

Arbeitsgemeinschaft

HGN Hydrogeologie GmbH

Magdeburg

IAF - Radioökologie GmbH

Dresden

Öko Institut e.V.

Darmstadt

Abschlussbericht

zum Vorhaben SR 2416 des Bundesamtes für Strahlenschutz

Mengenaufkommen an NORM-Rückständen für das deutsche Entsorgungskonzept

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

Kurzbezeichnung	:	Mengenaufkommen NORM für dt. Entsorgungskonzept
Auftraggeber	:	Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 12 06 29, 53 048 Bonn <u>vertreten durch:</u> Bundesamt für Strahlenschutz, PF 10 01 41 38 201 Salzgitter
Vertrag vom	:	10.08.2001
Text	:	225 Seiten
Anlagen	:	2
Federführende Bearbeiter	:	Dr. habil. Rainer Gellermann (HGN) Dr. habil. Hartmut Schulz (IAF) Dipl.-Phys. Christian Küppers (Öko-Institut)
Mitarbeit		Bernhard Becker (HGN) Simone Mohr (Öko-Institut) Astrid Schellenberger (IAF)
Magdeburg, den 31.10.2003 HGN Hydrogeologie GmbH	Dresden, den 31.10.2003 IAF-Radioökologie GmbH	Darmstadt, den 31.10.2003 Öko-Institut e.V.
----- Dr. Rainer Gellermann (Niederlassungsleiter)	----- Gez. Dr. Hartmut Schulz	----- Gez. Christian Küppers
Verteiler:	5 x Auftraggeber 1 x HGN	1 x IAF 1 x Öko-Institut

HGN Hydrogeologie GmbH • Niederlassung Magdeburg • Lübecker Straße 53-63 • 39124 Magdeburg
Tel.: 03 91 / 24 47 28-0 • Fax: 03 91 / 24 47 28-9 • E-Mail: magdeburg@hgn-online.de

IAF-Radioökologie GmbH Dresden • Karpatenstraße 20 • 01326 Dresden
Tel.: 03 51 / 26330-0 • Fax: 03 51 / 26330-22 • E-Mail: info@iaf-dresden.de

Öko-Institut e.V. • Niederlassung Darmstadt • Elisabethenstraße 55-57 • 64283 Darmstadt
Tel.: 06151 / 8191-0 • Fax: 06151 / 81 91-10 • E-Mail: c.kueppers@oeko.de

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Aufgabenstellung	14
1.1	Veranlassung	14
1.2	Aufgabenstellung	14
1.3	Voraussetzungen der Bearbeitung	15
1.4	Planung und Ablauf des Vorhabens	15
1.5	Wissenschaftlicher und technischer Stand	16
1.6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	16
2	Grundlagen	17
2.1	Grundbegriffe	17
2.2	Rückstände nach Anlage XII Teil A StrlSchV	22
2.3	Charakterisierung TENORM bildender Prozesse	22
2.4	Entstehung radioaktiver NORM-Abfälle	25
2.5	Vorabprüfung zur Eingrenzung relevanter Bereiche	27
2.5.1	Studien des BMU zur Abfassung der Positivliste von Rückständen.....	27
2.5.2	Weitere TENORM bildende Prozesse.....	28
2.5.3	Materialien bei Arbeiten nach Anlage XI Teil B	29
2.5.4	Zusatz natürlicher Radionuklide zu Produkten	30
2.5.5	Zweckgerichtete Verwendung von natürlich vorkommenden Radionukliden	32
2.5.6	Sonderfälle	33
2.6	Ausgeklammerte Materialien	34
3	Datenerhebung zum Mengengerüst	36
3.1	Durchführung der Recherchen	36
3.2	Ergebnisse	38
3.3	Bewertung der Rechercheergebnisse	45
3.3.1	Behörden / Ämter	45
3.3.2	Verbände und Wirtschaft.....	46
3.4	Schlussfolgerungen aus den Recherchen	46
4	Aktueller Sachstand zu Art und Mengenaufkommen von NORM-Rückständen	48
4.1	Vorbemerkung	48
4.2	Zuordnungsbereich 1: Überwachungsbedürftige Rückstände	49
4.2.1	Rückstände der Erdöl- und Erdgas-Gewinnung (Anl. XII Teil A Punkt 1 StrlSchV).....	49
4.2.2	Rückstände aus der Verarbeitung von Rohphosphat (Anl. XII Teil A Punkt 2 StrlSchV).....	53
4.2.3	Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit (Anlage XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)	54
4.2.4	Rückstände der Aufbereitung von Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)	55
4.2.5	Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Erzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV).....	57
4.2.6	Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Uranerzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)	58
4.2.7	Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Kupferschiefererzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)	58
4.2.8	Rückstände aus der Gewinnung und Aufbereitung von Zinnerzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)	58
4.2.9	Rückstände aus Gewinnung, Aufbereitung oder Weiterverarbeitung anderer Rohstoffe (Anlage XII Teil A Punkt 3b StrlSchV)	58
4.2.10	Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Roheisenmetallurgie (Primärverhüttung) (Anlage XII Teil A Punkt 4 StrlSchV).....	61
4.2.11	Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Nichteisenmetallurgie (Primärverhüttung) (Anlage XII Teil A Punkt 4 StrlSchV)	62
4.2.12	Formstücke (Anlage XII Teil A Punkt b))	64
4.2.13	Hinterlassenschaften mit Rückständen aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten (Anlage XII Teil A Punkt c).....	65
4.3	Zuordnungsbereich 2: Sonstige überwachte Rückstände	68
4.3.1	Ablagerungen aus der Verarbeitung von Rohphosphat	68
4.3.2	Schlämme, Ablagerungen der Grubenentwässerung	68
4.3.3	Materialien, Anlagenteile der Geothermie	69
4.3.4	Materialien der Wasserwirtschaft	70
4.3.4.1	Betrachtete Bereiche	70
4.3.4.2	Wasserwerksschlämme	70

4.3.4.3	Materialien aus der Aufbereitung von Mineralwasser	73
4.3.4.4	Materialien aus der Nutzung von Heilwasser	74
4.3.5	Materialien der Bodenluft- und Grundwassersanierung	75
4.3.6	Flusssedimente in Gebieten mit radioaktiven Ableitungen	77
4.3.7	Materialien aus der Papierindustrie, Zellstoffindustrie	78
4.3.8	Materialien in Klimaanlage und Be-/Entlüftungssystemen	79
4.3.9	Mineralsande, mineralsandhaltige Produkte	80
4.3.10	Materialien aus Arbeitsfeldern der Anlage XI Teil B StrlSchV	81
4.3.11	Probenmaterial	81
4.3.12	Filterstäube aus der Verhüttung von Sekundärrohstoffen	82
4.4	Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien (Verwertung, Recycling)	82
4.4.1	Schmelzanlage GERTA	82
4.4.2	Quecksilberzyklisierung der Fa. GMR Leipzig	83
4.4.3	Verbrennungsanlage der Fa. Infraser	85
4.5	Zusammenfassende Bewertung der Rechercheergebnisse	86
5	Aktueller Sachstand zu Art und Mengenauflommen anderer Materialien	87
5.1	Vorbemerkung	87
5.2	Zuordnungsbereich 3: Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten	88
5.2.1	Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden	88
5.2.2	Handhabung thoriierter Gasglühkörper	89
5.2.3	Verwendung von natürlichem Uran oder natürlichem Thorium zu chemischen Zwecken	91
5.2.4	Handhabung thoriierter Legierungen	92
5.2.5	Arbeiten mit uran- oder thoriumhaltigen Produkten	93
5.3	Zuordnungsbereich 4: Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern	93
5.3.1	Herstellung von thorierten Schweißelektroden	93
5.3.2	Herstellung von Gasglühkörpern/-strümpfen	94
5.3.3	Herstellung von Lampen mit thorierten Elektroden	95
5.3.4	Verwendung von Uran bei der Herstellung von Produkten	95
5.3.5	Thorierte Oberflächenvergütung in der Optik	96
5.3.6	Produkte mit Zusatz von Mineralen erhöhter Radioaktivität	96
5.4	Zuordnungsbereich 5: Funde und Erlangen der tatsächlichen Gewalt	97
5.4.1	Materialien aus Funden	97
5.4.2	Materialien durch Erlangen der tatsächlichen Gewalt	101
5.5	Zuordnungsbereich 6: Abfälle aus dem Umgang mit Stoffen	102
5.6	Ergänzende Angaben zum Mengenauflommen	103
5.6.1	Bestände an Thorium und Radium in Landessammelstellen und Lagern	103
5.6.2	Import von Abfällen nach KrW-/AbfG	104
5.7	Zusammenfassende Bewertung der Rechercheergebnisse zu anderen Materialien	107
6	Erstellung eines Aktivitäts-Mengengerüsts für NORM-Rückstände	108
6.1	Vorbemerkung	108
6.2	Zuordnungsbereich 1: Überwachungsbedürftige Rückstände	110
6.2.1	Rückstände der Erdöl- und Erdgas-Industrie	110
6.2.2	Rückstände aus der Verarbeitung von Rohphosphat	113
6.2.3	Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit	114
6.2.4	Rückstände aus der Aufbereitung von Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth	115
6.2.5	Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Mineralen	117
6.2.6	Rückstände aus der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe	117
6.2.7	Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Roheisenmetallurgie (Primärverhüttung)	119
6.2.8	Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Nichteisenmetallurgie (Primärverhüttung)	120
6.2.9	Formstücke	121
6.2.10	Hinterlassenschaften	122
6.3	Zuordnungsbereich 2: Sonstige überwachte Rückstände	124
6.3.1	Materialien der Wasserwirtschaft	124
6.3.1.1	Wasserwerksschlämme	124
6.3.1.2	Materialien aus der Nutzung von Mineral- und Heilwasser	125
6.3.2	Flusssedimente	126
6.3.3	Mineralsande und mineralsandhaltige Produkte	126
6.4	Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen / sonstigen überwachten Materialien	127
6.4.1	Schmelzanlage GERTA	127
6.4.2	Quecksilberzyklisierung der Fa. GMR Leipzig	128
6.5	Zusammengefasstes Aktivitäts-Mengengerüst für NORM-Rückstände	128

7	Erstellung eines Aktivitäts-Mengengerüsts für andere Materialien	131
7.1	Vorbemerkung	131
7.2	Zuordnungsbereich 3: Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten	131
7.2.1	Thorierte Schweißelektroden	131
7.2.2	Gasglühkörper	132
7.2.3	Thoriumverbindungen zu chemischen Zwecken	132
7.2.4	Materialien aus Arbeiten mit thorierten Legierungen	133
7.2.5	Arbeiten mit uran- oder thoriumhaltigen Produkten	133
7.3	Zuordnungsbereich 4: Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten	133
7.3.1	Herstellung von thorierten Schweißelektroden	133
7.3.2	Herstellung von Gasglühkörpern/-strümpfen	133
7.3.3	Herstellung von Lampen mit thorierten Elektroden	134
7.3.4	Verwendung von Uran bei der Herstellung von Produkten	134
7.3.5	Thorierte Oberflächenvergütung in der Optik	135
7.4	Zuordnungsbereich 5: Fund und Erlangen der tatsächlichen Gewalt	135
7.5	Zusammengefasstes Aktivitäts-Mengen-Gerüst für andere Materialien	136
8	Einflussfaktoren auf das Mengenaufkommen	137
8.1	Vorbemerkung	137
8.2	Regelungen mit möglichen Auswirkungen auf das Mengenaufkommen	137
8.2.1	Gewerbeabfallverordnung	137
8.2.2	Trinkwasserverordnung, Mineral- und Tafelwasserverordnung	138
8.2.3	EU-Richtlinie zu Orphan-Strahlern	138
8.3	NORM-Rückstände	139
8.3.1	Überwachungsbedürftige Rückstände (Zuordnungsbereich 1)	139
8.3.2	Sonstige überwachte Rückstände (Zuordnungsbereich 2)	139
8.4	Andere überwachte Materialien	140
8.4.1	Materialien aus Arbeitsfeldern nach Anlage XI Teil B (Zuordnungsbereich 3)	140
8.4.2	Stoffe aus dem Zusetzen radioaktiver Stoffe zu Produkten (Zuordnungsbereich 4)	140
8.4.3	Zuordnungsbereich 5	140
9	Untersuchung der derzeitigen Praxis beim Umgang mit Rückständen und sonstigen Materialien; Prognose zukünftiger Vorgehensweisen	141
9.1	Vorbemerkung	141
9.2	Bisherige Praxis der Entsorgung	141
9.2.1	Rechtliche Grundlagen	141
9.2.2	Rückstände nach Anlage XII Teil A - Zuordnungsbereich 1	141
9.2.3	Überwachte sonstige Rückstände - Zuordnungsbereich 2	147
9.2.4	Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien	148
9.2.5	Materialien aus anzeigepflichtigen Arbeiten - Zuordnungsbereich 3	149
9.2.6	Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten - Zuordnungsbereich 4	150
9.2.7	Funde - Zuordnungsbereich 5	151
9.2.8	Zusammenfassung bisher praktizierter Entsorgungswege	152
9.3	Aktuelle Rahmenbedingungen der Entsorgung	154
9.3.1	Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen der Beseitigung	154
9.3.2	Verwertung von Materialien	157
9.4	Zu erwartende Praxis der Entsorgung von NORM-Rückständen	160
9.4.1	Grundsätze der Entsorgung	160
9.4.2	Entlassung nach § 98 StrlSchV	161
9.4.2.1	Entlassungskriterien	161
9.4.2.2	Nachweis der radiologischen Unbedenklichkeit	162
9.4.2.3	Radioökologische Aspekte der Nachweisführung	163
9.4.2.4	Annahmefähigkeit von Entsorgern	165
9.4.2.5	Limitierung der spezifischen Aktivität	168
9.4.2.6	Nachweis „ohne besondere Maßnahmen“	170
9.4.2.7	Transportkonditionierung von Rückständen	172
9.4.2.8	Immobilisierungsverfahren	173
9.4.3	Zu erwartende Entsorgungswege bei Entlassungen	173
9.4.3.1	Übersicht über Entsorgungswege	173
9.4.3.2	Beseitigung auf Deponien nach Entlassung / Genehmigung	176
9.4.3.3	Stoffliche Verwertung (Baustoff, Versatzmaterial)	177
9.4.3.4	Stoffliche Verwertung durch Rezyklierung	178
9.4.3.5	Energetische Verwertung	178
9.4.3.6	Abgabe an Fachfirmen oder Landessammelstellen	179

9.4.4	Anordnung von Entsorgungswegen	179
9.5	Zu erwartende Praxis der Entsorgung von anderen Materialien	180
9.5.1	Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten (Zuordnungsbereich 3).....	180
9.5.2	Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten (Zuordnungsbereich 4).....	181
9.5.3	Funde (Zuordnungsbereich 5).....	183
9.6	Abschätzung der mit der Entsorgung von NORM-Rückständen verbundenen Kosten	183
10	Identifikation von Materialien, die voraussichtlich im deutschen Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind	187
10.1	Geplante Entsorgung von NORM Rückständen als radioaktiver Abfall	187
10.2	Ursachen für den Verbleib von NORM-Rückständen in der Überwachung	187
10.3	Identifizierung von anderen überwachten Materialien, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden	190
10.4	Varianten für Prognosen des Aufkommens radioaktiver NORM-Abfälle	191
11	Mengengerüst für das deutsche Entsorgungskonzept	193
11.1	Vorbemerkung	193
11.2	Grundvariante	193
11.3	Mögliches zusätzliches Aufkommen	194
12	Untersuchung von Entsorgungsoptionen	197
12.1	Übersicht über Entsorgungsoptionen	197
12.2	Prüfung vorhandener Entsorgungswege	198
12.2.1	Abgabe an Dritte zur Konditionierung und Verpackung, Aufarbeitung oder Verwertung.....	198
12.2.2	Abgabe an Dritte zur Verwahrung und Beseitigung	200
12.2.3	Abgabe an Landessammelstellen	202
12.2.4	Zusammenfassende Einschätzung	204
12.3	Ergänzende Entsorgungsoptionen	205
12.3.1	Bau spezieller Deponien zur Beseitigung radioaktiver Abfälle mit NORM / TENORM	205
12.3.2	Nutzung vorhandener Deponien (speziell Sonderabfalldeponien, SAD).....	206
12.3.3	Nutzung vorhandener Entsorgungswege in genehmigte Anlagen der WISMUT GmbH	208
12.3.4	Errichtung von Langzeitlagern bzw. Zwischenlagern zur Verwahrung	210
12.3.5	Zusammenfassende Einschätzung	211
13	Abschätzung der mit der Beseitigung der NORM-Abfälle verbundenen Kosten.....	212
13.1	Grundvariante	212
13.2	Maximalvariante	212
13.3	Realistische Varianten	213
14	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	215
15	Quellennachweis.....	217

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Die natürlichen Zerfallsreihen inkl. wichtiger Nebenreihennuklide	17
Abbildung 2-2: Begriffe zur Charakterisierung von Stoffen bzw. Materialien mit natürlichen Radionukliden	20
Abbildung 2-3: Schematische Darstellung des Elementarprozesses der TENORM Bildung	23
Abbildung 4-1: Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ra-226-Aktivität in 229 Fässern mit Schlämmen und Reinigungsrückständen, die bei der GMR Leipzig vakuotheermisch behandelt wurden	84
Abbildung 4-2: Wie Abbildung 4-1 jedoch für eine andere Charge von 62 Fässern mit Schlämmen und Reinigungsrückständen	84
Abbildung 5-1: Aufschlüsselung von Funden mit NORM/TENORM (ohne Quellen) zu Materialklassen (Daten aus /77/, /78/ /79/, /80/)	99
Abbildung 5-2: Histogramm der spezifischen Aktivität von Funden mit NORM/TENORM, ohne Quellen /79/, /80/	100
Abbildung 9-1: Beispiel für ein Handlungskonzept bei Funden radioaktiver Stoffe durch Detektionsanlagen (nach /80/)	151
Abbildung 9-2: Vergleich von Inhalationsdosiskoeffizienten unterschiedlicher Inhalationsklassen (F, M, S) und bisher genutzte Werte nach Berechnungsgrundlage Bergbau (BglBb) /6/	164

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1-1: Vergleich des Begriffssystems der Teile 2 und 3 der StrlSchV vom 20.07.2001	18
Tabelle 2.2-1: Liste der zu berücksichtigenden Rückstände nach Anlage XII Teil A StrlSchV sowie der zu ihrer Bildung führenden Prozesse und Rohstoffe („Nr.“ entspricht der Gliederung von Satz 1 Anlage XII Teil A).....	22
Tabelle 2.3-1: Anreicherungsfaktoren EF von Radionukliden bei industriellen Prozessen (berechnet aus Daten nach /1/, ergänzt durch eigene Daten)	24
Tabelle 2.5-1: Vorabprüfung von Rückständen nach § 97 i.V. mit Anlage XII Teil A StrlSchV	28
Tabelle 2.5-2: TENORM bildende Prozesse außerhalb des Regelungsbereiches von § 97 StrlSchV	29
Tabelle 2.5-3: Freigrenzen für den Zusatz von Radionukliden zu Produkten.....	31
Tabelle 3.1-1: Übersicht der Kontakte zur vertiefenden Recherche (Behörden und Verbände)	37
Tabelle 3.2-1: Übersicht der Rechercheergebnisse bei Behörden, Ämtern – Darstellung spezifischer Aktivitäten und Aufkommen zu NORM/TENORM	39
Tabelle 3.2-2: Zusammengefasste Darstellung von Rechercheergebnissen aus Wirtschaftsunternehmen	41
Tabelle 3.2-3: Messergebnisse an Materialien der Roheisenverhüttung und Angaben zur Entsorgung der Abfälle /14/	43
Tabelle 3.2-4: Angaben BDSV zu radioaktiven Stoffen in Schrotten (s. Anlage 1)	44
Tabelle 4.2-1: Mengenaufkommen an NORM-Rückständen aus der Erdöl-/Erdgasindustrie	50
Tabelle 4.2-2: Hochgerechnetes Mengenaufkommen an NORM-Rückständen aus der Erdgasindustrie nach Angaben der GMR Leipzig für das Jahr 2002 /22/	50
Tabelle 4.2-3: Aktivitätsdifferenziertes Mengenaufkommen an NORM-Rückständen aus der Erdöl- Erdgasindustrie (Auswertung von Radionuklidanalysen der IAF-Radioökologie GmbH)	51
Tabelle 4.2-4: Spezifische Aktivität von Nb-Ta-Erzen und -Konzentraten	55
Tabelle 4.2-5: Import- und Exportzahlen von Rohstoffen und Produkten der Niob- und Tantalproduktion für das Jahr 1997 (Angaben in Tonnen, gerundet) /28/.....	56
Tabelle 4.2-6: Spezifische Aktivitäten in Theisenschlamm und Primärflugstaub der Kupferverhüttung /37/	62
Tabelle 4.2-7: Produktion von NE-Metallen in Deutschland im Jahr 2000 und 2001 /81/	63
Tabelle 4.2-8: Bodenkontaminationen aus der früheren Herstellung oder Verwendung natürlich radioaktiver Stoffe	65
Tabelle 4.3-1: Wirkungsgrad von Aufbereitungsverfahren bezüglich Radionuklidanreicherung aus Wasser	71
Tabelle 4.3-2: Häufigkeit von Ra-226 Konzentrationen in deutschen Trink- und Mineralwässern.....	71
Tabelle 4.3-3: Hochgerechnete Mengen an Wasserwerksschlämmen in Deutschland /136/	72
Tabelle 4.3-4: Rückstände der Wasserbehandlung bei der WISMUT GmbH /84/.....	76
Tabelle 4.3-5: Deutsche Flüsse mit lokal vorkommenden Anreicherungen natürlicher Radionuklide in Sedimenten > 0,2 Bq/g. Angabe der Maximalwerte	77
Tabelle 4.4-1: In 2002 bei GMR Leipzig demercurisierte Schlämme und daraus entstandene Materialien	83

Tabelle 4.4-2:	Aus den Ausgangsdaten (s. Abbildung 4-2) und der Anpassung an die Log-Normalverteilung berechnete Werte für Mittelwert und Streuung	85
Tabelle 5.2-1:	Angaben zur spezifischen Aktivität von WIG Elektroden (nach /66/, /145/)	88
Tabelle 5.2-2:	Messwerte der spezifische Aktivität von Gasglühkörpern (Werte in Bq/g)	90
Tabelle 5.2-3:	Mengen- und Aktivitätsaufkommen durch Gasglühstrümpfe pro Jahr.....	91
Tabelle 5.4-1:	Zusammenstellung von Funden radioaktiver Stoffe	98
Tabelle 5.4-2:	Aktivitätswerte für Meldepflicht für wasserwirtschaftliche Anlagen nach § 71 Abs. 3 StrlSchV(C ₇₁)	101
Tabelle 5.5-1:	Messergebnis Dichtungston SBF Quellon WP (Messung IAF).....	103
Tabelle 5.6-1:	Lagerbestände an Thorium und Radium mit über 1 MBq Aktivität (je Bezugsnuklid) (nach /11/), Angaben zum Zeitpunkt 1996.....	104
Tabelle 5.6-2:	Mengen importierter Abfälle, die NORM bzw. TENORM enthalten können	105
Tabelle 6.2-1:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Scales der Erdöl-/Erdgas-Industrie	110
Tabelle 6.2-2:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Anlagenteilen mit Scales der Erdöl-/Erdgasindustrie	111
Tabelle 6.2-3:	Aktivität - Massenverteilung von Schlämmen der Erdöl-/Erdgasindustrie	112
Tabelle 6.2-4:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Reinigungsgemischen mit Sandstrahlgut der Erdöl-/Erdgasindustrie.....	113
Tabelle 6.2-5:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von nicht aufbereiteten Phosphorgipsen.....	114
Tabelle 6.2-6:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rotschlamm der Bauxitverarbeitung	114
Tabelle 6.2-7:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rückständen der Ta-Produktion.....	115
Tabelle 6.2-8:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rückständen der Nb-Metallurgie (Pyrochlorschlacken)	116
Tabelle 6.2-9:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Stäuben aus dem Granitabbau	117
Tabelle 6.2-10:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Monazitsanden des Kaolinabbaus	118
Tabelle 6.2-11:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Sinterstäuben der Roheisenmetallurgie	119
Tabelle 6.2-12:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Hochofenschlämmen der Roheisenmetallurgie für Pb-210	120
Tabelle 6.2-13:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Stäuben der NE-Metallurgie	120
Tabelle 6.2-14:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Feuerfestmaterialien/Ofenausbruch auf Bauxitbasis.....	121
Tabelle 6.2-15:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Feuerfestmaterialien/Ofenausbruch auf Zirkonbasis.....	122
Tabelle 6.2-16:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung bei Hinterlassenschaften	123
Tabelle 6.3-1:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung bei Schlämmen aus Wasserwerksanlagen	124
Tabelle 6.3-2:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien aus Heil- und Mineralwassernutzungen.....	125
Tabelle 6.3-3:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Flusssedimenten	126
Tabelle 6.3-4:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien mit Mineralsanden	127

Tabelle 6.4-1:	Aktivitäts-Mengen Verteilung von Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen bzw. Materialien.....	127
Tabelle 6.4-2:	Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien der Quecksilberzyklisierung	128
Tabelle 6.5-1:	Zusammengefasstes Mengen-Aktivitätsgerüst für NORM-Rückstände	130
Tabelle 7.2-1:	Mengen-Aktivitätsgerüst für Reste thorierter Schweißelektroden aus Arbeiten	131
Tabelle 7.2-2:	Mengen-Aktivitätsgerüst für Reste aus der Verwendung von Gasglühkörpern.....	132
Tabelle 7.2-3:	Aktivitätsspezifisches Mengengerüst von Chemikalienresten	132
Tabelle 7.2-4:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten thorierter Legierungen.....	133
Tabelle 7.3-1:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten aus der Herstellung thorierter Schweißelektroden	133
Tabelle 7.3-2:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Gasglühkörperherstellung	134
Tabelle 7.3-3:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Lampenproduktion.....	134
Tabelle 7.3-4:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Verwendung von Uran	134
Tabelle 7.3-5:	Mengen-Aktivitäts-Gerüst für thoriierte Optiken.....	135
Tabelle 7.4-1:	Aktivitätsspezifisches Mengengerüst von Funden (ohne Quellen).....	135
Tabelle 7.5-1:	Aktivitäts-Mengen-Gerüst für andere Materialien	136
Tabelle 9.2-1:	Handlungsrahmen zur Beseitigung von festen natürlichen radioaktiven Stoffe der Erdöl-/Erdgasgewinnung bis 2001 (aus /110/(*))	142
Tabelle 9.2-2:	Entsorgungswege von Materialien aus Sanierungs- und Rückbauarbeiten kontaminierter Standorte ab 1990, (Beispiele)	147
Tabelle 9.3-1:	Deponieklassen nach DepV (2002)	154
Tabelle 9.3-2:	Übertägige Sonderabfalldeponien und Untertagedeponien (UTD) in Deutschland	156
Tabelle 9.3-3:	Entsorgungskosten zur Beseitigung von Abfällen nach KrW-/AbfG auf Deponien....	157
Tabelle 9.3-4:	Entsorgungskosten zur Verwertung von Abfällen nach KrW-/AbfG.....	159
Tabelle 9.4-1:	Rechercheergebnisse zur Annahmefähigkeit von Entsorgungsunternehmen gegenüber überwachungsbedürftigen Rückständen.....	166
Tabelle 9.4-2:	Freistellungswerte natürlicher Radionuklide von Regelungen der Klasse 7 ADR	168
Tabelle 9.4-3:	Erwartete Hauptentsorgungswege von überwachungsbedürftigen Rückstände	174
Tabelle 9.4-4:	Erwartete Hauptentsorgungswege von sonstigen überwachten Rückständen	175
Tabelle 9.5-1:	Erwartete Entsorgungswege für Materialien des Zuordnungsbereiches 3	180
Tabelle 9.5-2:	Erwartete Entsorgungswege für Materialien des Zuordnungsbereiches 4	182
Tabelle 9.6-1	184	
Tabelle 9.6-2	Abschätzung von Entsorgungskosten für NORM-Rückstände	185
Tabelle 10.2-1:	Zusammenstellung von Freistellungsgrenzen (C_{FG}) für verschiedene Materialien....	188
Tabelle 10.2-2:	Identifizierung von Materialien des Zuordnungsbereiches 1 mit möglichen ADR-Problemen bei der Entsorgung	189
Tabelle 10.2-3:	Identifizierung von Materialien des Zuordnungsbereiches 2 mit möglichen ADR-Problemen bei der Entsorgung	190
Tabelle 11.2-1:	Aufkommen an Materialien der Fallgruppen 1 und 2.....	193

Tabelle 11.3-1: Erwarteter Mengenanfall von ADR-relevanten NORM-Rückständen	195
Tabelle 11.3-2 Klassifizierung des Zusatzaufkommens nach Tabelle 11.3-1 nach Halbwertzeiten	196
Tabelle 12.2-1: NORM-relevante Aktivitätsgrenzwerte für radioaktive Abfälle der Landessammelstelle Niedersachsen (nach /176 /).....	202
Tabelle 12.2-2: Annahmepreise von Landessammelstellen für 2002 (Rechercheergebnis Öko- Institut)	203
Tabelle 12.2-3 Einmalige Annahmegebühr bei Ablieferung radioaktiver Abfälle, Landessammelstelle Baden-Württemberg, Stand 20.03.2002 (Rechercheergebnis Öko-Institut).....	204
Tabelle 12.3-1 Entsorgungsanlagen der WISMUT GmbH für radioaktive Materialien /155/	208
Tabelle 13.2-1 Schätzung von maximalen Entsorgungskosten für ein evtl. Zusatzaufkommen an NORM-Abfällen (Erläuterungen im Text beachten!).....	213
Tabelle 13.3-1 Kostenschätzung für realistische Entsorgungsoptionen	214

Anlagen

- Anlage 1** Antwortschreiben der Verbände und Behörden
- Anlage 2** Importstatistiken

Abkürzungsverzeichnis

ASN	Abfallschlüsselnummer
BB	Brandenburg
BE	Berlin
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
DB	Deutsche Bahn
GNS	Gesellschaft für Nukleare Sicherheit
HB	Hansestadt Bremen
HE	Hessen
HH	Hansestadt Hamburg
k. A.	Keine Angaben
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen
NORM	Naturally occurring radioactive materials
NW	Nordrhein-Westfalen
RP	Rheinland-Pfalz
SAD	Sonderabfalldeponie
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TENORM	Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials
TH	Thüringen
UTD	Untertagedeponie
VDEh	Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf
WEG	Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., Hannover

Verzeichnis der zitierten Gesetze und Verordnungen:

AbfAbIV	Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen (Abfallablagerungsverordnung) vom 20.02.2001
ADR	Europäisches Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 15.06.2001 zuletzt geändert durch die 15. Verordnung zur Änderung der Anlagen A und B zum ADR Übereinkommen (15. ADR-Änderungsverordnung – (15. ADRÄndV) vom 15. Juni 2001
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), vom 23. Dezember 1959, Neugefasst durch Bek. v. 15.7.1985 BGBl I 1565; zuletzt geändert durch Art. 70 G v. 21. 8.2002 BGBl I 3322
AVV	Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses von 10.12.2001
BergG	Bundesberggesetz vom 13. August 1980, BGBl I 1980, 1310, Zuletzt geändert durch Art. 38 G v. 21.8.2002 I 3322
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990
DepV	Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung vom 24.07.2002 (Deponieverordnung) BGBl I Nr. 52 v. 29.07.2002
EAKV	Verordnung zur Einführung des Europäischen Abfallkatalogs (EAK-Verordnung - EAKV) vom 13. September 1996, BGBl. III 2129-27-2-6.
EU 96/29	Richtlinie 96/29/EURATOM vom 13.05.1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen
GewAbfV	Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung) vom 19. Juni 2002
GGVS	Verordnung für die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse und mit Eisenbahnen, vom 10. Oktober 2000
GrwV	Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/ EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18.März 1997
HaldAO	Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien (Haldenanordnung – HaldAO) vom 17.11.1980, GBl Teil I, S. 347
KrW-/AbfG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) vom 27. September 1994
NachwV	Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise vom 10. September 1996, BGBl I 1996, 1382, (1997, 2860), Neugefasst durch Bek. v. 17.6.2002 I 2374; zuletzt geändert durch Art. 4 V v. 15.8.2002 I 3302
StrlSchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung), Artikel 1 der Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz vom 20. Juli 2001. BGBl. 38
StrlSchV (alt)	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 13.10.1976 in der Fassung der 2. Änderungsverordnung v. 18.05.1989

	(BGBl. I S. 943) und neu bekannt gemacht am 30.06.1989 (BGBl. I S. 1321) und berichtigt am 16.10.1989 (BGBl. I S. 1926).
StrVG	Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610). Zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 14.12.2001 I 3714
TA-Abfall	Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz vom 12. März 1991, GMBI. I S. 139, ber. S. 467
TASi	Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.10.1984. GBl. (DDR) Teil I Nr. 30 S. 341 vom 21.11.1984
VersatzV	Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage und zur Änderung von Vorschriften zum Abfallverzeichnis. BGBl I, S. 2833 vom 29. Juli 2002

1 Veranlassung, Aufgabenstellung

1.1 Veranlassung

Gegenwärtig werden beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Arbeiten durchgeführt, die auf eine möglichst umfassende fachliche Neubetrachtung der Entsorgung radioaktiver Abfälle zielen. Dabei sollen die derzeit vorhandenen und die künftig zu erwartenden Abfallarten, die jeweiligen Abfallmengen der verschiedenen Kategorien sowie die zugehörigen Behandlungs- und Entsorgungsschritte erfasst werden. Durch diese neue Datenbasis sollen Entsorgungsmöglichkeiten sowie -notwendigkeiten und vorhandene bzw. zu erwartende Engpässe bei Anlagen und Entsorgungswegen frühzeitig erkannt und im Sinne eines geschlossenen Konzeptes beseitigt werden.

Mit der EU-Richtlinie 96/29 zum Strahlenschutz der Bevölkerung und der Beschäftigten wurden erstmals radiologische Belastungen in der nichtnuklearen Industrie und im Bergbau rechtlich verbindlich thematisiert und Begrenzungen der Strahlenbelastung auch an solchen Arbeitsplätzen eingeführt, an denen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen umgegangen wird. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie in deutsches Recht durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung wird der Schutz der Bevölkerung und der Beschäftigten übernommen und definiert.

Die Umgestaltung des Strahlenschutzrechtes beeinflusst auch die eingangs beschriebene Neubewertung der Entsorgung. Müssen Stoffe dieser Art in nennenswertem Umfang zur Behandlung und Endlagerung in die derzeit vorhandenen Entsorgungswege eingeordnet werden, um die geforderten Schutzziele einzuhalten, kann sich ein mengenmäßig relevanter Einfluss auf Behandlungseinrichtungen, den Zwischenlagerbedarf sowie auf den Endlagerbedarf und die Endlagerbedingungen ergeben.

Da es derzeit eine Reihe von Entsorgungsmöglichkeiten für diese natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffe gibt, hängt der Umfang der zur Entsorgung anstehenden Abfallkategorien eng mit der Erfüllung der Schutzziele durch diese Entsorgungspraxis zusammen.

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ausgeschriebene Untersuchung SR 2416 „**Mengenaufkommen von NORM-Rückständen für das deutsche Entsorgungskonzept**“ soll insbesondere die derzeitige Praxis beim Umgang mit NORM erörtern und eine Abschätzung über die in das Entsorgungskonzept künftig einzustellenden Arten und Mengen solcher Abfälle liefern.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung wird in den Ausschreibungsunterlagen wie folgt beschrieben:

Allgemeine Aufgabenstellung:

Es sollen die Konsequenzen der o.g. Möglichkeiten für das deutsche Entsorgungskonzept radioaktiver Abfälle untersucht werden.

Vorgegebene Gliederung der Aufgabe:

- A1. Zusammenstellung vorliegender Erkenntnisse hinsichtlich Aufkommen und Charakterisierung von NORM-Rückständen.
- A2. Untersuchung der derzeitigen Praxis beim Umgang mit NORM-Rückständen, Prognose zukünftiger Vorgehensweisen.
- A3. Identifikation von NORM-Rückständen, die voraussichtlich im deutschen Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind, da eine Entlassung aus der Strahlenschutzüberwachung unwahrscheinlich erscheint.
- A4. Erstellung eines NORM-Mengengerüsts für überwachungsbedürftige NORM-Rückstände (Massen und Eigenschaften).
- A5. Untersuchung von Entsorgungsoptionen.
- A6. Abschätzung der mit der Beseitigung dieser NORM-Rückstände verbundenen Kosten.

1.3 Voraussetzungen der Bearbeitung

Die Bearbeitung basierte auf dem Kenntnisstand zu Arten und Mengenprofilen von NORM/ TENORM wie sie insbesondere in Vorbereitung der Novelle der StrlSchV in den Arbeiten der Fa. Brenk /5/,/7/ erarbeitet wurden. Daneben gingen die Erfahrungen des Bearbeiterteams sowohl bei der Konzeption als auch bei der Umsetzung der Bearbeitung ein. Aus diesen Erfahrungen heraus wurde abgeleitet, dass neben den Rückständen im Sinne der Anlage XII Teil A StrlSchV für die hier gestellte Aufgabe auch andere NORM/ TENORM einzubeziehen sind.

Grundlagen der Bearbeitung waren

- eine Literaturrecherche,
- eine Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen, deren Anwendung Rückstände deklariert, die nicht auf konventionellen Deponien entsorgt werden können,
- eine Recherche in den Bundesländern zu vorliegenden Erfahrungen im Umgang mit NORM/ TENORM,
- eine Recherche zur zu erwartenden Praxis bei der Entlassung sowie
- Recherchen in Bundesländern und Firmen/Verbänden zum Aufkommen an NORM/TENORM und zu Erfahrungen mit der Entsorgung.

1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens enthielt eine Strukturierung der Aufgabenstellung auf der Basis der Kenntnisse des Bearbeitungsteams, die in Abstimmung mit dem Auftraggeber präzisiert wurde. Daraus ergaben sich folgende wesentliche Arbeitsschwerpunkte und Arbeitsschritte.

1. Prüfung und Präzisierung des Begriffsystems der StrlSchV und Eingrenzung möglicher Herkunftsbereiche für radioaktive Abfälle aus NORM/ TENORM.

2. Ausdehnung der Aufgabe auf Materialien im Sinne der StrlSchV, die bei Arbeiten im Sinne der Anlage XI der StrlSchV, beim Zusatz natürlich radioaktiver Stoffe zu Produkten und ggf. in sonstigen Bereichen anfallen.
3. Datenerhebungen zum Mengengerüst der entsorgungsrelevanten NORM /TENORM in Deutschland.
4. Recherche der bisher etablierten Entsorgungswege für NORM/ TENORM und beabsichtigter Wege nach Neuregelung der StrlSchV.
5. Analyse von Problemfällen der Entlassung bzw. anderweitigen Aufhebung der Eigenschaft Radioaktivität im rechtlichen Sinne und daraus resultierende Mengen und Aktivitäten an Abfällen, die im deutschen Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind.
6. Darstellung von Entsorgungsoptionen der in einer Überwachung verbleibenden NORM/ TENORM mit Diskussion der praktischen Realisierbarkeit und Betrachtung der Kostenaspekte.

1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Bedeutung erhöhter natürlicher Radioaktivität für den Strahlenschutz von Beschäftigten und Personen der Bevölkerung ist seit Anfang der 1990er Jahre zunehmend erkannt worden. Nach Verabschiedung der EU-Grundnormenrichtlinie 29/96 wurden zahlreiche Untersuchungen industrieller Bereiche durchgeführt und publiziert, die einen Überblick über wesentliche Vorkommen und Anreicherungsprozesse natürlicher Radionuklide in gewerblich genutzten und/ oder als Abfälle entsorgten Materialien enthalten. Darstellungen dieser Ergebnisse sind insbesondere in den Tagungsberichten der NORM-Tagungen /1/, /2/, /3/, /4/ dokumentiert. Sie beschreiben die wichtigsten Arten von NORM/ TENORM in der Industrie und/ oder natürlichen Rohstoffen mit einzelfallbezogenen Daten bzw. Datenbereichen der spezifischen Aktivität und Nuklidzusammensetzung.

Bisher lagen jedoch keine Daten und Erkenntnisse vor, die ein aktivitäts-mengenbezogenes Gerüst für ganz Deutschland enthielten.

Einen Überblick über den Kenntnisstand vor Bearbeitung der Studie gibt der Abschnitt 2.5.

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen dieses Vorhabens erfolgte keine auf das Projekt bezogene Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb der Bietergemeinschaft.

2 Grundlagen

2.1 Grundbegriffe

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV¹) vom 20.07.2001 regelt den Schutz des Menschen und der Umwelt vor schädlicher Wirkung ionisierender Strahlung und legt Grundsätze und Anforderungen für Vorsorge- und Schutzmaßnahmen fest, die bei der Nutzung und Einwirkung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung zivilisatorischen und natürlichen Ursprungs anzuwenden sind. Die aus radiologischer Sicht wichtigsten natürlichen Radionuklide gehören zu den drei natürlich vorkommenden Zerfallsreihen (s. Abbildung 2-1).

Abbildung 2-1: Die natürlichen Zerfallsreihen inkl. wichtiger Nebenreihennuklide

	U-238 Reihe						Th-232 Reihe				U-235 Reihe					
U	238		234									235				
Pa		234											231			
Th	234		230				232		228			231		227		
Ac								228					227			
Ra			226				228		224					223		
Fr													(223)			
Rn			222						220					219		
At																
Po			218		214	210			216		212			215	(211)	
Bi				214		210				212					211	
Pb			214		210		206		212		208			211		207
Tl									208						207	

Die charakteristische physikalische Größe zur Quantifizierung der Radioaktivität, die Aktivität bzw. spezifische Aktivität, wird in dieser Studie (soweit nicht explizit erläutert) stets unter Bezug auf die StrlSchV benutzt. Dabei ist wichtig, dass die Größen auf **ein Referenznuclid** bezogen werden. Dieses Referenznuclid ist in der Regel das Nuclid der U-238- bzw. Th-232-Reihe mit der größten Aktivität ($U_{238,max}$, $Th_{232,max}$).

