing.
6. Preventing the spread of radioactive contamination.
7. Refraining from smoking, eating and drinking on the job.

What kind of measures in individual cases must be taken depends on the operational situation.

5 Residues

5.1 Characteristics of residues

Risks related to residues (e.g. sludge from containers and tanks, scale or scale suspensions) may be high during maintenance and especially during cleaning of equipment and systems. The activity concentrations of the residues can vary widely and can reach substantial values (e.g. up to 15,000 Bq[²²⁶Ra]/g or 3000Bq[²²⁸Ra]/g, see section 1). It should be noted that in addition to the presence of NOR's in residues, many other ingredients (organic substances, chemicals, heavy metals, particularly lead, zinc and mercury), which may require additional protection measures for recovery and disposal. Up to now recycling of residues has occurred only in some exceptional cases. One example is the extraction of mercury from such residues [ix]. In general, the resulting residues will be disposed of.

5.2 Radiation protection principles for the management of residues

The management of NORM residues – including residues from gas/oil industry – by the Member States of the European Community should be in accordance with the

requirements of Article 40 and 41 of the European BSS [i]. The Member States shall ensure the

- identification of work activities involving storage of materials containing NOR's, causing a significant increase in the exposure of workers and, where appropriate of members of the public (Article 40 Paragraph 2. b of the European BSS), and
- application of radiation protection measures pursuant to all or some of the relevant Articles of the European BSS.

The European BSS state that both the disposal of waste generated from any practice and the reuse or recycling of such materials is subject to authorisation. The definition of disposal refers both to the placement of solid waste in a disposal site and the dispersion in the environment in a more general sense.

However the European Commission established clearance levels, below which the disposal, reuse, recycling or discharge can be released from the requirements of the of the Standards – general clearance criteria. The radiological model used for deriving general clearance levels accounts for all pathways of radiation exposure.

The general clearance levels specified for the NOR's applied in the current practice are specified in Annex I of the European BSS [i] and are also published in the report Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption (RP 122) [x]. As an example the clearance level for ^{226}Ra is 10 Bq/g. From such a level it can be concluded that numerous residues from the gas/oil industry are relevant from a radiation protection point of view.

In case of a mixture of NOR's in waste the formula

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{CL_i} \leq 1 \quad (4)$$

has to be applied, where C_i is the activity concentration of the NOR i in the material and CL_i the clearance level for this NOR.

In addition the EC recommends to the Member States to define specific clearance levels for different options, e.g. for disposal. These specific clearance levels are not so restrictive as the clearance levels for general clearance.

While the clearance levels may be defined very well generically, the decision whether to apply the clearance levels is an individual decision of the competent authority on the basis of the case-by-case evaluation of the work activity generating the contaminated material. The clearance levels are also useful for the undertaking in order to organize an internal waste management system. The undertaking can judge whether any of the waste streams comply with clearance levels but it is for authorities to decide.

5.3 Examples for the disposal of residues

In Norway gas-oil industry NORM is put in barrels to be placed in a created tunnel network underneath the granite mountains, which are ultimately poured into concrete for final disposal [xi]. In this way radiation exposure of the public at large is excluded

for a substantial long period of time. The radiation exposure to workers during transport and work in the underground network are also below the 1 mSv/a.

Germany has no underground disposal option for NORM. The underground storage in Germany accept, with the exception of contaminated dust filters, no residues with activity concentrations exceeding the general monitoring concentration for underground disposal of Radiation Protection Ordinance "C" = 5 Bq/g. The disposal of hydrocarbon-containing sludge, particularly mercury (Hg)-containing sludge is only possible after pre-treatment, e.g. detoxification, solidification. For detoxification, the residue is incinerated either in a special waste treatment plant, partly after conditioning by mixing Hg-contaminated with Hg-free waste. Both sludge with mercury levels > 1 g[Hg]/kg[dry matter], and generally NORM waste with higher activity concentrations, are de-mercurised. The residues from the incineration or the de-mercurisation process are disposed of in a prescribed manner. The residues from the extraction of mercury (mercury removal) [ix] are solidified before disposal with a sulphate-resistant geopolymer concrete. Extensive studies have shown that radionuclides from these polymers even after prolonged periods (> 1,000 years) are not released. Because radium NOR's are incorporated in the crystal lattice of virtually water insoluble group II sulphates, contamination of groundwater and thus radiation exposure that could occur on the path of exposure "water" existence is ruled out.

Only low activity concentrations residues, which are not classified as dangerous, may be incinerated. Incineration residues only have activity concentrations below the general supervision of limit for shallow disposal with "C" = 1 Bq/g. In exceptional cases, final deposition in a hazardous waste landfill requires some additional technical security measures. These consist of a special construction like encapsulation in a clay layer and covering with a fly ash-cement suspension.