Die neue StrlSchV verfolgt vom Ansatz her prinzipiell unterschiedliche Konzepte bei den Regelungen zur zielgerichteten Nutzung von ionisierenden Strahlen und der Kernenergie sowie bei den Regelungen zum Schutz vor natürlichen Strahlungsquellen. Das drückt sich u.a. in einem getrennten Begriffssystem von Teil 2 (Schutz vor radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aus der zielgerichteten Nutzung bei Tätigkeiten) und Teil 3 (Schutz vor natürlichen Strahlenquellen bei Arbeiten) der StrlSchV aus. Wichtige unterschiedliche Grundbegriffe dieser beiden Teile sind in Tabelle 2.1-1 gegenübergestellt, wobei die dort

¹ Abkürzungen von Gesetzen und Verordnungen sind im „Verzeichnis der zitierten Gesetze und Verordnungen“ zusammengestellt.

erkennbaren Bezüge zwar begriffliche Analogien widerspiegeln, eine sachlich-inhaltliche Übertragung allerdings nicht zulässig ist.

Tabelle 2.1-1: Vergleich des Begriffssystems der Teile 2 und 3 der StrlSchV vom 20.07.2001

Teil 2 StrlSchV	Teil 3 StrlSchV
<u>Regelt: Künstliche Radioaktivität</u> , Technische Nutzung von Strahlung, Kernbrennstoffe	<u>Regelt: Natürliche Radioaktivität</u> und Strahlung (inkl. kosmische Strahlung)
Tätigkeiten (§ 3) <i>Handlungen, die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können durch</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Handlungen mit künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen oder natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, wenn die Handlungen aufgrund der Radioaktivität oder zur Nutzung als oder zur Erzeugung von Kernbrennstoff durchgeführt werden,</i> • <i>Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen,</i> • <i>Zusatz von radioaktiven Stoffen bei der Herstellung von Produkten oder die Aktivierung.</i> 	Arbeiten (§ 3) <i>Handlungen, die, ohne Tätigkeit zu sein, bei natürlicher Radioaktivität Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>im Zusammenhang mit Aufsuchung, Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung und sonstige Verwendung von Materialien, auch solchen, die bei betrieblichen Abläufen anfallen,</i> • <i>im Zusammenhang mit der Verwertung oder Beseitigung von Materialien,</i> • <i>durch dabei einwirkende natürlich terrestrische Strahlungsquellen, insbesondere von Rn-222 und Rn-Zerfallsprodukten,</i> • <i>im Zusammenhang mit der Berufsausübung des fliegenden Personals in Flugzeugen.</i>
radioaktive Stoffe (§ 2 AtG) <i>Stoffe, die ein Radionuklid/ mehrere Radionuklide enthalten und deren Aktivität oder spezifische Aktivität ... nach den Regelungen des AtG oder einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung nicht außer Acht gelassen werden kann.</i>	Materialien (§ 3) <ul style="list-style-type: none"> • <i>Stoffe, die natürlich vorkommende Radionuklide enthalten oder mit solchen Stoffen kontaminiert sind.</i> • <i>Natürliche und künstliche Radionuklide aus Tätigkeiten im Sinne des § 2 StrlSchV oder Ereignissen (Kernwaffenversuche und kerntechnische Unfälle) bleiben unberücksichtigt.</i>
radioaktive Abfälle (§ 3) <i>Radioaktive Stoffe im Sinne § 2 (1) AtG, die nach § 9a AtG geordnet beseitigt werden müssen, ausgenommen Ableitungen im Sinne § 47 StrlSchV.</i>	Rückstände (§ 3; § 97) <i>Materialien, die bei den in Anlage XII, Teil A StrlSchV genannten Prozessen anfallen und dort genannte Voraussetzungen erfüllen.</i>
Freigabe (§ 3) <i>Verwaltungsakt der Entlassung radioaktiver Stoffe aus dem Regelungsbereich des AtG und darauf beruhender Rechtsverordnungen zur Verwendung, Verwertung, Beseitigung, Weitergabe als nicht radioaktive Stoffe bewirkt</i>	Entlassung (§ 98) <i>Schriftlicher Bescheid der zuständigen Behörde zur Entlassung aus der Überwachung, mit dem eine bestimmte Verwertung oder Beseitigung von Rückständen ermöglicht wird.</i>
Freigrenze (§ 3) <i>Werte der Aktivität und spezifischen Aktivität radioaktiver Stoffe nach Anl. III Tab. 1 Sp. 2 u. 3, bei deren Überschreitung Tätigkeiten mit diesen radioaktiven Stoffen der Überwachung unterliegen</i>	Überwachungsgrenze (§ 97 i.V. mit Anl. XII Teil B) <i>spezifische Aktivität von Rückständen der in StrlSchV Anl. XII Teil A genannten Art und der genannten Beseitigungs-/Verwertungswege, bei deren Überschreitung die Rückstände der Überwachung unterliegen.</i>

Die international übliche Kurzbezeichnung für Materialien im Sinne der StrlSchV ist **NORM** (Naturally Occurring Radioactive Materials). Radiologisch relevant sind NORM erst, wenn die spezifische Aktivität der Radionuklide die geogenen Hintergrundwerte beträchtlich übersteigt. Das kann sowohl bei natürlichen Rohstoffen, z.B. Uran- und Thoriumerzen oder Schwermineralien (Zirkonsande) als auch bei natürlichen Radionuklidakkumulationen, z.B. in Sedimenten, Quellsintern u.ä. der Fall sein. Wurden die Radionuklide durch technologische Prozesse angereichert, so spricht man von **TENORM** (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials).

Natürliche Radionuklide können aber auch in Stoffen vorkommen, die aus dem Umgang mit radioaktiven Stoffen im Sinne des § 2 Abs.1 StrlSchV stammen oder sonst im Zusammenhang mit Tätigkeiten, insbesondere dem Zusatz von radioaktiven Stoffen zu Produkten anfallen und die einer strahlenschutzrechtlichen Überwachung unterliegen. Da die Grenzziehungen zwischen den Regelungsbereichen Tätigkeiten und Arbeiten im konkreten Einzelfall nicht pauschal festzulegen sind, wurden diese **radioaktiven Stoffe mit natürlichen Radionukliden** insoweit mit in diese Studie aufgenommen, wie es für die Zielstellung dieser Studie, das Aufkommen an NORM-Rückständen zu ermitteln, notwendig war.

NORM-Rückstände werden als Materialien definiert, die strahlenschutzrechtlich überwacht werden und für die eine Absicht zur Entledigung durch den Besitzer anzusetzen ist. Der Begriff der NORM-Rückstände wird als Oberbegriff für Rückstände im Sinne der StrlSchV und sonstige zur Entsorgung (Beseitigung oder Verwertung) anstehende überwachte Materialien benutzt. Die Stellung der so definierten NORM-Rückstände im Begriffssystem der StrlSchV veranschaulicht die Abbildung 2-2.

Rückstände im Sinne der StrlSchV sind Materialien, die bei den in Anlage XII Teil A StrlSchV genannten Prozessen anfallen, deren spezifische Aktivität für Radionuklide der Nuklidketten über 0,2 Bq/g liegt und die nicht in den genannten Prozessen als Rohstoffe eingeführt werden. Diese Rückstände sind **überwachungsbedürftige Rückstände** nach § 97 StrlSchV und damit radioaktive Stoffe im Sinne von § 2 AtG, sofern die Überwachungsgrenzen nach Anlage XII Teil B StrlSchV überschritten werden.

Überwachungsbedürftige Rückstände können nach § 98 StrlSchV durch die zuständige Behörde aus der Überwachung entlassen werden. Sie können dann als (konventionelle) **Abfälle** nach dem "Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen" (kurz: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz; KrW-/AbfG) verwertet oder auf konventionellen Deponien beseitigt werden.

Für Rückstände, die nach § 98 StrlSchV nicht entlassen werden können (= in der Überwachung verbleibende Rückstände), kann die Behörde nach § 99 StrlSchV anordnen, auf welche Weise diese Rückstände zu beseitigen sind.

Abbildung 2-2: Begriffe zur Charakterisierung von Stoffen bzw. Materialien mit natürlichen Radionukliden

Radioaktive Stoffe mit natürlichen Radionukliden bei Tätigkeiten		Materialien (NORM/TENORM) bei Arbeiten	
Klassifikation nach StrlSchV bei Handlungen			
Freigrenzen überschritten?		Überwachung angeordnet? Sonstige zugelassene Handlungen mit strahlenschutzrechtlicher Überwachung?	Arbeiten lt. Anlage XII Teil A?
↓ ja		↓ ja	↓ ja
Radioaktiver Stoff i.S. AtG		Sonstiges überwachtes Material (Radioaktiver Stoff i.S. AtG)	
Entledigungswille			
Angefallener radioaktiver Stoff			→ Rückstand wenn spezif. Aktiv. > 0,2 Bq/g
			Überwachungsgrenzen überschritten?
			↓ ja
		→ Sonstige überwachte Rückstände (*)	Überwachungsbedürftiger Rückstand (Radioaktiver Stoff im Sinne AtG)
		NORM-Rückstände (*)	
Verfügbare und wirtschaftlich vertretbare Entsorgungswege			
Freigabe als Abfall nach KrW-/AbfG?		Zulassung oder Anweisung zur Entsorgung als Abfall nach KrW-/AbfG?	Entlassung als Abfall nach KrW-/AbfG?
↓ nein		↓ nein	↓ nein
→ radioaktiver Reststoff		In Überwachung verbleibender sonstiger Rückstand (*)	In Überwachung verbleibender Rückstand
Schadlose Verwertung in überwachten Tätigkeiten?		Verwertung / Verwendung in zugelassenen Arbeiten?	Verwertung / Verwendung in zugelassenen Arbeiten?
↓ nein		↓ nein	↓ nein
Beseitigung als radioaktiver Abfall		Radioaktive Stoffe i.S. AtG, die geordnet beseitigt werden müssen → radioaktiver NORM-Abfall (*)	

(*) Begriffe für diese Studie definiert

Neben den definitiv in der StrlSchV geregelten Rückständen können allerdings auch in anderen, bisher noch nicht genannten Bereichen, Materialien anfallen, die bei Arbeiten die Strahlenexposition so erheblich erhöhen, dass Strahlenschutzmaßnahmen notwendig sind. In diesem Falle kann die Behör-

de nach § 102 StrlSchV eine Überwachung anordnen. Für dieses „**sonstige überwachte Material**“ betrifft die Überwachung sowohl Schutzmaßnahmen bei Arbeiten als auch die Aufbewahrung und Beseitigung. Soweit für diese Materialien beim Besitzer keine Verwendungsmöglichkeiten bestehen und er sich dieser Materialien entledigen will, werden sie im Rahmen dieser Studie als „**sonstige überwachte Rückstände**“ bezeichnet.

Radioaktive Stoffe mit natürlichen Radionukliden treten aber auch in anderen Fällen auf, die radiologisch relevant sein können. Neben den bei anzeigebedürftigen Arbeiten nach Anlage XI Teil B anfallenden Stoffen sind das vor allem Stoffe, denen natürliche radioaktive Stoffe zugesetzt wurden und ggf. Stoffe, bei denen die ionisierende Wirkung der Strahlung natürlicher Radionuklide zweckgerichtet genutzt wird. Diese Fälle werden im Weiteren als „**andere Materialien**“ bezeichnet. Ihre Zuordnung zu den Teilen 2 oder 3 der StrlSchV ist im konkreten Kontext ihres Auftretens zu prüfen. Aus dieser Zuordnung sind auch die Entsorgungswege abzuleiten.

Für überwachungsbedürftige Rückstände oder sonstige überwachte Rückstände ist in der StrlSchV grundsätzlich eine Entsorgung im Geltungsbereich des KrW-/AbfG vorgesehen. Wird durch einen behördlichen Bescheid oder eine entsprechende Genehmigung die Überwachung aufgehoben, dann kann eine Entsorgung der Stoffe nach den Regelungen des KrW-/AbfG erfolgen. Die Stoffe erhalten dabei den Status von **Abfällen** im Sinne des KrW-/AbfG. Dabei unterscheidet das KrW-/AbfG zwischen den Kategorien

Besonders überwachungsbedürftige Abfälle
zur Beseitigung

Überwachungsbedürftige Abfälle
zur Beseitigung

Besonders überwachungsbedürftige Abfälle
zur Verwertung

Überwachungsbedürftige Abfälle
zur Verwertung

Nicht überwachungsbedürftige Abfälle
zur Verwertung

Die Eigenschaft der Überwachungsbedürftigkeit oder besonderen Überwachungsbedürftigkeit im Sinne des KrW-/AbfG bestimmt sich aus den Konzentrationen an gefährlichen Stoffen im Abfall. Die entsprechenden Gefährlichkeitskriterien sind in der Abfallbestimmungsverordnung (AVV) enthalten. Die Eigenschaft der Radioaktivität wird dabei nicht betrachtet.

Radioaktive Abfälle liegen nur dann vor, wenn aus dem Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 2 Abs. 1 anfallende radioaktive Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute Anlagenteile, die nicht schadlos verwertet werden können, geordnet beseitigt werden müssen (§ 9a AtG).

Können allerdings NORM-Rückstände nicht (nach Entlassung) als Abfälle entsorgt oder im Rahmen der Überwachung verwertet oder verwendet werden, sind sie als radioaktive Stoffe im Sinne von § 2 AtG geordnet zu beseitigen. Sie sind daher im deutschen Entsorgungskonzept für radioaktive Abfälle zu berücksichtigen und werden in dieser Studie als **radioaktive NORM-Abfälle** bezeichnet.

2.2 Rückstände nach Anlage XII Teil A StrlSchV

Die StrlSchV enthält in Anlage XII Teil A eine Zusammenstellung von technologischen Prozessen und den dabei anfallenden Materialien, die aus Gründen des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Die Liste der zu berücksichtigenden Rückstände nach Anlage XII Teil A enthält Tabelle 2.2-1.

Tabelle 2.2-1: Liste der zu berücksichtigenden Rückstände nach Anlage XII Teil A StrlSchV sowie der zu ihrer Bildung führenden Prozesse und Rohstoffe („Nr.“ entspricht der Gliederung von Satz 1 Anlage XII Teil A)

Nr.	Prozess	Rohstoff	Material
1	Gewinnung	Erdöl- Erdgas	Schlämme und Ablagerungen
2	(nicht spezifiziert)	(nicht spezifiziert)	nicht aufbereitete Phosphorgipse
	Aufbereitung	Phosphorgipse	Schlämme
	Verarbeitung	Rohphosphat (Phosphorit)	Stäube, Schlacken
3a	Gewinnung und Aufbereitung	Bauxit, Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit, Kupferschiefer-, Zinn-, Seltenmetall- und Uranerz	Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube
	Weiterverarbeitung	Konzentrate oder Rückstände der Erze und Mineralien nach Nr. 3a)	Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube
3b	Gewinnung und Aufbereitung	andere Rohstoffe	Mineralien von Erzen der genannten Industrien
4	Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung	Eisenerze, Nichteisenerze	Stäube und Schlämme
a)	Zweckgerichtete Anreicherung der Radionuklide	(nicht spezifiziert)	alle vorgenannten Materialien
b)	Nicht spezifiziert	alle vorgenannten Rückstandsmaterialien	Formstücke
c)	Ausheben, Abtragen	Grundstücke mit Rückständen	Bodenaushub (*)
c)	Abbrechen	Gebäude, bauliche Anlagen mit Rückständen	Bauschutt (*)

(*) nur wenn sie gemäß § 101 nach der Beendigung von Arbeiten oder gemäß § 118 (5) entfernt werden.

2.3 Charakterisierung TENORM bildender Prozesse

Die bisherigen Erhebungen von NORM/TENORM stellen überwiegend empirische Ermittlungen auf der Basis von Messungen ggf. ergänzt durch chemisch–mineralogische Betrachtungen dar. Ein Ergebnis dieser Vorgehensweise unter Beachtung der tatsächlich in Deutschland durchgeführten Arbeiten und Prozesse ist die Positivliste für TENORM der Anlage XII Teil A StrlSchV.

Für eine Beurteilung anderer als der in Abschnitt 2.2 benannten Bereiche und Prozesse ist eine Bewertung der sehr unterschiedlichen Messbefunde in der Literatur (s. z.B. /1, 2, 3, 4, 5/) durch eine quantifizierende Einschätzung TENORM-bildender Prozesse möglich. Ziel dieser im Folgenden be-

schriebenen Prozesscharakterisierung ist es, auf der Grundlage von Kenntnissen der Ausgangsstoffe (chemisch-mineralogische Materialcharakteristik sowie spezifische Aktivitäten) Aussagen über die spezifische Aktivität von TENORM relevanten Materialbildungen abzuleiten. Zu diesem Zweck sind die Prozesse durch Modelle und Parameter zu beschreiben, die eine diesbezügliche Aussage gestatten.

Auf der Abstraktionsebene einer phänomenologischen Stoff- und Materialbilanz kann ein einfaches und praktikables Modell abgeleitet werden. Folgende Elementarprozesse zur Bildung von TENORM liegen diesem Modell zugrunde (s. Abbildung 2-3):

- Massenströme spalten sich auf bzw. werden getrennt. Die Ursachen dieser Trennung können physikalische (z.B. Korngrößenfraktionierungen, Phasenänderungen u.a.) oder chemische Reaktionen (z.B. Bildung unlöslicher Reaktionsprodukte) sein.
- Es laufen Fraktionierungen der Aktivitätsinventare bei der Massentrennung ab.

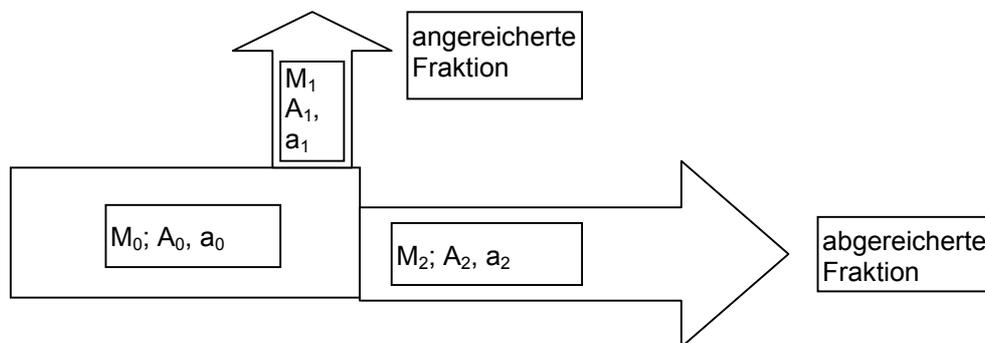


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung des Elementarprozesses der TENORM Bildung

Für diesen Elementarprozess gelten die Bilanzgleichungen

$$\text{Massenbilanz} \quad M_0 = M_1 + M_2 \quad (1)$$

$$\text{Aktivitätsbilanz} \quad A_0 = A_1 + A_2 \quad (2)$$

Die dabei auftretenden Fraktionierungen können durch

$$\text{Massentrennfaktor} \quad MTF = \frac{1 - M_1}{M_0} \quad (3)$$

$$\text{Aktivitätstrennfaktor} \quad ATF = \frac{A_1}{A_0} \quad (4)$$

beschrieben werden.

Der Massentrennfaktor ist so gewählt, dass bei großen Werten (Maximalwert 1) die als TENORM zu betrachtende Masse M_1 klein ausfällt. Ein großer Aktivitätstrennfaktor zeigt demgegenüber eine weitgehende Übertragung der Gesamtaktivität in den Massenstrom „1“ an.

Die spezifische Aktivität a_1 jedes Nuklids „i“ der angereicherten Masse M_1 ergibt sich zu

$$a_1 = \frac{A_1}{M_1} = a_0 \left(\frac{ATF(i)}{1 - MTF} \right). \quad (5)$$

Der Anreicherungsfaktor der spezifischen Aktivität EF ist

$$EF = \frac{a_1}{a_0} = 1 - \frac{a_2}{a_0}. \quad (6)$$

Durch 2 Kenngrößen kann der Prozess der Aktivitätsfraktionierung damit vollständig beschrieben werden. Hohe spezifische Aktivitäten treten bei hohen MTF und ATF auf, d.h. wenn bei einer Massentrennung eine kleine Masse $M_1 \ll M_0$ entsteht und die Aktivität A_0 zu möglichst großen Teilen auf diese Teilmasse übergeht.

Von den hier eingeführten Größen ist die Gesamtaktivität und damit auch der Aktivitätstrennfaktor ATF nicht direkt messbar. Notwendige Messgrößen, um den Prozess zu beschreiben, sind das Massenverhältnis M_1 / M_0 sowie die spezifischen Aktivitäten a_1, a_0 .

Eine Anwendung des Modells auf Literaturdaten ist nur eingeschränkt möglich, da in den meisten Fällen die Massentrennung nicht hinreichend beschrieben wird. Nuklidspezifische Anreicherungs-faktoren für einige wichtige Prozesse sind allerdings aus Literaturangaben und eigenen Untersuchungen ableitbar. Die Daten sind in Tabelle 2.3-1 zusammengestellt.

Tabelle 2.3-1: Anreicherungs-faktoren EF von Radionukliden bei industriellen Prozessen (berechnet aus Daten nach /1/, ergänzt durch eigene Daten)

			EF	EF	EF	EF
Prozess	Ausgangsmaterial	TENORM	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-232
Wirbelschichtfeuerung	Kohle	Flugasche	10			10
Wirbelschichtfeuerung	Kohle	Grobasche	3,0			3,6
Trockenfeuerung	Kohle	Absetzbeckenschlamm	0,5			0,6
Trockenfeuerung	Kohle	Flugasche	17			15
Trockenfeuerung	Kohle	REA-Gips	0,2			0,1
Trockenfeuerung	Kohle	Schlamm der Gipswäsche	1,6			0,6
Schmelzkammerfeuerung	Kohle	Flugasche	3,4			3,3
Schmelzkammerfeuerung	Kohle	REA-Gips	<0,1			
Schmelzkammerfeuerung	Kohle	Schmelzkammergranulat	3,4			3,2
Eisenerzverhüttung	Eisenerz	Schlacke (m = 0,33)	3,0	3,0	3,0	3,0
Eisenerzverhüttung	Eisenerz	Metall (m = 0,67)	0,015	0,015	0,015	0,015
Eisenerzverhüttung	Eisenerz	Stäube	1,4	2,9	133	1,4

Tabelle 2.3-1: Fortsetzung

			<i>EF</i>	<i>EF</i>	<i>EF</i>	<i>EF</i>
Prozess	Ausgangsmaterial	TENORM	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-232
Bauxitaufschluss	Bauxit	Rotschlamm	2,7			2,7
Kupferverhüttung	Konzentrate	Schlacke, sekundär	3,3			5,0
Kupferverhüttung	Erze	Schlacke, primär	5,8			3,3
Rauchgasreinigung	Erz (Mansfeld)	Theisenschlamm		0,5	10	
Rauchgasreinigung	Erz (Mansfeld)	Flugstaub		0,03	20	
Eigene Daten (*)						
Scalebildung	Tiefenwasser	Ba-Pb-Scale		10.000		
Sorption an Fe-Mn-Oxiden (**)	Wasser	Schlämme		25.000		
Brechen von Hartgestein (+)	Granit	Fraktion 0,1 mm Feinfraktion < 5 µm	2 4-5	2 4-5	4-5	2 4-5
Eisenerzverhüttung	Erz, Kohle, Zuschlag	Hochofen-Schlämme			Ca. 200	
Verbrennung	Holz, organische Stoffe mit hohem Kohlenstoffanteil	Asche	20	20		20

(*) abgeschätzt durch Auswertung von Literaturdaten; (**) nach Hofmann u.a. /57/; (+) Untersuchungen IAF /15/

Trotz unterschiedlich hoher spezifischer Aktivitäten der jeweiligen Ausgangsmaterialien sind prozesscharakteristische Faktoren angebar, die die An- oder Abreicherungen von Radionukliden beschreiben. Große Anreicherungsfaktoren von $EF > 10$ sind demnach bei folgenden Prozessen typisch:

- Fällung von Ba-Pb-Verbindungen aus Wasser (Bildung von Ra-Scales), ca. 10.000
- Sorption von Radium an Fe-Mn Oxiden ca. 25.000
- Verdampfen von Pb-210 (Po-210) bei der Verhüttung von Eisenerzen (Bildung von Pb-210-haltigen Stäuben bzw. Schlämmen bei der Staubwäsche) ca. 100 bis 200
- Verdampfen von Pb-210 (Po-210) bei der Verhüttung von Nichteisenmetallen (Bildung von Stäuben und Schlämmen bei der Staubwäsche mit Pb-210) ca. 10 bis 20
- Verbrennung von organischen Stoffen mit geringen Aschegehalten (Bildung von uran-, thoriumhaltigen Aschen) ca. 10 bis 20

2.4 Entstehung radioaktiver NORM-Abfälle

Die in dieser Studie zu bearbeitenden Inhalte betreffen die Überwachung von Materialien, für die ein Entledigungswille zu unterstellen ist (NORM-Rückstände nach Abbildung 2-2), die mögliche Aufhebung dieser Überwachung sowie den Verbleib von Materialien in einer dauerhaften Überwachung, der zur Notwendigkeit führt, die verbleibenden Stoffe in das deutsche Entsorgungskonzept für radioaktive Abfälle aufzunehmen.

Da die Zuordnung von überwachungsbedürftigen Rückständen und sonstigen überwachten Rückständen zum Regelungsbereich des Teils 3 StrlSchV eindeutig ist, kann das Anfallen radioaktiver Stoffe i.S. AtG, die geordnet beseitigt werden müssen, für diese Materialien aus den Regelungen des Teils 3 heraus abgeprüft werden. Für das mögliche Entstehen radioaktiver NORM-Abfälle ergeben sich damit 2 Zuordnungsbereiche:

- **Zuordnungsbereich 1:** Hier sind die **überwachungsbedürftigen Rückstände** einzuordnen (§ 97 StrlSchV), die beim derzeitigen Stand der Rechtspraxis nicht aus der Überwachung entlassen werden. Die Art dieser Materialien ist nach den Festlegungen der StrlSchV im Wesentlichen abgrenzbar.
- **Zuordnungsbereich 2: Sonstige überwachte Rückstände**, d.h. Materialien für die nach § 102 StrlSchV eine Überwachung angeordnet wird (=sonstige überwachte Materialien) und die entsorgt werden sollen. Diese Materialien müssen als radioaktive NORM-Abfälle eingestuft werden, wenn sie nicht als konventionelle Abfälle entsorgt werden können und eine Verwendung oder Verwertung im Rahmen überwachter Handlungen nicht möglich ist. Die Art dieser Materialien ist aus der StrlSchV nicht ableitbar. Sie ergibt sich aus der zu erwartenden Praxis im Umgang mit Rückständen und NORM in den kommenden Jahren.

Für das abzuleitende Mengenaufkommen von NORM-Rückständen, die in das deutsche Entsorgungskonzept aufzunehmen sind, ist allerdings die rechtliche Schnittstelle zwischen Teil 3 und Teil 2 sowie Teil 4 StrlSchV ebenfalls von Bedeutung, da das Zusetzen von radioaktiven Stoffen zu Produkten nach § 2 Abs. 2 Nr. e zwar eine Tätigkeit ist, für sich genommen aber keinen Umgang darstellt (vgl. § 2 Abs. 1 StrlSchV). Das Zusetzen von radioaktiven Stoffen führt daher nur dann zu radioaktiven Reststoffen und radioaktiven Abfällen, wenn es genehmigungsrechtlich mit einem Umgang verbunden ist. Darüber hinaus sind Handlungen mit Produkten, denen natürliche radioaktive Stoffe zugesetzt sind, in Anlage XI StrlSchV als Arbeiten klassifiziert.

Aus diesen Gründen ist die Schnittstelle zwischen radioaktiven Stoffen und Materialien keine feste, aus den radiologischen Eigenschaften eindeutig abzuleitende Grenze. Vielmehr ergibt sie sich aus den differenzierten Regelungen der StrlSchV und der Praxis ihrer Umsetzung. Nur als Ergebnis dieser Umsetzung sind Prognosen eines Mengenanteils an radioaktiven Stoffen mit natürlichen Radionukliden und von überwachten Materialien für folgende Zuordnungsbereiche angebbar:

- **Zuordnungsbereich 3: Materialien**, die **bei anzeigebedürftigen Arbeiten** nach Teil 3 Kap. 2 StrlSchV anfallen und für die die zuständige Behörde eine Beseitigung anordnet (§ 96 Abs. 4 StrlSchV).
- **Zuordnungsbereich 4: Abfälle aus dem Zusetzen von radioaktiven Stoffen zu Produkten** (Regelungsbereich von Teil 4 StrlSchV).

- **Zuordnungsbereich 5: Funde** (§ 71 StrlSchV), die natürliche Radionuklide enthalten und aufgrund ihrer radiologischen Eigenschaften nicht anderweitig entsorgt werden können, sowie ggf. Abfälle aus Wasserver- und -entsorgungsanlagen, sofern dies nach § 71 Abs. 3 behördlich festgestellt wird.
- **Zuordnungsbereich 6: Abfälle aus dem Umgang mit natürlich vorkommenden Stoffen**, wenn dieser Umgang aufgrund ihrer Radioaktivität erfolgt (§ 2 Abs.1 Nr. 1a) Pkt. bb) StrlSchV).

Die tatsächliche Zuordnung von NORM-Rückständen oder anderen zu entsorgenden Materialien zur Kategorie der radioaktiven Abfälle wird entscheidend durch die Umsetzung von Regelungen beeinflusst, die eine Entsorgung von Stoffen außerhalb des Atomrechts ermöglichen. Die praktische Umsetzung dieser Regelungen ergibt sich dabei aus dem Zusammenwirken von:

- stofflichen Charakteristika der Materialien, insbesondere der spezifischen Aktivität,
- Festlegungen der StrlSchV und des Atomrechtes,
- Regelungen aus anderen berührten Rechtsbereichen, insbesondere dem Abfallrecht.

Diese Faktoren werden daher im Abschnitt 9 genauer untersucht, um auf der Basis der erhaltenen Ergebnisse eine Schätzung der für das deutsche Entsorgungskonzept zu berücksichtigenden Abfälle vornehmen zu können.

2.5 Vorabprüfung zur Eingrenzung relevanter Bereiche

2.5.1 Studien des BMU zur Abfassung der Positivliste von Rückständen

Erste systematische Darstellungen des Gesamtbereiches der natürlichen radioaktiven Materialien wurden vom TÜV Süddeutschland erarbeitet /8/, /9/. Diese Studien fassten auf der Basis einer Literaturrecherche bis etwa 1992 den Kenntnisstand zur natürlichen Radioaktivität in einer Vielzahl von Materialien zusammen.

Zur Eingrenzung der Wirtschaftsbereiche und Rückstände, die in die novellierte StrlSchV aufgenommen werden sollten, wurden in /7/ die konkreten Bedingungen in Deutschland durch eine weitere Auswertung der Fachliteratur und durch Datenerhebungen in der Wirtschaft ermittelt. Eine Auswertung der in /7/ zusammengestellten Zahlen zeigt, dass

- die Datenlage bei der Beurteilung von speziellen Rückständen häufig sehr begrenzt war, so dass erhebliche Abweichungen in vertiefenden Untersuchungen auftreten können,
- viele Einzelprozesse noch nicht in Hinblick auf ihre NORM/TENORM - Relevanz untersucht worden sind,
- die spezifische Aktivität von Rückständen in radiologisch wichtigen Industriebereichen prinzipiell eingestuft werden kann. Bereiche, in denen Rückstände mit höheren (z. B. Scales der Erdöl/Erdgas-Industrie) und geringeren (z.B. Kraftwerksaschen) spezifischen Aktivitäten zu erwarten sind, können eingegrenzt werden.

Für die Rückstände nach Anlage XII Teil A StrlSchV sind in Tabelle 2.5-1 im Ergebnis von Literaturauswertungen Arten von Rückständen spezifiziert, bei denen mit spezifischen Aktivitäten zu rechnen ist, die einen Überwachungsbedarf nach sich ziehen. Diese Materialien werden als relevante Rückstände im Sinne der hier zu bearbeitenden Aufgabe angesehen.

Tabelle 2.5-1: Vorabprüfung von Rückständen nach § 97 i.V. mit Anlage XII Teil A StrlSchV

Nr.	Rohstoff	Rückstand	Materialien mit besonderer Relevanz (s. Text)
1	Erdöl, Erdgas	Schlämme und Ablagerungen	insbesondere Ablagerungen in Rohren und Anlagenteilen; Reinigungsschlämme
2	(Phosphate)	nicht aufbereitete Phosphorgipse	keine
2	Phosphorgipse	Schlämme	Inkrustationen in Anlagen
2	Rohphosphat (Phosphorit)	Stäube, Schlacken	Stäube des thermischen Prozesses
3a	Bauxit, Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit, Kupferschiefer-, Zinn-, Seltene Erden und Uranerz	Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube	Bauxit: evtl. Inkrustationen Kupferschiefer: keine Uranerze: Hinterlassenschaften in den alten Bundesländern zu beachten Andere genannte Minerale/Erze: alle Rückstände relevant
3a	Konzentrate oder Rückstände der Erze und Mineralien nach Nr. 3a)	Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube	wie vorgenannt
3b	andere Rohstoffe	Mineralien von Erzen der genannten Industrien	vorzugsweise Rückstände der Produktion von seltenen Metallen sowie von Titandioxid
4	Eisenerze, Nichteisenerze	Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung	Vor allem Materialien aus Prozessen mit Temperaturen über 1000 °C
a)	Zweckgerichtetes Anfallen	Materialien nach Nr. 1 bis 4	Derzeit keine bekannt
b)	alle vorgenannten Rückstandsmaterialien	Formstücke	Evtl. spezielle Feuerfestmaterialien auf Basis Bauxit (Schamotte) oder Zirkon (mit akzessorischen Uran- und Seltene Erden Mineralen), aus Ton gesinterte Keramikfliesen
c)	Grundstücke mit Rückständen	Bodenaushub (*)	prinzipiell relevant
c)	Gebäude, bauliche Anlagen mit Rückständen	Bauschutt (*)	prinzipiell relevant

(*) nur wenn sie gemäß § 101 nach der Beendigung von Arbeiten oder gemäß § 118 (5) entfernt werden.

2.5.2 Weitere TENORM bildende Prozesse

Die Prüfung der bisherigen Kenntnisse zu den TENORM bildenden Prozessen in der Industrie zeigt, dass neben den in der StrlSchV explizit zu berücksichtigenden Rückstandsmaterialien auch in anderen Bereichen radiologisch ähnliche Materialien auftreten können. Um derartige Prozesse zielgerichtet auffinden zu können, sind Kenntnisse zu den prozessspezifischen Kenngrößen nützlich. Da bisher

systematische Kenntnisse dieser Kenngrößen nur ansatzweise vorliegen (s. Abschnitt 2.3), sind in Tabelle 2.5-2 die aus der Literatur ermittelten Prozesse und Materialien zunächst ohne weitere Spezifikation zusammengestellt. Eine vertiefende Beschreibung der Prozesse und Materialien erfolgt im Abschnitt 5.

Tabelle 2.5-2: TENORM bildende Prozesse außerhalb des Regelungsbereiches von § 97 StrlSchV

Industrieller Prozess	radiologisch relevanter Rohstoff, Ausgangsmaterial	Mögliche sonstige NORM-Rückstände
Prozesse nach Anlage XII Teil A		Nicht in Anlage XII Teil A spezifizierte Materialien bei radiologisch nicht vernachlässigbarer spezifischer Aktivität oder Gesamtaktivität
Bergbau, Energiewirtschaft		
Bergbau, insbesondere Steinkohlenbergbau	Tiefenwasser, Grubenwasser	Ablagerungen
Energetische Nutzung von Tiefenwasser (Geothermie)	Tiefenwasser/Thermalwasser	Ablagerungen (Scales)
Wasserwirtschaft		
Wasseraufbereitung	spontane Sorption von Radium an Fe-Mn-Oxidhydraten	Ra-226,228 haltige Schlämme der Wasseraufbereitung
gezielte Abreicherung von Radium zum Einhalten von Konzentrationswerten in der Mineralwasserproduktion	Mineralwasser	Schlämme der Wasseraufbereitung
Nutzung von Heilquellen	Mineralwasser, Heilwasser mit erhöhten Radiumkonzentrationen	Sinterbildung, Bildung von Ablagerungen z.B. in Gradiereinrichtungen
Luftfilter, Entfeuchter in Wasserwerken	Radonhaltige Umgebungsluft, Staub	Filtermaterial
Umweltechnik		
Bodenluft- oder Grundwasseranierung	Bodenluft Grundwasser	Aktivkohle, Absorbermaterialien
Gewässersanierung	Ableitungen, vor allem des Bergbaus	Mit NORM/TENORM belastete Sedimente
Sonstige Prozesse		
Papierherstellung	z. B. Kaolin	Ablagerungen, kontaminierte Metallteile, Rohre
Luftfilterung (Klimaanlagen)	Umgebungsluft, Staub	Filtermaterial

Die Entsorgung der bei diesen Prozessen anfallenden Materialien ist nicht pauschal zu beurteilen, da diese Stoffe nur nach behördlicher Verfügung in eine strahlenschutzrechtliche Überwachung gelangen und erst damit zu radioaktiven Stoffen im Sinne des AtG werden.

2.5.3 Materialien bei Arbeiten nach Anlage XI Teil B

Die in Anlage XI Teil B aufgeführten Arbeiten beziehen sich in den Nr. 5 (Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung von Pyrochlorerzen) und Nr. 6 (Verwendung und Verarbeitung von Kupferschiefer-

schlacke) auf Materialien, die bei der Entsorgung nach Anlage XII Teil A als Rückstände eingestuft werden. Die übrigen Arbeiten betreffen sämtlich Handlungen mit Stoffen, denen chemisch abgetrenntes Uran oder Thorium zugesetzt wurde oder die aus chemischen Verbindungen von Uran bzw. Thorium bestehen:

- Schleifen von oder Wechselstromschweißen mit thorierten Schweißelektroden (WIG-Schweißen),
- Handhabung, Lagerung von thorierten Gasglühstrümpfen,
- Verwendung von Uran- oder Thoriumchemikalien zu chemisch-analytischen oder chemisch-präparativen Zwecken,
- Handhabung von Produkten aus thorierten Legierungen.

Für die in dieser Studie zu untersuchenden Möglichkeiten, dass NORM-Rückstände anfallen, die im deutschen Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind, ist dieser Bereich zu beachten, da die strahlenschutzrechtliche Einordnung der Stoffe im Einzelfall die Entsorgung erheblich bestimmen kann. Neben der (auf überwachungsbedürftige Arbeiten eingeschränkten) Möglichkeit der Behörde nach § 96 Abs. 4 Entsorgungswege vorzugeben, sind auch andere Faktoren absehbar, die die Menge und Art der zu entsorgenden Materialien bestimmen. Dazu gehören insbesondere die Regelungen zum Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten und die damit verbundene Rücknahmepflicht.

2.5.4 Zusatz natürlicher Radionuklide zu Produkten

Nach § 2 Abs. 1 Nr. 1.e) StrlSchV stellt der Zusatz von radioaktiven Stoffen bei der Herstellung von Konsumgütern eine Tätigkeit dar. Dabei versteht die StrlSchV unter „Zusatz“ den zweckgerichteten Zusatz von Radionukliden zu Stoffen zur Erzeugung besonderer Eigenschaften, wenn beim Zusetzen natürlich radioaktiver Radionuklide die spezifische Aktivität im Produkt ein Fünftel der Freigrenzen der spezifischen Aktivität (Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV) übersteigt (§ 3 Abs. 2 Nr. 38 StrlSchV). Für die wichtigsten natürlichen Radionuklide ergeben sich damit die in Tabelle 2.5-3 aufgeführten Freigrenzen für den Zusatz. Die unterschiedlichen Werte resultieren aus den unterschiedlichen Nuklidzusammensetzungen. Während für mineralische Stoffe in erster Näherung ein Aktivitätsgleichgewicht über die gesamte Reihe angenommen werden kann, ist beim Zusatz abgetrennter chemischer Verbindungen speziell beim Thorium von sehr unterschiedlichen Nuklidvektoren auszugehen, da bei diesem Element die Tochternuklide Ra-228 und Th-228 im Zeitraum von Jahren signifikante Veränderungen zeigen.

Tabelle 2.5-3: Freigrenzen für den Zusatz von Radionukliden zu Produkten

	Nuklidzusammensetzung (*)	Bq/g	Referenznuclid
Uran (Mineralisch)	U-238sec	0,2	U-238 (Ra-226)
Uran, chemisch	1,0 U-238+ 1,0 U-234 (0,046 U-235)	1,0	U-238
Thorium (mineralisch)	Th-232sec	0,2	Th-232, (Th-228)
Thorium, chemisch (neu)	1,0 Th-232 1,0 Th-228	0,18	Th-232
Thorium, chemisch (5 Jahre alt)	1,0 Th-232 0,45 Ra-228+ 0,42 Th-228+	0,35	Th-232
Thorium, chemisch (20 Jahre alt)	1,0 Th-232 0,91 Ra-228+ 0,87 Th-228+	0,19	Th-232

(*) Die Zahlen geben die Aktivitätsverhältnisse der Radionuklide bezogen auf die jeweiligen Mutternuklide der Zerfallsreihen U-238 bzw. Th-232 am Gemisch an.

In Deutschland findet bei folgenden Prozessen ein Zusetzen von natürlichen Radionukliden zu Produkten mit dem Zweck statt, die chemischen oder physikalischen² Eigenschaften der radioaktiven Stoffe zu nutzen:

- Herstellung von thorierten Schweißelektroden. (Derzeit ein Unternehmen in Bayern).
- Herstellung von Gasglühstrümpfen. (Ein Unternehmen in Berlin fertigt derzeit noch Gasglühstrümpfe mit Thorium).
- Herstellung von Uran- und/oder Thoriumverbindungen für chemische Zwecke, z.B. von Uranylacetat zum Eiweißnachweis. (Ein Unternehmen in Bayern).
- Herstellung von Uranglas. Ein entsprechender Vorgang bekannt.

Das Verwenden von thoriumhaltigen Teilen bei der Herstellung von Konsumgütern findet statt in

- der Lampenindustrie durch Verwenden von thorierten Glühdrähten und anderen thorierten Teilen in Lampen,
- der Optoelektronik durch Verwenden von thorierten Oberflächenbeschichtungen auf Speziallinsen (10,6 µm Antireflexbeschichtungen für den Infrarot-Bereich) /86/, /89/ sowie durch
- das Verwenden von thoriumhaltigen Leichtmetalllegierungen in Triebwerken von Flugzeugen.

Leichtmetalllegierungen und thorierte Optiken werden nach derzeitiger Kenntnis importiert.

² Ohne die ionisierende Strahlung, z.B. optische Eigenschaften

In folgenden, in Deutschland aktuell hergestellten und/oder eingeführten Produkten können natürliche Radionuklide in angereicherter Form ebenfalls enthalten sein, wobei das Zusetzen der Radionuklide nicht zweckgerichtet ist, sondern nur begleitend durch die Gehalte in natürlichen Mineralen erfolgt:

- Schleifmittel und Schleifpasten mit radionuklidhaltigen Schwermineralen (z.B. Ceroxid, Zirkonkorund),
- Feuerfestmaterial, Gießereiformen auf Basis von Schwermineralen,
- Industriekeramiken und mineralischen Anlagenteilen mit Zirkonzusatz (z.B. hochsäurefeste Rohre),
- Uranglas.

Die Verwendung von Schwermineralen in anderen Konsumgütern (z.B. Panzerschränke) ist prinzipiell bekannt. Inwieweit in Deutschland eine derartige Verwendung stattfindet, ist unklar. Es ist allerdings zu vermuten, dass derartige Produkte eher im Ausland hergestellt und evtl. importiert werden (wurden).

Bei folgenden Produkten findet derzeit offensichtlich keine Produktion und auch kein wesentlicher Import mehr statt:

- Herstellung oder Verwendung von Thoriumglas,
- Herstellung oder Verwendung uranglasierter Kacheln oder Fliesen,
- Zusatz von Uran bei Zahnkeramiken (auch kein abgereichertes Uran) (s. /9/).

Durch die gänzliche Neuregelung des Teils 4 StrlSchV sind die Konsequenzen für die Entsorgung von anfallenden Materialien nicht pauschal festzulegen. Entsprechende Prüfungen und Bewertungen werden im Abschnitt 9.5.2 vorgenommen.

2.5.5 Zweckgerichtete Verwendung von natürlich vorkommenden Radionukliden

Die zweckgerichtete Verwendung von natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen aufgrund ihrer Radioaktivität stellt nach § 2 Nr. 1 a) bb) StrlSchV eine Tätigkeit dar. Aus den Recherchen wurden folgende zweckgerichtete Verwendungen ermittelt, die derzeit in Deutschland praktiziert werden:

- Herstellung von Ra-224-Chlorid zur Therapie des Morbus Bechterew.

Das bis Mitte der 80er Jahre verfügbare Radium-224 zur Behandlung des Morbus Bechterew ist nach der vorübergehenden Produktionseinstellung seit Anfang 2000 über eine Firma aus Salzgitte als Radiumchlorid erhältlich. Nach Angaben der SSK /10/ werden bei der Therapie 10 MBq Ra-224 in Dosierungen von je 1 MBq verabreicht. Die Herstellung erfolgt aus Th-228, das aus einer U-232-„Kuh“ abgemolken wird. Die gesamte Herstellung läuft als genehmigter Umgang ab, so dass es sich hier nicht um Materialien im Sinne der StrlSchV handelt. Diese Verwendung wird folglich im Weiteren nicht mehr betrachtet.

- Verwendung von radioaktiv markierten Dichtungstonen im Brunnenbau bzw. Bau von Grundwassermessstellen. Der Verwendungszweck besteht in der Verbesserung der nachträglichen Lokalisation von Tonsperren mittels Gammalog. In den entsprechenden Prospekten der Anbieter wird die erhöhte Gammaaktivität als Zählrate spezifiziert („>100 API“) /127/. Die Produktion umfasst nach Auskunft des Herstellers den Zusatz von ca. 5 % Zirkonmehl zu üblichen Dichtungstonen.

Da dieser Fall bisher offensichtlich keine strahlenschutzrechtliche Genehmigung erforderte und durch die Verwendung von Zirkon ein direkter Bezug zu NORM besteht, wurde er in die weitere Prüfung aufgenommen.

Frühere Nutzungen der ionisierenden Wirkungen radioaktiver Stoffe waren wesentlich umfangreicher. Da sie heute zu Funden radioaktiver Stoffe, Quellen, Anlagenteile und Geräte führen können, werden die wichtigsten dieser Nutzungen hier benannt:

- Herstellung und Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarben auf Basis Ra-226, später auch Ra-228 (Radiothor),
- Emanierbecher (Ra-226),
- Blitzableiter mit Ra-226-Quellen (Hergestellt in Frankreich),
- diverse Gebrauchsgüter (Zahnpasta, Kompressen, ...).

Da diese Produkte im Ergebnis von Tätigkeiten im Sinne der StrlSchV entstanden, sind sie trotz der in ihnen enthaltenen natürlich vorkommenden Radionuklide keine Materialien und werden im Weiteren nicht betrachtet. Soweit aus radiologischen Gründen erforderlich, sind derartige Stoffe und Quellen sicherzustellen und als radioaktive Abfälle zu beseitigen.

2.5.6 Sonderfälle

Weitere Fälle, bei denen Materialien mit erhöhter Aktivität natürlich vorkommender Radionuklide aufgetreten, sind:

- Mineralsande mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, die nicht in der Aufzählung von Anlage XII Teil A enthalten sind. Bekannte Minerale mit wirtschaftlicher Bedeutung sind vor allem die Zirkonsande. Nach den Ergebnissen aus der Brenk-Studie /7/ wurde die radiologische Relevanz von Zirkonsanden als unbedeutend eingestuft.

Da im Einzelfall eine Überwachung nach § 102 nicht auszuschließen ist, wurden diese Mineralsande in den Zuordnungsbereich 2 aufgenommen.

- Die Verarbeitung oder Nutzung von überwachungsbedürftigen Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien in speziell für diese Stoffe zugelassenen Anlagen.

Derzeit sind in Deutschland 2 Anlagen speziell für die Verarbeitung von NORM/TENORM zugelassen. Es handelt sich dabei um die Schmelzanlage für Schrotte „GERTA“ der Fa. Siempelkamp Krefeld und die Quecksilberzyklisierung der Firma GMR Leipzig. Daneben gibt es Verbrennungsanlagen für Abfälle, die ebenfalls Zulassungen besitzen, radioaktive Stoffe zu verwenden (z.B. Verbrennungsanlage der Firma Infraseriv Frankfurt).

Die in diesen Anlagen anfallenden und zu entsorgenden Materialien unterliegen speziellen Regelungen, die im Einzelnen zu prüfen sind. Sie wurden daher als besondere Gruppe von NORM-Rückständen in diese Studie einbezogen.

- Sammlung und/oder Archivierung von Proben in Laboratorien.

Insbesondere in spezialisierten Labors für Radionuklidanalytik können sich größere Lagerbestände an Probenmaterial aufbauen. Diese Materialien werden daher als sonstige (möglicherweise) überwachte Rückstände in den Zuordnungsbereich 2 dieser Studie aufgenommen.

- Funde von Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität.

Funde von Stoffen mit erhöhter Aktivität sind meldepflichtig und sicherzustellen. Neben Quellen und sonstigen radioaktiven Stoffen, bei denen die ionisierende Strahlung genutzt wurde und die daher eindeutig in den Regelungsbereich des Teil 2 StrlSchV fallen (s. Abschnitt 2.5.5), werden in der Praxis auch Materialien aufgefunden und zum Teil sichergestellt. Daraus resultiert ein Aufkommen an radioaktiven Stoffen, dessen Verwertung oder Beseitigung gewährleistet werden muss. Da dieser Bereich deutliche sachliche Bezüge zur hier untersuchten Thematik aufweist, wurde er in die Bearbeitung als Zuordnungsbereich 4 einbezogen.

2.6 Ausgeklammerte Materialien

Nicht in die Recherchen einbezogen wurden folgende Bereiche:

- Lagerbestände an Materialien mit natürlichen Radionukliden (Radium, Thorium, Uran) in Landessammelstellen oder anderen Lagern. Eine Erfassung der dortigen Bestände zum Stand 1996 ist in /11/ zusammengestellt.
- Rückstände und sonstige überwachte Materialien, die bei der Sanierung des Uranbergbaus in den neuen Bundesländern anfallen. Für diese Materialien existieren Entsorgungswege im Rahmen der Gesamtsanierung des ehemaligen Uranerzbergbaus.
- Vorkommen von Materialien im militärischen Bereich (z.B. thorierte Legierungen in Düsentriebwerken). Aus diesem Bereich ist ggf. mit einem geringen zusätzlichen Aufkommen an NORM-Abfällen zu rechnen, die allerdings in Relation zum Gesamtaufkommen in der Bundesrepublik als gering einzuschätzen sind.

- Vorkommen von Materialien in Lehr- und Forschungseinrichtungen. Hierzu zählen neben Mineralischen Sammlungen vor allem Laboratorien, in denen Forschungsarbeiten über NORM/TENORM ausgeführt werden.
- Das Vorkommen von technologisch bedingten Anreicherungen natürlich vorkommender Radionuklide in kerntechnischen Anlagen oder anderen strahlenschutzrechtlich genehmigten Anlagen.

In der ausgewerteten Literatur wird ein Fall beschrieben /12/, bei dem im Luftfilter eines Isotopenlabors erhöhte Pb-210-Aktivitäten festgestellt wurden. Solange derartige Anreicherungen vermischt mit künstlicher oder anderweitig genutzter Radioaktivität auftreten, unterliegen sie den Regelungen der jeweiligen Genehmigung und werden in dieser Studie nicht weiter betrachtet.

Anreicherungen natürlicher Radionuklide sind auch in Anlagen möglich, die zwar im räumlichen und organisatorischen Zusammenhang mit kerntechnischen Anlagen stehen, selbst aber keine derartigen Anlagen sind. Das können z.B. Brauchwasserbrunnen oder auch Luftfilter in Klimaanlagen sein. Es ist daher grundsätzlich zu erwarten, dass beim Rückbau von Anlagen Teile erhöhter natürlicher Aktivität vorkommen (z.B. Wasserleitungen, Anlagenteile von Wasserversorgungen). Die Bewertung und Entsorgung derartiger Materialien war bisher offensichtlich noch nicht erforderlich. Sie werden in dieser Studie nicht weiter untersucht.

3 Datenerhebung zum Mengengerüst

3.1 Durchführung der Recherchen

Auf Grundlage der Literaturlauswertung wurden für das zu erstellende Mengengerüst relevante Industriezweige und Herkunftsbereiche identifiziert. Durch gezielte Anfragen bei Behörden / Ämtern der einzelnen Bundesländer, Industrieverbänden sowie der aus Vorrecherchen ermittelten Einzelunternehmen der Wirtschaft wurden Kenntnisse und Daten zum Aufkommen von NORM-Rückständen in diesen Herkunftsbereichen abgefragt.

Die Anfragen erfolgten schriftlich, fernmündlich und teilweise in persönlichen Gesprächen im Zeitraum vom Januar 2002 bis Januar 2003 (Nachrecherchen). Tabelle 3.1-1 stellt die Kontakte gruppiert nach Behörden und Verbänden zusammen und beschreibt den Rücklauf der Abfrage aus diesen Bereichen. Ergebnisse von Recherchen in der Privatwirtschaft werden aus Datenschutzgründen nur zusammenfassend dargestellt und ausgewertet.

In Hinblick auf die Ziele dieser Studie wurden die Recherchen vor allem auf solche Wirtschaftszweige und Unternehmen konzentriert, bei denen mit einem Vorkommen von Materialien spezifischer Aktivität über 10 Bq/g zu rechnen war. Einen Überblick über die einbezogenen Industriebereiche enthält Tabelle 3.2-2. Die Anzahl der dort aufgeführten Unternehmen entspricht der in der Recherche befragten Unternehmen, in denen das Auftreten von NORM/TENORM bekannt war und von denen verwertbare Informationen zu den Inhalten dieser Studie beigesteuert wurden. Diese Anzahl stellt nicht die Anzahl der tatsächlich in Deutschland arbeitenden Unternehmen in den jeweiligen Sparten dar.

Tabelle 3.1-1: Übersicht der Kontakte zur vertiefenden Recherche (Behörden und Verbände)

Zielgruppe	Institution	Antwort	
		ja	nein
Behörde			
BW	Umweltministerium Baden-Württemberg		x
BY	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie		(W)
	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung u. Umweltfragen	x	
	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz	x	
BE	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung	x	
	Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales	x	
	Senatsverwaltung für Gesundheit(, Soziales) und Verbraucherschutz	x	
BB	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung	x	
HB	Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit und Soziales	x	
HH	Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg (Amt für Immissionsschutz und Betriebe)		x
HE	Hessisches Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Forsten (Strahlenschutzvorsorge, Radioökologie)	x	
	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	x	
MV	Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern		(W)
	Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern	x	
NI	Niedersächsisches Umweltministerium	x	
	Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld		x
NW	Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikationen und Technologie	x	
	Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr		(W)
RP	Umweltministerium Rheinland-Pfalz		x
SL	Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr des Saarlandes		x
SN	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft	x	
ST	Ministerium für Wirtschaft und Technologie	x	
	Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt	x	
SH	Ministerium für Finanzen und Energie (Abt. Reaktorsicherheit)		x
TH	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt	x	
	Thüringer Landesverwaltungsamt	x	
Verbände			
	Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft E.V.	x	
	BDSV Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.	x	
	Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (Ref. Strahlenschutz II)	x	
	Bundesverband der chemischen Industrie (telefon. Auskunft)	x	
	Bundesverband der Deutschen Recycling-Baustoff-Industrie e.V.		x
	Bundesverband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie e.V.		x
	bvse Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.		x
	VDEh Verein Deutscher Eisenhüttenleute	x	
	VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V.	x	
	Deutscher Verband Feuerfestindustrie		x

(W)- Weitergeleitet

3.2 Ergebnisse

Die Antwortschreiben der in Tabelle 3.1-1 genannten Institutionen sind dem Bericht in Anlage 1 angefügt. Die Ergebnisse der Abfragen sind in der Tabelle 3.2-1 zusammengefasst.

Eine allgemeine Zusammenstellung der Rechercheergebnisse aus Wirtschaftsunternehmen enthält Tabelle 3.2-2. Detailliertere Angaben zu den Rechercheergebnissen aus einigen Industrieverbänden werden im Anschluss an Tabelle 3.2-2 beschrieben.

Tabelle 3.2-1: Übersicht der Rechercheergebnisse bei Behörden, Ämtern – Darstellung spezifischer Aktivitäten und Aufkommen zu NORM/TENORM

Bereich	Art / Entstehung der Materialien	Aktivität	Menge	Bemerkung	Quelle
Rohstoffwirtschaft	Kupferschlacke	Keine Angaben	k.A.	- Verwertung im Straßenbau - Verweis auf Standorte der Stahlproduktion und militärische Liegenschaften	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Brandenburg Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern
Erdöl / Erdgas	Scales, Schlämme, Sande aus der Anlagenreinigung		234 t	- Lagerbestand (Steinitz)	Ministerium für Wirtschaft und Technologie Sachsen-Anhalt Niedersächsisches Umweltministerium Niedersächsisches Umweltministerium
	Anlagenteile	Keine Angaben	1000 - 1500 t/a	- z.T. Verpressungen in Tiefbohrungen in Diskussion: Untertagedeponie Zielitz; Verpressen ins Rotliegende; Einlagerung in Salzformationen	
	Rückstände aus der Reinigung von Förderausrüstungen	Keine Angaben	30 t/a	- z.T. Entsorgung von Reinigungsrückständen über AEAT	
	Produktionsrückstände	Keine Angaben	20 t/a		
	Rückstände nicht definiert	<50 Bq/g	40 t/a		
Roheisen-Metallurgie	Gichtschlämme	Keine Angaben	27.000 t/a	- zu 100% abgelagert	Niedersächsisches Umweltministerium
	Gichtstaub	Keine Angaben	21.000 t/a	- zu 100% verwertet	
	Gießhallenstaub	Keine Angaben	6.000 t/a	- zu 100% verwertet	
	Sinteranlagenstaub	Keine Angaben.	4.000 t/a	- zu 100% verwertet	
thorierte Schweißelektroden	Elektrodenreste	bis >500 Bq/g	mehrere t	- derzeit mit Industrieabfällen entsorgt	Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikationen und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen
	Schleifstäube				
	Filter von Absauganlagen				
	Kühlschmiermittel				
	Konzentrate im Kühlschmiermittelkreislauf				
Schrotte	Inkrustierungen	<20 - <150 Bq/g (max. <2000 Bq/g)	k.A.	- Funde - bisher Verwertung	Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikationen und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen
	Ablagerungen an Rohren	11±5 Bq/cm ²	150 kg	- bereits entsorgt	Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit und Soziales, Bremen

Tabelle 3.2-1: Fortsetzung

Bereich	Art / Entstehung der Materialien	Aktivität	Menge	Bemerkung	Quelle
	Ablagerungen an Schrotstück	Ca. 2 bis 3 MBq	100 kg	- Einzelaktivitäten: 0,5 x 10 ⁵ bis 8,5 x 10 ⁵ Bq, - bereits entsorgt	Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit und Soziales, (Bremen)
	Abrieb aus der Schrotreinigung	1 Bq/g	k.A.		Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
	Filter	6-7 Bq/g	k.A.		Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
Hinterlassenschaften	Monazitsande, Produktionsrückstände, Bodenaushub (BASF, Oranienburg)	bis > 100 Bq/g	n x 1000 m ³ /a	bisherige Entsorgung: BASF: 3300 m ³ Betriebsdeponie; 5050 t Schöneiche; 12,15 t AEA Technology (Aufbereitung) Oranienburg: 1200 m ³ HMD Germendorf; 4800 m ³ Straßen- und Wegebau	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Brandenburg
	Bodenaushub (Berlin Reinickendorf, Berlin Schöneweide)	bis 1000 Bq/g	1100 m ³	bisher kein Entsorger	Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales, Berlin
Wasserver- und -entsorger	Wasserwerksschlämme aus Kiesfiltern	k.A.	k.A.		Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
Mineralwasser	ggf. Schlämme aus der Radiumelimination	k.A.	k.A.		Hessisches Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Forsten (Strahlenschutzvorsorge, Radioökologie)
Optische Industrie/ Glasindustrie	Poliermittel (Cer-Oxide), Uran-Thorium-Gläser	k.A.	k.A.	z.T. als Funde	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern
	Leuchtfarbenreste	k.A.	k.A.		Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
Geothermie	Ablagerungen an Anlagenteilen	k.A.	k.A.	- geringe Belastungen - bereits entsorgt	Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern
Zellstoffproduktion	Schlämme	k.A.	k.A.		Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
Schifffahrt	Gasglühkörper	450 Bq/Stk.	k.A. "geringe Mengen"	Herkunft: schwimmende Seezeichen	Niedersächsisches Umweltministerium

Tabelle 3.2-2: Zusammengefasste Darstellung von Rechercheergebnissen aus Wirtschaftsunternehmen

Industriezweig	Anzahl	Allgemeine Ergebnisse
Erdöl- Erdgasgewinnung	4	Angaben zu Mengenaufkommen und Aktivitäten sowie zur bisherigen und geplanten Entsorgungspraxis. Teilmengen mit stark erhöhter Aktivität können als radioaktive Abfälle anfallen. Einzel-fallbeschreibung s. Abschnitt 6.
Aufbereitung von Erzen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität	4	In Deutschland findet derzeit kein aktiver Bergbau auf Seltene Metalle und Seltene Erden mehr statt. Alle diesbezüglich in Deutschland verarbeiteten Rohstoffe werden importiert. Bei der Verarbeitung von Tantalerzen wird die Aktivität durch Lieferspezifikationen entscheidend begrenzt. 70 % der verfügbaren Rohstoffe auf dem Weltmarkt werden dadurch ausgeschlossen. Die Aktivität der Rückstände wird durch Prozesssteuerung so gering gehalten, dass Entsorgungsprobleme bisher nicht auftreten. Die in Deutschland verarbeiteten Molybdänerze besitzen nur sehr geringe Aktivitäten und sind radiologisch daher nicht relevant. Erze mit höheren Urangehalten sind allerdings bekannt (USA). Minerale Seltener Erden werden als Zuschlagstoffe für die Stahlindustrie importiert. Durch eine Voraufbereitung der Minerale ist die Radioaktivität vernachlässigbar (Auskunft des Importeurs).
Gewinnung und Aufbereitung von sonstigen Rohstoffen	5	Radiumhaltige Ablagerungen des Untertagebergbaus werden im Rahmen von spezifischen Betriebsplänen unter Berücksichtigung von Strahlenschutzforderungen entsorgt. Es gibt keine Entsorgungsprobleme. Schwermineralien fallen bei Aufbereitung mineralischer Rohstoffe eines Unternehmens an und führten bereits in der Vergangenheit zu „Funden“ von radioaktiven Anlageteilen. Nach 2001 ist der Umgang mit den Abfällen in BimSch-Genehmigungen neu geregelt. Nicht entsorgbare Abfälle sind nicht zu erwarten. Bei der TiO ₂ -Produktion werden Rohstoffe geringer spezifischer Aktivität verarbeitet. Bisher nur in einem Fall Werte des Rohstoffs „im Grenzbereich“. Keine Entsorgungsprobleme.
Primärmetallurgie	2	Angaben zu Mengenaufkommen und Aktivitäten sowie zur bisherigen und geplanten Entsorgungspraxis.
Verarbeitung von Zirkonsanden	4	Es bestehen eher Probleme mit dem Umgang und der Vermarktung als mit der Entsorgung. Die Frage des Zusatzes von Zirkon als radioaktiver Stoff bei der Herstellung von Produkten (z.B. säurefeste Keramiken; Schleifmittel) war bisher nicht relevant.
Glasindustrie	1	Hinweis auf Zulieferbranchen (Feuerfest- und Schleifmittelhersteller). Keine vertiefenden Angaben zu eigenen Fällen.
Abfallwirtschaft / Recycling (*)	4	Angaben zu Mengen und Verfahren der Verarbeitung sowie Entsorgung von Abfällen (Einzeldiskussionen s. Abschnitt 9) Angaben zu Herkunftsbereichen von radioaktiven Schrotten

Tabelle 3.2-2: Fortsetzung

Industriezweig	Anzahl	Allgemeine Ergebnisse
Verwendung von thorierten Legierungen	7	<p>Bei der Reparatur von Flugzeugturbinen sind auch thorierte Leichtmetalllegierungen zu bearbeiten. Das Abfallaufkommen ist sehr gering und liegt bei wenigen kg/a. Restmaterial wird an Muttergesellschaft zurückgegeben. (Nachrecherche 2003: bereits seit längerem keine diesbezüglichen Arbeiten mehr ausgeführt.)</p> <p>Bei der Herstellung von Elektrodensystemen für Entladungslampen fallen thorierte Abfälle an. Darüber hinaus werden in der Lampenherstellung thorierte Wolframelektroden verwendet. Das daraus resultierende Abfallaufkommen ist unterschiedlich und reicht von wenigen kg pro Jahr bis zu mehreren Tonnen.</p> <p>Aufgrund des hohen Wertstoffgehaltes (Wolfram) wurden Leistungslampen bereits früher kostenlos zurückgenommen. Für Kleinlampen ist eine Rücknahme nicht erforderlich, da das 10 µSv-Konzept eingehalten wird.</p> <p>Bei der Herstellung thorierte Schweißelektroden (WIG-Elektroden) fallen ebenfalls Schleifrückstände und andere Abfälle an.</p> <p>Aus der Herstellung von thorierten Wolframelektroden fallen in Deutschland einige Tonnen Abfälle pro Jahr an, für die es bisher keine Entsorgungswege gab.</p>
Chemie; Pharma	3	<p>Aus der Verwendung von U-, Th-Chemikalien fallen Kleinmengen an Abfällen an, die als radioaktive Abfälle entsorgt werden.</p> <p>In einem Unternehmen fallen pro Jahr ca. 60 l flüssige Abfälle mit ca. 20 Bq/g U-nat bzw. Th-nat an. Die Entsorgung erfolgt als radioaktiver Abfall. Das Mengenaufkommen ist rückläufig. Es werden Anstrengungen unternommen, die Produkte auslaufen zu lassen.</p>
Optoelektronik	1	<p>Herstellung der Oberflächenbeschichtungen mit ThF₄ erfolgt im Ausland. Die befragte Firma nimmt gebrauchte oder beschädigte Optiken kostenlos zurück und bietet eine fachgerechte Entsorgung an /77/.</p>

(*) befragt wurden nur Unternehmen, die als Anbieter von Entsorgungsdienstleistungen von NORM bekannt sind.

Von Seiten der angefragten Wirtschaftsverbände und anderen Einrichtungen der Wirtschaft wurden hinsichtlich des Aufkommens von NORM-Rückständen Einschätzungen mitgeteilt, die dem jeweiligen Kenntnisstand entsprachen. Folgende relevante Informationen wurden erhalten:

Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh)

Für Rückstände und andere Materialien, die bei der Roheisenverhüttung anfallen, wurde vom VDEh eine Studie erarbeitet, in der Messungen an Proben von Standorten aller aktiven Eisenhütten einbezogen wurden. Die Ergebnisse (vgl. Tabelle 3.2-3) zeigen, dass die meisten Materialien spezifische Aktivitäten deutlich unter 0,2 Bq/g aufweisen. Stoffe mit erhöhten spezifischen Aktivitäten über

0,2 Bq/g sind Hochofen-Schlämme, d.h. Schlämme der Abgasreinigung von Hochöfen, mit ca. 3 Bq/g Pb-210 im Mittel und Sinterbandstäube mit ca. 2 Bq/g Pb-210 im Mittel. Messungen des Nuklids Ra-226 ergaben Aktivitäten von <0,06 Bq/g.

Tabelle 3.2-3: Messergebnisse an Materialien der Roheisenverhüttung und Angaben zur Entsorgung der Abfälle /14/

	Anzahl Proben	Th-232 Min Mittel Max [Bq/g]	Pb-210 Min Mittel Max [Bq/g]	Entsorgung des Abfalls
Sinterbandentstaubung	14	0,003 0,006 0,012	<0,1 1,8 7,0	Anlageninterne Staubrückführung (mit 1 Ausnahme)
Gießhallenentstaubung	4	0,002 0,005 0,007	<0,1 <0,1 <0,1	Fe-Rückgewinnung in Sinteranlage
Hochofen-Gasentstaubung	24	0,005 0,012 0,015	<0,1 <0,1 <0,1	Fe-Rückgewinnung in Sinteranlage; Deponie
Nassentstaubung Hochofen	20	0,002 0,020 0,035	<0,2 2,8 8,5	Deponie
E-Ofenentstaubung	4	0,001 0,005 0,007	<0,1 <0,1 <0,1	unterschiedlich

Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Optik

Systematische Untersuchungen zu Mengen an NORM/TENORM Abfällen im Sinne dieser Studie liegen der Berufsgenossenschaft nicht vor. Hingewiesen wird auf Einzelkenntnisse, die sich auf Mengen von mehreren Tonnen thoriumoxidhaltiger Abfälle beziehen. Zu den Entsorgungswegen wird angemerkt, dass in den Unternehmen über eine Verwertung und Wiederverwendung der Abfälle nachgedacht wird.

Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV)

Im Bereich der Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen ist die Problematik von natürlichen Strahlenquellen als Verunreinigung an Schrottteilen (Anlagenteilen) hinreichend bekannt. Als Quellen werden zahlreiche Industriebereiche genannt, von denen einige nicht in der StrlSchV aufgeführt sind (vgl. Tabelle 3.2-4). Mengenangaben liegen nicht vor.

Tabelle 3.2-4: Angaben BDSV zu radioaktiven Stoffen in Schrotten (s. Anlage 1)

Industriebereich	Spezifizierung	Zuordnung zur StrISchV		Aktivität [Bq/g]	Bemerkung
		ja	nein		
Erzbergbau	- Anlagenteile des Abbaus von Zn-, Ag-, Bi-, Co- und Ni-Erzen mit Urananteilen	x		k.A.	
	- Metallteile aus der Gewinnung, Aufbereitung und Weiterverarbeitung von: Erz, fossile Rohstoffe, Mineralien (Seltene Erden, Kohle, Öl, Gas, Zirkon- und Monazitsande, Wolfram, Titanoxid)	x		1 - 100	
Erdöl / Erdgas	- Fördereinrichtungen	x		250	Ra-226
Steinkohlebergbau	- Anlagenteile der Grubenentwässerung		x	1 - 50	Ra-226
Wasserwirtschaft	- Teilanlagen		x	0,2 - 80	
Papierindustrie	- Rohre, Pumpen, Flansche		x	0,2 - 150	Ra-226
Kraftwerke und Verbrennungsanlagen	- Aschen, Schlacken, Granulate, Stäube, Sande, Krätze, Schlämme, Auskleidungen* und Feuerfestmaterialien*	x (nur *)	x	k.A.	
Phosphatindustrie	- Anlagen der Phosphatverarbeitung (Herstellung/Anwendung von Phosphatdüngemitteln)	x		> 10	Zuordnung zur StrISchV nur bei Rohphosphatverarbeitung
Sonstiges	- thorierte Schweißelektroden, Triebwerksteile mit Th-Legierungen von 0,3-4 %		x	20 – 150 (Th-230: 230 – 500)	

Verband Deutscher Mineralbrunnen

Die Radiumkonzentration in Mineralwässern hat sich nach einem Bericht im ZDF als Problem für die Branche erwiesen. Einzelne Brunnen mussten bereits geschlossen werden.

Prinzipiell wird bereits durch die Enteisung Radium aus Mineralwasser reduziert. Gezielte Abreicherungsverfahren werden entwickelt und angewendet /62/. Über die Entsorgung von Abfällen mit erhöhter Radioaktivität gibt es im Verband keine Kenntnisse. Hierzu wird auf die Unternehmen und spezialisierte Beratungsfirmen verwiesen.

VGB Power Tech e.V.

Gemäß Antwortschreiben des VGB fallen in Kohlekraftwerken keine Materialien an, deren Aktivitäten oberhalb von 10 Bq/g liegen.

Die Abfälle aus Verbrennungsanlagen sind auch nicht als Rückstände in der StrISchV aufgeführt.

3.3 Bewertung der Rechercheergebnisse

3.3.1 Behörden / Ämter

Die Auswertung der Recherche ergab die nachfolgend zusammengefassten Sachverhalte, die sich sowohl auf das Mengengerüst als auch auf die zu erwartende Praxis behördlichen Handelns beziehen. Die Einzelinformationen wurden bei der Ableitung des Mengengerüsts (s. Abschnitt 4, 5) sowie bei der Beschreibung und Bewertung der gegenwärtigen und zukünftigen Praxis (Abschnitte 6, 7) berücksichtigt.

- Grundsätzlich sind in vielen Bundesländern bestimmte Unternehmen und Sachbereiche bekannt, in denen mit dem Anfallen von NORM bzw. TENORM zu rechnen ist. In einigen Bundesländern wurde aber bis Mitte 2002 offensichtlich davon ausgegangen, dass auf ihren Territorien keine diesbezüglichen Materialien vorhanden sind oder diese erst im Zuge der weiteren Umsetzung der StrlSchV bekannt werden. Bundesländer, in denen bisher systematisch die Umsetzung der Regelungen zum Teil 3 StrlSchV durch gezielte Erhebungen vorbereitet wurden, sind Sachsen sowie Bayern.
- Bisher gibt es in den Ländern nur wenige konkrete Kenntnisse zum Aufkommen an Materialien in den durch die Teile 3 und 4 der novellierten StrlSchV zu berücksichtigenden Bereichen. Insbesondere fehlen differenzierte Kenntnisse über die Mengen-Aktivitäts-Verhältnisse. Die Antwortschreiben geben Anlass zu der Annahme, dass auch mögliche Herkunftsbereiche bisher noch nicht abdeckend identifiziert worden sind.
- Mehrfach werden durch die Behörden Sachverhalte als radiologisch relevant dargestellt, die nicht als Rückstände im Sinne der Anlage XII Teil A einzustufen sind. Dazu zählen die Verwendung *thorierter Schweißelektroden* (Elektrodenreste, Schleifstäube, Filter von Absauganlagen, Reste des Kühlprozesses) sowie Ablagerungen der Nutzung von radiumhaltigem *Mineralwasser*. Der Bereich *Schrottaufbereitung/-reinigung* ist erfasst, sofern die auftretenden Verunreinigungen den in der StrlSchV dargestellten Industriebereichen zuzuordnen sind.
- Auf die Problematik von gefundenen und nach § 71 StrlSchV sichergestellten Materialien weisen z.B. Informationen aus Mecklenburg-Vorpommern hin.
- In einigen Bundesländern (Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Hessen, Thüringen, Rheinland-Pfalz) wurden Fälle beschrieben, bei denen Bodenaushub oder Bauschutt aus früheren strahlenschutzrechtlich genehmigten Tätigkeiten oder äquivalenten Altlasten als radioaktive Abfälle sichergestellt wurden oder derzeit derartige Entsorgungen vorbereitet werden. Prognosen über das weitere Aufkommen solcher Fälle konnten aber (mit Ausnahme einiger bereits angelaufener Vorhaben) nicht gegeben werden. Auf die Notwendigkeit von Regelungen bei der Weiterentwicklung des Strahlenschutzrechtes wird insbesondere im Antwortschreiben des Landes Berlin hingewiesen.
- Die Recherchen (insbesondere auch die im Zuge der Nachrecherchen geführten Gespräche) zeigten, dass die Einstufung von Materialien als „radioaktiver Abfall“ in verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich gesehen wird. Zumindest in der Anfangsphase der Umsetzung können daher unterschiedliche Entscheidungen zur Einstufung von Materialien als radioaktiver Abfall führen.

3.3.2 Verbände und Wirtschaft

Die Auskunftsbereitschaft im Bereich der Privatwirtschaft ist allgemein als zurückhaltend zu bewerten. Ursache hierfür ist offenbar die mangelnde Akzeptanz für Frage-/Problemstellungen im Themenbereich Radioaktivität (Umgang, Einsatz und Entsorgung von radioaktiven Materialien) durch die Bevölkerung, so dass die Unternehmen auf ein hohes Maß an Datenschutz bedacht sind.

Generell kann aus der Recherche folgendes abgeleitet werden.

- In den meisten befragten Firmen, in denen das Vorkommen erhöhter Radioaktivität bekannt ist, wird ein Anfallen radioaktiver Abfälle nicht erwartet. Vielfach sind die spezifischen Aktivitäten der betreffenden Materialien relativ gering oder es haben sich bereits Entsorgungswege bewährt, die auch in Zukunft als nutzbar eingestuft werden.
- In einigen Firmen wurden anfallende Stoffe als radioaktive Stoffe sichergestellt und geordnet entsorgt. Zum Teil wurde und wird eine Einstufung als radioaktiver Abfall vorgenommen. Das betrifft insbesondere Kleinmengen an Chemikalien.
- Aufgrund von Annahmeproblemen bei der Entsorgung liegen in einigen Unternehmen z.T. Lagerbestände an radioaktiven Abfällen vor. Das Entsorgungsproblem zwingt die Unternehmen, sofern möglich, eigene Verfahren zum Recycling der Rückstände zu entwickeln.

Weitere Ergebnisse der Recherchen werden bei der Aufstellung des Mengengerüsts (Abschnitte 4 und 5) sowie bei der Analyse der bisherigen und zu erwartenden Praxis des Umgangs mit Reststoffen dargestellt.

3.4 Schlussfolgerungen aus den Recherchen

Die durchgeführten Recherchen zeigen, dass derzeit nur lückenhafte Kenntnisse über das Vorkommen von Materialien erhöhter spezifischer Aktivität in der deutschen Industrie vorliegen. In einigen Branchen (z.B. Erdöl-Erdgas) ist der Sachverhalt bereits seit langem bekannt, andere Branchen haben sehr geringe Kenntnisse und sind auch nur begrenzt an einer Vertiefung dieser Kenntnisse interessiert, da vor allem wirtschaftliche Nachteile erwartet werden.

In Bezug auf die Aufgabenstellung dieser Studie ist auf folgende Aspekte besonders hinzuweisen:

- Eine verbesserte Beurteilung von TENORM Bildungen in der Industrie erfordert Kenntnisse zu den wichtigsten TENORM bildenden Prozessen und deren Parameter. Insbesondere die Bildung von Ablagerungen an Anlagenteilen (sowohl aus Wasser/Lösungen bei Ra-226, Ra-228 als auch aus Luft / Gasen bei Pb-210, Po-210) ist wahrscheinlich weiter verbreitet als häufig angenommen.

- Die Definition des „Zusatzes“ radioaktiver Stoffe zu Produkten ist insbesondere beim Zusatz von mineralischen Zuschlagstoffen noch zu präzisieren. Vielen Betrieben ist nicht bewusst, dass die von ihnen hergestellten Produkte ggf. unter diese Regelungen fallen. Das gilt insbesondere für solche Unternehmen, in denen der Umgang mit Mineralsanden bisher keine strahlenschutzrechtliche Genehmigung erforderte.
- Für das Mengenaufkommen muss zusätzlich zu den hier betrachteten Herkunftsbereichen der deutschen Industrie auch der Import von Produkten gezählt werden. Z.B. werden thorierte Schweißelektroden auch aus dem EU-Ausland (Österreich) und aus China importiert, Glühstrümpfe ebenfalls aus Asien. Über den Import von anderen Produkten, insbesondere solchen, denen mineralische NORM zugesetzt wurden (z.B. Schleifpasten, aber auch zirkonbeschichtete Industriekeramiken) ist bisher nur sehr wenig bekannt.
- Mengenveränderungen sind durch technologische Veränderungen, aber auch durch grundlegende Veränderungen des Marktes in erheblichem Umfang möglich. So wurde von einigen der befragten Unternehmen deutlich gemacht, dass die Herstellung oder Verwendung von thorierten Produkten rückläufig ist und ein vollständiger Verzicht auf derartige Produkte angestrebt wird. Auch im Bereich der Rohstoffwirtschaft und Metallurgie sind Kapazitätsanpassungen zu erwarten, die zu einem Sinken des Mengenaufkommens an NORM/TENORM führen werden.

Für das deutsche Entsorgungskonzept sind vor allem diejenigen Herkunftsbereiche von Interesse, in denen regelmäßig in der Überwachung verbleibende radioaktive Abfälle anfallen. Angaben zu einem bereits seit längerem gut überwachten Abfallstrom, der ggf. in der Überwachung verbleibende Rückstände hervorbringen könnte, liegen nur für den Bereich der Erdöl-/Erdgas-Industrie vor. Von anderen industriellen Bereichen konnten aus den Recherchedaten der Länder nur Anhaltspunkte abgeleitet werden. Die übermittelten Daten beziehen sich im Wesentlichen auf einmalige bzw. kurzfristige Entsorgungsvorgänge. Ein Teil der Daten bezieht sich auf Rückstände, die bereits entsorgt worden sind und daher hinsichtlich der Aufgabenstellung nur Anhaltspunkte für die bisherige Praxis der Entsorgung liefern.

Neben den bisher dargestellten Ergebnissen wurde durch die Recherchen deutlich, dass die Frage der grenzüberschreitenden Verbringung von NORM/TENORM zu beachten ist. Dabei kann es sich sowohl um die Verbringung von konventionellen Abfällen mit erhöhter natürlicher Aktivität in deutsche Unternehmen, Unternehmensteile oder Tochterfirmen zum Zwecke der weiteren Entsorgung handeln als auch um den Import von Produkten, deren Herstellung in Deutschland unter die Regelungen des Teils 4 StrlSchV fällt.

4 Aktueller Sachstand zu Art und Mengenaufkommen von NORM-Rückständen

4.1 Vorbemerkung

Nachstehend werden die nach den Ergebnissen verschiedener Recherchen und Literaturlauswertungen vorliegenden Erkenntnisse über die Art und das Auftreten von NORM-Rückständen aus den Zuordnungsbereichen 1 und sonstigen Materialien aus dem Zuordnungsbereich 2 (s. Abschnitt 2.4) zusammengefasst dargestellt. Bezüglich der einbezogenen Stoffe wird der Zuordnungsbereich 2 durch Materialien charakterisiert, die nach Literaturangaben eine Relevanz in Bezug auf mögliche Überwachungen nach § 102 StrlSchV erkennen lassen. Die Aufnahme dieser Materialien in diese Studie und die Abschätzung von Mengen ist ausschließlich durch den Arbeitsansatz begründet, der eine möglichst umfassende Betrachtung des Sachbereiches anstrebt. Die Diskussion antizipiert daher keine Notwendigkeit, die Materialien im konkreten Fall in Überwachungen aufzunehmen. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass nicht überwachte Materialien (ungeplant) als „Funde“ auftauchen können.

Die nachfolgend aufgeführten Daten (Massen, Aktivitäten) verstehen sich als Basiskennzahlen bzw. als zusätzliche Informationen, auf deren Grundlage weiterführende Mengenschätzungen (Abschnitt 6) und Einzeldiskussionen zur Entsorgungspraxis (Abschnitt 9) ausgeführt werden. Die dabei verwendeten Stichworte beinhalten die nachfolgend aufgeführten Charakterisierungen.

Herkunft / Entstehung: Der natürliche oder technische Prozess, der zur Bildung von NORM/TENORM führt.

Art der NORM-Rückstände: (= Rückstände oder sonstige Materialien); benennt die technische Bezeichnung anfallender Materialien und charakterisiert ggf. die physikalische Beschaffenheit.

Radionuklide: Benennt die wichtigsten Radionuklide, die als Referenznuklide den Nuklidvektor charakterisieren. Die Einbeziehung von Tochternukliden erfolgt in der durch die in Anlage III Tabelle 2 StrlSchV eingeführten Schreibweise.