Since the radiation exposure of personnel during disposal of residues in the landfill are far below 1 mSv/a, were the residues released from supervision.

6 Transport of residues

6.1 Requirements for transport

The requirements for the transport of NORM have been established in the international regulations for the transport of radioactive materials [iii], which are generally implemented in national legislation as well. The provisions of the "Europäische Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße" (acronym ADR) [xii] and the "Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr" (acronym RID) [xiii] include the IAEA transport regulations [iii]. For radioactive material from a defined sum activity, the provisions of the Dangerous Goods Class 7 prevail. Therefore it has to be decided when these regulations actually do apply. According the ADR, the residues do not have to be classified as dangerous goods class 7, when the sum of the values of the NOR concentrations in the residue value will be in the 10 to 100 Bq/g range (NOR sum rule computation required). If the sum rule indicates that the limits are not exceeded according the terminology of ADR/RID one is dealing with exempt material, not subjected to ADR. If the total NOR activity of the relevant NOR's will be in the 1,000 to 10,000 Bq (NOR

sum rule computation required) ADR/RID requirements are also not applicable. Consequently the total activity in the package has to be checked.

Non-exempt material and shipments can be transported as an excepted package provided that the amount of material is limited in the package. Though excepted packages are subjected to class 7 prescription, it is not required to label the outside marked with the ISO radioactivity symbol, but only with UN number 2910.

Materials which are fully subject to class 7 ADR/RID, are either classified as LSA (Low Specific Activity) or SCO (Surface Contaminated Object) and require officially approved transport packaging.

6.2 Radiation protection during transport

Some studies were conducted to determine the radiation exposure of workers during transport of residues from gas-oil industry [ix, xi, xiv]. It has been established in an investigation including transport of distinct materials, that the transport itself does not lead to significant radiation exposure to workers in [xiv]. The assessed annual effective doses are < 0.2 mSv. The results of this investigations agree with other studies carried out [ix, xi]. Consequently all assessments lead to the conclusion that the annual effective dose of a truck driver in the transport of gas/oil industry NORM will generally < 1 mSv. Radiation protection control during transport is not necessary. According the other two studies [ix, xi] this is also valid for employees at the NORM disposal site.

7 Literature

- i European Commission Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers from ionising radiation Official Journal of the European Commission, L 159, Vol. 30, 29 June 1996
- ii F.A. Hartog, W.A.I. Knaepen and G. Jonkers, Radioactive Lead: an Underestimated NORM Issue?, Proceedings of the 1995 API and GRI Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) Conference, API publication 7104, 1997. A.P. Schmidt, NORM in the Gas/Oil Industry – Origin, Transport and Deposition of Stable Lead and ^{210}Pb from Dutch Gas reservoirs, thesis, 2000, University of Utrecht, the Netherlands.
F.A. Hartog, G. Jonkers, A.P. Schmidt, and R.D. Schuiling, Lead Deposits in Dutch Natural Gas Systems, SPE paper 78147, 2002, Society of Petroleum Engineers.
- iii International Atomic Energy Agency, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2009)
- iv E.M. Steffan, Risk Evaluation Process – Build-up of exposure scenarios for the E&P industry, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd – 25th November 2010
- v G. Jonkers, F.A. Hartog, W.A.I. Knaepen and P.F.J. Lancée, Characterisation of NORM in the Oil and Gas Production (E&P) Industry, International Symposium on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry (aka NORM I), September 8 -10, 1997, Amsterdam, the Netherlands.
- vi European Commission: Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of NOR's EUR-STR-095
- vii European Commission: Draft of The European Basic Safety Standards Directive, Version 24. February 2010
- viii Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition: Dosiskoeffizienten bei innerer beruflicher Strahlenexposition, Bundesanzeiger Verlagsges. Köln 2001
- ix Schulz, H. Mothes, W.: Dose assessment for workers at mercury recycling of sludge and scale from natural gas production, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- x European Commission: Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of NOR's EUR-STR-095
- xi Varskog, P.: Exposure to radiation in an underground NORM repository, EAN-NORM 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010
- xii Anlagen A und B zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (BGBl. 1969 II S. 1489), in der Fassung der Bekanntmachung der Anlagen A und B vom 07.04.2009 (BGBl. II S. 396)
- xiii Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr, http://www.otif.org/fileadmin/user_upload/otif_verlinkte_files/05_gef_guet/06_notif_i_10/NOT_2011_D.pdf
- xiv Weiss, D., Feige, S.: Scenarios concerning transportation of NORM in Germany, EAN_{NORM} 3rd Workshop, Dresden 23rd - 25th November 2010

| 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