Spezifische Aktivitäten: Charakterisiert das allgemeine Aktivitätsniveau der jeweiligen Materialien.

Standorte: Es werden soweit eingrenzbar, die Bundesländer aufgeführt, in denen sich Produktionsstandorte befinden, an denen die hier betrachteten Rückstände oder Materialien anfallen.

Mengenaufkommen: Es werden die nach bisherigem Kenntnisstand (Rechercheergebnisse) zu veranschlagenden Gesamtmengen der jeweils betrachteten Materialien aufgeführt. Soweit einschätzbar, werden Aussagen zum zeitlichen Anfall (ständig, periodisch, zeitweise/fallweise) und zur zeitlichen Entwicklung der Mengen getroffen. Die differenzierte Betrachtung von Mengen inkl. ihrer Aktivitäten erfolgt im Abschnitt 6.

4.2 Zuordnungsbereich 1: Überwachungsbedürftige Rückstände

4.2.1 Rückstände der Erdöl- und Erdgas-Gewinnung (Anl. XII Teil A Punkt 1 StrlSchV)

Vorbemerkung: Neben den explizit in Anlage XII Teil A Punkt 1 StrlSchV benannten Materialien sind hier auch mit Scales verunreinigte Anlagenteile, sofern eine Trennung beider Komponenten nicht möglich ist, und Reinigungsgemische aus Scales und Sandstrahlgut zu betrachten.

Herkunft / Entstehung: Schlämme diverser Konstitution entstehen vor allem als Ergebnis der Mitförderung von Lagerstättenwasser, das ungelöste Salze oder Gesteinspartikel enthält. Bei der Öl- und Gasreinigung fallen schlammartige Reinigungsrückstände an.

Scales bilden sich zunächst als Ablagerungen auf Anlagenteilen. Sie können ggf. mit den Anlagenteilen zusammen als Rückstand behandelt und entsorgt werden. Sie fallen nur dann als abgetrennte Materialien an, wenn Rohrleitungen oder andere Anlagen gezielt gereinigt werden. Ein typisches Material von Anlagenreinigungen sind Gemische aus schlammigen und festen Ablagerungen und Sandstrahlgut.

Art der NORM-Rückstände: **Schlämme** (noch nicht verfestigte Ablagerungen in Anlagenteilen, Anfall an unterschiedlichen Stellen des Produktionsprozesses).

Anlagenteile mit Ablagerungen (Scales). Die Anlagenteile werden vor der Entsorgung nicht gereinigt, d.h., die anhaftenden Scales bestimmen die radiologischen Bedingungen.

Scales (Ablagerungen in Rohren und Anlagenteilen). Separater Anfall der Scales, z.B. nach der Reinigung von Rohren bzw. Anlagenteilen.

Reinigungsgemische mit Sandstrahlgut oder als Schlamm-Scale-Gemische aus Molchungen.

Radionuklide: Ra-226+, Pb-210++, Ra-228+, Th-228+

Spezifische Aktivitäten:

Nuklid	spezifische Aktivität [Bq/g]	
	Schlämme	Scales
Ra-226	bis >100	bis > 1000
Pb-210	bis >100	bis > 300
Ra-228	bis >100	1/3 Ra-226
Th-228	bis >100	1/3 Ra-226

Diese Angaben sind als Orientierungsgrößen zu verstehen, wobei die angegebenen Zahlenwerte eher als obere Grenzen zu betrachten sind. In Tabelle 4.2-1 ist der Kenntnisstand zum Mengenaufkommen mit unterschiedlicher spezifischer Aktivität für NORM-Rückstände aus der Erdöl-/Erdgasindustrie zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4.2-1: Mengenaufkommen an NORM-Rückständen aus der Erdöl-/Erdgasindustrie

NORM-Rückstände	pro Jahr anfallende Mengen	Spezifische Aktivitäten
Produktionsschlämme (Nach Abzug der flüssigen Phase und Reinjektion der flüssigen Phase in die Lagerstätte)	50 - 250 t	50 - 100 Bq/g 30% 20 - 50 Bq/g 20% < 20 Bq/g 50%
Trockene reine Scales	20 - 60 t	Mittelwert: 100 - 200 Bq/g, max. 400–920 Bq/g
Anlagenteile mit Scales	20 - 400 t	Mittelwert (Scale plus Anlagenteile): < 10 Bq/g Mittelwert: Scale 100 - 200 Bq/g

Die Zahlen der Tabelle 4.2-1 basieren auf dem Anfall bei EMPG (70% der deutschen Gasförderung und 30 % der deutschen Erdölförderung) während der letzten 8 Jahre, hochgerechnet auf den gesamten WEG /18/. Die Angaben für die Schlämme korrespondieren mit den Angaben der GMR Leipzig. In dieser Firma werden quecksilberhaltige Schlämme, die bei den deutschen Erdgasproduzenten anfallen, rezykliert (s. Abschnitt 4.4.2).

Tabelle 4.2-2: Hochgerechnetes Mengenaufkommen an NORM-Rückständen aus der Erdgasindustrie nach Angaben der GMR Leipzig für das Jahr 2002 /22/

NORM-Rückstände	Mengen	Spezifische Aktivitäten
angelieferte Produktionsschlämme, enthalten neben Quecksilber auch zum Teil die flüssige Phase	50 - 250 t	50 – 100 Bq/g 4% 20 – 50 Bq/g 10% < 20 Bq/g 86% Mittelwert: 10 Bq/g

Zu diesen Mengenangaben sind folgende Bemerkungen zu machen.

Zeitliche Entwicklung des Mengenaufkommens: Schlämme aus Erdöl-/Erdgasförderanlagen fallen quasi kontinuierlich an. Das Mengenaufkommen von Scales hängt dagegen entscheidend vom Rückbau von Altanlagen ab. Aber auch durch Wartungs- und Reparaturarbeiten fallen diskontinuierlich kleinere Mengen an. Die Hauptphase des Rückbaus der Fördereinrichtungen wird für die Zeit bis 2015 erwartet. Ein kontinuierliches Aufkommen von Scales betrifft nur den regelmäßigen Ersatz von Anlagenteilen während des Förderbetriebes.

Mengenauflkommen Schlämme: Hinsichtlich des Mengenauflkommens an Schlämmen nach /5/ von **ca. 20.000 t pro Jahr** stellen die in Tabelle 4.2-1 angegebenen Daten eine erheblich geringeres Aufkommen dar. Die Abschätzung von **ca. 20.000 t pro Jahr** berechnet sich gemäß /5/ aus folgenden Basisdaten:

- Erdöl: 10 m³/a (On-Shore) bzw. 80 m³/a (Off-Shore) je Fördereinrichtung, 1153 Erdölfördereinrichtungen (On-Shore)
- Erdgas: 1 m³/a (On-Shore) bzw. 8 m³/a (Off-Shore) je Fördereinrichtung, 575 Erdgasfördereinrichtungen (On-Shore), 3 Erdgasfördereinrichtungen (Off-Shore)

Der mit diesen Angaben beschriebene jährliche Massenstrom enthält alle anfallenden Materialien. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei auch um Materialien handelt, die aufgrund geringer Aktivität keine überwachungsbedürftigen Rückstände darstellen.

Mengenauflkommen Anlagenteile (Tubbinge, u.a.): Durch den Rückbau von Förderanlagen wird in den nächsten 10 bis 15 Jahren ein erheblicher Anfall an rückgebauten Fördereinrichtungen, Rohrleitungen und Anlagenteilen entstehen. Allein durch den Rückbau in den ostdeutschen Förderfeldern sind bislang ca. 15.000 Stück Tubbinge á 9 -10 m Länge angefallen, weitere 15.000 werden in den nächsten 10 Jahren erwartet (/23/). In Niedersachsen und Schleswig-Holstein sind ähnliche Größenordnungen an Rückbau zu erwarten.

Mengenauflkommen Scales: Bei der Reinigung von 7 km scalekontaminierter Rohrleitung fallen nach Informationen der Industrie ca. 15 t Scales an /19/. Diese Angabe entspricht bei einer Scaledichte von 2-4 g/cm³ und einem Rohrdurchmesser von 10 cm einer Dicke der Ablagerung von ca. 2 mm. Präzise Angaben über die jährlich gereinigten radioaktiv kontaminierten Leitungsstrecken bzw. den Anfall von Scales aus anderen verunreinigten Anlagenteilen liegen nicht vor.

Die in Tabelle 4.2-1 angegebenen spezifischen Aktivitäten für reine Scales und Anlagenteile sind in guter Übereinstimmung mit Werten, die bei IAF-Radioökologie im Zuge von Radionuklidanalysen für unterschiedliche Auftraggeber erhalten wurden (s. Tabelle 4.2-3).

Tabelle 4.2-3: Aktivitätsdifferenziertes Mengenauflkommen an NORM-Rückständen aus der Erdöl-Erdgasindustrie (Auswertung von Radionuklidanalysen der IAF-Radioökologie GmbH)

NORM-Rückstände	Mengen	Spezifische Aktivitäten
Scales plus anderweitige Inkrustationen nach Rohrreinigung	20 t (Schätzwert für ca. 10 km Rohre (Tubbinge))	Mittelwert: 50 Bq/g, maximal bis 500 Bq/g
Anlagenteile mit Scales	20 - 400 t	Mittelwert (Scale plus Anlagenteile): < 10 Bq/g Mittelwert: Scales 100 - 200 Bq/g

Mengenauflkommen an Gemischen: Konkrete Angaben über den Umfang der praktizierten Sandstrahlreinigung und die dabei angefallenen Massen liegen nicht vor.

Die mittlere spezifische Aktivität kann in Abhängigkeit von der eingesetzten Menge des Sandstrahlgutes stark schwanken. Erste Untersuchungen bei IAF-Radioökologie GmbH zeigten, dass die mittlere spezifische Aktivität bei lediglich 2 Bq/g lag. Diese Reduzierung ist dem hohen Einsatz von Sandstrahlgut geschuldet, um mit Hilfe des Verfahrens eine ausreichende Reinigung der Rohre und Anlagenteile realisieren zu können.

Nach /19/ ist bei der Reinigung von ca. 7 km scalekontaminierter Rohrleitungen mit 30-50 t an Gemischen aus schlammigen und festen Ablagerungen mit Sandstrahlgut zu rechnen. Unter Bezug auf die oben benannte Menge an Scale von ca. 15 t für die gleiche Strecke entspricht das einer Massenzunahme und Abnahme der spezifischen Aktivität um ca. den Faktor 3.

Standorte: NI, SH, NW, ST, BB, MV, BY, TH

Quellen: /1/, /7/, /8/, /16/, /17/, /18/, /19/, /20/, /21/, /22/

Weitere Anmerkungen: Scales sind mineralische Ablagerungen an den Innenwänden von Fördersonden (Tubbinge) und sonstigen Rohrleitungen oder Anlagen der Erdöl- und Erdgasgewinnung. Ihre chemischen Hauptbestandteile sind Ba/SrSO₄, CaCO₃, SiO₂, PbS, Pb bzw. Gemische davon. Durch die Art ihrer Entstehung werden primär nur ²²⁶Ra und ²²⁸Ra und/oder ²¹⁰Pb angereichert. Die jeweiligen Tochternuklide, insbesondere ²²⁸Th und ²¹⁰Pb/²¹⁰Po wachsen nach. Die Primordialnuklide ²³⁸U und ²³²Th werden nicht akkumuliert.

Die höchsten spezifischen Aktivitäten der Radium-Isotope treten bei Scales des Sulfattyps auf, die Minima (< 0,2 Bq/g) bei karbonatischen Ablagerungen. Die Aktivitätsverhältnisse frischer Bildungen sind sehr variabel und reichen bei ²¹⁰Pb : ²²⁶Ra von <0,1 bis über 50; bei ²²⁸Ra : ²²⁶Ra von <0,1 bis 1,7 (MW = 0,6) für Erdgasfelder und von 0,5 bis 4,4 (MW = 1,8) für Erdölfelder: Durch den Zerfall von ²²⁸Ra kann für praktische Abschätzungen bei Scales häufig mit einem Verhältnis ²²⁸Ra : ²²⁶Ra von ca. 1/3 gerechnet werden, das natürlich von der Lagerungszeit stark abhängt. Der Verhältniswert von 1/3 basiert auf mehr als 100 Einzelmessungen, die IAF-Radioökologie im Auftrag unterschiedlicher Firmen durchgeführt hat /17/.

Neben den Radionukliden enthalten die Schlämme teilweise eine beträchtliche Menge (ca. 10-15 Masse-%) an Quecksilber und Blei (Sulfit oder metallisch).

Bei der Bewertung der Daten ist zu beachten:

- Nach mehr als 60 Jahren Lagerungszeit wird Ra-226+ zu Ra-226 ++.
- Die Halbwertszeit von Ra-228 beträgt 5,8 a, so dass die Ra-228-Aktivität schon bei Lagerzeiten von einigen Jahren signifikant abnimmt und nach ca. 20 Jahren die spezifische Gesamtktivität der Schlämme durch Ra-226++ gegeben ist.

- Die in der Tabelle 4.2-2 angegebenen spezifischen Aktivitäten charakterisieren den Wertebereich, der bei Einzelproben erreicht wird. Die mittleren spezifischen Aktivitäten in Schlämmen einer Masse von ca. 50 t lagen nach Auswertung der bei der Firma GMR für das Jahr 2002 angelieferten Schlämme bei ca. 10 Bq/g /17/. Auch bei Scales wurde in den Untersuchungen von IAF-Radioökologie /17/ eine mittlere spezifische Aktivität festgestellt, die weit unterhalb der o.g. Maximalwerte zu veranschlagen ist und im Bereich von 10-50 Bq/g liegt. Die geringeren spezifischen Aktivitäten größerer Chargen entstehen, da prozessbedingt im Reinigungsprozess des Erdgases unterschiedlich stark kontaminierte Rückstände anfallen. Dies betrifft auch die Inkrustationen in Rohren und Behältern.

4.2.2 Rückstände aus der Verarbeitung von Rohphosphat (Anl. XII Teil A Punkt 2 StrlSchV)

Vorbemerkung: Nach gegenwärtigem Kenntnisstand findet in Deutschland keine thermische Verarbeitung von Rohphosphat mehr statt. Es ist somit davon auszugehen, dass gegenwärtig keine Stäube und Schlacken aus der Verarbeitung von Rohphosphat in Deutschland anfallen. Unklar ist allerdings, inwieweit es durch den Import von Zwischenprodukten (z.B. Schwärzsäure) zur Einfuhr von Stoffen kommt, die als radiologisch relevant im Sinne der StrlSchV einzustufen sind. Die in /5/ angegebene Importmenge von 285.000 t konnte durch eigene Recherchen nicht einer Verarbeitung zugeordnet werden, die für die Entstehung von Rückständen relevant ist.

Für das Jahr 1999 wurde ein Import von ca. 1.000 t Phosphorgips ermittelt, der zur Aufbereitung nach Deutschland gebracht wurde (s. Anlage 2). Diese Menge wird als Referenzmenge Phosphorgips zur Aufbereitung im Weiteren genutzt. Der bei der nasschemischen Phosphorsäureproduktion anfallende Phosphorgips wird in Deutschland deponiert und nicht aufbereitet.

Herkunft / Entstehung: Aufbereitungsrückstände aus der Verarbeitung von Phosphorgips

Art der NORM-Rückstände: Schlämme aus der Aufbereitung von Phosphorgips

Radionuklide: U-238, Ra-226++

Spezifische Aktivitäten: bis ca. 4,8 Bq/g (Ra-226) im Rohstoff /8/. In Phosphorgips ist mit spezifischen Aktivitäten von ca. 0,5 Bq/g zu rechnen /5/.

Mengenauflkommen: 1.000 t/a (Import 1999, s. Abschnitt 5.6.2)

Quellen: /5/, /8/, /37/

Anmerkungen: Die Auswertung von Importstatistiken zu Abfällen /38/ /39/ zeigte, dass zumindest zeitweise Phosphorgips zur Aufbereitung nach Deutschland eingeführt wird. Die für das Jahr 1999 angegebene Menge wird durch die Daten des Folgejahres nicht erreicht (25 t). Der Import von Phosphorgips stellt daher wahrscheinlich keinen regelmäßigen Mengenstrom dar.

4.2.3 Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit (Anlage XII Teil A Punkt 3a StrISchV)

Vorbemerkung: Bei der Weiterverarbeitung des aus Bauxit gewonnenen Al_2O_3 fallen in der Aluminiumelektrolyse Krätzen an. Da diese in der Regel aufbereitet werden, damit also nicht aus dem Produktionsprozess als zu entsorgende Stoffe ausgeschleust werden, sind sie als Rückstände i.S. der StrISchV nicht zu berücksichtigen. Gemäß /5/ sind Materialien, die bei Prozessschritten nach der Aufbereitung des Bauxits anfallen allgemein als aktivitätsfrei einzustufen. Eine Betrachtung weiterer Produktionsrückstände außer Rotschlamm entfällt damit.

Herkunft / Entstehung: Aufbereitungsrückstände von Bauxit bei der Aluminiumproduktion

Art der NORM-Rückstände: Schlämme der Bauxitaufbereitung (Rotschlamm); ggf. Ablagerungen in Anlagenteilen oder Rohren

Radionuklide: U-238+, Ra-226++, Th-232sec

Spezifische Aktivitäten:

Nuklid	spezifische Aktivität [Bq/g]
U-238	0,05 bis 0,7
Ra-226	<0,02 bis 1,6
Th-232	0,05 bis 1,0

Standorte: NW, NI, HH

Mengenauftkommen: 900.000 t Rotschlamm abgeleitet aus /5/ und /29/.
Der Anfall der Materialien ist praktisch kontinuierlich und wird durch die Aluminiumverhüttung in Deutschland bestimmt.

Quellen: /5/, /29/

Anmerkungen: Es ist davon auszugehen, dass aus der früheren Aluminiumproduktion größere Aufhaldungen mit Rotschlamm vorhanden sind, über deren Aktivität und radiologische Situation derzeit keine Kenntnisse vorliegen. Die Betrachtung solcher Hinterlassenschaften ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Obwohl über das Auftreten von radioaktiven Ablagerungen derzeit keine Kenntnisse vorliegen, ist prinzipiell nicht auszuschließen, dass deutliche Anreicherungseffekte bestehen. Eine Berücksichtigung dieser Möglichkeit erfolgt in dieser Studie nicht.

4.2.4 Rückstände der Aufbereitung von Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)

Vorbemerkung: Die in der StrlSchV aufgeführten Minerale Columbit, Mikrolyth, Euxenit und Pyrochlor sind Niob-/Tantalminerale, wobei Columbit vor allem als Tantalminerale, Pyrochlor als Niobminerale genutzt wird. Die Minerale enthalten praktisch immer akzessorische Uran-Thoriumminerale, so dass sie eindeutig als NORM zu klassifizieren sind. Als weiterer Rohstoff der Tantalproduktion wird die gleichfalls in der StrlSchV benannte Zinnschlacke (aus Südostasien) benutzt.

Eine Gewinnung von Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit erfolgt in Deutschland nicht. Daher können die in der StrlSchV genannten Rückstände aus Aufbereitungsprozessen der Erze außer Betracht bleiben. Angaben zur spezifischen Aktivität von Mineralkonzentraten und Erzen enthält Tabelle 4.2-4.

Tabelle 4.2-4: Spezifische Aktivität von Nb-Ta-Erzen und -Konzentraten

Material	nähere Spezifikation	U-238; Ra-226		Th-232		Quelle
		Min.	Max.	Min.	Max.	
Mikrolyth	Konzentrat (Mosambique)		120	11		/120/
Tantalit	Konzentrat (Mosambique)		14	3,9		/120/
Pyrochlor		5	10	7	80	/139/
Columbit	Erze		30		10	/7/
Zinnschlacke			20		7	/7/

Die Produktion von Nb und Ta verläuft zunächst hydrometallurgisch auf der Basis importierter Konzentrate (Tantal: 1 Firma; Niob: 3 Firmen) /27/. Nur in dieser Verarbeitungsphase ist die Radioaktivität der Erze zu beachten. Die in dieser Phase hergestellten Nb-/Ta-Fluoride bzw. Oxide (s. /87/, /157/) sind weitgehend aktivitätsfrei. Aus der (nur grob einschätzbaren) Verfahrensschemie (s. J. Krüger in /7/ sowie /87/ und /157/) ist mit dem Verbleib von Radium in den gelaugten Erzen und dem Mitextrahieren von Uran und Thorium mit den Wertmetallen auszugehen. Die Abtrennung der Radionuklide erfolgt bei Fällungen und Lösungsextraktionen. Durch die Neutralisation von Raffinat der Extraktion mit Kalk bilden sich CaF_2 (Flussspat) und Gips, wobei aufgrund der Massenverhältnisse die spezifische Aktivität gegenüber den eingesetzten Erzen abnimmt (J. Krüger in /7/).

Niob wird in großen Mengen als Legierungselement in Ferro-Niob verwendet (Weltproduktion ca. 20.000 t in 1999 /24/). Für andere Anwendungen (als Metall und als Oxid in optischen Linsen) sind die Mengen deutlich geringer. Die Welttantalproduktion belief sich im Jahr 2000 auf ca. 1000 t, davon wurden 30 % /25/, nach anderen Angaben ca. 50 % in Deutschland erzeugt /26/.

Für das Jahr 1997 dokumentierte Import- und Exportzahlen von Rohstoffen und Produkten der Niob- und Tantalproduktion enthält Tabelle 4.2-5. Ein Teil der Masse von Erz und Konzentrat dürfte Zinnschlacke aus Südostasien beinhalten, die nach Informationen in /156/ einen wesentlichen Teil der verarbeiteten Rohstoffe ausmacht.

Tabelle 4.2-5: Import- und Exportzahlen von Rohstoffen und Produkten der Niob- und Tantalproduktion für das Jahr 1997 (Angaben in Tonnen, gerundet) /28/

	Niob		Tantal	
	Import	Export	Import	Export
Erz und Konzentrat inkl. Tantal	60.265	72		
Metall (bei Nb inkl. Rhenium)	31	11	102	132
Aschen und Rückstände, mit Gehalten an Nb oder Ta	14.122	0		
Ferroniob	3.664	590		
Abfälle und Schrotte (bei Nb inkl. Rhenium)	20	12	112	28

Wie die Recherchen zeigten, wird durch gezielte Lieferanforderungen die spezifische Aktivität der in Deutschland genutzten Rohstoffe / Konzentrate der hydrometallurgischen Niob- und Tantalproduktion beschränkt /30/.

Zur Produktion von Ferroniob (ca. 65 % Nb+Ta und 30 % Fe) werden Pyrochlorkonzentrate oder Zinnschlacken häufig zuerst geschmolzen, um die Wertträger in einer Metallphase anzureichern (J. Krüger in /7/).

Herkunft / Entstehung: Aufbereitungsrückstände der hydrometallurgischen Verarbeitung der Nb-/Ta Erze
Pyrometallurgische Produktion von Ferroniob

Art der NORM- Rückstände: Gips-Flussspatgemische als Fällungsprodukte von Extraktionslösungen, gelaugte Erze der hydrometallurgischen Verarbeitung
Schlacken der Pyrometallurgie

Radionuklide: U-238+, Ra-226++, Th-232++

Spezifische Aktivitäten:

Nuklid	spezifische Aktivität [Bq/g]	
	Rückstände der Ta-Metallurgie	Pyrochlorschlacken
U-238	< 10 (*)	7 – 14 (**)
Th-232	< 4 (*)	15 - 30 (**)

(*) Eingeschätzt nach Daten der Tabelle 4.2-4 und mündlichen Informationen /30/. (**) Werte berechnet aus Angaben in Rechercheantwort NRW (Anlage 1) mit Aufteilung der Gesamtaktivität von 250 Bq/g in 100 Bq/g für U-238 Reihe (14 Nuklide) und 150 Bq/g Th-232 (10 Nuklide). Weitere Angaben zur spezifischen Aktivität von 11 Bq/g Ra-226 und 24 Bq/g Th-232 enthält /158/.

Standorte: BY, HE, NI

Mengenauftkommen: Konkrete Angaben über das Mengenauftkommen an Rückständen konnten nicht ermittelt werden. Als Bezugsgröße kann die Rohstoffmenge von

74.000 t pro Jahr (Erze und Konzentrate + Aschen und Rückstände) nach Tabelle 4.2-5 verwendet werden.

Über den Anfall von 22 t Pyrochlorschlacke wurde in der Rechercheantwort NRW berichtet (s. Anlage 1).

Für die Tantalproduktion ist ein kontinuierlicher Anfall vom Rückstandsmaterialien anzusetzen. Über das Mengenaufkommen von Pyrochlorschlacke gibt es bisher keine verlässlichen Angaben.

Quellen: /7/, /24/, /25/, /26/, /28/, /29/, Rechercheantwort NRW (s. Anlage 1)

Anmerkungen: Insbesondere für Tantal, aber auch für Niob ist von wachsendem Bedarf auszugehen. Eine Zunahme der Tantalproduktion in Deutschland und damit verbunden eine Zunahme der dort anfallenden Rückstandsmengen, ist aus diesem Grund möglich.

4.2.5 Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Erzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)

Vorbemerkung: Die Elementgruppe der Seltenen Erden umfasst die Gruppe der Lanthaniden, d.h. der Elemente mit den Ordnungszahlen 57 (Lanthan) bis 71 (Luthethium). Die wirtschaftlich wichtigsten Elemente sind Cer, Lanthan, Samarium, Neodym. Die wichtigsten Seltenen-Erden-Erze sind Monazit, Bastnäsit, Cerit, Orthit (Allanit), Gadolinit, Xenotim, Euxenit /87/. Die Erze enthalten akzessorische Uran- und Thoriumminerale und wurden aufgrund ihrer häufig sehr hohen spezifischen Aktivitäten in der StrlSchV benannt, obwohl konkrete Fälle ihrer radiologischen Relevanz in Deutschland in /7/ nicht angegeben wurden.

Die Recherchen im Rahmen dieser Studie zeigten, dass eine Gewinnung von Seltenen-Erden-Erzen derzeit in Deutschland nicht stattfindet. Es gibt auch keine Produktion von Metallen der Seltenen-Erden aus Rohstoffen oder Konzentraten /29/. Wichtige europäischer Hersteller von Selten-Erden-Produkten sind die Firmen Treibacher Industrie AG in Österreich und Rhodia Terres Rares (früher Rhone Poulenc) Frankreich.

Die Seltenen-Erden werden als Legierungsbestandteile von Mg-Legierungen sowie in zahlreichen Werkstoffen der Hochtechnologien (Dauermagnete, Supraleiter) verwendet. Andere wichtige Einsatzgebiete sind die Glasherstellung (Färbung von Gläsern), Emailtechnik, Keramik sowie die Verwendung von Oxiden der Seltenen-Erden als Poliermittel. Zu diesen Zwecken werden auch Seltene-Erden-Minerale nach Deutschland eingeführt.

Angaben zu Arten, Mengen, spezifischen Aktivitäten: Über Art und Beschaffenheit konkreter Rückstandsmaterialien aus der Aufbereitung oder Verwendung von Seltenerdenmineralen konnten keine Angaben ermittelt werden. In den Behördenrecherchen gab es keine Hinweise auf radiologische Probleme in diesem Bereich.

4.2.6 Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Uranerzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)

Vorbemerkung: Uranerze werden in Deutschland nicht mehr zweckgerichtet gefördert und verarbeitet. Bei der Sanierung des Uranbergbaus in Sachsen und Thüringen fallen Konzentrate an, die zur Uranerzeugung weiter verarbeitet werden.

Angaben zu Arten, Mengen, spezifischen Aktivitäten: Da die Sanierung des Uranbergbaus in dieser Studie ausgeklammert wurde, gehen diese Materialien nicht in das Mengengerüst ein.

4.2.7 Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Kupferschiefererzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)

Vorbemerkung: Kupferschiefer wurde in Deutschland über einen langen Zeitraum im Mansfelder Revier abgebaut. Derzeit findet in Deutschland keine Abbau von Kupferschiefer mehr statt, so dass aktuell keine Rückstände entsprechend Anlage XII Teil A Punkt 3a auftreten.

Angaben zu Arten, Mengen, spezifische Aktivitäten:

Folgende Arten an Rückständen treten auf

- Schlacken (Mansfelder Schlackehalden),
- Schlämme (Mansfelder Theisenschlammhalden),
- Liegestäube der Verhüttung der Kupferschiefererze.

Die genannten Rückstände liegen derzeit als Hinterlassenschaften vor (siehe Abschnitt 4.2.13).

4.2.8 Rückstände aus der Gewinnung und Aufbereitung von Zinnerzen (Anl. XII Teil A Punkt 3a StrlSchV)

Vorbemerkung: In Deutschland findet keine Gewinnung und Aufbereitung von Zinnerzen statt. Es erfolgt ein Import von Zinn mit einem Reinheitsgrad von nahezu 100 % (ca. 20.000 t/a). Zinnschlacke kann ggf. zur Nb-/Ta-Produktion eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.2.4). Sie stellt dann allerdings einen Rohstoff und keinen Rückstand dar (s. Anlage XII Teil A StrlSchV).

Angaben zu Arten, Mengen, spezifischen Aktivitäten: In Deutschland sind Hinterlassenschaften der ehemaligen Zinnerzgewinnung und -aufbereitung (Schlackestein, Sn-Schlacke) vorhanden. Über die Radioaktivität dieser Hinterlassenschaften gibt es Daten /31/, die nicht auf erheblich erhöhte Aktivitäten hinweisen (Ra-226: 1,1 Bq/g; Th-232: 0,3 Bq/g).

4.2.9 Rückstände aus Gewinnung, Aufbereitung oder Weiterverarbeitung anderer Rohstoffe (Anlage XII Teil A Punkt 3b StrlSchV)

Vorbemerkung: Durch den in der StrlSchV gesetzten Kontext, führen die in der Verordnung benannten Minerale (Bauxit, Nb-Ta-Erze, Uranerz, Zinnerz, Kupferschiefer, Seltene-Erden-Erze), wenn sie bei

der Gewinnung, Aufbereitung oder Weiterverarbeitung „anderer Rohstoffe“ in Aktivitäten über 0,2 Bq/g anfallen, zur Bildung von Rückständen. Die Formulierung der StrlSchV deckt die Verarbeitung von Rohstoffen mit erhöhten spezifischen Aktivitäten ab, da die natürliche Aktivität zumeist an die Anwesenheit akzessorischer Uran- oder Thoriumminerale (Seltene-Erden-Minerale) gekoppelt ist (vgl. /7/ S. 50). Inwieweit diese Interpretation auch auf Sekundärrohstoffe ausgedehnt werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

Im Folgenden werden Prozesse betrachtet, die im Sinne der obigen Interpretation diesem Sachbereich zuzuordnen sind und für die aufgrund der Literaturlauswertung oder eigener Untersuchungsergebnisse /17/ spezifische Aktivitäten über 0,2 Bq/g möglich sind.

Herkunft/Entstehung: Rückstände der Gewinnung von Hartgesteinen. Nach Angaben in /82/, sind vor allem beim Granit spezifische Aktivitäten über 0,2 Bq/g zu erwarten (Wertebereich Ra-226 von 0,03 – 0,5 Bq/g, Mittelwert 0,1 Bq/g; Th-232 von 0,017 – 0,311 Bq/g, Mittelwert 0,120 Bq/g). Bei Anreicherung von Radionukliden in Feinfraktionen um den Faktor 2 (vgl. Tabelle 2.3-1) sind spezifische Aktivitäten bis ca. 1 Bq/g möglich.

Rückstände bei der Aufbereitung von Kaolin (Nasswäsche) und Feldspat. Die Anreicherung resultiert aus der Korngrößenfraktionierung und gravitativen Trennungen.

Aufbereitungsrückstände bei der TiO₂-Produktion aus Rutil und Ilmenit, insbesondere Endschlamm

Aufbereitung von Zirkonsanden

Aufbereitung und Verarbeitung von Erzen der Sondermetalle (Cr, W, Mo, Ga, Ge, In, Li, Se, Te, Sb, V, Zr, Edelmetalle)

Art der NORM-Rückstände: Hartgesteinsabbau: Stäube, ggf. Gesteinsbruch
 Kaolin-, Feldspatabbau: Monazithaltige Sande; Ablagerungen an Anlagenteilen /94/.
 TiO₂-Produktion: Schlämme (Endschlamm), Sande (Gangart), Eisenoxid, Koks

Zirkonsande werden importiert und zur Herstellung von Feuerfestmaterialien, Gießereisanden, Spezialgläsern, Schleifmitteln verarbeitet. Rückstände fallen dabei nach derzeitiger Kenntnis nicht an, allerdings können die Produkte in anderen Industrien als Formstücke zu Rückständen werden (s. Abschnitt 4.2.12).

Nach den vorliegenden Informationen sind die Rohstoffe und Konzentrate, aus denen in Deutschland die genannten Sondermetalle produziert werden in der Regel aktivitätsarm (< 0,2 Bq/g). Ein detaillierter Überblick über die tatsächlichen Aktivitäten von Rohstoffen und anfallenden Stoffe ist jedoch aufgrund fehlender systematischer Untersuchungen hinsichtlich der spezifischen Aktivitäten derzeit nicht möglich.

relevante Radionuklide: U-238sec, Ra-226++, Th-232sec

spezifische Aktivitäten:

Industriebereich	Abbau von Granit	Gewinnung von Kaolin, Feldspat	TiO ₂ -Produktion	Zirkonsande
Prozess	Gewinnung, (Brechen)	Aufbereitung, (Nasswäsche)	Aufbereitung	(Verarbeitung)
Rückstand	Granitstaub	Monazitsand	Endschlamm	(kein Rückstand)
Nuklid	spezifische Aktivität [Bq/g]			
U-238sec	1	< 2	<0,1	2,5 - 5
Ra-226++	1	< 2		
Th-232sec	0,6	< 8	<0,15	0,5 – 0,7

Daten nach /7/, /8/, /15/

Standorte:

Hartgestein:	SN, BY, evtl. RP
Monazitsande:	BY
TiO ₂ -Produktion:	NW
Zirkonsande:	NW, (andere Länder möglich)
Sondermetalle:	BY, NI, HE, NW, SN

Mengenauftommen: Für Zirkonsande und Sondermetalle ist kein Anfall an überwachungsbedürftigen Rückständen bekannt (außer evtl. Filterstäube der Rauchgasreinigung; s. Abschnitt 4.2.11).

Titandioxid: Die Gesamtmenge an Aufbereitungsrückständen aus der Titandioxidproduktion wird in /7/ mit ca. 400.000 t/a angegeben. Davon ist jedoch nur ein kleiner Teil Rückstand im Sinne der StrlSchV. Überwachungsbedürftige Rückstände sind nicht bekannt.

Über das Mengenauftommen von Rückständen aus dem Bereich der Gewinnung und Aufbereitung der anderen hier benannten Rohstoffe liegen keine belastbareren Daten vor. Für die Gesamtbeurteilung können folgende Recherchedaten zugrunde gelegt werden.

Granitabbau: In einzelnen Granitabbauen fallen jährlich bis über 10.000 t Feinfraktion ($\leq 0,9$ mm) an /33/. Diese Menge ist auch für jene (wenige) Abbaue anzusetzen, bei denen die Rohstoffaktivität über 0,2 Bq/g liegt.

Kaolin-, Feldspatabbau: Der Monazitgehalt beim Kaolinabbau in BY beträgt 0,5 ‰. Die Kaolinförderung in BY betrug 1997 etwa 650.000 t /34/. Die bei der Aufbereitung anfallenden Mengen wird in /7/ mit „einige Tonnen Monazitsand pro Jahr“ angegeben.

Quellen: /7/, /8/, /17/, /33/, /34/

Anmerkungen: Einige Hartgesteinsabbaubetriebe bauen Rohstoffe mit spezifischen Aktivitäten der Gesteine über 0,2 Bq/g ab. Vor allem in diesen Abbauen ist mit dem Anfallen von Rückständen zu rechnen.

Die Rohstoffe der Titandioxidproduktion (Rutil, Ilmenit) besitzen häufig leicht erhöhte Uran- und Thoriumgehalte. Sie werden aus diesem Grund auch in verschiedenen EU-Studien zu NORM/TENORM und Empfehlungen zum Strahlenschutz bei Arbeiten /32/ aufgeführt. In Deutschland wird durch Steuerung der Rohstoffaktivität das Entstehen von überwachungsbedürftigen Rückständen vermieden. Schlämme und Sande (Gangart) der TiO₂-Produktion in Deutschland besitzen nach Angaben in /7/ spezifische Aktivitäten unter <0,2 Bq/g.

Die hier beschriebenen Mengenaufkommen an Rückständen stehen in direktem Bezug zur Gewinnung und Aufbereitung der betreffenden Rohstoffe und fallen damit praktisch kontinuierlich an.

4.2.10 Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Roheisenmetallurgie (Primärverhüttung) (Anlage XII Teil A Punkt 4 StrISchV)

Herkunft/Entstehung: Thermische Fraktionierung von Pb-210 und Po-210 bei Metallschmelzen. Entstaubung von Gichtgas und anderen Abgasen an Hochöfen und Sinteranlagen.

Art der NORM-Rückstände: Stäube (hier: Sinteranlage, sofern nicht rückgeführt) und Schlämme (aus der Nassreinigung von Hochofengichtgas)

relevante Radionuklide: Pb-210, Po-210

spezifische Aktivitäten:

Nuklid	Spezifische Aktivität [Bq/g]	
	Stäube (Sinteranlage)	Schlämme (Hochofen)
Pb-210	1,8 (bis 50)	2,8 (bis 40)
Po-210	Ca. (1 bis 3) · Pb-210 (*)	Ca. (1 bis 5) · Pb-210 (*)

(*) Erfahrungswerte HGN (2003)

Standorte: HB, NI, NW, BB, SL

Mengenaufkommen: Sinterstäube als Rückstand: 500 t/a /14/. Anmerkung: Sinterstäube werden mehrheitlich in den Produktionsprozess zurückgeführt.
Hochofen-Schlämme: 100.000 t/a /35/.

Quellen: /7/, /14/, /35/, /36/, Rechercheantwort VDEh (Anlage 1)

4.2.11 Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Nichteisenmetallurgie (Primärverhüttung) (Anlage XII Teil A Punkt 4 StrISchV)

Vorbemerkung: Durch die Eingrenzung der StrISchV auf die Primärverhüttung sind zunächst folgende in Deutschland betriebene Primärverhüttungen einzubeziehen: Aluminium, Kupfer, Zink, Pyrometallurgie von Sondermetallen (inkl. Edelmetalle, Vanadium, u.a.). Für die thermische Anreicherung von Pb-210 bei Metallschmelzen sind vor allem Hochtemperaturprozesse über 1000 °C von Bedeutung. Hinzuweisen ist hierbei auch auf eine mögliche Anreicherung von Po-210 in den Rauchgasen und Flugstäuben, da dieses schon bei Temperaturen unter 1000 °C freigesetzt wird. Po-210 kann damit vor allem bei Rückständen geringen Alters von Relevanz sein.

Herkunft/Entstehung: Rauchgasreinigung der Nichteisenmetallurgie

Art der NORM-Rückstände: Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung

relevante Radionuklide: Pb-210, Po-210

spezifische Aktivitäten: bis 27 Bq/g Po-210 (Messwerte von Theisenschlämmen) /37/

Repräsentative Messungen über die Aktivität von Stäuben aller Metallurgiezeige liegen bisher nicht vor. Als Bezugswerte können die relativ gut untersuchten Theisenschlämme und Flugstäube der Kupferverhüttung herangezogen werden /37/. Die Aktivitäten dieser Rückstände werden in Tabelle 4.2-6 zusammengestellt.

Tabelle 4.2-6: Spezifische Aktivitäten in Theisenschlamm und Primärflugstaub der Kupferverhüttung /37/

	spezifische Aktivität [Bq/g]			
	Ra-226	Th-232	Po-210	Pb-210
Theisenschlamm	0,18 - 0,56	0,005 - 0,025	13 - 27	0,3 - 3,6
Primärflugstaub	0,7 - 0,8	0,025 - 0,035	0,8 - 6,0	0,1

Aufgrund des radioaktiven Nichtgleichgewichtes nimmt die spezifische Po-210-Aktivität mit der Lagerungszeit von Rückständen ggf. stark ab.

Die in Tabelle 4.2-6 aufgeführten Werte sind allerdings nur eingeschränkt übertragbar, da die im Mansfelder Revier verarbeiteten Rohstoffe relativ hohe Urangehalte aufwiesen. Benutzt man die abgeschätzten Anreicherungsfaktoren nach Tabelle 2.2-1 und schätzt den Urangehalt der sonst in der NE-Metallurgie verarbeiteten Rohstoffe um ca. 1 Größenordnung geringer ein, so ist mit etwa 2-3 Bq/g für Po-210 und weniger als 1 Bq/g für Pb-210 zu rechnen. Es ist allerdings auch nicht auszuschließen, dass in bestimmten Produktionslinien höhere Aktivitäten auftreten.

Standorte: BY, NW, NI, HH, BW, HE, SN

Mengenauftommen: Nach unten folgenden Abschätzungen ca. 1.000 t pro Jahr an radiologisch relevanten Stäuben.

Die Produktion der mengenmäßig wichtigsten NE-Metalle in Deutschland für die Jahre 2000 und 2001 ist in der Tabelle 4.2-7 zusammengestellt /81/. Zusätzlich dazu werden folgende NE-Metalle in den Metallhütten und Umschmelzwerken in Massen unter 10.000 t pro Jahr hergestellt: Antimon, Barium, Cadmium, Chrom, Kobalt, Lithium, Nickel, Magnesium (legiert), Molybdän, Tantal, Tellur, Titan, Vanadium, Wolfram, Zirkonium /29/.

Tabelle 4.2-7: Produktion von NE-Metallen in Deutschland im Jahr 2000 und 2001 /81/

Mengenangaben [t]	Jahr	
	2000	2001
Primäraluminium		
nicht legiert	643.545	651.592
legiert	564.501	565.240
darunter: aus sekundären Vorstoffen	215.095	207.510
gesamtes produziertes Blei einschl. Hartblei und PbCa-Legierungen, brutto	415.229	397.280
darunter Einsatz primärer Vorstoffe (nur Pb)	169.989	155.862
Kupfer, elektrolytisch raffiniert und Kupfer, feuerraffiniert	709.472	693.773
Kupferlegierungen	62.616	63.474
Primär-, Fein- und Sekundärzink	356.516	358.341
darunter: aus primären Vorstoffen	261.327	269.185
Zinnlegierungen (inkl. Weichlote)	15.754	14.420

Aufgrund der Produktionstechnologien und der verwendeten Rohstoffe ist nur bei einem geringen Teil der Produktion mit der Bildung von Pb-210-haltigen Stäuben zu rechnen. Elektrolytische und hydrometallurgische Verfahren führen nicht zur Bildung von thermischen Pb-210-Anreicherungen in den Stäuben. Auch aus der Verhüttung von niedrigschmelzenden Metallen (Aluminium, Blei) sind stark Pb-210-haltige Stäube kaum zu erwarten. Damit verbleibt eine Primärproduktion in der Größenordnung von ca. 300.000 t Metall, die zur Bildung von radiologisch relevanten Stäuben führen kann.

Bei einer Staubmenge von ca. 1 bis 10 kg je Tonne produziertes Metall kann damit die Masse der hier relevanten Stäube zu ca. 1.000 t pro Jahr (300 bis 3.000 t) abgeschätzt werden.

Quellen: /7/, /37/, /38/

Anmerkungen: Nach Einschätzung der Bearbeiter ist auch in der Sekundärmetallurgie ein zu beachtendes Auftreten an Pb-210 haltigen Stäuben möglich. Insbesondere die Zinkgewinnung erfolgt aus Stahlwerksstaub, Galvanikschlamm und anderen Sekundärrohstoffen, wobei diese Stoffe durch die

vorhergehenden Prozesse bereits Radionuklidanreicherungen aufweisen können. Diese Stäube müssten im Zuordnungsbereich 2 behandelt werden. Aufgrund fehlender Daten wird darauf in dieser Studie verzichtet.

Speziell bei Stäuben der Metallurgie sind Importe zu beachten (s. Abschnitt 5.6.2).

4.2.12 Formstücke (Anlage XII Teil A Punkt b))

Vorbemerkung: Durch die Einbeziehung von Materialien als Formstücke wird klargestellt, dass die Regelungen der §§ 97 ff. StrlSchV unabhängig davon zur Anwendung kommen, ob die in Anlage XII Teil A genannten Materialien im ungeformten Zustand oder als Formstücke vorliegen. Neben den bekannten Formstücken aus Kupferschieferschlacken sind es vor allem Formstücke auf Basis von Bauxit (Schamotte), die erhöhte Aktivität aufweisen können. Unklar ist bisher, inwieweit auch Formstücke anderer Mineralzusammensetzung, insbesondere aus Schwermineralsanden (Zirkonsande) in diesen Regelungsbereich fallen.

In Deutschland wurden im Jahr 2000 rund 960.000 t geformte feuerfeste Erzeugnisse und 640.000 t ungeformte feuerfeste Erzeugnisse in rd. 100 Betrieben von ca. 7.200 Beschäftigten hergestellt. 65 % der geformten Erzeugnisse und über 40 % der ungeformten Erzeugnisse werden exportiert /40/. Damit verbleibt in Deutschland eine Menge von 336.000 t geformter Feuerfestmaterialien („Formstücke“) und 384.000 t ungeformter Materialien /40/, zusammen also ca. 700.000 t.

Im Folgenden wird eine Einbeziehung von Formstücken unabhängig von den Trägermineralien in die praktische Umsetzung der StrlSchV angenommen, wie sie sich aus einigen zum Jahreswechsel 2002/2003 erkennbaren Entwicklungen ableiten lässt.

Herkunft / Entstehung: Feuerfestmaterialien als Auskleidung von Ofenanlagen (Ofenausbruch) und aus der Nutzung als Gießereiformen, Formstücke aus Sonderkeramiken.

Art der NORM-Rückstände: Formstücke aus Bauxit (Schamotte) oder Zirkon/Baddeleyit

relevante Radionuklide: U-238sec, Th-232sec

spezifische Aktivitäten:

Nuklid	spezifische Aktivität [Bq/g] der Formstücke aus	
	Bauxit (Schamotte)	Zirkonsilikat oder Zirkonoxid
U-238sec	0,1 - 0,5	1-10 (*), Typisch: 3
Th-232sec	0,1 – 0,5	0,5 – 1, Typisch: 0,8

(*) Maximal bis 30 Bq/g /7/

Standorte: Bundesweit (alle Industrien mit Ofenanlagen oder Gießereien, insbesondere auch in der Glasindustrie).

Mengenauflkommen: Der Anteil von Materialien, die im Sinne der StrlSchV zu prüfen sind, beträgt nach /7/

- Bauxit (Schamotte): 10 % der Verbrauchsmenge (70.000 t/a)
- Feuerfestmaterial / Gießereiformen auf Zirkonbasis : 1 % der Verbrauchsmenge (7.000 t/a)

Sonstige Materialien: Stäube von Feuerfestmaterialien (z.B. bei Abriss von Industrieanlagen), ungeformte Materialien insbesondere Produkte mit Zirkonmineralen (→ Zuordnungsbereich 2, Abschnitt 4.3.9).

Quellen: /7/, /8/, /40/, /82/

Anmerkungen: In Abhängigkeit von dem jeweiligen Industriezweig können Ablagerungen bzw. Inkrustationen mit höherer Aktivität als in den Materialien selbst auftreten.

Das oben genannte Mengenauflkommen ist als kontinuierlich einzustufen, da es Einzelaufkommen zahlreicher Objekte zusammenfasst. Nach /7/ konzentriert sich der Einsatz auf die Industriezweige Eisen, Stahl und Glas.

Für Schamotte mit Zirkonzusatz kann sich der Massenanteil an Rückständen erhöhen, wenn im Zuge von Abbruchmaßnahmen keine Trennung der höher von den geringer kontaminierten Materialien erfolgt. Dies setzt jedoch voraus, dass durch die Vermischung letztlich keine Unterschreitung von 0,2 Bq/g erhalten wird.

4.2.13 Hinterlassenschaften mit Rückständen aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten (Anlage XII Teil A Punkt c)

Vorbemerkung: Neben den in dieser Studie nicht zu betrachtenden Hinterlassenschaften des Uranbergbaus und auch des Kupferschieferbergbaus im Mansfelder Revier gibt es in Deutschland vereinzelt Bodenkontaminationen mit Rückständen aus früheren Tätigkeiten oder Arbeiten. Besonders relevant für die hier zu betrachtende Aufgabe sind Rückstände früherer strahlenschutzrechtlich genehmigter Tätigkeiten. Dazu gehörte häufig die Herstellung oder Verwendung von natürlich radioaktiven Stoffen. In Tabelle 4.2-8 sind wichtige bekannte Bodenkontaminationen zusammenfassend charakterisiert.

Tabelle 4.2-8: *Bodenkontaminationen aus der früheren Herstellung oder Verwendung natürlich radioaktiver Stoffe*

Ort / Land	Kontamination	Referenznuclid	Quellennachweis
Oranienburg / BB	Boden	Th-232	/42/
Gottow / BB	Boden	U-232	/43/
Bad Liebenstein / TH	Gebäude	Th-232	/44/
Schweina / TH	Gebäude	Th-232	
Frankfurt / Main / HE	Bauliche Anlagen	Ra-226	/45/
Berlin (mehrere Standorte) / BE	Boden	Th-232	Anlage 1
Villingen-Schwenningen / BW	Boden	Ra-226	/46/, /50/

Es kann davon ausgegangen werden, dass die bedeutendsten Altlastenfälle in Hinblick auf Aktivität und Masse an Materialien inzwischen bekannt sind und teilweise auch schon saniert wurden. Als der mit Abstand größte radiologische Altlastenfall Deutschlands außerhalb des Uranerzbergbaus ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Standort der ehemaligen Auer Werke in Oranienburg einzustufen. Obwohl eine systematische Untersuchung der Gesamtkontamination derzeit nicht vorliegt, ist aufgrund bekannter Flächenverbreitung und erster Erkundungsergebnisse für diesen Standort mit einer Masse von größenordnungsmäßig 10^6 t signifikant kontaminierten Materials zu rechnen. Dabei handelt es sich teilweise um Rohstoffe, insbesondere Monazitsande, teilweise aber auch um Aufbereitungsrückstände mit stark veränderten Nuklidvektoren durch die chemische Extraktion von Thorium und Uran. Zumindest punktuell ist in diesem Gebiet mit spezifischen Aktivitäten der Bodenkontamination von deutlich mehr als 100 Bq/g Th 232 zu rechnen /47/.

Bodenkontaminationen aus der Verwendung von Leuchtfarben mit Ra-226 sind vor allem aus Baden-Württemberg bekannt. Messwerte des Landesamtes Baden-Württemberg von einem solchen Fall belegten spezifische Aktivitäten von >1.000 Bq/g für Ra-226 in Teilmengen einer ehemaligen Betriebsdeponie der Uhrenindustrie /50/.

Große Mengen Th-kontaminierten Bodens fielen auch durch die Verwendung von Th-Co-Katalysatoren am Standort Schwarzheide an /48/, /49/.

Herkunft / Entstehung: Hinterlassenschaften der Wirtschaftszweige Erdöl-/Erdgas, Erzgewinnung und Erzaufbereitung (Ra-; Th-, U-Produktion); Metallurgie, Verwendung von chemisch abgetrenntem Uran, Thorium (z.B. Katalysatoren), Radium (Leuchtfarben).

Folgende Typen von Materialien können unterschieden werden (s. auch /41/:

- Nebengesteine bei bergbaulichen Hinterlassenschaften,
- Unbehandelte Rohstoffreste (Erze, Mineralkonzentrate) an Standorten der Primärmetallurgie (Hydrometallurgie, Pyrometallurgie) oder chemischen Grundstoffindustrie,
- Produktreste von radioaktiven Produkten (z.B. Leuchtfarben, Th-Konzentrate, Katalysatoren, u.a.),
- Aufbereitungsrückstände der verarbeiteten Rohstoffe (gelaugte Erze, Produkte von Zwischenschritten, Schlacken)
- Filterstäube aus thermischen Prozessen mit Pb-210, Po-210.

Art der NORM-Rückstände: Bodenaushub, Haldenmaterialien, Abbruch von Gebäuden, Anlagen, evtl. Baggergut und Sedimente.

Radionuklide: Stark abhängig vom Typ der Herkunft / Entstehung. Die o.g. Typen können in der Regel aufgrund der Nuklidvektoren im Zusammenhang mit der

Standorthistorie eindeutig identifiziert werden. Wichtigste Fälle werden dominiert von Th-232, Ra-226, U-238. Teilweise können Nuklidzusammensetzungen mit extrem atypischen Nichtgleichgewichten in den Zerfallsreihen auftreten /41/.

Spezifische Aktivitäten: Die Aktivitäten können in Kontaminationsherden über 100 Bq/g bei Th-232 und über 1000 Bq/g bei Ra-226 Kontaminationen erreichen.

Standorte: Es muss mit Standorten in allen Bundesländern gerechnet werden.

Mengenauflkommen: Konkrete Angaben zum Mengenauflkommen für Deutschland als ganzes liegen nicht vor. Das Mengenauflkommen ist in jedem Fall als zeitlich diskontinuierlich und räumlich verteilt anzunehmen.

Ein planbares Aufkommen über längere Zeit ist nur in Brandenburg am Standort Oranienburg zu erwarten. Hier kann es bereits im Zusammenhang mit Tiefbauarbeiten zu einem Anfall an Materialien kommen. Laut Rechercheantwort Brandenburg (s. Anlage 1) sind mehrere 1000 m³ pro Jahr zu erwarten.

Quellen: /41/, /42/, /43/, /44/, /45/, /46/, /47/, /48/, /49/, Rechercheantworten (Anlage 1)

Anmerkungen: Durch die Ausweitung der StrlSchV auf NORM/TENORM in zahlreichen Industriebereichen und damit die Einbeziehung von bisher häufig nicht als radioaktiv angesehenen Materialien (z.B. Filterstäube, Schlacken der Metallurgie und andere) in den Regelungsbereich der StrlSchV ist auch eine Neubewertung von radioaktiv kontaminierten Flächen nicht auszuschließen.

Zu den Hinterlassenschaften könnten ggf. Flusssedimente außerhalb von Gewässerbetten hinzukommen, die aus radiologischen Gründen in eine Überwachung aufgenommen werden (vgl. Abschnitt 4.3.6).

Unabhängig von den zukünftigen Regelungen, die nur für einen (geringen) Teil der festgestellten Kontaminationen zu einem Sanierungsbedarf führen werden, ist bereits bei der derzeitigen Rechtslage ausgehobener Boden oder Bodenmaterial, das aufgrund anderer Kontaminationen bei Sanierungen anfällt, sicherzustellen und geordnet zu entsorgen. Dabei wurde speziell bei Materialien aus genehmigtem Umgang in der Vergangenheit häufig eine Sicherstellung in Landessammelstellen oder eine anderweitige Entsorgung als radioaktiver Abfall praktiziert (vgl. Abschnitt 9). Für die Quantifizierung an NORM/TENORM - Abfällen könnte sich somit der Herkunftsbereich Hinterlassenschaften als wichtiger Teil eines abzuschätzenden Gesamtaufkommens erweisen.

4.3 Zuordnungsbereich 2: Sonstige überwachte Rückstände

4.3.1 Ablagerungen aus der Verarbeitung von Rohphosphat

Vorbemerkung: Radiumhaltige Ablagerungen an Anlagenteilen und Rohrleitungen aus der Verarbeitung von Rohphosphat sind nicht als Rückstände in Anlage XII Teil A StrlSchV benannt. Die Verarbeitung von Schrotten aus der (ausländischen) Phosphatindustrie durch die Fa. Siempelkamp belegt, dass derartige Kontaminationen auftreten /52/. International wird über Ablagerungen in Anlagen mit teilweise extrem hohen spezifischen Aktivitäten berichtet (bis 3.700 Bq/g /51/).

Herkunft / Entstehung: Bildung von Ablagerungen aus Prozesslösungen durch Fällung oder Sedimentation in Anlagen

Art der Materialien: Ablagerungen (Scales)

Radionuklide: Ra-226++

Spezifische Aktivitäten: Aus Deutschland liegen diesbezüglich keine Daten vor.

Standorte: in Deutschland derzeit keine aktiv betriebenen Standorte

Mengenauftkommen: keine Angaben

Anmerkungen: Aufgrund der eingestellten Produktion fallen keine radiologisch relevanten Materialien im Sinne dieser Studie an. Allerdings können beim Rückbau von Altanlagen evtl. kontaminierte Schrotte auftreten.

Da ein regelmäßiges Mengenauftkommen in Deutschland derzeit nicht erkennbar ist, wird dieser Herkunftsbereich im Weiteren nicht mehr betrachtet.

4.3.2 Schlämme, Ablagerungen der Grubenentwässerung

Herkunft / Entstehung: Bildung von Ablagerungen aus Grubenwässern von Tiefbauen, insbesondere im Steinkohlebergbau. Gezielte Abreicherung von Radionukliden aus belasteten Bergbauwässern. Bisher wurde dies vor allem bei der Behandlung von Wässern des Uranbergbaus praktiziert /53/.

Art der Materialien: Schlämme, Ablagerungen (Scales) sowie durch Ablagerungen verunreinigte Anlagenteile, Schlämme der Grubenwasserreinigung

Radionuklide: Ra-226, Ra-228

Spezifische Aktivitäten:

	spezifische Aktivität [Bq/g]		
	Schlämme (Fällungen)	Ablagerungen (Scales)	Anlagen(teile)
Ra-226	≤28,6	≤400	≤50
Ra-228	≤15,6		

Standorte: NW (Steinkohle), SN, TH (Uranbergbau)

Mengenauflkommen: Die anfallenden Schlämme und Ablagerungen des Steinkohlenbergbaus werden im Rahmen von Betriebsplänen größtenteils untertage eingebaut. Geringe Restmengen werden allerdings auch übertage auf Deponien beseitigt. Mengenangaben zu diesem Entsorgungsweg liegen derzeit nicht vor /54/.

Quellen: /53/, /54/, /55/, /56/, Rechercheantwort BDSV (Anlage 1)

Anmerkung: Durch den Austrag von Grubenwasser weisen Sedimente einiger Flüsse stellenweise erhöhte spezifische Aktivitäten vor allem von Ra-226 auf (vgl. Abschnitt 4.3.6). Eine Berücksichtigung erfolgt im Zusammenhang mit der Betrachtung belasteter Flusssedimente.

4.3.3 Materialien, Anlagenteile der Geothermie

Vorbemerkung: Reduzierende, hochsalinare Tiefenwässer (Sole, engl. „brines“) enthalten in der Regel auch gelöstes Radium und teilweise auch Pb-210 in höheren Konzentrationen. Für Erdölbegleitwässer geben Kolb und Wojcik Medianwerte von 4,5 Bq/l Ra-226 und 13 Bq/l Ra-228 an /16/. Von Wiegand wurden Messwerte bis zu 60 Bq/l für Ra-226 und 30 Bq/l für Ra-228 berichtet /71/. Für die Geothermianlage von Neustadt-Glewe gibt Köhler /69/ Konzentrationen von 5,9 Bq/l Ra-226 und 8,2 Bq/l Ra-228 an.

Analog wie in der Erdöl-/Erdgasindustrie treten deshalb auch bei der Nutzung der Geothermie Scales mit deutlich erhöhten spezifischen Aktivitäten für Ra-226, Ra-228 und ggf. Pb-210 auf.

Werden die bei der Nutzung der Geothermie geförderten Fluide behandelt und entsorgt, so können größere Mengen an radioaktiv belasteten Abfällen entstehen. Für die USA wird aus dieser Art der Geothermienutzung ein Mengenauflkommen von 54.000 t Abfällen mit einer mittleren Ra-226 Aktivität von 4,88 Bq/g (132 pCi/g) eingeschätzt /58/.

Herkunft / Entstehung: Fällungen von Radium bei Förderung von Tiefenwässern

Art der Materialien: Ablagerungen (Scales) sowie durch Ablagerungen verunreinigte Anlagenteile

Radionuklide: Ra-226, Pb-210, Ra-228

Spezifische Aktivitäten:

	spezifische Aktivität [Bq/g]			
	Scales (Neustadt-Glewe) /69/	Abfälle der Geothermie (USA) /68/		
		Min	Mittel	Max
Ra-226	30	0,37	4,9	9,4
Ra-228	10			
Pb-210	100			

<u>Standorte:</u>	MV
<u>Mengenauflkommen:</u>	keine Angaben
<u>Quellen:</u>	/58/, /68/, /69/, /70/, /71/

Anmerkung: In Deutschland wird die Geothermienutzung in Kreislaufverfahren betrieben und die genutzte Sole in den Untergrund zurückverpresst /67/. Das Mengenauflkommen an Rückständen ist daher an Rückbau oder Reparatur von kontaminierten Anlagenteilen gebunden. Ein regelmäßiges Aufkommen besteht derzeit offensichtlich nicht. Die in den Vorbemerkungen benannte Technologie der Behandlung von Sole und Entsorgung der Salze, wie für die USA gegeben, wird in Deutschland bisher nicht praktiziert. Bei einem erheblichen Ausbau der Geothermie muss mit der Zunahme von radiumkontaminierten Schrotten aus diesem Bereich gerechnet werden. Über die Intervalle eines Aufkommens von Materialien (z.B. Wartungsintervalle mit Austausch von Anlagenteilen) aus diesem Bereich sind zum derzeitigen Zeitpunkt keine Aussagen zu treffen.

Entsprechend den Ausführungen für Scales und Anlagenteile + Scales in der Erdöl- Erdgasgewinnung ist bei Reinigung von Anlagenteilen (z.B. durch Sandstrahlen) von verminderten Aktivitäten in Reinigungsgemischen auszugehen.

4.3.4 Materialien der Wasserwirtschaft

4.3.4.1 Betrachtete Bereiche

Bei der Aufbereitung von Grundwasser fallen in unterschiedlichen Bereichen Schlämme und ggf. auch Ablagerungen an. Die in Hinblick auf die Entstehung von Materialien erhöhter natürlicher Aktivität wichtigsten Bereiche sind die

- Wasseraufbereitung in der kommunalen Trinkwasserversorgung,
- Gewinnung und Aufbereitung von Mineralwasser (incl. Heilwasser als Flaschenabfüllung),
- Nutzung von Heilwasser in Heilbädern.

Die in diesen Bereichen anfallenden Schlämme der kommunalen Trinkwasserversorgung (Wasserwerksschlämme) unterscheiden sich in Hinblick auf den Kenntnisstand und Mengen von sonstigen Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität, insbesondere Ablagerungen, Aufbreitungsrückstände oder Schlämme der Heil- und Mineralwasserproduktion, so dass sie im Folgenden getrennt dargestellt werden.

4.3.4.2 Wasserwerksschlämme

Vorbemerkung: Die EU-Studie /57/ zur radiologischen Relevanz der Materialien aus der kommunalen Trinkwasserversorgung zeigte, dass die von diesen Schlämmen ausgehende Exposition der Bevölkerung, abgesehen von Radonexpositionen der Beschäftigten und der Ingestionsdosis bei Verwendung der Schlämme als Dünger, radiologisch nicht relevant sind. Zu ähnlichen Aussagen kommt auch die Studie /7/, in deren Ergebnis die Schlämme der Wasserwirtschaft nicht als Rückstände in die StrlSchV aufge-

nommen wurden. In /7/ wird jedoch empfohlen, im Einzelfall eine Einbeziehung von Schlämmen zu prüfen. Nach der StrlSchV regelt dies der § 102.

Herkunft / Entstehung: Mitfällungen bei der Enteisung/Entmanganung/Enthärtung; spontane Sorption an Oxyhydraten bei der Gewinnung und Aufbereitung von Trinkwasser mit erhöhten Radiumkonzentrationen.

Die Effizienz der Prozesse in Bezug auf die Entfernung von Radium und Uran wird in der Literatur mit den Werten der Tabelle 4.3-1 angegeben.

Tabelle 4.3-1: Wirkungsgrad von Aufbereitungsverfahren bezüglich Radionuklidanreicherung aus Wasser

	Radium	Uran	Quelle
Enthärtung , Entsäuerung	80-92 %	85-99 %	/130/, /134/
Enthärtung , Entsäuerung	86 %		/62/
Enteisung, Entmanganung	36 %		/62/
Flockung	42 %		/130/, /134/
Ionenaustausch	81-99 %	90 – 100 %	/130/, /134/
Umkehrosmose	90 – 95 %	90 – 99 %	/130/, /134/

Schlämme, die ggf. in eine Überwachung nach § 102 StrlSchV aufzunehmen sind, müssen mindestens eine Aktivität über der allgemeinen Überwachungsgrenze von 1 Bq/g aufweisen. In /57/ ist angegeben, dass der Anreicherungsfaktor für Radium in Schlämmen gegenüber dem Rohwasser 25.000 beträgt. Obwohl diese Zahl nur eine grobe Richtzahl ist und Beispiele beschrieben werden, in denen auch höhere Anreicherungen vorkommen, soll sie im Folgenden für Abschätzungen benutzt werden. Damit sind nur solche genutzten Wässer zu betrachten, bei denen die Radiumkonzentration im Rohwasser über 40 mBq/l liegt. In Tabelle 4.3-2 sind Kennzahlen aus Häufigkeitsverteilungen von Radium in deutschen Trinkwässern und Mineralwässern zusammengestellt. Die Zahlen für die Trinkwässer beschreiben dabei die bereits aufbereiteten und damit bezüglich Radium ggf. abgereicherten Wässer.

Tabelle 4.3-2: Häufigkeit von Ra-226 Konzentrationen in deutschen Trink- und Mineralwässern

	Trinkwasser	Mineralwasser (abgefüllt)	Trinkwasser Sachsen-Thüringen	Trinkwasser
Anzahl Proben	1665	273	Keine Angabe	Keine Angabe
Median	4,4 mBq/l	25 mBq/l	19 mBq/l	5
> 40 mBq/l	1,8 % (*)	3,3 %		
Maximal	260 mBq/l	> 1000 mBq/l		300
Quelle:	/131/	/132/	/133/	/133/

(*) ermittelt aus grafischer Darstellung (Histogramm)

<u>Art der Materialien:</u>	Schlämme, Mineralische Filtermaterialien aus Festbettfiltern
<u>Radionuklide:</u>	Ra-226, Ra-228
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	Schlämme: bis 0,5 – 2,5 Bq/g /7/, /57/, /58/, /134/. Trotz der höheren Wirkungsgrade treten bei der Enthärtung, Entsäuerung wegen der Mitfällung von Kalk geringere spezifische Aktivitäten als bei der Enteisung, Entmanganung auf.
<u>Standorte:</u>	Vor allem Gebiete mit erhöhten Radiumkonzentrationen (BY, SN, ST, RP, TH)
<u>Mengenauftommen:</u>	Das Auftommen an Schlämmen der Wasserreinigung in Deutschland wurde vom ESWE-Institut differenziert nach Prozesstypen abgeschätzt. Der für 1998 erhaltene Wert liegt deutlich höher, als der von 1992, der in den Studien /7/ und /57/ zu Grunde gelegt wurde. Der Anteil solcher Schlämme, die aufgrund erhöhter Radioaktivität für eine Überwachung infrage kommen, ist nicht bekannt.

Tabelle 4.3-3: Hochgerechnete Mengen an Wasserwerksschlämmen in Deutschland /136/

Verfahren, Prozess	Schlammtyp	1992	1998
Enthärtung , Entsäuerung	Kalk, t TR/a	55.000	73.086
Enteisung , Entmanganung	Fe-/Mn, t TR/a	13.000	25.936
Fe-/Al- Flockung	Flockung (Fe-,Al), t TR/a	42.000	23.712
Sonstiges	Sonstige, t TR/a	14.042	58.626
	Gesamt, t TR/a	124.042	181.360

Unter der Voraussetzung einer kontinuierlichen Anwendung oben genannter Maßnahmen bei der Trinkwasseraufbereitung ist mit einem regelmäßigen Auftommen von potentiell relevanten Schlämmen zu rechnen. Ein auf Ablagerungen (Scales) sowie mit Ablagerungen verunreinigte Anlagenteile beruhender Abfallstrom ist nur diskontinuierlich bei Ersatz- oder Rückbaumaßnahmen zu erwarten.

Quellen: /7/, /33/, /57/, /136/

Anmerkung: Durch die Novellierung der Trinkwasserverordnung ist evtl. mit einer verstärkten Abtrennung von Spurenelementen und damit einhergehend auch von Radionukliden bei der Trinkwasseraufbereitung zu rechnen. Insbesondere die Abtrennung von Arsen, aber auch Nickel /61/ und anderen Spurenelementen kann sich regional als notwendig erweisen. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Anfall und die Entsorgung von Schlämmen erhöhter Radioaktivität aus der Wasserwirtschaft sind derzeit noch nicht absehbar.

Neben den Wasserwerksschlämmen wird in /60, 134/ auch über Radionuklidanreicherungen (Radon-Töchter) in Entfeuchtermaterialien von Wasserwerken berichtet. Darüber hinaus sind Ablagerungen (Scales) mit Radiumakkumulationen in gewissem Umfang zu erwarten.

4.3.4.3 Materialien aus der Aufbereitung von Mineralwasser

Vorbemerkung: Aufgrund anderer Anforderungen an die Beschaffenheit ist die Gesamtmineralisation von Mineralwässern im Mittel höher als die von Trinkwasser. Tendenziell ist damit auch eine höhere Radiumaktivität zu erwarten /161/ und nach den Ergebnissen bisheriger Untersuchungen (s. Tabelle 4.3-2) auch festzustellen. In handelsüblichen Mineralwässern Deutschlands kamen in den 1980er Jahren Ra-226 Konzentrationen bis zu 1 Bq/l vor /132/.

Als neuer Sachverhalt ist festzustellen, dass insbesondere bei handelsüblichen Mineralwässern (Flaschenwässern) durch die öffentliche Diskussion der Radiumkonzentrationen und die (beabsichtigte) Festschreibung von Grenzwerten für die Deklaration „Geeignet für die Herstellung von Säuglingsnahrung“ eine zweckgerichtete Abreicherung von Radium durchgeführt wird /76/, /112/. Diese Abreicherung erfolgt z.B. durch Nutzung von Braunsteinfiltern. Nach /165/ werden dabei Filtermassen von ca. 20 t je Anlage benutzt und Ra-226 Aktivitäten von 3 Bq/g nach 1- 2 Jahren Betriebsdauer erreicht. Bei geringerer Filtermasse und höherem Wasserdurchsatz sind spezifische Ra-226 Aktivitäten von 14 Bq/g erreicht worden.

Bei der Gewinnung von Mineralwässern mit erhöhten Radiumkonzentrationen sind radiumhaltige Ablagerungen an Anlagenteilen und Rohren zu erwarten.

Herkunft / Entstehung: Mitfällungen bei der Enteisung/Entmanganung/Enthärtung; spontane Sorption an Oxyhydraten bei der Gewinnung und Aufbereitung von Mineralwasser mit erhöhten Radiumkonzentrationen.

Zweckgerichtete Abreicherung von Radium aus Mineralwasser.

Art der Materialien: Schlämme,
Mineralische Filtermaterialien aus Festbettfiltern,
Scales oder mit Scales behaftete Anlagenteile,

Radionuklide: Ra-226, Ra-228

Spezifische Aktivitäten: Filtermaterial: bis 3 Bq/g /165/
Schlämme: bisher keine gesicherten Angaben
Scales: bisher keine gesicherten Angaben

Standorte: SN, ST, RP

Mengenauftommen: Über das Mengenauftommen an Materialien erhöhter spezifischer Aktivität liegen keine gesicherten Daten für ganze Bundesrepublik vor.

Bei einer Einsatzmasse von ca. 20 t in einem Filter fallen abhängig von der Wechselrate 1 – 10 t pro Jahr und Anlage an /165/.

Unter der Voraussetzung einer kontinuierlichen Anwendung gezielter Radiumanreicherung ist mit einem regelmäßigen Auftommen von potentiell relevanten Filtermaterialien oder Schlämmen zu rechnen.

Ein auf Ablagerungen (Scales) sowie mit Ablagerungen verunreinigte Anlagenteile beruhender Mengenstrom ist nur diskontinuierlich bei Ersatz- oder Rückbaumaßnahmen zu erwarten.

Quellen: /57/, /58/, /62/, /165/

Anmerkungen: Der Kenntnisstand zu den Mengen und spezifischen Aktivitäten der Materialien, die bei der Gewinnung und Aufbereitung von Mineralwasser anfallen, ist bezogen auf ganz Deutschland gering. Eine Zunahme von Mengen aus der zielgerichteten Ra-Abtrennung ist anzunehmen.

Eine grundsätzliche Überprüfung wird empfohlen.

4.3.4.4 Materialien aus der Nutzung von Heilwasser

Vorbemerkung: Für die in Heilquellen genutzten Mineralwässer gelten prinzipiell ähnliche Einschätzungen zur natürlichen Radioaktivität wie bei den abgefüllten Mineralwässern. Darüber hinaus gibt es Heilquellen, die speziell wegen ihrer Radioaktivität (Radonkonzentration) genutzt werden (Sybillenbad, Bad Brambach, Bad Steben, Bad Kreuznach, Bad Münster am Stein, Bad Schmiedeberg, Oberschlema) /129/.

In einigen Heilbädern werden Mineralwässer mit Radiumkonzentrationen über 1 Bq/l genutzt. Die höchsten Ra-226 Konzentrationen wurden in den Thermalwässern von Bad Kreuznach (RP) mit 9 – 35 Bq/l und Heidelberg (BW) mit 66 Bq/l gemessen /129/, /136/. Sehr hohe Ra-228 Konzentrationen wurden auch in Bad Suderode (ST) mit 7 Bq/l gemessen /59/. Auch in den Mineralwässern von Bad Brambach liegen die Ra-226 Konzentrationen im Bereich von 1 – 4 Bq/l /137/, /138/.

In Heilbädern, in denen derartige radiumhaltige Wässer genutzt werden, kommt es auch zur Bildung von Schlämmen und Ablagerungen. So wurden in einem Gradierwerk eines Heilbades Radiumaktivitäten von ca. 10 Bq/g festgestellt /33/. An Thermalwasserleitungen eines Heilbades wurden in Inkrustationen spezifische Ra-226-Aktivitäten von 13 Bq/g gemessen /60/.

Herkunft / Entstehung: Mitfällungen bei der Enteisung/Entmanganung/Enthärtung; spontane Sorption an Oxyhydraten bei der Gewinnung und Aufbereitung von Heilwasser mit erhöhten Radiumkonzentrationen.

<u>Art der Materialien:</u>	Schlämme, Mineralische Filtermaterialien aus Festbettfiltern, Scales oder mit Scales behaftete Anlagenteile,
<u>Radionuklide:</u>	Ra-226, Ra-228
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	Scales: bis 13 Bq/g /60/ Schlämme: keine gesicherten Angaben, Filtermaterialien: keine gesicherten Angaben
<u>Standorte:</u>	SN, ST, RP
<u>Mengenauflkommen:</u>	Über das Mengenauflkommen an Materialien erhöhter spezifischer Aktivität liegen keine gesicherten Daten vor. Aufgrund sehr unterschiedlicher Nutzungsformen und Technologien der Wasserbehandlung (z.B. Gewinnung und Abfüllung von Mineralwasser, Bädernutzung von Heilquellen) sind pauschale Aussagen zum Auflkommen an Materialien praktisch nicht möglich. Unter der Vorraussetzung einer kontinuierlichen Anwendung gezielter Radiumanreicherung ist mit einem regelmäßigen Auflkommen von potentiell relevanten Schlämmen zu rechnen. Ein auf Ablagerungen (Scales) sowie mit Ablagerungen verunreinigte Anlagenteile beruhender Abfallstrom ist nur diskontinuierlich bei Ersatz- oder Rückbaumaßnahmen zu erwarten.
<u>Quellen:</u>	/57/, /58/, /59/, /60/, /61/, /62/

Anmerkungen: Der Kenntnisstand zu den Mengen und spezifischen Aktivitäten der Schlämme und Ablagerungen von Heilwassernutzungen bezogen auf ganz Deutschland ist gering. Zumindest lokal ist mit erheblichen Anreicherungen zu rechnen. Deshalb wird eine grundsätzliche Überprüfung empfohlen.

4.3.5 Materialien der Bodenluft- und Grundwassersanierung

Vorbemerkung: Die Anreicherung von Radionukliden auf Absorbermaterialien erfolgt vor allem bei Bodenluftsanierungsmaßnahmen, bei denen große Volumenströme durch Filtermaterialien, wie Aktivkohle, geleitet werden. Das Radon der Bodenluft wird am Filter absorbiert und durch dessen Zerfall Pb-210 im Filter angereichert.

Beispiel: Bei einer kontinuierlichen Absaugung von Bodenluft mit einer durchschnittlichen Radonkonzentration von 50 kBq/m³ und einem Luftdurchsatz von 100 m³/h entstehen durch den Radonzerfall im Filter in einem Jahr etwa 10⁸ Bq Pb-210. Bei einem Filtervolumen von 1 m³ könnten so spezifische Aktivitäten von bis 100 Bq/g Pb-210 erreicht werden. Für eine Entsorgung der Aktivkohle ist zu berücksichtigen, dass die spezifische Pb-210-Aktivität gemäß Zerfallsgesetz nach 100 Jahren mindestens um den Faktor 10 reduziert ist. Bei einer Verbrennung ist mit einer Aufkonzentrierung bis zu einem Faktor 20 in den Ascherückständen zu rechnen (s. Tabelle 2.3-1). Inwieweit das bei hohen Tem-

peraturen sich verflüchtigende Pb-210 durch die Filter der Verbrennungsanlagen zurückgehalten wird, ist nicht bekannt.

Bei der Grundwassersanierung werden unterschiedliche Methoden eingesetzt. Für das Mengengerüst sind möglicherweise Methoden zu beachten, bei denen Spurenelemente selektiv abgetrennt werden oder in Filtern Wasserinhaltsstoffe akkumuliert werden, die einen erhöhten Radionuklidgehalt aufweisen. Letztgenannte Aufkonzentrierungen entstehen auch in sogenannten "reaktiven Barrieren", die z.B. bei der Reinigung von Sicker- und Grundwässern im Bereich der WISMUT GmbH getestet werden.

Auch aufschwimmende Phasen, z.B. versickertes Kerosin auf ehemaligen Flugplätzen, können daher Pb-210 enthalten, das aus dem Zerfall des in Kohlenwasserstoffen besonders stark löslichen Rn-222 entsteht. Bei entsprechenden Sanierungsanlagen, die auf einer Filterwirkung beruhen, ist folglich nicht auszuschließen, dass Materialien anfallen können, für die nach § 102 StrlSchV eine Überwachung angeordnet wird.

<u>Herkunft/Entstehung:</u>	Akkumulate an Adsorbermaterialien
<u>Art der Materialien:</u>	Filtermaterialien (z.B. Aktivkohle, Adsorbermaterialien reaktiver Barrieren)
<u>Radionuklide:</u>	Pb-210 (Luft), Ra-226, ggf. Ra-228 (Wasser)
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	bis > 100 Bq/g möglich /84/, bisher keine belastbaren Daten aus anderen Bereichen außer WISMUT
<u>Standorte:</u>	bundesweit möglich
<u>Mengenauflkommen:</u>	bisher keine Angaben (außer WISMUT)

Anmerkung: Für Wasserreinigungsprozesse der WISMUT werden in /84/ Angaben zu Mengen und spezifischen Aktivitäten gegeben. Diese Angaben zeigen, dass speziell bei der (hier nicht näher betrachteten WISMUT-Sanierung) teilweise Materialien mit sehr hohen Uran- und Ra-Aktivitäten anfallen.

Tabelle 4.3-4: Rückstände der Wasserbehandlung bei der WISMUT GmbH /84/

	Menge in t/a	U-238 in Bq/g	Ra-226 in Bq/g
Aue	3.200	500	20
Pöhl	50	< 1	40
Helmsdorf	2.900	100	< 5
Königstein	15.000	60	10

Die Bildung von Materialien erheblich erhöhter Aktivität bei anderen Sanierungsanlagen ist daher prinzipiell zu erwarten. Über Höhe und Umfang tatsächlicher Belastungen liegen keine Angaben vor. Eine grundsätzliche Überprüfung wird empfohlen.

4.3.6 Flusssedimente in Gebieten mit radioaktiven Ableitungen

Vorbemerkung: Flusssedimente in Gebieten mit Ableitungen vor allem des Bergbaus können Anreicherungen von natürlichen Radionukliden wie Ra-226, Ra-228 und Uran und teilweise auch Pb-210 aufweisen. Ein Sanierungsbedarf, der zum Anfall von belasteten Sedimenten führt, besteht in der Regel nicht (Ausnahmen sind Kleingewässer, die durch den Uranbergbau erheblich kontaminiert wurden). Für ein Mengengerüst an NORM-Materialien sind Sedimente jedoch prinzipiell zu berücksichtigen, da bei Baggararbeiten an oder in Gewässern kontaminierte Sedimente anfallen können, die geordnet entsorgt werden müssen.

Eine Überwachung nach § 102 ist nur bei solchen Sedimenten zu erwarten, deren spezifische Aktivität 1 Bq/g übersteigt.

Herkunft / Entstehung: Sedimentation aus Ableitungen (z.B. Steinkohleindustrie, Uranbergbau); Erhöhte natürliche Hintergrundwerte /170/

Art der Materialien: Baggergut, Aushubmaterial von Gewässerbetten

Radionuklide: Ra-226, Pb-210, U-238

Spezifische Aktivitäten: Die mittlere spezifische Aktivität von Flusssedimenten liegt nach Daten verschiedener Quellen /63/, /64/, /65/ und zahlreichen eigenen Analysenwerten von IAF-Radioökologie, unterhalb von 1 Bq/g. Allerdings gibt es Flussabschnitte oder Gewässer bei denen die spezifische Aktivität der Sedimente deutlich über 1 Bq/g liegt (vgl. /63/, /65/).

Tabelle 4.3-5: Deutsche Flüsse mit lokal vorkommenden Anreicherungen natürlicher Radionuklide in Sedimenten > 0,2 Bq/g. Angabe der Maximalwerte

Gewässer	Pb-210, max.	Ra-226, max.	Ra-228, max.	U-328, max.	Quelle
Erft	0,122	0,232	0,225	0,064	/65/
Emscher	0,133	0,841	0,512	0,008	/65/
Wupper	0,461	0,035	0,038	0,029	/65/
Lippe	0,110	2,087	1,004	0,008	/65/
Elbe, Mulde, Saale	1,628	ca. 1,0 2,18 3,498	0,234	11,5	/63/
Medianwerte [Bq/g]					
Mulde	0,095	0,168	0,060	0,230	/63/

Die tatsächliche Aktivität von Aushubmaterial aus Sedimenten ist stark abhängig von der Aushubtechnik und dem damit verbundenen Mittlungsvolumen. Lokal vereinzelt treten spezifische Aktivitäten von 1-5 Bq/g vor allem in Sedimentfallen auf.

Gebiete: NW, SN, TH; BY, BW

Mengenauflkommen: Der Anfall von kontaminierten ($> 0,2$ Bq/g, < 10 Bq/g) Flusssedimenten ist gegenwärtig nicht quantifizierbar, sondern nur einzelfallbezogen abschätzbar. Werden kontaminierte Flussabschnitte saniert, so ist pro 100 m Flussabschnitt möglicherweise mit ca. 100-200 m³ Aushubmaterial zu rechnen.

Ein regelmäßiges Mengenauflkommen liegt nicht vor. Bei Sanierungsarbeiten, Fahrrinnenausbau, Entschlammungsarbeiten und beim Brückenbau können vereinzelt Probleme mit der Entsorgung der Aushubmassen auftreten.

Quellen: /63/, /64/, /65/, /66/, /67/, /170/

Anmerkungen: Untersuchungen der WISMUT GmbH von den bergbaubeeinflussten Vorflutern (z.B. Gessenbach, Wipse) zeigten, dass nur lokal begrenzt mit erhöhten (> 1 Bq/g) spezifischen Aktivitäten in den Sedimenten zu rechnen ist. Ähnliche Ergebnisse für die Weiße Elster und deren Nebenflüsse enthält /66/, Untersuchungen von Sedimenten durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sind in /67/ enthalten. Aus Untersuchungsergebnissen von IAF-Radioökologie GmbH im Auftrage der WISMUT GmbH folgt, dass selbst bei stark bergbaubeeinflussten Vorflutern in den Flusssedimenten spezifische Aktivitäten von über 10 Bq/g nur selten auftreten.

4.3.7 Materialien aus der Papierindustrie, Zellstoffindustrie

Vorbemerkung: Das Auftreten radioaktiver Materialien aus dem Herkunftsbereich „Papierindustrie“ ist seit längerem international bekannt /84/ und wurde auch in den Rechercheantworten angegeben (s. Antwortschreiben BDSV, Anlage 1). Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass auch andere, nicht explizit der Papierindustrie zuzuordnende Zweige der Zellstoffproduktion betroffen sein können.

Herkunft / Entstehung: Die genauen Ursachen für das Entstehen von TENORM-Ablagerungen in der Papierindustrie sind bisher nicht umfassend beschrieben. Sowohl Radium im genutzten Wasser als auch Kaolin mit Begleitmineralen (Monazit) sind als Ursachen möglich³.

Art der Materialien: Mit Ablagerungen (Scales) verunreinigte Anlagenteile

Radionuklide: Ra-226, Th-232

Spezifische Aktivitäten: ≤ 150 Bq/g (Rechercheantwort BDSV, s. Anlage 1)

³ Auf die Verwendung von Wasserwerksschlämmen in der Papierproduktion wird in Abschnitt 9.2.3 hingewiesen.

Anlagenteile und Rohre mit fest anhaftenden Inkrustationen (Scales) werden eine spezifische Aktivität besitzen, die, bezogen auf die Masse der Scales und der Rohre, um einen Faktor von ca. 5-10 unterhalb der der "reinen" Scales liegt /68/.

Standorte: BY (bekannte Fälle)

Mengenauflkommen: Gemäß Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken VDP werden in Deutschland pro Jahr etwa 18 Mio. t Papiererzeugnisse produziert /85/. Belastbare Angaben zu Mengen radiologisch belasteten Materials liegen nicht vor.

Nur unregelmäßiger Anfall, besonders bei Demontagen zu erwarten.

Quellen: /68/, /85/, Rechercheantwort BDSV, (s. Anlage 1)

Anmerkung: Aufgrund der bisher nur unsicheren Kenntnisse zur Entstehung von TENORM-Bildungen in der Papier- und Zellstoffindustrie wird eine grundsätzliche Klärung empfohlen.

4.3.8 Materialien in Klimaanlage und Be-/Entlüftungssystemen

Vorbemerkung: Nach UNSCEAR 2000 /139/ liegt der globale Referenzwert für die Pb-210 Konzentration in der Umgebungsluft bei $500 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Bei einer Staubkonzentration von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ errechnet sich daraus eine spezifische Pb-210 Aktivität von $10 \text{Bq}/\text{g}$. Aus diesem Grund ist (vor allem in küstenfernen Reinluftgebieten) mit erhöhten Pb-210 Aktivitäten im Schwebestaub zu rechnen. In Klima-, Be- und Entlüftungssystemen sind daher spezifische Pb-210-Aktivitäten im Bereich von einigen Bq/g zu erwarten. Genaue Daten liegen nicht vor. Gegenwärtig werden die Filtermaterialien aus Unkenntnis der tatsächlichen radiologischen Situation konventionell entsorgt.

Herkunft / Entstehung: Filtration von Radon-Tochternukliden aus Luftströmen. Bildung von Pb-210 durch Zerfall.

Art der Materialien: Stäube, Anreicherungen an Filteroberflächen bei radonreicher Luft (z.B. Wasserwerke) /60/

Radionuklide: Pb-210

Spezifische Aktivitäten: 1 bis $10 \text{Bq}/\text{g}$ abgeschätzt nach /139/

Standorte: bundesweit möglich

Mengenauflkommen: keine Angaben

Quellen: /139/, /60/

Anmerkung: Die bisher verfügbaren Daten zum Aktivitätsgehalt von Filtermaterialien und den ablaufenden Anreicherungsprozessen reichen nicht aus, um belastbare Prognosen vorzunehmen. Aus diesem Grund werden Filtermaterialien nicht in das Mengengerüst eingestellt.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bereits Luftfilter in einer strahlenschutzrechtlich genehmigten Anlage bei einer Prüfung auf Pb-210/Po-210 durch erhöhte Werte aufgefallen sind /12/.

4.3.9 Mineralsande, mineralsandhaltige Produkte

Vorbemerkung: Mineralsande sind nach den Regelungen der StrlSchV auch bei erhöhter natürlicher Radioaktivität zunächst keine radioaktiven Stoffe im rechtlichen Sinne. Die Aufnahme in eine Überwachung nach § 102 StrlSchV könnte sich allerdings ergeben, wenn

- Mineralsande oder mineralsandhaltige Produkte eingeführt werden, die im Erzeugerland als strahlenschutzrechtlich überwachungsbedürftig eingestuft wurden. Durch die unterschiedlichen Regelungen zu NORM im EU-Raum ist das auch im europäischen Warenverkehr möglich.
- Situationen mit erhöhter Strahlenexposition der Beschäftigten auftreten. In /9/ wurde gezeigt, dass die Arbeitsplatzbelastungen beim Gebrauch von Zirkonsand in Gießereien zu weniger als 1 mSv Jahresdosis führt. In /7/ wird allerdings darauf hingewiesen, dass in der Feuerfest-Industrie wegen hoher Staubbelastungen ein Strahlenschutzproblem vorliegen kann. In /32/ werden „Reference Level“ für die Prüfung der radiologischen Relevanz von Zirkonsanden von 0,3 Bq/g für das Expositionsniveau 6 mSv/a angegeben.
- Mineralsande bei der radiologischen Überwachung von Anlagen (Metallverhüttung, Schrottplätze, Entsorgungsanlagen) oder an Außengrenzen festgestellt werden (s. z.B. Rechercheantwort Mecklenburg-Vorpommern; Anlage 1).

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Verwendung von Mineralen erhöhter spezifischer Aktivität in der Wirtschaft
<u>Art der Materialien:</u>	Zirkonsande, Sande Seltener Erden, Produkte mit den genannten Mineralsanden
<u>Radionuklide:</u>	U-238sec, Th-232sec
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	1 bis 10 Bq/g, teilweise deutlich höher /7/, /9/, /68/
<u>Standorte:</u>	Derzeit keine konkreten Standorte bekannt. Bundesweit möglich.
<u>Mengenauflkommen:</u>	Abhängig von der behördlichen Praxis bei der Anwendung von § 102. Derzeit nicht prognostizierbar.
<u>Quellen:</u>	/7/, /9/, /32/, /68/

Anmerkungen: In folgenden Industriezweige werden Zirkonsande und Seltene Erden Minerale schwerpunktmäßig verwendet: Glasindustrie (als Feuerfestmaterial und als Zuschlagstoff für Spezialgläser), Feuerfestindustrie, optische Industrie als Schleifmittel (z.B. Zirkonkorund).

4.3.10 Materialien aus Arbeitsfeldern der Anlage XI Teil B StrISchV

In Anlage XI Teil B StrISchV werden Arbeitsfelder definiert, bei denen durch die Verwendung von Arbeitsmitteln mit erhöhter natürlicher Radioaktivität eine Exposition der Beschäftigten über 6 mSv pro Jahr nicht auszuschließen ist. Nach § 96 Abs. 4 hat die Behörde nur bei überwachungsbedürftigen Arbeiten (d.h. Expositionsmöglichkeit über 6 mSv/a) die Befugnis, für die dabei anfallenden Materialien Entsorgungswege vorzugeben. In allen anderen Fällen besteht allerdings die Möglichkeit, bei nachgewiesener radiologischer Relevanz für Personen der Bevölkerung über den § 102 StrISchV eine Überwachung der Materialien anzuordnen. Da in Anbetracht der erst zukünftig im Einzelfall zu realisierenden Umsetzung der StrISchV Erfahrungen in diesem Bereich nicht vorliegen, ist eine differenzierte Bewertung von jenen Aktivitäten und Mengen, die nach § 96 Abs. 4 StrISchV und jenen die nach § 102 StrISchV anfallen können, derzeit nicht durchführbar. Aus diesem Grunde werden Materialien, die bei Arbeiten gemäß Anlage XI Teil B StrISchV anfallen können, im Zuordnungsbereich 3 untersucht.

Sofern für die hier betrachteten Materialien eine Rückführung gemäß § 107 StrISchV zu beachten ist, werden diese Mengen im Zuordnungsbereich 4 betrachtet.

4.3.11 Probenmaterial

In Labors für Radionuklidanalytik können sich größere Lagerbestände an Probenmaterial aufbauen. Im Regelfall können diese Proben an den Auftraggeber zurückgegeben werden. Proben, die z.B. für technische Versuche erheblich verändert wurden oder für die (nach evtl. längerer Lagerung) aus anderen Gründen eine Rückgabe nicht möglich ist, verbleiben im Eigentum des Labors und müssen ggf. geordnet entsorgt werden. Dabei ist es für ein Labor im Einzelfall nicht nachvollziehbar, ob bestimmte Proben im rechtlichen Sinne überwachungsbedürftige Rückstände, überwachte Materialien oder nur physikalisch radioaktive Stoffe waren. Noch komplizierter wird die Situation, wenn auch Proben aus Bereichen, die im Teil 2 StrISchV geregelt sind, im betreffenden Labor untersucht werden. Um hier rechtssichere Entsorgungen durchführen zu können, sind möglicherweise behördliche Stellungnahmen im Sinne von § 102 StrISchV erforderlich, mit denen eine Überwachung erklärt oder auf eine solche (mit entsprechendem Schriftsatz) verzichtet wird.

Wegen der sehr dezentralen Strukturen betreffender Laboratorien wurde eine Erhebung von Mengen und Arten betreffender Materialien nicht durchgeführt. Es ist allerdings einzuschätzen, dass insgesamt Mengen von einigen Tonnen pro Jahr an Probenmaterial in Labors untersucht werden. Durch die NORM-Regelungen der StrISchV ist von einer Zunahme dieser Menge auszugehen.

Auf eine detaillierte Einbeziehung in das Mengengerüst wird verzichtet. Eine grundsätzliche Prüfung der Situation wird empfohlen.

4.3.12 Filterstäube aus der Verhüttung von Sekundärrohstoffen

In der StrlSchV sind bisher die Rückstände der Verhüttung auf Anlagen der Primärverhüttung beschränkt. Die zur Bildung von Pb-210, Po-210 haltigen Stäuben führenden Hochtemperaturprozesse werden jedoch auch in Anlagen der Verhüttung oder pyrometallurgischen Verarbeitung von Sekundärrohstoffen benutzt. Von daher steht zumindest in bestimmten dieser Anlagen zu erwarten, dass zu beachtende Mengen an Pb-210, Po-210 haltigen Filterstäuben entstehen. Konkrete Befunde von gezielten Untersuchungen entsprechender Anlagen mit radioanalytischer Messung der Stäube sind derzeit für Deutschland nicht bekannt. Es wird allerdings durch die Bearbeiter dieser Studie eingeschätzt, dass bei entsprechenden Prozessführungen auch in diesem Bereich erhebliche Mengen an Material mit erhöhter Pb-210, Po-210 Aktivität zu erwarten ist. Eine Überprüfung wird daher empfohlen.

4.4 Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien (Verwertung, Recycling)

4.4.1 Schmelzanlage GERTA

Vorbemerkung: Für die Rezyklierung von Metallen mit NORM/TENORM Ablagerungen aber auch chemisch-toxisch belasteten Metallen betreibt die Firma Siempelkamp seit Januar 1998 eine Schmelzanlage (Großtechnische Einrichtung zur Rezyklierung Toxischer Abfälle = GERTA). Die angestrebte Kapazität liegt bei 2000 t/a. Zur Zeit wird die Anlage noch überwiegend zum Einschmelzen chemisch-toxischer Materialien genutzt. Es ist jedoch vorgesehen, die Behandlung von NORM/TENORM auszubauen. Annehmbare Aktivitäten liegen bei bis zu 500 Bq/g.

Durch diese Anlage wurden seit Inbetriebnahme jährlich ca. 250 t Schrotte der Erdöl-Erdgasproduktion, der Phosphorherstellung, der Papierindustrie u.a. aufgearbeitet /52/.

Bei der Schmelze reichern sich die radioaktiven Komponenten aber auch die chemischen Verschmutzungen in der Schlacke und im Filterstaub an. Im Staub dominieren als Radionuklide Pb-210 und Po-210. Die anderen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsketten gehen in die Schlacke über. Die zu Blöcken abgegossenen Metalle, sogenannte Ingots, können nach dem Einschmelzen aus der Überwachung entlassen und in der Stahlindustrie wiederverwertet werden.

Herkunft / Entstehung: Recycling von Materialien der Industriezweige Erdöl/Erdgas (Scales), Phosphat (Scales), Papier (Scales/Schlämme), Lampenherstellung (thorisiertes Wolfram) durch Einschmelzen der Metalle.

Art der Materialien: Schlacken, Stäube

Radionuklide: Ra-226 (Schlacken),
Pb-210 (Filterstäube der Rauchgasreinigung)

Spezifische Aktivitäten: Schlacke: bis 10 Bq/g Ra-226;
Stäube: unter 70 Bq/g Pb-210;

Standort: NW

Mengenauflkommen: Schlacke und Filterstaub fallen mit einem Anteil von ca. 5 % der gelieferten Schrottmenge an. Über die bisherige Betriebszeit wurden im Mittel entsorgt:

Schlacke: etwa 11 t/a

Stäube: etwa 7 t/a

Quellen: /52/, /99/, /100/, /116/

Anmerkungen: Bei weiterer Umsetzung der StrlSchV ist mit einer Zunahme von Mengen aus den genannten Herkunftsbereichen zu rechnen.

4.4.2 Quecksilberzyklisierung der Fa. GMR Leipzig

Vorbemerkung: Durch die Firma GMR Leipzig wurde eine Technologie zum Quecksilberrecycling aus kontaminierten Böden, Schlämmen und anderen festen Stoffen entwickelt /115/. Die Anlage verarbeitet u.a. kontaminierte Schlämme und Ablagerungen (Scales) der Erdgasindustrie. Nach der Entquicksung (vakuothermische Behandlung) werden die verbleibenden radioaktiven Materialien mit Geopolymer immobilisiert und auf einer Deponie verwahrt.

Eine Übersicht über die im Jahre 2002 bei der Fa. GMR Leipzig demercurisierten Schlämme und die daraus entstandenen Rückstandsmaterialien enthält Tabelle 4.4-1. Durch den Prozess wurden ca. 8 t reines Quecksilber gewonnen. Dies entspricht einem Quecksilbergehalt der Ausgangsstoffe von 12-15% /22/. Im Ergebnis dieser Extraktion nimmt die spezifische Aktivität der demercurisierten Schlämme im Vergleich zu den angelieferten Schlämmen zu. Durch die anschließende Zugabe von Geopolymer zur Immobilisierung verringert sich die spezifische Aktivität etwa um den Faktor 1,4.

Tabelle 4.4-1: In 2002 bei GMR Leipzig demercurisierte Schlämme und daraus entstandene Materialien

	Masse [t]	Ra-226 [Bq/g]
angelieferte Schlämme	58,8	10,9 (*)
demercurisierte Schlämme nach vakuothermischer Behandlung	43	14,8
mit Geopolymer immobilisierte Materialien zur Deponierung	84	7,6

(*) Bestimmt aus mehr als 100 Einzelwerten. Maximale Aktivitäten ca. 130 Bq/g. Diese hohen spezifische Aktivitäten wurden in den Ablagerungen am Fassboden festgestellt, da sich aufgrund der gravimetrischen Entmischung Quecksilber zusammen mit den Radionukliden am Fassboden absetzt.

Für die bei GMR behandelten Rückstände liegen detaillierte Untersuchungen vor /17/, die einen Überblick über Mengen-Aktivitäts-Verteilungen gestatten. In den Abbildungen 4-1 und 4-2 sind die Ergebnisse der Untersuchung von 2 Chargen angelieferter Fässer als Histogramme dargestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die Verteilungen gut durch Log-Normalverteilungen angenähert werden können.

Eine Auswertung der Datensätze zeigt weiterhin, dass die Streuung dieser Daten im Bereich des Mittelwertes bis doppelten Mittelwertes die Verteilung der spezifischen Aktivität hinreichend beschreibt (Tabelle 4.4-2).

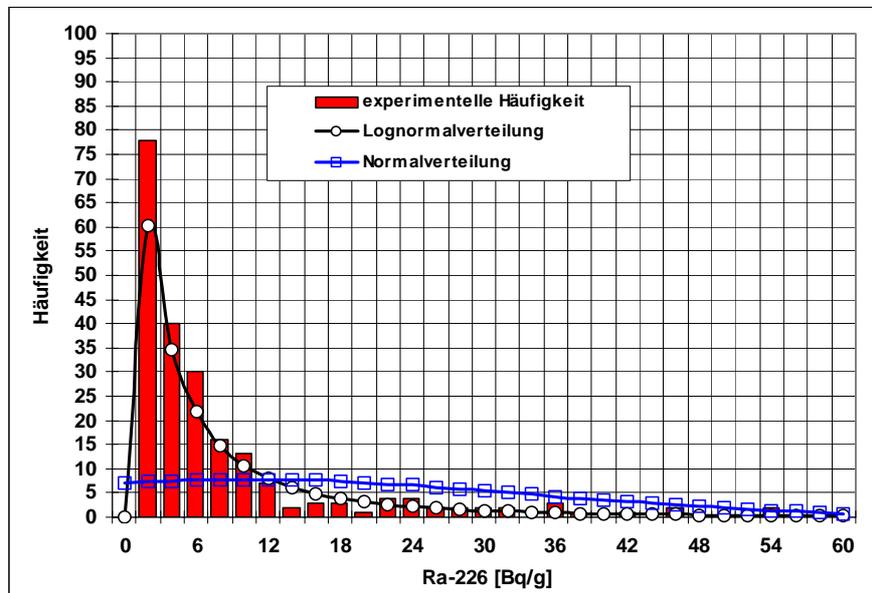


Abbildung 4-1: Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ra-226-Aktivität in 229 Fässern mit Schlämmen und Reinigungsrückständen, die bei der GMR Leipzig vakuothermisch behandelt wurden

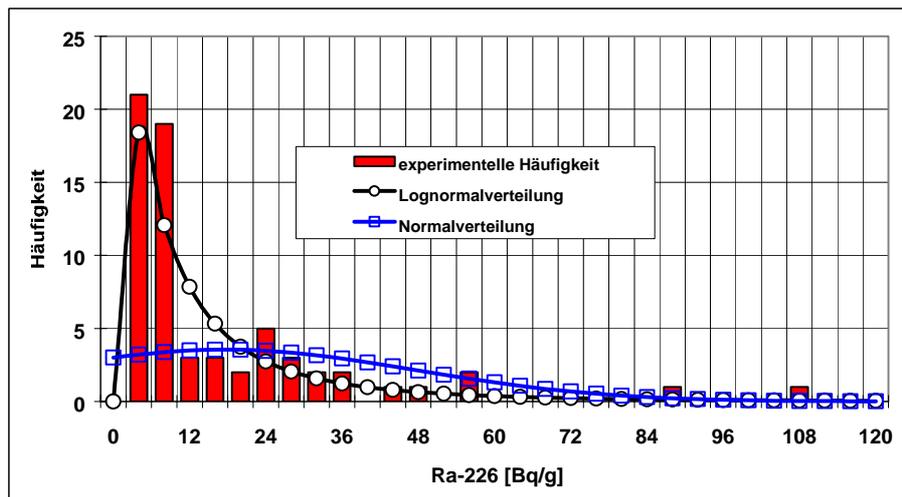


Abbildung 4-2: Wie Abbildung 4-1 jedoch für eine andere Charge von 62 Fässern mit Schlämmen und Reinigungsrückständen

Tabelle 4.4-2: Aus den Ausgangsdaten (s. Abbildung 4-2) und der Anpassung an die Log-Normalverteilung berechnete Werte für Mittelwert und Streuung

	Arithmetischer Mittelwert [Bq/g]	Streuung [Bq/g]
Ausgangsdaten	17,4	30,1
Log-Normalverteilung	16,6	25,5

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Quecksilberhaltige Reinigungsrückstände (Scales) der Erdgasindustrie
<u>Art der Materialien:</u>	aus Schlämmen und aufbereiteten Scales konditionierte (verfestigte) Abfälle
<u>Radionuklide:</u>	Ra-226, Ra-228, Th-228, Pb-210, Po-210
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	ca. 1–100 Bq/g Ra-226 (Mittelwerte ca. 10 Bq/g)
<u>Standorte:</u>	SN
<u>Mengenauftommen:</u>	Die gesamte Menge an Schlämmen, die von den deutschen Erdgasproduzenten 2002 zur Entquickung abgegeben wurde, betrug ca. 60 t. Für 2003 und 2004 sind nach Auskunft der Firma GMR Leipzig jeweils 100 t avisiert /22/. Unter Berücksichtigung der prozessbedingten Massenverluste und der Massenzunahme durch Immobilisierung errechnet sich daraus ein Aufkommen an konditionierten Abfällen des Quecksilberrecyclings von ca. 140 t/a. Bei weiterer Umsetzung der StrlSchV ist mit einer Zunahme der Mengen zu rechnen.
<u>Quellen:</u>	/17/, /22/

4.4.3 Verbrennungsanlage der Fa. Infraser

Vorbemerkung: Die Rückstandsverbrennungsanlage im Industriepark Höchst der Firma Infraser hat eine Kapazität von jährlich 35.000 t und ist für die Entsorgung von ca. 300 Abfallschlüsseln des Europäischen Abfallkataloges EAK zugelassen, unter anderem auch für die Verbrennung radioaktiver Stoffe. Die Verbrennung ist vorzugsweise für solche Abfälle möglich, die aufgrund ihres Gehaltes an organischen Stoffen auch eine energetische Nutzung zulassen. Die Annahme von Alphastrahlern und Materialien mit erhöhtem Quecksilbergehalt (über 1 mg/kg Trockenmasse) ist nicht zugelassen.

Die aus der Verbrennung resultierenden Aschen, Schlacken und Stäube werden konventionell entsorgt, da sie die Freigabewerte einhalten.

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Kein Aufkommen an zu überwachenden Materialien, da durch die technologisch bedingte Verdünnung die Freigrenzen unterschritten sind.
<u>Art der Materialien:</u>	Aschen, Schlacken, Filterstäube
<u>Radionuklide:</u>	Ra-226, Pb-210

<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	unter 1 Bq/g
<u>Standorte:</u>	HE
<u>Mengenauflkommen:</u>	Kein Auflkommen (s. oben)

4.5 Zusammenfassende Bewertung der Rechercheergebnisse

Zusammenfassend ergibt sich hinsichtlich des Auflkommens und der Charakterisierung von relevanten NORM-Rückständen folgendes Bild:

- (1) Der Informationsstand zum Massenaufkommen und den rückstandsspezifischen Aktivitäten ist im Hinblick auf die Entwicklung eines Mengengerüsts aller radiologisch relevanter NORM/TENORM in vielen Punkten unzureichend. Nur in der Minderheit der Fälle sind Informationen zu beiden Größen (Menge, spezifische Aktivität) vorhanden, so dass eine Selektion von Rückstandsmengen mit spezifischen Aktivitäten über bestimmten Schwellenwerten nur eingeschränkt möglich ist. Damit sind für das Mengengerüst andere Vorgehensweisen erforderlich.
- (2) Die Problematik TENORM ist vorrangig im Bereich der Erdöl-/Erdgas-Industrie bzw. der hiermit verknüpften Industriezweige (Recycling-Unternehmen) bekannt. In diesem Industriebereich gibt es relativ detaillierte Kenntnisse über Mengen und Aktivitäten sowie Konzepte zum Umgang mit den Rückständen. Die Daten der meisten anderen Industriebereiche sind häufig stichprobenhaft oder beziehen sich auf vorhandene kleinere Bestände, die in einem einmaligen Entsorgungsprozess zu beseitigen waren.
- (3) Radioaktive Hinterlassenschaften, insbesondere aus abgeschlossenen Arbeiten oder Tätigkeiten, können für das Mengengerüst von Bedeutung sein. Eine Berücksichtigung im Mengengerüst kann nur unter Vorbehalt erfolgen, da Erkenntnisse zur Aktivitätsverteilung und damit eine Abschätzung von Massenströmen erst möglich sind, wenn die rechtlichen Grundlagen für die Bewertung einer Sanierungsnotwendigkeit vorliegen und eine Übersicht über dabei zu berücksichtigende Fälle vorliegt.
- (4) Für die Bereiche, die nur einzelfallbezogen nach § 102 StrlSchV in eine strahlenschutzrechtliche Überwachung aufgenommen werden können, sind sowohl die Angaben zu tatsächlichen Aktivitätsverteilungen als auch die Einschätzungen zukünftigen behördlichen Handelns in hohem Maße unsicher. Weitere Untersuchungen zur Klärung von TENORM-bildenden Prozessen und möglichen Mengen mit deutlich erhöhter spezifischer Aktivität für die in dieser Studie genannten Bereiche werden empfohlen.
- (5) Grundsätzlich ist aus den Rechercheergebnissen abzuleiten, dass weitere mögliche Herkunftsbereiche für NORM-Rückstände existieren können, die durch die Gesamtheit der Recherchequellen nicht abdeckend erfasst wurden.

5 Aktueller Sachstand zu Art und Mengenaufkommen anderer Materialien

5.1 Vorbemerkung

Für die im Folgenden beschriebenen Bereiche der anderen Materialien (vgl. Abschnitt 2.1) ist neben der Art und Aktivität von radioaktiven Stoffen die strahlenschutzrechtliche Einstufung wesentlich für die Zuordnung zu den Regelungen von Teil 3 oder Teil 2 StrlSchV.

Dabei ist eine Inkonsistenz im Begriffssystem der StrlSchV festzustellen, die sich vor allem am Begriff der Materialien zeigt. Nach § 3 Abs. 2 Nr. 20 bleiben bei der begrifflichen Bestimmung von Materialien natürliche Radionuklide aus Tätigkeiten unberücksichtigt. Damit stellen Produkte wie thorierte Schweißelektroden oder Glühstrümpfe, denen radioaktive Stoffe zugesetzt wurden, keine Materialien im Sinne der StrlSchV dar, da diese Radionuklide aus einer Tätigkeit - dem Zusetzen - stammen. Fallen diese Stoffe allerdings als Abfälle bei überwachungsbedürftigen Arbeiten an, so werden sie nach § 96 Abs. 4 StrlSchV als Materialien bezeichnet. Aufgrund des direkten Bezuges von § 96 zu Arbeitsfeldern der Anlage XI StrlSchV sind hier offensichtlich auch Abfälle gemeint, die aus Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden oder Glühstrümpfen anfallen, also im strengen Sinne der Definition keine Materialien darstellen oder erst durch die Handlung „Arbeit“ zu Materialien werden.

Durch die Definition des § 118 Abs. 5 werden bei der Sanierung von Hinterlassenschaften ebenfalls „sonstige Materialien ... aus Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten ...“ in die Regelungen des Teils 3 Kapitel 3 StrlSchV einbezogen.

Diese begriffliche Widersprüchlichkeit der StrlSchV bedeutet praktisch, dass die rechtliche Zuordnung von Stoffen mit natürlichen Radionukliden nicht aus den stofflichen und radiologischen Eigenschaften allein abgeleitet werden kann. Vielmehr ist für die hier zu betrachtenden Sachbereiche ein erheblicher Interpretationsspielraum bei der rechtlichen Zuordnung von konkreten Stoffen festzustellen.

Da ein Aufkommen an radioaktiven Abfällen oder natürlich radioaktiven Stoffe i.S. AtG, die geordnet beseitigt werden müssen, speziell aus den Zuordnungsbereichen 3 bis 6 zu erwarten ist (s. Abschnitt 2.5), wurden diese Bereiche mit in die Recherchen zum Mengengerüst aufgenommen. Dabei werden in den nachfolgenden Abschnitten zunächst Basisangaben zusammengestellt, deren Relevanz für das Aufkommen an radioaktiven Abfällen sich erst aus der Analyse der zu erwartenden Praxis einschließlich der Umsetzung der Rücknahmeregelungen ergibt. Diese Praxis wird für die wichtigsten Stoffe (Schweißelektroden, Glühstrümpfe) im Abschnitt 9.5 diskutiert.

Die Darstellung ist analog wie im Abschnitt 4 und verwendet die gleichen Stichworte zur Gliederung.

Da die StrlSchV die bei Verwendung und Verarbeitung von Pyrochlorerzen oder Kupferschieferschlacken anfallenden Materialien auch in Anlage XII Teil A auführt, gelten für diese Materialien die Regelungen für Rückstände und sie sind im Zuordnungsbereich 1 erfasst.

5.2 Zuordnungsbereich 3: Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten

5.2.1 Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden

Vorbemerkung: Die Verwendung thoriertes (thoriumoxidhaltiger) Schweißelektroden beim WIG-Schweißen war bisher ein gebräuchliches Fertigungsverfahren. Untersuchungen von Expositionsbedingungen zeigten, dass vor allem beim Anschleifen der Elektroden signifikante Inhalationsdosen für Beschäftigte auftreten können /72, /73/. Daher war das Absaugen des Schleifstaubes bereits seit längerem vorgeschriebene Praxis.

Untersuchungen an Schweißern /73/ zeigten, dass die tatsächlichen Inhalationsdosen mit Werten zwischen 0,7 bis 7,6 mSv pro Jahr in einem Bereich liegen, der eine generelle Überwachung aller Arbeitsplätze nicht erfordert. Da die Frist zur Erstbewertung der Arbeitsplätze bis zum 01.08.2003 reicht, ist eine Gesamtübersicht erst Ende 2003 möglich. Es ist allerdings absehbar, dass nur ein geringer Teil der WIG-Arbeitsplätze in den Überwachungsbedarf fallen werden.

Unabhängig davon, ob die Arbeiten als anzeigebedürftige Arbeiten den Regelungen der StrlSchV unterliegen oder nicht, ist aus den Recherchen heraus allerdings eine Praxis absehbar, die zum Sammeln und geordneten Entsorgen der Luftfilter sowie der Elektrodenreste führen wird (vgl. Abschnitt 8.2.1).

Herkunft / Entstehung: Absaugung von Stäuben und Rauch beim Schleifen der Elektroden und beim Schweißen mit WIG-Elektroden, Verbrauchte Elektroden.

Art der Materialien: Schleifstaub mit Schwermetallen (vor allem Wolfram), verbrauchte Schweißelektroden.

Radionuklide: Th-232, Ra-228, Th-228+ (in altersabhängiger Verteilung; mit Alter der Elektroden zunehmender Anteil Ra-228).

Spezifische Aktivität: Th-232 und Th-230 in den eingesetzten Elektroden s. Tabelle 5.2-1. Die Nuklide der Th-Zerfallsreihe sind in der Regel im laufenden Nichtgleichgewicht mit nachwachsendem Th-228.

Beim Schleifstaub, abhängig von Art der Staubabscheidung und den angesaugten Staubbeimengungen.

Verbrauchte Elektroden wie in Tabelle 5.2-1 angegeben.

Tabelle 5.2-1: Angaben zur spezifischen Aktivität von WIG Elektroden (nach /66/, /145/)

	WT 4	WT 10	WT 20	WT 30	WT 40
ThO ₂ -Zusatz % m/m	0,35 – 0,55	0,80 – 1,20	1,70 – 2,20	2,80 – 3,20	3,80 – 4,20
Th-232 Bq/g	16	40	80	120	160
Th-230 Bq/g (*)	3	8	16	24	32
Gesamtaktivität nach StrlSchV in Bq/g	19	48	96	144	192

(*) abgeschätzt über Th-232/5 auf Basis von eigenen Messbefunden und Daten aus /9/

Mengenaufkommen: Grundlage bisheriger Mengenangaben war ein Verbrauch von 1 bis 1,4 Mio. Elektroden (davon 70 % WT 20, 10 % WT 40) in Deutschland /7/, /9/. Für diese Menge wurde in /7/ ein Aufkommen von 7,5 t Elektrodenrückstand geschätzt.

Über die Mengen Filtermaterial mit Schleifstaub und Rauchepartikeln liegen keine Angaben vor.

Quellen: /66/, /71/, /72/, /73/, /145/

Anmerkungen: Nach den überarbeiteten Berufsgenossenschaftlichen Informationen BGI 746 /66/ dürfen thoriumoxidhaltige Wolframelektroden unter Bezug auf § 24 Abs. 3 der Unfallverhütungsvorschrift BGV D1 nur noch aus zwingenden technischen Gründen verwendet werden. Damit ist ein deutlicher Rückgang der Verwendung und damit auch der anfallenden Abfälle zu erwarten.

Das oben benannte Aufkommen führt nicht zwingend zur Entsorgung durch Sammeln und geordnete Beseitigung. Insbesondere, wenn die Rücknahmeverpflichtungen zum Tragen kommen, ist mit einer Wiederaufarbeitung zu rechnen (s. Abschnitt 9.5).

5.2.2 Handhabung thoriierter Gasglühkörper

Vorbemerkung: Die handelsüblichen Glühkörper bestehen aus einem (Keramik-)Sockel und dem Thoriumoxidkörper. Glühstrümpfe bestehen aus einem mit Thorium- und Cernitrat getränkten Gewebe /9/.

In Deutschland werden thorierte Gasglühkörper im beruflichen Bereich in der Straßenbeleuchtung von Großstädten, bei der Deutschen Bahn und für Seezeichen verwendet. Im privaten Bereich (z.B. Camping) und für Baustellenbeleuchtungen mit Propangasleuchten werden Gasleuchten mit Glühstrümpfen genutzt /9/.

Nach einer Angabe in /147/ wurden um das Jahr 2000 noch 77.000 Gaslaternen genutzt. Die größte Zahl davon in Berlin (44.000 Stück in 2001, /148/), Düsseldorf (17.300 Stück in 2001 /150/), Dresden (2.163 Stück in 2002 /152/, /153/). Weitere Städte mit geringerer Anzahl an Lampen sind (oder waren um 1990) Baden-Baden, Bochum, Bonn, Bremen, Essen, Frankfurt, Mainz, Heidelberg, München, Nördlingen /9/ sowie mit aktuellem Bezug: Leipzig, Chemnitz /152/ und Kassel /149/. Jede Laterne enthält ca. 3 Gasglühstrümpfe, die eine Lebensdauer von ca. ½ Jahr aufweisen. Damit sind ca. 460.000 Glühstrümpfe pro Jahr auszuwechseln.

Bei der Bahn wurden durchschnittlich 850.000 Glühkörper pro Jahr verwendet. Zum Austausch verbrauchter Lampen waren im Bereich der DB bis zu 15 Propangaswartungszüge im Einsatz. In diesen Zügen waren Staubsauger im Einsatz, die vor dem Wechseln den Th-Oxidstaub absaugten. Der Staub wurde gesammelt und geordnet entsorgt /144/.

Abschätzungen der daraus resultierenden Strahlenexposition für den Bereich der Bahn zeigten /142/, dass die effektive Dosis für Beschäftigte in einem Propangaswartungszug der DB AG unter 2 mSv pro

Jahr liegt. Unter Bezug auf dieses Ergebnis ist auch bei anderen Arbeiten zum Wechseln von Glühstrümpfen das Überschreiten der Dosis von 6 mSv wenig wahrscheinlich. Daher wird die Handhabung und Entsorgung gebrauchter Glühstrümpfe nur in Ausnahmefällen nach § 96 Abs. 4 zu regeln sein.

In der Wasser -und Schifffahrtsverwaltung des Bundes wurden drei lichttechnische Anlagentypen mit Propangas betrieben: Seelaternen auf Leuchttonnen, Anstrahlleuchten für Tafelzeichen und Wahrschauflöße mit Gas betriebenen Ankerlaternen /154/. Während im Dezember 2001 die Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken (FVT WSV) noch davon ausging, dass zumindest im Binnenbereich aufgrund der Anforderungen eine vollständige Ablösung der gasbetriebenen Leuchten durch alternative lichttechnischen Anlagen nicht möglich ist /154/, wurde im Frühjahr 2003 die vollständige Ablösung der gasbetriebenen Anlagen mitgeteilt (s. Anlage 1, Rechercheantwort FVT WSV).

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Ersatz gebrauchter Glühkörper
<u>Art der Materialien:</u>	Verbrauchte Glühkörper (Keramiksockel mit Resten des Glühstrumpfes und Th-Oxid-Staub); abgesaugter Staub
<u>Radionuklide:</u>	Th-232, Ra-228+, Th-228+ (in altersabhängiger Verteilung; mit Alter der Elektroden zunehmender Anteil Ra-228)
<u>Spezifische Aktivität:</u>	Die Aktivität je Glühkörper variiert in Abhängigkeit vom Typ. Für die Glühkörper der DB wird eine Gesamtaktivität von 250 Bq (bezogen auf Th-232) angegeben /140/, /141/. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes gibt die Gesamtaktivität unter Bezug auf Herstellerangaben mit 450 bis 600 Bq an (Rechercheergebnis, s. Anlage 1). Vom TÜV wurden Gesamtaktivitäten von 500 bis 3500 Bq Th-232 je Glühstrumpf angegeben /9/. Messwerte zur spezifischen Aktivität von Gasglühstrümpfen/-glühkörpern werden in /142/ mitgeteilt (s. Tabelle 5.2-2). Die Gesamtaktivität nach Anlage XII Teil B StrlSchV beträgt für das in Tabelle 5.2-2 aufgeführte Material 2300 Bq/g (Th-232,max= 1800 Bq/g, U-238,max =+500 Bq/g). Messergebnisse von entsorgten Chargen liegen nicht vor. Es muss von spezifischen Aktivitäten von über 100 Bq/g ausgegangen werden, wobei ein Großteil der Masse durch den Sockel geliefert wird.

Tabelle 5.2-2: Messwerte der spezifische Aktivität von Gasglühkörpern (Werte in Bq/g)

	Th-232	Th-228	Th-230	Ra-228
Gasglühkörper Deutsche Bahn, ungebraucht /142/	1800	850	500	1050
Handelsübliche Modelle /9/	556 – 3.178		(*)	

(*) Zwischen 13 und 93 % der Aktivität von Th-232.

Mengenauflkommen: Die noch in /7/ zugrunde gelegten Mengenangaben sind nach den aktuellen Rechercheergebnissen revisionsbedürftig, da

- die Rechercheergebnisse bis auf die im Weiteren benannten Bereiche keine Hinweise auf ein signifikantes Mengenauflkommen an Abfällen aus der Verwendung von Gasglühkörpern/-strümpfen ergaben,
- die Produktion von thorierten Glühkörpern im Jahr 2004 auf thoriumfreie Glühkörper umgestellt wird /122/,
- die Verwendung bei Bahn und Schifffahrt in den vergangenen Jahren gezielt zurückgefahren wurde und in absehbarer Zeit eingestellt wird (/144/, s. auch Schreiben FVT WSV in Anlage 1),
- für Straßenbeleuchtungen und Baustellenbeleuchtungen ein weiterer Rückgang der Verwendung absehbar ist. (Für Dresden wird eine Abnahme von 60 bis 80 Lampen pro Jahr angegeben /152/).

Die in Tabelle 5.2-3 benannten Mengen widerspiegeln den Stand Ende 2002, Anfang 2003. Es ist in allen benannten Bereichen mit einem weiteren Rückgang in der Verwendung thorierte Gasglühkörper zu rechnen.

Tabelle 5.2-3: Mengen- und Aktivitätsaufkommen durch Gasglühstrümpfe pro Jahr

Herkunftsbereich	Stück	Th-232 je Stück	Th-232 Gesamt	Th-230 (**)
Deutsche Bahn /144/	< 100.000	250 Bq	< 25 MBq	< 5 MBq
Schifffahrt	3.363 (*)	500 Bq	1,68 MBq	0,34 MBq
Gaslaternen Städte	460.000	500 Bq	230 MBq	46 MBq

(*) Zeitlich stark fallend (Angabe FVT WSV, s. Anlage 1). (**) Abgeschätzt analog wie in Tabelle 5.2-1

Anmerkungen: Durch die Benutzung werden die Glühkörper soweit aufgebraucht, dass sie beim Einsammeln leicht zu Staub zerfallen. Die Aktivitätsschätzungen auf der Basis von Aktivitäten der ungenutzten Glühkörpern in Tabelle 5.2-3 sind daher Überschätzungen der realen Werte.

5.2.3 Verwendung von natürlichem Uran oder natürlichem Thorium zu chemischen Zwecken

Vorbemerkung: Uran- oder Thoriumverbindungen werden zu chemischen Zwecken vor allem im Bereich von Forschungseinrichtungen (Universitäten und Hochschulen, Institute, Forschungseinrichtungen der Industrie) verwendet. Dabei dürften derzeit Forschungen zu Umweltfragen (vor allem im Zusammenhang mit der Uranbergbausanierung) einen wesentlichen Anteil am Chemikalienverbrauch einnehmen. Produktentwicklungen zur Einbeziehung der genannten Elemente in Synthesen sind gegenwärtig nicht zu erwarten.

Ein derzeit noch gebräuchlicher Einsatz von Uranchemikalien ist die Verwendung von Uranylacetat zum Eiweißnachweis.

Die festen U-/Th-Verbindungen besitzen zumeist spezifische Aktivitäten von über 1.000 Bq/g, bezogen auf das Mutternuklid.

Der größte Teil der Chemikalien wird bei den Arbeitsgängen soweit verdünnt, dass er über das Abwasser oder den Abfall entsorgt werden kann. Restbestände von unverbrauchten Chemikalien wurden in den vergangenen Jahren an Landessammelstellen abgegeben. Ein geringes Auftommen an derartigen Chemikalien ist auch in Zukunft zu erwarten.

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Verbrauch von U-, Th-Chemikalien
<u>Art der Materialien:</u>	Verbrauchte Chemikalien, unverbrauchte Chemikalienreste
<u>Radionuklide:</u>	U-238, U-234 Th-232, Ra-228+, Th-228+ (in altersabhängiger Verteilung; mit Alter der Elektroden zunehmender Anteil Ra-228)
<u>Spezifische Aktivität:</u>	2.000 Bq/g (als Richtgröße für unverbrauchte Chemikalien) 20 Bq/g (als Richtgröße für verbrauchte Chemikalien)
<u>Mengenauftommen:</u>	Aus Befragungen von Landessammelstellen wird ein Mengenauftommen von ca. 10 kg an unverbrauchten Chemikalienresten pro Jahr als Richtgröße abgeleitet.

Anmerkung: Moderne Uranchemikalien werden vielfach aus abgereichertem Uran hergestellt. Sie sind damit keine NORM im hier betrachteten Sinne. Thoriumverbindungen werden aus Thoriumerzen oder Konzentraten hergestellt und enthalten damit natürliche Radionuklide im hier zu betrachtenden Sinne. Da die Herstellung der Chemikalien zunächst keine Tätigkeit im Sinne der StrlSchV ist, sind zumindest Thoriumverbindungen in der Regel als Materialien zu klassifizieren.

5.2.4 Handhabung thoriierter Legierungen

Vorbemerkung: Thorierte Mg-Legierungen werden u.a. in Triebwerken von Hubschraubern und Flugzeugen als Leichtmetallwerkstoff verwendet /121/. Zur Reparatur werden die Teile in Spezialfirmen bearbeitet. Die Arbeiten erfolgten bisher unter strahlenschutzrechtlicher Überwachung /119/.

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Bearbeitung von Teilen aus thorierten Legierungen
<u>Art der Materialien:</u>	Späne, Mischabfall mit Spänen
<u>Radionuklide:</u>	Th-232, Ra-228+, Th-228+ (in altersabhängiger Verteilung; mit Alter der Elektroden zunehmender Anteil Ra-228)
<u>Spezifische Aktivität:</u>	ca. 100 Bq/g (Th-232) bei Spänen; im Mischabfall deutlich geringere Aktivitäten
<u>Standorte:</u>	BB, BY
<u>Mengenauftommen:</u>	wenige kg pro Jahr in einem Unternehmen /119/. Das Auftommen war in den letzten Jahren stark rückläufig.
<u>Quellen:</u>	/119/, /121/, /152/

Anmerkung: Es ist möglich, dass durch die Neuregelungen der StrlSchV die strahlenschutzrechtliche Überwachung für Arbeitsplätze, an denen nur Kleinmengen thorierter Legierungen bearbeitet werden, wegen des Nichterreichens von 6 mSv effektiver Dosis entfällt. Die geordnete Entsorgung der Abfälle unter Berücksichtigung ihrer Radioaktivität ist allerdings auch zukünftig anzunehmen.

5.2.5 Arbeiten mit uran- oder thoriumhaltigen Produkten

Neben den bereits genannten Produkten werden weitere Produkte im beruflichen und z.T. auch privaten Bereich verwendet, die bisher keiner strahlenschutzrechtlichen Überwachung unterlagen. Beispiele sind:

- Thoriierte Wolfram-Elektroden werden bei der Produktion von Lampen (u.a. auch Autolampen) und Hochleistungsleuchten (z.B. für Flutlichtanlagen) verwendet /118/.
- Halogenmetalllampen enthalten Th-Oxid als Emitter /118/.
- Hohlkathoden-Lampen für die Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS) sind mit Thorium oder Uranbeschichtungen erhältlich (diverse Internetangebote von Lieferanten).
- Thoriierte Optiken in Lasern /89/.

Ein daraus abzuleitendes Aufkommen an überwachten Abfällen war bisher offensichtlich nicht gegeben (keine diesbezüglichen Hinweise in den Rechercheantworten). Inwieweit spezielle Recyclingverfahren, wie z.B. das Lampenrecycling zu einer Anreicherung von Thorium in Teilfraktionen führen und daraus radiologisch relevante Bedingungen oder spezielle Anforderungen an die Entsorgung von Resten bestehen, ist nicht bekannt.

5.3 Zuordnungsbereich 4: Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern

5.3.1 Herstellung von thorierten Schweißelektroden

Vorbemerkung: Thorierte Schweißelektroden werden durch Zusatz von Th-Oxid zu Wolframpulver und anschließendes Sintern hergestellt. Die Elektroden sind standardmäßig in den Längen 50, 75, 150 und 175 mm und mit Durchmessern 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0 mm erhältlich /145/. Bei einer Dichte von 19 g/cm³ für Wolfram liegen die Massen der Elektroden zwischen 0,75 und 42 g.

Die Elektroden werden nach der Herstellung angeschliffen. Qualitativ mangelhafte Elektroden werden ausgesondert. Aus diesen Arbeitsschritten resultiert ein Aufkommen an Restmaterialien.

Durch die Rücknahmeverpflichtung nach § 107 StrlSchV ist ein zusätzliches Aufkommen an Restmaterial möglich, über dessen Höhe derzeit keine Angaben vorliegen.

Herkunft / Entstehung: Produktionsabfälle, rückgenommene Elektrodenreste

Art der Materialien: Reste von Schweißelektroden, Schleifschlämme und Konzentrate des Kühlschmiermittelkreislaufs, Rückstände in Filtern

Radionuklide: Th-232, Ra-228+, Th-228+ (in altersabhängiger Verteilung; mit Alter der Elektroden zunehmender Anteil Ra-228)

Spezifische Aktivitäten: Im Mittel ca. 50 Bq/g Th-232

Standorte: BY

Mengenaufkommen: etwa 12 t/a /146/

Quellen: /145/, /146/

Anmerkungen: Durch die inzwischen vorhandenen Alternativen zur Nutzung thorierter Elektroden ist mit einem Rückgang der Produktion in Deutschland zu rechnen.

Aus Rück- und Umbaumaßnahmen können in größeren Abstände Dekontaminationsabfälle (Bauschutt) in der Größenordnung von einigen Tonnen zusätzlich anfallen.

5.3.2 Herstellung von Gasglühkörpern/-strümpfen

Vorbemerkung: Bei der Herstellung von handelsüblichen Gasglühstrümpfen werden etwa 0,5 g Thorium je Glühstrumpf eingesetzt. Dies entspricht einer Th-232-Aktivität von etwa 2.000 Bq pro Stück.

Die Glühkörper selbst enthalten nach unterschiedlichen Angaben zwischen 250 Bq und 3500 Bq /140/, /7/, /8/. Dabei ist nicht in jedem Fall angegeben, auf welches Nuklid / welche Nuklide sich diese Aktivität bezieht.

Herkunft / Entstehung: Produktionsrückstände

Art der Materialien: mit Thoriumnitrat imprägniertes Gewebe, ausgesonderte Glühstrümpfe; bei Rücknahme: kontaminierte Keramikringe

Radionuklide: Th-232 (Referenznuclid)

Spezifische Aktivität: ca. 2000 – 3000 Bq/g im Abfallmaterial (Nuklidzusammensetzung nicht spezifiziert, Rechercheergebnis)

Standorte: BE (Herstellung)

Mengenaufkommen: etwa 200 kg/a mit ca. 400 – 600 MBq Th-232

Bei Rücknahmeverpflichtung und einer Produktion von etwa 2 Mio. Stück/a wäre mit einem Rücklauf > 10 t/a zu rechnen.

Wird wie in /7/ ein Verbrauch von 7 Mio. Stück pro Jahr unterstellt und die Differenzmenge zur Herstellung in Deutschland als Import interpretiert, dann ist mit einem zusätzlichen Aufkommen von weiteren 30 bis 40 Tonnen aus der Rücknahme des Importes zu rechnen.

Quellen: /7/, /9/, Rechercheergebnisse (Tabelle 3.2-2)

Anmerkung: Nach Auskunft des einzigen deutschen Herstellers wird die Herstellung von thorierten Gasglühstrümpfen voraussichtlich Mitte 2004 durch die Produktion von thoriumfreien Gasstrümpfen

bzw. Gasglühkörpern abgelöst. Für die Übergangszeit sind allerdings noch ausreichend Lagerbestände vorhanden aus denen der Bedarf gedeckt werden kann.

Aus Rück- bzw. Umbaumaßnahmen können noch Dekontaminationsabfälle (Bauschutt) in der Größenordnung von einigen Tonnen anfallen.

Die Konsequenzen der Rücknahmeverpflichtung im Zusammenhang mit möglichen Importen sind derzeit noch nicht quantifizierbar.

5.3.3 Herstellung von Lampen mit thorierten Elektroden

Vorbemerkung: Die im Abschnitt 5.2.5 aufgeführten Lampen mit eingebauten thorierten Elektroden werden teilweise auch in Deutschland hergestellt. Genaue Angaben zu Produktionszahlen liegen nicht vor.

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Produktionsrückstände, Rücklauf
<u>Art der Materialien:</u>	Drähte, Späne, Stücke, Schleifschlämme
<u>Radionuklide:</u>	Th-232, Th-228+ (Ra-228)
<u>Spezifische Aktivität:</u>	100-150 Bq/g
<u>Standorte:</u>	BE, NW, BY
<u>Mengenauflkommen:</u>	max. 5 t/a (hochgerechnet aus Rechercheantwort, Rücknahmeverpflichtung unberücksichtigt)
<u>Quellen:</u>	Rechercheantwort

5.3.4 Verwendung von Uran bei der Herstellung von Produkten

<u>Herkunft / Entstehung:</u>	Materialien der Chemikalienproduktion
<u>Art der Materialien:</u>	Lösungen (Uranylverbindungen) für laborative Eiweißnachweise
<u>Radionuklide:</u>	U-nat
<u>Spezifische Aktivität:</u>	20 Bq/g
<u>Standorte:</u>	BY, BW
<u>Mengenauflkommen:</u>	60 l/a Zeitlich abnehmend prognostiziert
<u>Quelle:</u>	/92/

Anmerkung: Wahrscheinlich unter Verwendung von abgereichertem Uran. Dann kein NORM/TENORM Produkt

5.3.5 Thorierte Oberflächenvergütung in der Optik

Vorbemerkung: Thorierte Antireflexbeschichtungen mit ThF_4 werden in der Optoelektronik / Lasertechnik eingesetzt. Nach den Ergebnissen der Recherchen werden derartig beschichtete Linsen in Deutschland nicht hergestellt, sondern aus dem Ausland bezogen. Ein Spezialanbieter von derartigen Optiken weist in einem Sicherheitsdatenblatt auf die Probleme des Thoriums speziell hin und nimmt gebrauchte oder beschädigte Linsen zurück /86/. Da er strahlenschutzrechtlich einem Hersteller gleichgestellt ist, wird dieses Produkt im Zuordnungsbereich 4 untersucht.

Herkunft / Entstehung: Rücknahme von gebrauchten oder beschädigten Linsen

Art der Materialien: Linsen mit thorierter AR Beschichtung (10,6 μm)

Radionuklide: Th-232 (als Referenznuclid)

Spezifische Aktivität: bei Linsen bis 4,2 Bq je Stück /86/

Standorte: BY

Mengenauftkommen: keine Angaben

Quelle: /89/, /86/, Herstellerangaben

Anmerkung: Die angegebene Aktivität entspricht einer Th-Masse von 1 mg. Bei einer $\lambda/4$ -Schicht ist diese Th-Menge erforderlich bei ca. 1 cm^2 Linsenfläche. Die Masse solcher Linsen wird mit weniger als 1 g eingeschätzt. Damit könnte die spezifische Aktivität von Th-232 dieser Linsen 4–10 Bq/g betragen.

5.3.6 Produkte mit Zusatz von Mineralen erhöhter Radioaktivität

Bisher waren die Produkte, denen Minerale erhöhter Radioaktivität zugesetzt waren, aufgrund der Freigrenzen für den genehmigungsfreien Umgang von 500 Bq/g in Feststoffen keine radioaktiven Stoffe im Sinne der StrlSchV (1989). Die erhöhte Radioaktivität dieser Stoffe war aber zumindest teilweise bekannt. Die Recherchen erbrachten vor allem den Hinweis auf Schleifpasten in der optischen Industrie. Diese Schleifpasten enthalten Minerale der Seltenen-Erden (Ceroxid) und werden seit langem verwendet /87/.

Es muss allerdings mit einer Reihe weiterer Produkte gerechnet werden, die unter Verwendung von Schwermineralen und Seltenen-Erden-Mineralen hergestellt werden und in denen die spezifische Aktivität die Freigrenzen nach Tabelle 2.5-3 überschreiten kann. Da diese Herstellungen bisher strahlenschutzrechtlich genehmigungsfrei waren, liegen über diese Produkte kaum Daten vor. Teilweise wurden derartige Produkte (z.B. zirkonbeschichtete Keramikrohre /79/) allerdings bereits als Funde sichergestellt. Eine Recherche von Daten war nicht zielführend wegen des mangelnden Kenntnisstands in möglicherweise betroffenen Bereichen und der Besorgnis, bei einer Zuordnung zum Regelungsbereich der StrlSchV Wettbewerbsnachteile zu erleiden.

Aus diesem Grund konnten im Rahmen dieser Studie keine belastbaren Daten zu Schätzung eines Mengengerüstes abgeleitet werden. Eine grundsätzliche Prüfung, welche Produkte in Deutschland

durch Zusetzen oder Verwenden von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität hergestellt werden sowie eine Klärung des Überwachungsbedarfs ist zu empfehlen.

5.4 Zuordnungsbereich 5: Funde und Erlangen der tatsächlichen Gewalt

5.4.1 Materialien aus Funden

Vorbemerkung: Der unsachgemäße Umgang mit radioaktiven Quellen hat in den vergangenen Jahren im internationalen Maßstab zu einer Reihe von ernsthaften Zwischenfällen geführt /74/. Einer der wichtigsten Wirtschaftsbereiche, der in besonderem Maße von sogenannten vagabundierenden Quellen unterschiedlicher Art gefährdet ist, ist die Eisen- und Nichteisenmetallurgie. Aus diesen Gründen wird seit längerem eine Überwachung von sensiblen Anlagen wie Hüttenwerken, Annahmestationen von Sonderabfalldeponien und anderen Anlagen der Abfallwirtschaft durchgeführt. Diese Überwachung wird durch stationäre, großflächige Detektionsanlagen realisiert. Zusätzlich werden an besonders sensiblen Orten, wie Sammelplätzen und Umschlagplätzen von Schrott, Kontrollen mit mobilen Geräten durchgeführt.

Im Ergebnis dieser Kontrollen kommt es immer wieder zu Funden radioaktiver Stoffe, da insbesondere die stationären Anlagen eine sehr hohe Empfindlichkeit besitzen. Die Vielfalt der daraus resultierenden primären Funde wird von Richter /80/ angegeben mit:

- Unberechtigt entsorgte radioaktive Quellen aus Medizin, Schulbetrieb und Technik sowie kriminell oder fahrlässig in den Schrott gelangte radioaktive Strahler. Beispiele hierzu sind: Quellen aus medizinischen Bestrahlungseinrichtungen, Schulpräparate, Prüf- und Kalibrierstrahlenquellen, Quellen aus der Werkstoffprüfung, abgereichertes Kernmaterial von Abschirmungen, Trimm-Massen von Flugzeugen, alte Radiumtherapiegeräte (Emanatoren, Trinkbecher), Anzeigeeinstrumente mit Leuchtfarben (Zeiger, Zifferblätter).
- NORM/TENORM aus Monazitsanden, Schlämme aus der Wasseraufbereitung, Feuerfestmaterial / Ofenausbruch, Geräte und Anlagen aus der chemischen Industrie, (Herstellung und Anwendung von Phosphatdüngemitteln, Thoriumkatalysatoren), Stoffe aus Kraftwerken und Verbrennungsanlagen (Aschen, Schlacken, Granulate, Stäube, Sande, Krätzen, Schlämme, Ofenauskleidungen), oberflächenkontaminierte Materialien aus der Uranerzgewinnung (Menzenschwand, WISMUT), industrielle Produkte bei denen die Radioaktivität ungenutzte Begleiterscheinung ist (z.B. Schweißelektroden, Triebwerksteile, Glühstrümpfen, zirkon- und monazithaltige Gießereisande), Baumaterialien (Schiefer, Kupferschlacke, Granit, Bauxit, Blaubaust), Materialien aus der optischen Industrie (Polierpulver, thoriumhaltige Gläser).
- Auffinden von Kontamination/Ladungsrückständen an Teilen vom Fahrzeugen (z.B.: Uranerz, Kalisalze, Monazitsand) und Kontamination von Fahrzeugteilen mit radioaktiven Stoffen aus vorhergehenden Ladungen, die durch Detektionsanlagen nicht aufgefunden wurden. (Durch den europaweiten freizügigen Verkehr der Güterwagen, auch in osteuropäische Länder, ist eine solche Kontaminationsmöglichkeit nicht ausgeschlossen.)

Die Aufstellung zeigt, dass im Zuordnungsbereich „Funde“ eine Reihe von Stoffen genannt wird, die keine Rückstände im Sinne von Anlage XII Teil A darstellen. Viele der genannten Stoffe gehören in der Systematik dieser Studie in die Zuordnungsbereiche 2, 3 und 4. Obwohl es sich teilweise um Kleinmengen handelt, stellen diese Funde wahrscheinlich nur einen geringen Teil der tatsächlich im Wirtschaftskreislauf umlaufenden radioaktiven Materialien dar. Die weiteren Entwicklungen der Kontrollen sowie die Praxis der Entscheidungsfindung bei der Zuordnung von Fundmaterial zu Sachbereichen der StrlSchV werden entscheidend das Mengenaufkommen an radioaktiven NORM-Abfällen aus diesem Zuordnungsbereich beeinflussen.

Um eine Übersicht über die Art und Menge gemeldeter Funde mit NORM zu erhalten, wurden die Daten von dokumentierten Funden der DB /80/ und der Fa. GHS Iserlohn /79/ sowie Angaben aus /77/ und /78/ ausgewertet. In /77/ wurden die in den Ländern Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern in der Zeit von 10/93 bis 07/96 gemeldeten 23 Funde zusammengestellt. In /78/ sind 12 Funde aus Bayern für die Jahre 1998/99 aufgeführt. Die Anzahl der im Bereich der Deutschen Bahn von Mai 2000 bis November 2002 registrierten Funde beträgt 40 /80/. Eine ähnliche Anzahl (41 Funde) enthält eine Dokumentation der Firma GHS Iserlohn /79/. Damit liegt eine Dokumentation von Funden vor, die als repräsentative Stichprobe gelten kann. Die Zuordnung der Funde zu bestimmten Nuklidvektoren enthält Tabelle 5.4-1.

Tabelle 5.4-1: Zusammenstellung von Funden radioaktiver Stoffe

	DB	GHS	BY	NRW/BB/MVP	Summe
	Zeitraum 2000 - 2002		Zeitraum 98 - 99	Zeitraum 93 - 96	
Ra-226 nat	9	22	7	2	40
Unat	3	4		1	8
Th nat	7	1		1	9
Ra-226, Quellen	6	6	1	1	14
Co-60	5	4	1	2	12
Cs-137	5	2	2	9	18
sonst. künstl. Radionuklide	6	1	1	7	15
Gesamt	41	40	12	23	116

Demnach ist bei ca. 60 % aller Funde die Aktivität auf natürliche Radionuklide zurückzuführen, wobei den dominierenden Anteil Ra-226 mit ca. 37 % bildet. Da bei Radium eine Nutzung der ionisierenden Strahlung in Leuchtfarben, Ionisationsquellen und Emanierbechern vorlag, wurden die gefundenen Quellen separat ausgewiesen. Der Anteil dieser Funde ist mit 15 % der Gesamtzahl durchaus beträchtlich. Ca. 22 % der Funde sind durch Ra-226 charakterisiert, dessen Anreicherung natürlichen Ursprungs ist. Es ist auffällig, dass in den jüngeren Dokumentationen dieser Anteil deutlich höher ausfällt als in der Zusammenstellung von /77/ aus den Jahren 1993 bis 1996.

In dieser Aufstellung sind allerdings nicht alle tatsächlich aufgefundenen radioaktiven Stoffe enthalten, da insbesondere Fälle, in denen der Fund vom Besitzer zurückgenommen wurde oder andere Entsorgungsmöglichkeiten bestanden, nicht gemeldet wurden. Von der Fa. GHS Iserlohn wurde für den Zeitraum der vergangenen 5 Jahre (1997 - 2002) eine von dieser Firma registrierte Gesamtzahl von ca. 1000 Detektionen genannt /90/.

Um die anfallenden Materialien in Hinblick auf Mengen besser bewerten zu können, ist in Abbildung 5-1 eine Aufschlüsselung der Funde mit NORM/TENORM (ohne Quellen) auf bestimmte Materialklassen dargestellt. Diese Abbildung zeigt, dass folgende Materialklassen dominieren:

- Ablagerungen mit Ra-226,
- Mineralsande, Erze mit U-238 und ggf. Th-232 im jeweils natürlichen Verhältnis,
- Legierungen oder Metallteile mit Th-232.

Da sich die Ablagerungen in der Regel auf metallischem Trägermaterial, häufig auf Rohren befinden, wird die Masse der Funde entscheidend durch diese Trägerkomponente bestimmt.

Für die Zuweisung von Entsorgungswegen ist nach Unterscheidung der Funde als zugehörig zum Teil 2 StrlSchV (hier: Zuordnungsbereich 6) oder Teil 3 StrlSchV (hier Zuordnungsbereiche 1 bis 4) die Art und spezifische Aktivität der Materialien entscheidend für das weitere Handeln.

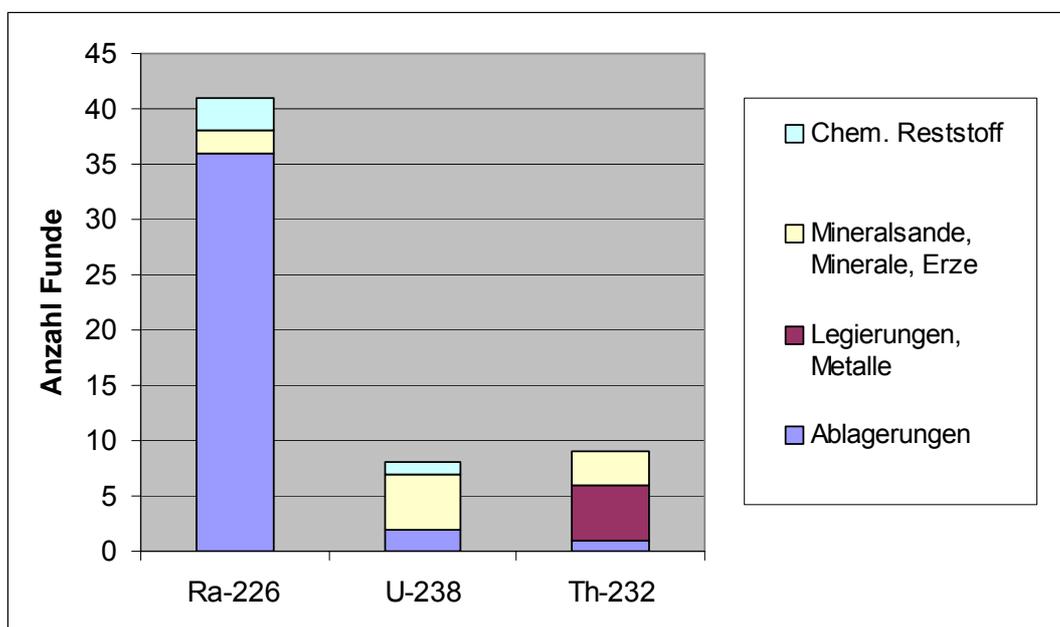


Abbildung 5-1: Aufschlüsselung von Funden mit NORM/TENORM (ohne Quellen) zu Materialklassen (Daten aus /77/, /78/ /79/, /80/)

Die spezifische Aktivität der Funde mit NORM/TENORM (ohne Quellen) ist in Abbildung 5-2 als Histogramm dargestellt. Sie zeigt, dass insbesondere bei Ra-226 dominierten Nuklidvektoren sehr hohe spezifische Aktivitäten, teilweise über 1.000 Bq/g, auftreten können.

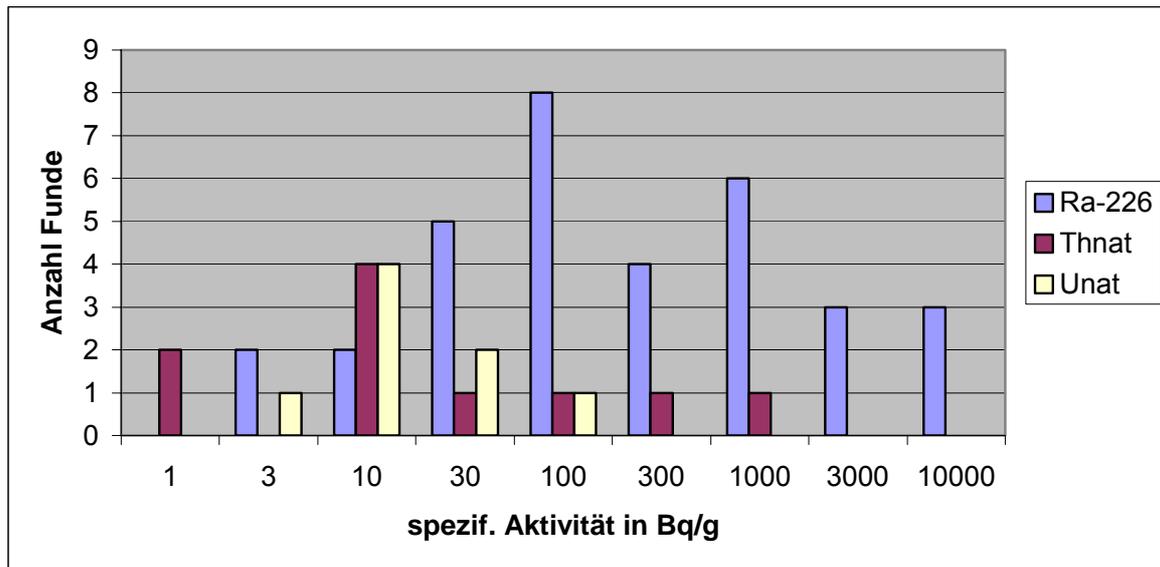


Abbildung 5-2: Histogramm der spezifischen Aktivität von Funden mit NORM/TENORM, ohne Quellen /79/, /80/

Insgesamt ergibt sich aus den hier ausgewerteten Informationen und Befragungen von Firmen, die spezielle Erfahrungen mit der Sicherstellung von Funden besitzen, das nachfolgend zusammengestellte Mengenaufkommen.

Herkunft / Entstehung: Sicherstellungen vor Entsorgungsprozessen oder vor Sekundärverhüttungsprozessen, Sicherstellung bei Transporten und Grenzkontrollen.

Art der Materialien: Anlagenteile mit Ablagerungen,
Legierungen,
Mineralsande und Erze.

Radionuklide: U-238, Ra-226, Th-232, Ra-228 und weitere Tochternuklide in altersabhängigen Anteilen

Spezifische Aktivitäten:

Dominierendes Nuklid	Anzahl ausgewertete Funde	Spezifische Aktivität [Bq/g]	
		Median	Maximalwert
Ra-226 (ohne Quellen)	33	98	6700
U-238 (Unat)	8	7,2	50
Th-232	10	7,5	309

Fundorte: bundesweit

Mengenaufkommen: Ca. 30 t pro Jahr in NRW (s. Rechercheantwort NRW, Anlage 1)

ca. 50 t pro Jahr an sicherzustellenden Materialien im Sinne dieser Studie nach Angaben von /79, 80/

Quellen: /74/, /76/, /77/, /78/, /79/, /80/

Anmerkung: Obwohl der Anteil der Fälle, in denen Leuchtfarben und andere Quellen im Sinne des Teils 2 StrlSchV sichergestellt werden ca. 20 % beträgt, wird insgesamt der Massenanteil an Quellen und anderen Materialien, denen eine Nutzung ionisierender Strahlung zuzuordnen ist, auf der Grundlage der vorliegenden Fundbeschreibungen in den Dokumentationen /69/ und /70/ als relativ gering eingeschätzt. Die Aktivitäten dieser unterschiedlichen Quellen bzw. Materialien können jedoch beträchtlich sein.

5.4.2 Materialien durch Erlangen der tatsächlichen Gewalt

Vorbemerkung: Nach § 71 Abs. 3 StrlSchV ist die Feststellung erhöhter Radioaktivität in Anlagen der Wassergewinnung und Abwasserbehandlung meldepflichtig, wenn die Anzeigewerte nach Tabelle 5.4-2 im Wasser bzw. Abwasser überschritten werden. Aufgrund der relativ hohen Meldegrenzen speziell für Abwasser wird eine Relevanz von Abwasseranlagen für den Anfall von NORM/TENORM über die „Erlangung der tatsächlichen Gewalt“ für nicht besonders relevant eingeschätzt. Durch die Absenkung der Werte gegenüber der alten StrlSchV (1989) sind allerdings die aus § 71 Abs. 3 StrlSchV abzuleitenden Werte für die Meldepflicht bei Radioaktivität in Wässern (s. Tabelle 5.4-2) bei einzelnen Mineralbrunnen erheblich überschritten /82/, /59/, /60/. Es ist auch davon auszugehen, dass Brauchwasser- und Sanierungsbrunnen oder bergbauliche Wasserfassungen die Meldewerte übersteigen können.

Obwohl diese Regelung im Teil 2 der StrlSchV dem Schutz von Mensch und Umwelt bei Tätigkeiten dient und damit natürliche Radioaktivität nicht im Zentrum steht, sollte sowohl die Feststellung, dass es sich nicht um künstliche Radioaktivität handelt, als auch die radiologische Bewertung der Situation nicht dem Anlagenbetreiber allein obliegen. Vielmehr wäre, analog wie bei den Funden, eine Bewertung durch die zuständigen Behörden erforderlich, wenn diese Regelung konsequent umgesetzt werden soll.

Tabelle 5.4-2: Aktivitätswerte für Meldepflicht für wasserwirtschaftliche Anlagen nach § 71 Abs. 3 StrlSchV(C₇₁)

Radio-nuklid	Wasser	Abwasser bis 10 ⁵ m ³ /a	Abwasser üb. 10 ⁵ m ³ /a	Radio-nuklid	Wasser	Abwasser bis 10 ⁵ m ³ /a	Abwasser üb. 10 ⁵ m ³ /a
	C ₇₁ in Bq/l				C ₇₁ in Bq/l		
Pb-210	0,3	60	6,0				
Po-210	0,09	18	1,8				
Ra-226	0,6	120	12	Ra-224	0,9	180	18
Th-230	0,6	120	12	Th-228	0,6	120	12
U-234	6	1.200	120	Ra-228	0,09	18	1,8
U-238	9	1.800	180	Th-232	0,6	120	12

Im Zusammenhang mit dem Thema dieser Studie ist festzuhalten, dass in Anlagen, in denen die Meldewerte überschritten werden, mit hoher Wahrscheinlichkeit Inkrustationen und Schlämme mit erhöhter Aktivität zu erwarten sind. In solchem Fall könnten Schlämme oder Ablagerungen von Wassergewinnungs-/Wasserbehandlungsanlagen alternativ als Materialien oder sogar radioaktive Stoffe im Sinne des Teils 2 StrlSchV eingestuft werden. Bei einer Zuordnung zum Teil 2 der StrlSchV müssten die radioaktiven Materialien generell als radioaktive Abfälle eingestuft werden.

Im Zuge dieser Studie konnten keine Fälle ermittelt werden, in denen der hier diskutierte Sachverhalt zum Tragen kam, d.h. dass Materialien natürlicher Radioaktivität durch Erlangen der tatsächlichen Gewalt in eine Überwachung gestellt wurden. Auf eine Mengenschätzung wird daher verzichtet.

5.5 Zuordnungsbereich 6: Abfälle aus dem Umgang mit Stoffen

Vorbemerkung: Als einzige Produktgruppe des Zuordnungsbereiches 6, die sich durch Verwendung von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität auszeichnet, wurde die Herstellung oder Verwendung von Dichtungstonen für den Brunnenbau identifiziert. Dabei sind vor allem solche Produkte zu betrachten, bei denen durch Zusatz von Materialien mit erhöhter natürlicher Aktivität (hier: Zirkonmehl) ein Produkt hergestellt wird, dessen ionisierende Strahlung genutzt wird. Allerdings wird außer bei den mit Zirkonmehl dotierten Dichtungstonen auch bei anderen, ohne Zusatz von Materialien produzierten Tonen, die ionisierende Strahlung zum physikalischen Nachweis genutzt. In den Produktbeschreibungen wird die Gammastrahlung entsprechend spezifiziert (vgl. /127/).

<u>Herkunft/Entstehung:</u>	Herstellung markierter Dichtungstone zur nachträglichen Detektion von Tonsperren in Brunnen (auch Trinkwasserbrunnen).
<u>Art der Materialien:</u>	Bei der Produktion fallen nach Auskunft des Herstellers keine Abfälle an, da alle Stoffe vollständig verwendet werden. Bei der Verwendung der Dichtungstone verbleiben geringe Restmassen an Dichtungston häufig im Gelände, da von diesen, im Wesentlichen natürlichen Stoffen, umweltrelevante oder humantoxikologische Wirkungen nicht bekannt waren.
<u>Radionuklide:</u>	U-238sec, Th-232sec
<u>Spezifische Aktivitäten:</u>	Der Dichtungston weist die in Tabelle 5.5-1 aufgeführten spezifischen Aktivitäten auf. Damit werden die Freigrenzen für einen Umgang auch bei Anwendung der Mischungsformel für Usec, Thsec eingehalten. Das Prüfkriterium für Zusetzen (s. Tabelle 2.5-3) ist allerdings bei Anwendung der Summenformel überschritten, so dass es sich bei den Dichtungstonen um Material mit einem Zusatz radioaktiver Stoffe handelt.

Tabelle 5.5-1: Messergebnis Dichtungston SBF Quellon WP (Messung IAF)

U-238 Reihe [Bq/kg]		Th-232-Reihe [Bq/kg]	
U-238	185 ± 10	Ra-228	82 ± 3
Th-230	170 ± 50	Th-228	83 ± 2
Ra-226	195 ± 15	Ra-224	83 ± 2
Pb-210	152 ± 9		

Standorte: Produktion in HE, RP; Verwendung: bundesweit

Mengenauflkommen: Produktion: 200 t/a an produziertem Dichtungston mit radiologischer Markierung /143/.

Es sind keine Daten verfügbar, um Abfälle aus der Verwendung abzuschätzen. Die Menge wird mit maximal 5 % der verwendeten Massen geschätzt. Damit wären für Deutschland ca. 10 t zu veranschlagen.

Anmerkung: Art und Menge der Materialien werden entscheidend durch die juristische Einstufung bestimmt. Da die Freigrenzen auch bei Beachtung der Summenformel für U-238sec und Th-238sec nicht überschritten sind, ist eine Umgangsgenehmigung nicht erforderlich. Es sind daher keine Abfälle aus der Verwendung von entsprechenden Dichtungstonen zu erwarten, die strahlenschutzrechtlich überwacht werden müssen. Im Falle einer hiervon abweichenden Einstufung ist mit der kurzfristigen Einstellung von Produktion und Nutzung der dotierten Dichtungstone zu rechnen.

Der Zuordnungsbereich 6 wird daher im Weiteren nicht mehr betrachtet.

5.6 Ergänzende Angaben zum Mengenauflkommen

5.6.1 Bestände an Thorium und Radium in Landessammelstellen und Lagern

Vorbemerkung: Als Bezugsgrößen zur Einschätzung des Mengenauflkommens an radioaktiven Abfällen aus NORM/TENORM können ergänzend die Lagerbestände, die sich bereits in Landessammelstellen und anderen Lagern befinden, betrachtet werden.

In einer Studie der GRS /11/ wurden u.a. die sich in Landessammelstellen und ähnlichen Einrichtungen befindenden Bestände an Uran, Thorium und Radium erfasst. Nach den in Tabelle 5.6-1 aufgeführten Beständen liegt das Gesamtinventar an Th-Ra-Abfällen in der Größenordnung von über 200 GBq für Th-232 und über 1400 GBq für Ra-226. Die Lagerbestände an Uran können für die Bewertung dieser Studie nicht genutzt werden, da eine Trennung der kerntechnisch genutzten Mengen von NORM-Rückständen mit den verfügbaren Daten nicht möglich ist.

Tabelle 5.6-1: Lagerbestände an Thorium und Radium mit über 1 MBq Aktivität (je Bezugsnuklid) (nach /11/), Angaben zum Zeitpunkt 1996

	Th-232 in GBq	Ra-226 in GBq
LSS Baden Württemberg	0,33	393
FZ Karlsruhe	2,84	261
Hahn Meitner Institut Berlin	32	141
Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe	2,71	0,007
Wehrwissenschaftl. Institut für Schutztechnologien	0,46	707
LSS Nordrhein Westfalen	0,37	15,3
PTB		14
Urananlage Ellweiler	4,11	1,65
Hochtemperatur Kernkraftwerks GmbH		0,049
Ehemaliges Zentralinstitut für Isotopenforschung		0,024
Europäisches Institut für Transurane	0,10	
Siemens Karlstein	0,0265	
Versuchsreaktor Jülich GmbH	0,0041	
Amersham Buchler *)	150	
Vorläufige Verwahrstelle Brandenburg	17	
NUKEM	15,9	

*) jetzt: AEA Technology Braunschweig

Bewertung: Für die thoriumhaltigen Abfälle nach Tabelle 5.6-1 ist ein wesentliches Aufkommen aus dem Rückbau von Gebäuden und der Sanierung von Hinterlassenschaften anzusetzen. Bei einer mittleren spezifischen Aktivität des Th-232 von 100 Bq/g (= 100 MBq/t = 25 mg/kg Th) entspricht das gelagerte Th-Inventar einer Masse von ca. 2.000 t. Bezogen auf einen Zeitraum von 50 Jahren, entspricht dies einem mittleren jährlichen Aufkommen von größenordnungsmäßig 40 t. Dabei ist davon auszugehen, dass größere Mengen vor allem in früheren Jahren (vor 1980) und in der Zeit von 1990 bis 1995 anfielen.

5.6.2 Import von Abfällen nach KrW-/AbfG

Sachverhalte: In allen Mengenbilanzen, die bisher in Bezug auf NORM/TENORM in Deutschland aufgestellt wurden, sind Importe von Abfällen nach KrW-/AbfG praktisch nicht berücksichtigt worden. Eine Prüfung von Angaben zur grenzüberschreitenden Verbringung von genehmigungspflichtigen Abfällen für die Jahre 1999 und 2002 (Umweltbundesamt, 2002 /38/) zeigt allerdings, dass in den vergangenen Jahren auch Abfälle eingeführt wurden, die nach den Regelungen der StrlSchV möglicherweise als NORM/TENORM zu klassifizieren sind.

In Anlage 2 sind die Abfallimporte der Jahre 1999 und 2000 zusammengestellt, die aufgrund ihrer Art und / oder Herkunft auch Beiträge von NORM/TENORM enthalten können. Aufgeführt wurden nur die importierten Abfälle, deren Art und Herkunftsbeschreibung prinzipiell einem Sachbereich zugeordnet werden kann, der auch zu Rückständen oder sonstigen Materialien führen kann. Eine Zusammenfassung der Daten aus Anlage 2 enthält Tabelle 5.6-2.

Tabelle 5.6-2: Mengen importierter Abfälle, die NORM bzw. TENORM enthalten können

Abfallart nach EAK	Abfallbezeichnung	Masse [t] 1999	Masse [t] 2000
01 03	Abfälle aus der physikalischen und chemischen Weiterbearbeitung von metallhaltigen Mineralien		
010302	Grob- und Feinstäube	30	26
06 04	Metallhaltige Abfälle		
060405	Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	1.712	904
06 09	Abfälle aus der Phosphorchemie		
060901	Phosphorgips	1.018	
1002	Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie		
100201	Abfälle aus der Verarbeitung von Schlacke		265
100203; 100204	feste Abfälle aus der Gasreinigung; Schlämme aus der Gasreinigung	47.106	124.304
1003	Abfälle aus der thermischen Aluminiummetallurgie		
100306	verbrauchter Kohlenstoff und feuerfeste Materialien aus der Elektrolyse	496	989
100312	andere Teilchen und Staub (einschließlich Kugelmühlens-taub)	5.640	8.142
100313	feste Abfälle aus der Gasreinigung		2.230
1004	Abfälle aus der thermischen Bleimetallurgie		
100401	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	40	351
100405	andere Teilchen und Staub	24	93
100408	verbrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien	2	
1005	Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie		
100501	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)		311
100504	andere Teilchen und Staub	4.144	2.960
100505	feste Abfälle aus der Gasreinigung		32
100599	Abfälle a. n. g.	75	1.632
1006	Abfälle aus der thermischen Kupfermetallurgie		
100601	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	1.542	1.069
100603	Feinstaub	2.300	2.282
100604	andere Teilchen und Staub	6.096	8.083
100607	Abfall aus der trockenen Gasreinigung	472	964
100608	verbrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien	211	212
1007	Abfälle aus der thermischen Silber-, Gold- und Platinmetallurgie		
100704	andere Teilchen und Staub	205	286
1008	Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie		
100801	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	60	51
100804	andere Teilchen und Staub	3.205	6.167
100805	feste Abfälle aus der Gasreinigung	462	
100899	Abfälle a. n. g.	257	135
1009	Abfälle vom Gießen von Eisen und Stahl		
100901/02	Gießformen und -sande mit organischen Bindern vor/nach dem Gießen	489	370
1010	Abfälle vom Gießen von Nichteisenmetallen		
101004	Ofenstaub	591	820
101099	Abfälle a. n. g.		4.389
1011	Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen		
101104	Feinstaub		95
101105	andere Teilchen und Staub	1.774	1.153
101108	verbrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien	221	40

Tabelle 5.6-2: Fortsetzung

Abfallart nach EAK	Abfallbezeichnung	Masse [t] 1999	Masse [t] 2000
1012	Abfälle aus der Herstellung von Keramikerzeugnissen, Ziegeln, Fliesen und Baustoffen		
101203	andere Teilchen und Staub	1	
1102	Abfälle und Schlämme aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie		
110201	Schlämme aus der Kupfer- Hydrometallurgie	893	1.274
110202	Schlämme aus der Zink- Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit-, Goethitschlamm)	28.013	1.850
1202	Abfälle aus der mechanischen Oberflächenbehandlung (Sandstrahlen, Schleifen, Honen, Läppen, Polieren)		
120201	verbrauchter Strahlsand	1.413	3.712
120202	Schleif-, Hon- und Läppschlämme	8.282	1.086
1705	Erde und Hafenaushub		
170501	Erde und Steine	7.399	214.075
170599D1	Bodenaushub, Baggergut sowie Abfälle aus Bodenbehandlungsanlagen mit schädlichen Verunreinigungen	52.093	29.377
1707	gemischte Bau- und Abbruchabfälle		
170701	gemischte Bau- und Abbruchabfälle	11.081	61.444
1908	Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen a.n.g.		
190804	Schlämme aus der Behandlung von industriellem Abwasser	6.627	26.281
	Summe	193.974	507.454

Bewertung: Diese Materialien werden dann für die Entsorgung deutscher Materialien relevant, wenn die verfügbaren Entsorgungskapazitäten in Bezug auf das 1 mSv-Konzept aufgrund dieser Einlagerungen signifikant beansprucht werden. Da bisher in der Entsorgungswirtschaft (abgesehen von Schrotterwertung und Sonderabfalldeponien) eine Kontrolle der Radioaktivität nicht erforderlich war (und auch zukünftig nicht ist), gibt es bisher keine belastbaren Angaben über die im Zusammenhang mit den Abfallimporten möglichen Aktivitätsbilanzen. Eine grundsätzliche Klärung ist daher zu empfehlen.

Die Entwicklung des Importes von Abfällen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität kann durch die unterschiedlichen rechtlichen Regelungen zu NORM/TENORM in Europa und marktwirtschaftliche Aspekte (Entsorgungspreise) erheblichen zeitlichen Veränderungen unterliegen. In Anbetracht der europaweiten Einführung der NORM-Regelungen in das Strahlenschutzrecht ist der praktische Vollzug und seine Auswirkungen auf Abfallströme gegenwärtig nicht prognostizierbar.

Aus den Importen von Abfällen ist allerdings kein Beitrag zu erwarten, der dauerhaft zur Entstehung radioaktiver Abfälle führt, da der Import dieser Abfälle aus wirtschaftlichen Gründen nur sinnvoll ist, wenn ein gesicherter Entsorgungsweg (außerhalb der Entsorgung als radioaktiver Abfall) in Deutschland existiert.

5.7 Zusammenfassende Bewertung der Rechercheergebnisse zu anderen Materialien

Die Prüfung der Zuordnungsbereiche 3 (überwachungsbedürftige Arbeiten nach Anlage XI Teil B StrlSchV) und 4 (Zusatz von Radionukliden natürlicher Herkunft zu Produkten), zeigte, dass erhebliche Kenntnisdefizite zu den Mengen und spezifischen Aktivitäten der aus diesen Bereichen zu entsorgenden strahlenschutzrechtlich überwachten Materialien bestehen. Da die zu erwartende Praxis des Vollzuges der Überwachung noch nicht absehbar ist, sind Mengenermittlungen auf der Basis stofflicher Kenngrößen und früherer Handlungsweisen nur mit Einschränkungen für Prognosen verwendbar. Aufgrund der teilweise für natürliche Radionuklide sehr hohen spezifischen Aktivitäten und der kontrollierten Arbeitsabläufe muss allerdings mit dem Anfall von dauerhaft zu überwachenden Stoffen gerechnet werden.

Durch Funde (Zuordnungsbereich 5) werden jährlich einige 10 Tonnen an Materialien sichergestellt. In dieser Menge sind auch Kleinmengen an Mineralien, Chemikalien oder Produkten enthalten, die in Landessammelstellen sichergestellt wurden. In diesem Aufkommen nicht enthalten sind Funde mit Quellen oder anderen radioaktiven Stoffen natürlicher Herkunft, deren ionisierende Strahlung genutzt wird (z.B. Ra-Leuchtfarben), da diese Stoffe in dieser Studie nicht betrachtet werden.

Als Stoffe, bei denen die ionisierende Strahlung natürlicher Radionuklide zweckgerichtet genutzt wird (Zuordnungsbereich 6), wurden Dichtungstone des Brunnenbaus identifiziert. Eine Relevanz dieser Produktgruppe für die hier zu betrachtende Aufgabe ist nicht anzunehmen, da die spezifische Aktivität der Stoffe die Freigrenzen für einen Umgang einhalten.

Durch den Import von Abfällen können auch Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität nach Deutschland eingeführt werden. Über Mengen und Aktivitäten dieser Materialien gibt es bisher kein belastbaren Kenntnisse.

6 Erstellung eines Aktivitäts-Mengengerüsts für NORM-Rückstände

6.1 Vorbemerkung

Die im Abschnitt 4 zusammengefassten Ergebnisse der Recherchen und Datenerhebungen haben gezeigt, dass hinreichend umfassende Daten zur differenzierten Ermittlung von NORM-Rückstandsströmen derzeit nicht vorliegen. Die relevanten industriellen und gewerblichen Bereiche, in denen Rückstände anfallen, sind durch die StrlSchV definiert und damit bekannt. Für viele Einzelunternehmen und Einrichtungen dieser Bereiche ist die Tatsache neu, dass dort erhöhte Radioaktivität vorkommt. Es sind keine oder nur wenige Angaben zur Radioaktivität vorhanden.

Ein nach Menge und spezifischer Aktivität differenziertes Mengengerüst kann daher nicht allein aus Datenerhebungen abgeleitet werden. Es wurde deshalb ein Ansatz gewählt, der mit einem hinreichend einfachen Modell folgende Basiskennzahlen zu einer nach spezifischer Aktivität differenzierten Verteilung verknüpft:

- Gesamtmasse,
- „Typische“ mittlere spezifische Aktivitäten,
- bekannte Extremwerte der spezifischen Aktivität, Annahmen über die Schwankungsbreite.

Der Vorteil eines solchen Herangehens ist, dass die derzeit verfügbaren Daten nicht allein im Sinne einer subjektiven „Expertenschätzung“ zu einem Mengengerüst aggregiert werden, sondern dass diese Schätzung durch den Rückgriff auf ein Modell in sich konsistent ausgeführt wird. Durch die vielfach unsichere Datenlage zu allen Einzelwerten, besitzt diese Darstellung allerdings gegenwärtig nur orientierenden Charakter. Es wird damit eine Grundlage gelegt, durch weitere Daten die Genauigkeit der Schätzungen später anhand des Modells verbessern zu können. Insbesondere können bei Veränderungen des Massenaufkommens insgesamt Anteile in bestimmten Aktivitätsintervallen leicht durch „Umskalieren“ abgeschätzt werden.

Soweit möglich, basiert die Ermittlung der Eingabeparameter auf den Angaben des Abschnitts 4.2 bzw. 4.3. Wenn konkrete Angaben fehlen, werden den Berechnungen Schätzungen zugrunde gelegt und diese begründet.

Für die praktische statistische Auswertung zufälliger Messgrößen ist es zweckmäßig, ein Modell der vermutlichen Verteilungsfunktion vorzugeben. Bevorzugte Modelle sind die Gauß'sche Normalverteilung und die log-normale Verteilung, die beide durch zwei Parameter charakterisiert sind.

Bereits in /7/ wurde davon ausgegangen, dass die Messwerte der spezifischen Aktivität von Hauptstoffströmen durch log-normale Verteilungen angepasst werden können. Eigene Erfahrungen zeigen ebenfalls, dass diese Verteilungen dem hier zu behandelnden Problem in den meisten Fällen besser angepasste Eigenschaften besitzen als die Normalverteilung (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Log-normal Verteilungen werden daher in den nachfolgenden Untersuchungen für die Ableitung des Mengengerüstes benutzt. Dafür werden aus den verfügbaren Daten Schätzwerte für den Erwartungswert der spezifischen Aktivität jeder betrachteten Charge abgeleitet. Da keine belastbaren Daten zur Spezifikation der Streuung vorliegen, wird der geschätzte Mittelwert als Erwartungswert benutzt und es werden drei Variantenrechnungen ausgeführt, bei denen die Streuung in den Schritten $0,5 \cdot \text{Erwartungswert}$; Erwartungswert ; $2 \cdot \text{Erwartungswert}$ variiert wird (u.a. festgelegt wegen der im Abschnitt 4.4.2 beschriebenen Erfahrungen). Die Ableitung der Mengen-Aktivitäts-Verteilung erfolgt daraus durch empirische Bewertung der Ergebnisse und unter Beachtung der Massenbilanz.

Prinzipiell erhält man durch dieses Vorgehen bei großen Massenströmen auch signifikante Mengen relativ hochbelasteter Chargen. Diese Werte sind allerdings in Bezug auf die jeweils genutzte Technologie dahingehend zu bewerten, ob eine Separation realistischere auftreten kann. Davon ist in der Regel bei großen, kontinuierlichen Massenströmen, wie z.B. der Rotschlammablagerung, nicht auszugehen.

Für das Mengengerüst der sonstigen überwachten Rückstände (Zuordnungsbereich 2) werden nur Materialien betrachtet, für die nach den Ergebnissen von Abschnitt 4.3 größere Materialmengen beim derzeitigen Kenntnisstand möglich sind, die in den Bereich des KrW-/AbfG hinein entsorgt werden. Ausgeklammert werden damit:

- Ablagerungen aus der Verarbeitung von Rohphosphat (Grund: kein Aufkommen).
- Schlämme, Ablagerungen der Grubenentwässerung (Grund: beim Steinkohlenbergbau untertägige Entsorgung unter Bergrecht, sonstige Bergbaue fehlende Datenbasis; Uranbergbau in dieser Studie ausgeklammert).
- Ablagerungen und kontaminierte Anlagenteile der Geothermie (Grund: Mangelnde Datenbasis, derzeit kein großes Aufkommen).
- Absorbermaterial aus Bodenluft- und Grundwassersanierung (Grund: fehlende Datenbasis).
- Materialien aus Klimaanlage (Grund: fehlende Datenbasis, wahrscheinlich kein großes Aufkommen).
- Materialien der Papier- und Zellstoffindustrie (Grund: fehlende Datenbasis, derzeit kein großes Aufkommen absehbar).

Materialien aus Arbeitsfeldern nach Anlage XI StrlSchV werden im Abschnitt 7 mit behandelt.

Da Angaben zu den Mengen, die nach § 102 StrlSchV in eine Überwachung eingestellt werden, noch nicht vorliegen können, wird, soweit keine anderen Schätzungen möglich sind, mit einer einheitlichen Bezugsmasse von 1.000 t pro Jahr gerechnet. Die Ergebnisse sind damit in erster Linie als Sensitivitätsprüfungen in Hinblick auf die mögliche Relevanz des untersuchten Bereiches bei der Entsorgung zu betrachten.

6.2 Zuordnungsbereich 1: Überwachungsbedürftige Rückstände

6.2.1 Rückstände der Erdöl- und Erdgas-Industrie

Scales

Eingangsparameter (nach Abschnitt 4.2.1)

- Jährliches Massenaufkommen: 40 t
- Mittlere spezifische Aktivität des Referenznuclids Ra-226: 150 Bq/g. Dem Wert liegt eine relativ hohe Schätzung der spezifischen Aktivitäten zugrunde. (s. auch Diskussionen zu Tabelle 4.2-1 und Tabelle 4.2-2).

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-1: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Scales der Erdöl-/Erdgas-Industrie

Masse [t]	40			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]	150			
Streuung [Bq/g]	75	150	300	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0,2 – 1	0	0	0
	1 - 10	0	0	3
	10 - 50	1	7	14
	50 - 100	10	12	9
	> 100	39	21	14

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung hohe Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus der empirischen Einschätzung, dass auch signifikante Anteile mit spezifischen Aktivitäten unter 10 Bq/g zu erwarten sind. So wurden bei der Firma GMR Leipzig für Ende 2002 ca. 4 t quecksilberhaltige Scales zur vakuothermischen Behandlung avisiert, wobei Voruntersuchungen durch IAF-Radioökologie zeigten, dass die mittlere spezifische Aktivität des Referenznuclids Ra-226 unterhalb von 10 Bq/g lag. Die drastische Reduktion der spezifischen Aktivität ist darauf zurückzuführen, dass im Reinigungsprozess vor allem Rost und andere nicht radioaktiv kontaminierte Ablagerungen aus den Rohren (Behälter) mit entfernt werden. Im Hinblick auf diese Ergebnisse könnte die angenommene mittlere spezifische Aktivität von 150 Bq/g für die Scales eine obere Grenze darstellen und das Mengenaufkommen an Scales mit spezifischen Aktivitäten über 100 Bq/g signifikant überschätzt sein.

Anlagenteile mit Scales

Eingangsparameter (nach Abschnitt 4.2.1)

- Jährliches Massenaufkommen: 200 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 10 Bq/g bezogen auf Ra-226

Für das Massenaufkommen an Anlagenteilen mit Scales wird davon ausgegangen, dass die Reinigung der hier betrachteten Teile (insbesondere geschlossene Behälter) mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand betrieben werden müsste, so dass die Anlagenteile insgesamt entsorgt werden müssen. Die spezifische Aktivität ergibt sich aus dem Verhältnis der spezifischen Aktivität des Referenznuklids der Inkrustationen und der Masse des Anlagenteiles.

Aufgrund der einzurechnenden Stahlmasse ist bei der spezifischen Aktivität eine Reduktion um den Faktor 5-20 anzurechnen, so dass die spezifische Aktivität der Anlagenteile (Scales + Stahl) im Bereich von < 20 Bq/g liegt. Erste Messungen, die bei IAF-Radioökologie GmbH durchgeführt wurden, bestätigen diesen Trend für höher kontaminierte Anlagenteile.

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-2: *Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Anlagenteilen mit Scales der Erdöl-/Erdgasindustrie*

Masse [t]		200			zu erwartender Massenanstieg [t]
Mittelwert [Bq/g]		10			
Streuung [Bq/g]		5	10	20	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1	0	2	24	0
	1 - 10	119	130	124	130
	10 - 50	81	66	47	65
	50 - 100	0	2	4	4
	> 100	0	0	1	1

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird im Rahmen dieser Modellierung eine mittlere Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus empirischen Einschätzungen und der im Weiteren dargestellten Plausibilitätsbewertung.

Ausgehend von den Modellabschätzungen ist zu erwarten, dass höchstens 1% des Gesamtaufkommens an Anlagenteilen spezifische Aktivitäten von > 100 Bq/g aufweisen werden. Bei einem Jahresaufkommen von 200 t könnte daraus in den nächsten 20 Jahren eine kumulierte Masse von 40 t an hochkontaminierten Schrotten entstehen. Bei höheren Massenaufkommen vergrößert sich die kumulierte Masse in entsprechender Weise. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass aufgrund weiterer Fortschritte bei den Reinigungsverfahren (z.B. Hochdruckwasserreinigung) die letztlich kontaminierte Anzahl von Stücken beträchtlich reduziert wird und insgesamt ein größerer Anteil an gereinigten Anlagenteilen recycelt wird.

Ein erstes Pilotprojekt ist diesbezüglich durch die Firma GWU Gommern erfolgreich durchgeführt worden. Auch eine Firma der Erdgasindustrie beabsichtigt einen Rohrstrang von 5 km Länge im Jahre 2003 mit einem Hochdruckverfahren zu reinigen und die Rohre zur Wiederverwertung (Einschmelzen) bereitzustellen. In Einzelfällen ist nicht ausgeschlossen, dass gereinigte Rohre wiederverwendet (Wiedereinbau) werden können. Ausgehend von dieser Tatsache könnte sich das Aufkommen an mit

Inkrustationen (Scales) behafteten Rohren (z.B. Tubbinge), die aufgrund ihrer spezifischen Aktivität ursprünglich zur Entsorgung vorgesehen waren, drastisch reduzieren. Damit erhöht sich allerdings das Auftreten an Reinigungsgemisch. Aufgrund seines Quecksilbergehalts ist eine Entsorgung wie bei den Schlämmen bei der GMR Leipzig in Vorbereitung /113/.

Schlämme

Betrachtet wird nur der Teil an Schlämmen, der aufgrund deutlich erhöhter Radioaktivität als überwachungsbedürftige Rückstände ausgewiesen und entsorgt wird (s. Abschnitt 4.2.1).

Eingangsparameter (s. Abschnitt 4.2.1)

- Jährliches Massenaufkommen: 250 t
- Mittlere spezifische Aktivität von Ra-226: 35 Bq/g (abgeschätzt aus der Verteilung der Tabelle 4.2-1)

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-3: Aktivität - Massenverteilung von Schlämmen der Erdöl-/Erdgasindustrie

Masse [t]	250				zu erwartender Massenanfall [t]	
Mittelwert [Bq/g]	35					
Streuung [Bq/g]	15	25	35	50		
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1	0	0	0	1	0
	1 - 10	1	13	35	63	50
	10 - 50	214	190	166	138	150
	50 - 100	35	41	38	32	35
	> 100	1	6	12	16	15

Anmerkung. Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere bis hohe Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus empirischen Einschätzungen und den bei IAF-Radioökologie GmbH vorliegenden Ergebnissen von Analysen von Materialien zur vakuumthermischen Behandlung bei der Firma GMR Leipzig. Ausgehend von den für das Jahr 2002 vorliegenden Daten /17/ (zusammengefasst in Tabelle 4.4-1), stellt der prognostizierte Massenanfall von ca. 16 % der Gesamtmenge mit einer spezifischen Aktivität von über 50 Bq/g eine sehr konservative Näherung dar.

Reinigungsgemisch mit Sandstrahlgut

Eingangsparameter (s. Abschnitt 4.2.1)

- Jährliches Massenaufkommen: 60 t, entspricht etwa 10 km rückgebaute und sandstrahlgereinigte Rohrleitung.
- Mittlere spezifische Aktivität: 3 Bq/g bezogen auf Ra-226

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-4: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Reinigungsgemischen mit Sandstrahlgut der Erdöl-/Erdgasindustrie

Masse [t]	60			zu erwartender Massenanfall [t]	
Mittelwert [Bq/g]	3				
Streuung [Bq/g]	1,5	3	6		
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	0	4	0
	0,2 - 1	1	11	20	10
	1 - 10	59	47	32	48
	10 - 50	0	2	3	2
	50 - 100	0	0	0	0

Anmerkung. Plausibilitätsbetrachtung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus empirischen Einschätzungen auf der Basis der bisherigen Analysen von IAF-Radioökologie.

Ein Mengenanteil von etwa 3 % an Rückständen mit einer spezifischen Aktivität des Referenznuklids von > 10 Bq/g erscheint unter den getroffenen Annahmen realistisch zu sein. Es ist daher zu erwarten, dass größere Mengen mit spezifischen Aktivitäten des Referenznuklids im Bereich von 10-50 Bq/g kaum anfallen werden.

6.2.2 Rückstände aus der Verarbeitung von Rohphosphat

Nach den Rechercheergebnissen ist ein erheblicher Anfall von Rückständen aus den in Anlage XII Teil A benannten Prozessen nicht zu erwarten. Andererseits zeigen die Daten (vgl. Abschnitt 5.6.2), dass mit einem Import von Phosphorgips zur Aufbereitung gerechnet werden muss. Die nach den ausgewerteten Statistiken für das Jahr 1999 gemeldete Menge von ca. 1000 t (vgl. Abschnitt 4.2.2) wird für eine Massenschätzung zugrunde gelegt.

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 100 t, abgeschätzt mit 10 % der Ausgangsmasse als Rückstand
- Mittlere spezifische Aktivität: 1 Bq/g bezogen auf Ra-226

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-5: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von nicht aufbereiteten Phosphorgipsen

Masse [t]	100			zu erwartender Massenanfall [t]	
Mittelwert [Bq/g]	1				
Streuung [Bq/g]	0,5	1	2		
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	6	26	10
	0,2 - 1	59	60	47	60
	1 - 10	41	34	26	30
	10 - 50	0	0	1	0
	50 - 100	0	0	0	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt, da konkrete Daten nicht vorliegen und die Herausbildung von Rückständen mit spezifischen Aktivitäten um eine Größenordnung höher als die mittlere spezifische Aktivität bei den hier zu betrachtenden Prozessen eher als unwahrscheinlich anzusehen ist.

6.2.3 Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit

Relevanter Rückstand aus der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit ist Rotschlamm.

Eingangsparameter (s. Abschnitt 4.2.3)

- jährliches Massenaufkommen: 900.000 t
- mittlere spezifische Aktivität: 0,4 Bq/g bezogen auf U-238,max + Th-232,max

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-6: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rotschlamm der Bauxitverarbeitung

Masse [t]	900.000			zu erwartender Massenanfall [t]	
Mittelwert [Bq/g]	0,4				
Streuung [Bq/g]	0,2	0,8	1,2		
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	98.219	304.743	481.536	100.000
	0,2 - 1	788.479	537.070	339.752	790.000
	1 - 10	13.303	58.178	78.029	10.000
	10 - 50	0	8	678	0
	50 - 100	0	0	4	0
	> 100	0	0	0	0

Anmerkung, Plausibilitätseinschätzung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung geringe Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus empirischen Einschätzungen auf der Basis der Literaturdaten, nach denen die spezifischen Aktivitäten der Rückstände praktisch vollständig unterhalb von 10 Bq/g liegen. Dieses Ergebnis ist in Hinblick auf den Prozess und die Rohstoffe plausibel. Die modelltechnisch abgeschätzten Anteile von 10.000 t mit spezifischen Aktivitäten über 1 Bq/g sind mit einem (rechnerischen) Massenanteil von ca. 1 % praktisch nicht aus dem Aufkommen an Rotschlamm separierbar.

6.2.4 Rückstände aus der Aufbereitung von Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth

Wegen des Fehlens einer detaillierten Datenbasis muss die Modellierung aktivitätsspezifischer Massenverteilungen für das Mengengerüst auf geschätzten Eingangsparametern aufbauen. Die Parameter können aber unter Bezug auf die ermittelten Literaturangaben im Abschnitt 4.2.4 abgeschätzt werden.

Rückstände der Ta-MetallurgieEingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 10.000 t (abgeschätzt aus Produktionsangabe 600 t/a, Wertstoffgehalt der verarbeiteten Ausgangsstoffe von 20 % und prozessbedingter Verdünnung von Faktor 3, aufgerundet auf 10.000 t)
- Mittlere spezifische Aktivität: 3 Bq/g für U-238,max + Th-232,max (abgeschätzt aus Daten der Tabelle 4.2-4 mit U-238 = 8 Bq/g und Th-232 = 2 Bq/g im Ausgangsmaterial sowie prozessbedingter Verdünnung um Faktor 3)

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-7: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rückständen der Ta-Produktion

Masse [t]		10.000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		3			
Streuung [Bq/g]		1,5	3	6	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	23	668	0
	0,2 - 1	183	1.809	3416	200
	1 - 10	9790	7.855	5349	9700
	10 - 50	27	312	545	100
	50 - 100	0	1	18	0
	> 100	0	0	3	0

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung geringe Streuung zugrunde gelegt, da nach Angaben des Herstellers Rückstände mit spezifischen Aktivitäten, die zu Entsorgungsproblemen führten, bisher nicht vorkamen. Soweit derzeit einschätzbar, ist in Anbetracht der Prozessführung eher mit einer Verschiebung der spezifischen Aktivitäten zu noch geringeren Werten um oder unter 1 Bq/g zu rechnen. Da in entsprechenden Prozessen Ablagerungen in Anlagen nicht auszuschließen sind, die höhere spezifische Aktivitäten aufweisen, wird ein Menge von 100 t/a zur Berücksichtigung solcher Effekte in das Mengengerüst eingestellt.

Rückstände der Nb-Produktion (Pyrochlorschlacken)Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 100 t (abgeschätzt auf Basis der Recherchemenge von 22 t und der Angabe von 3 Firmen mit Verarbeitung von Nioberzen, s. Abschnitt 4.2.4)
- Mittlere spezifische Aktivität: 30 Bq/g für U-238,max + Th-232,max (abgeschätzt nach Daten aus Abschnitt 4.2.4)

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-8: *Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Rückständen der Nb-Metallurgie (Pyrochlorschlacken)*

Masse [t]	100 t			zu erwartender Massenanteil [t]
Mittelwert [Bq/g]	30			
Streuung [Bq/g]	15	30	60	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	0	0
	0,2 - 1	0	0	2
	1 - 10	2	18	39
	10 - 50	89	67	44
	50 - 100	9	12	9
	> 100	0	3	6

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung geringe bis mittlere Streuung zugrunde gelegt. Werte über 50 Bq/g werden als unwahrscheinlich abgeschnitten. Diese Wahl begründet sich aus den bisher verfügbaren Angaben zu Nioberzen und Pyrochlorschlacken im Abschnitt 4.2.4 sowie den Anreicherungs-faktoren für Schlacken nach Tabelle 2.3-1.

Das hier benutzte Massenaufkommen versteht sich als Referenzmasse, die bei verbesserten Kenntnissen der realen Gesamtmengen als Skalierungsgröße zur Abschätzung genutzt werden kann.

6.2.5 Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Mineralen

Auf eine Mengenschätzung wird in Anbetracht zu geringer Datenlage verzichtet. Durch einige Unternehmen und Verbände der Glasindustrie werden derzeit Untersuchungen durchgeführt bzw. begleitet. Es ist zu erwarten, dass dadurch in absehbarer Zeit auch den zuständigen Behörden belastbarere Daten vorliegen werden.

Der Verzicht auf eine Mengenschätzung hat allerdings keine Auswirkungen auf das Mengengerüst radioaktiver Abfälle, da bisher offensichtlich aus der hier untersuchten Verwendung von Seltenen-Erden-Mineralen keine in den Ländern bekannten Fälle radiologischer Relevanz resultierten (vgl. Rechercheergebnisse, Tabelle 3.2-1).

Unabhängig davon wird aufgrund der möglichen hohen spezifischen Aktivitäten von Seltenen-Erden-Mineralen eine gezielte Untersuchung für notwendig erachtet.

6.2.6 Rückstände aus der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe

Stäube aus dem Granitabbau

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: ca. 100.000 t (abgeleitet aus der Jahresmenge von 10.000 t pro Abbau lt. Abschnitt 4.2.9 und geschätzten 10 Abbauen mit $a > 0,2$ Bq/g in Deutschland)
- Mittlere spezifische Aktivität: 0,3 Bq/g für U-238,max + Th-232,max. Die mittlere spezifische Aktivität von 0,3 Bq/g wurde als Wert für alle Materialien dieses Sachbereiches gewählt, die spezifische Aktivitäten über 0,2 Bq/g aufweisen und damit zu Rückständen im Sinne der StrlSchV führen.

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-9: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Stäuben aus dem Granitabbau

Masse [t]		100.000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		0,3			
Streuung [Bq/g]		0,15	0,3	1	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	26692	47180	70295	47000
	0,2 - 1	73040	49692	23672	50000
	1 - 10	268	3127	5903	3000
	10 - 50	0	0	128	0
	50 - 100	0	0	2	0
	> 100	0	0	0	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus den bisher verfügbaren Angaben zu den Werte-

bereichen von Granitaktivitäten und zu möglichen Anreicherungen von Radionukliden in Feinfraktionen (vgl. Abschnitt 4.2.9).

Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass bei den getroffenen Annahmen die Masse an Rückständen mit spezifischen Aktivitäten größer 1 Bq/g bei 3 % der Ausgangsmasse liegt. Verglichen zu den anfallenden Massen ist dieser Anteil vernachlässigbar. Da produktionsbedingt eine Separation von Anteilen höherer spezifischer Aktivität nicht stattfindet, ist ein Anfall an für das Mengengerüst relevanten Stoffen nicht anzunehmen.

Monazitsande des Kaolinabbaus

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 100 t (Schätzwert unter Bezug auf Abschnitt 4.2.9). Der Wert versteht sich als Skalierungsgröße, da die bisher bekannten Abbaue in Deutschland, in denen Monazitsande festgestellt wurden, nicht das gesamte Aufkommen widerspiegeln müssen. Nach Abschnitt 4.2.9 sind auch bei der Aufbereitung von Feldspat Monazitanreicherungen möglich.
- Mittlere spezifische Aktivität: 0,6 Bq/g für Th-232sec (Abgeleitet aus Messwerten eines Abbaus /88/).

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-10: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Monazitsanden des Kaolinabbaus

Masse [t]		100			zu erwartender Massenfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		0,6			
Streuung [Bq/g]		0,3	0,6	1,2	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	2	18	41	10
	0,2 - 1	89	67	44	80
	1 - 10	9	15	15	10
	10 - 50	0	0	0	0
	50 - 100	0	0	0	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Das Entstehen von Rückständen mit hohen spezifischen Aktivitäten (> 50 Bq/g) bei der Aufbereitung der Rohstoffe ist praktisch auszuschließen. Allerdings können durch Bildung von Ablagerungen evtl. höher kontaminierte Anlagenteile entstehen /94/. Der Massenfall mit spezifischen Aktivitäten über 1 Bq/g von ca. 10 %, bezogen auf die Gesamtmasse wird als plausibel eingeschätzt. Der größte Teil dieser Menge besitzt bei den angenommenen Verteilungsfunktionen spezifische Aktivitäten unter 3 Bq/g.

6.2.7 Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Roheisenmetallurgie (Primärverhüttung)**Sinterstaub**Eingangsparameter nach Abschnitt 4.2.10

- Jährliches Massenaufkommen: 500 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 30 Bq/g (Referenznuclid Pb-210). Der Wert wurde anhand von ersten verfügbaren Messdaten (Messungen: IAF) von Rückstandsmaterial gewonnen.

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-11: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Sinterstäuben der Roheisenmetallurgie

Masse [t]		500			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		30			
Streuung [Bq/g]		15	30	60	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 1	0	0	10	0
	1 - 10	9	92	194	95
	10 - 50	444	333	221	330
	50 - 100	46	60	47	60
	> 100	1	16	28	15

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt. Die daraus abzuleitenden Massenverteilungen sind in Hinblick auf erste vorliegende Datensätze plausibel. Danach ist mit einem Anfall von Rückständen mit einer spezifischen Pb-210-Aktivität > 50 Bq/g von etwa 15% und >100 Bq/g von 3% der Ausgangsmasse zu rechnen.

Für die Beurteilung von Sinterstäuben ist weiterhin zu beachten, dass in der Regel Po-210 das Nuklid mit der maximalen spezifischen Aktivität der U-238 Reihe ist (s. Abschnitt 4.2.10).

HochofenschlammEingangsparameter nach Abschnitt 4.2.10

- Jährliches Massenaufkommen: 100.000 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 3 Bq/g bezogen auf Pb-210

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-12: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Hochofenschlämmen der Roheisenmetallurgie für Pb-210

Masse [t]		100.000			zu erwartender Massenanteil [t]
Mittelwert [Bq/g]		3			
Streuung [Bq/g]		1,5	3	6	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	228	6.677	6.000
	0,2 - 1	1.833	18.090	34.163	34.000
	1 - 10	97.899	78.554	53.493	54.000
	10 - 50	268	3.120	5.450	5.500
	50 - 100	0	7	183	500
	>100	0	0	34	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung hohe Streuung zugrunde gelegt. Die damit abgeleitete Massenverteilung ist in Hinblick auf erste den Bearbeitern vorliegende Datensätze plausibel.

Die Mengen fallen an den relativ wenigen Hüttenstandorten an, wobei jeder Standort seine eigenen typischen Aktivitäten aufweisen kann.

Auch für Hochofenschlämme ist davon auszugehen, dass die Fraktionierung von Po-210 stärker als die von Pb-210 ausfällt und damit Po-210 das bestimmende Nuklid wird (s. Abschnitt 4.2.10).

6.2.8 Rückstände aus der Rauchgasreinigung der Nichteisenmetallurgie (Primärverhüttung)Eingangsparameter nach Abschnitt 4.2.11

- jährliches Massenaufkommen: 1.000 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 2 Bq/g (Po-210)

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-13: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Stäuben der NE-Metallurgie

Masse [t]		1.000			zu erwartender Massenanteil [t]
Mittelwert [Bq/g]		2			
Streuung [Bq/g]		1	2	4	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	9	119	100
	0,2 - 1	109	329	416	425
	1 - 10	891	652	436	450
	10 - 50	0	9	28	24
	50 - 100	0	0	1	1

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung hohe Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus der Feststellung, dass die hiermit modellierten Prozesse stark heterogen in Bezug auf die Aktivitätsverteilung der Stäube sein dürften.

Die Ergebnisse widerspiegeln die Einschätzung, dass im Bereich der NE-Metallurgie zumindest in Einzelfällen mit Stäuben stark erhöhter spezifischer Aktivität zu rechnen ist. Wie im Abschnitt 4.2.11 beschrieben, müssen auch Anreicherungen von Po-210 mit höheren spezifischen Aktivitäten als Pb-210 in Betracht gezogen werden.

6.2.9 Formstücke**Feuerfestmaterial/Ofenausbruch auf Bauxitbasis**Eingangsparameter nach Abschnitt 4.2.12

- Jährliches Massenaufkommen: 70.000 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 0,25 Bq/g für U-sec + Th-sec (0,1-0,5 Bq/g je Reihe)

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-14: *Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Feuerfestmaterialien/Ofenausbruch auf Bauxitbasis*

Masse [t]		70.000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		0,25			
Streuung [Bq/g]		0,1	0,25	0,5	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	27756	39125	47367	40.000
	0,2 - 1	42207	29566	19687	28.000
	1 - 10	37	1309	2932	2000
	> 10	0	0	14	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus Einschätzungen nach Literaturlauswertungen, nach der spezifische Aktivitäten über 10 Bq/g für diese Materialgruppe sehr unwahrscheinlich sind, andererseits Werte über 1 Bq/g durchaus realistisch vorkommen können.

Feuerfestmaterial/Ofenausbruch auf ZirkonbasisEingangsparameter nach Abschnitt 4.2.12

- Jährliches Massenaufkommen: 7.000 t
- Mittlere spezifische Aktivität: 4 Bq/g Usec+Th-sec

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-15: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Feuerfestmaterialien/Ofenausbruch auf Zirkonbasis

Masse [t]	7.000			zu erwartender Massenanfall [t]	
Mittelwert [Bq/g]	4				
Streuung [Bq/g]	2	4	8		
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	5	295	0
	0,2 - 1	24	736	1.969	1000
	1 - 10	6.872	5.806	4.125	5.500
	10 - 50	103	451	582	500
	50 - 100	0	2	25	0
	>100	0	0	5	0

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung mittlere Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus empirischen Einschätzungen auf Basis der ausgewerteten Daten und der sonstigen Literatur zu diesem Sachbereich. Generell ist eine höhere Streuung der Aktivitäten durch unterschiedliche Materialien anzunehmen. Ein Anfall an Rückständen mit einer spezifischen Aktivität von über 10 Bq/g ist realistisch zu erwarten. Hinweise, die ein Auftreten von Materialien mit Aktivitäten über 50 Bq/g anzeigen, liegen nicht vor.

6.2.10 HinterlassenschaftenEingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 100 t (ohne Standort Oranienburg und bereits in Sanierung befindliche Altlasten). Der Wert versteht sich als Prognosegröße, die in der Realität starke zeitliche Schwankungen aufweisen wird und nur für längerfristige Betrachtungen heranzuziehen ist. Die Zahl enthält noch keine vorweg genommenen Schätzungen von Hinterlassenschaften, die nach der Novelle des Strahlenschutzvorsorgegesetzes als sanierungsbedürftig auftreten können.
- Mittlere spezifische Aktivität: 10 Bq/g U-238,max + Th-232,max

Aufgrund quasi kontinuierlicher Aktivitätsverteilungen in kontaminierten Böden liegen bei Hinterlassenschaften stets große Mengen an sehr gering kontaminierten Rückständen vor. Um den Anteil an überwachungsbedürftigen Rückständen einzugrenzen, wird das angegebene Massenaufkommen mit einer gezielt höher angesetzten mittleren spezifischen Aktivität in Bezug gesetzt.

Modellergebnisse

Tabelle 6.2-16: Aktivitätsspezifische Massenverteilung bei Hinterlassenschaften

Masse [t]		100			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		10			
Streuung [Bq/g]		5	10	20	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0,2 - 1	0	1	12	10
	1 - 10	59	65	62	60
	10 - 50	41	33	23	25
	>50	0	1	3	5

Anmerkung, Plausibilitätsbewertung:

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine im Rahmen dieser Modellierung hohe Streuung zugrunde gelegt. Diese Wahl begründet sich aus Einschätzungen zu existierenden Hinterlassenschaften und Erfahrungen bei der Sanierung bisheriger Altlastenfälle.

Die hier abgeschätzte Menge von 30 t pro Jahr mit einer spezifischen Aktivität über 10 Bq/g entspricht in akzeptabler Näherung den Massenschätzungen aus den bisherigen Lagerbeständen der Landes-sammelstellen (vgl. Abschnitt 5.6.1), wobei dort deutlich höhere spezifische Aktivitäten auftraten.

Für den Standort Oranienburg wird nach den Angaben aus Abschnitt 4.2.13 eine Menge von 3.000 t/a zusätzlich in das Mengengerüst eingestellt. Diese Menge kann zum einen chemisch unveränderte Rohstoffreste (Monazitsande) zum anderen chemisch aufbereitete Produktreste und Aufbereitungsrückstände enthalten. Aus stichprobenhaften Untersuchungsergebnissen /47/ und Kenntnissen der Bearbeiter zum Standort wird als Mengegerüst eingeschätzt:

50 % im Bereich 0,2 bis 1 Bq/g, ca. 30 % im Bereich 1 bis 10 Bq/g, 15 % im Bereich 10 bis 50 Bq/g und 5 % über 50 Bq/g.

Weiterhin wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass Materialien früherer Arbeiten (z.B. Filterstäube der Primärverhüttung), die in großen Mengen entsorgt wurden, auch nach gesetzlicher Neuregelung der Hinterlassenschaften ggf. vor Ort gesichert, nicht jedoch neu aufgenommen und entsorgt werden müssen.

6.3 Zuordnungsbereich 2: Sonstige überwachte Rückstände

6.3.1 Materialien der Wasserwirtschaft

6.3.1.1 Wasserwerksschlämme

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 180.000 t laut Tabelle 4.3-3, davon nach der Häufigkeitsverteilung in Tabelle 4.3-2 ca. 1,8 % (ca. 3.200 t) mit spezifischer Aktivität über 1 Bq/g.
- Mittlere spezifische Aktivität: 0,11 Bq/g Ra-226, berechnet aus einer mittleren spezifischen Aktivität von 4,4 mBq/l Ra-226 (Tabelle 4.3-2) und einem Anreicherungsfaktor von 25.000 nach Tabelle 2.3-1. Dieser Wert korrespondiert gut mit der Angabe einer mittleren spezifischen Aktivität der Schlämme von 0,1 Bq/g in /135/.

Modellergebnisse

Tabelle 6.3-1: Aktivitätsspezifische Massenverteilung bei Schlämmen aus Wasserwerksanlagen

Masse [t]		180.000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		0,11			
Streuung [Bq/g]		0,1	0,5	1	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	157795	159901	163664	(163.900)
	0,2 - 1	22094	17154	13129	(13.000)
	1 - 10	111	2894	3081	3.000
	10 - 50	0	50	119	100
	50 - 100	0	1	7	0

Werte in Klammern: strahlenschutzrechtliche Überwachung nach § 102 StrlSchV auszuschließen

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Für das Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird im Rahmen dieser Modellierung eine im Vergleich zu sonstigen Ansätzen sehr hohe Streuung von 1 Bq/g zugrunde gelegt. Diese Wahl ist begründet durch die zur Skalierung genutzten Massenanteile über 1 Bq/g von 1,8 % (s. oben).

In Wasserwerken mit sehr hohen Radiumkonzentrationen (lt. Modellansatz über 400 mBq/l) sind Schlämme zu erwarten die über 10 Bq/g Ra-226 aufweisen können. Die Menge derartiger Schlämme dürfte jedoch relativ klein sein. Die aus dem Modell abgeleitete Masse von 100 t pro Jahr wird als plausibel eingeschätzt. Sie fällt ggf. verteilt in Kleinmengen über mehrere Standorte an.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die spezifische Aktivität von Ra-228 im Grundwasser ca. 1/3 der von Ra-226 beträgt /133/. Damit ist bei einem signifikanten Anteil aller Schlämme auch Ra-228 über 0,2 Bq/g zu erwarten.

Bei der Entsorgung der Schlämme spielt der Wassergehalt eine wesentliche Rolle. Für die Bewertung der Entsorgungsbedingungen ist daher die Frage der Bezugsmasse für die spezifische Aktivität (Trockenmasse oder Originalmasse) von entscheidender Bedeutung.

6.3.1.2 Materialien aus der Nutzung von Mineral- und Heilwasser

Gemäß Darstellung in Abschnitt 4.3.4.3 liegen für das Massenaufkommen von Materialien aus der Nutzung von Mineral- und Heilwasser keine Literaturdaten vor. Es ist allerdings (wahrscheinlich auch wegen der tendenziell höheren Gesamtmineralisation) mit im Mittel deutlich höheren Ra-226 Konzentrationen als im Trinkwasser zu rechnen. Daher muss für Schlämme, Festbettfilter und Scales in derartigen Anlagen mit höheren Ra-Aktivitäten als in Wasserwerksschlämmen gerechnet werden.

Die Modellierung einer aktivitätsspezifischen Massenverteilung erfolgt daher anhand einer geschätzten Bezugsmasse von 1.000 t pro Jahr. Als mittlere spezifische Aktivität werden aus der mittleren Ra-226 Aktivität von Mineralwasser von 25 mBq/l (s. Tabelle 4.3-2) 0,6 Bq/g abgeschätzt.

Eingabeparameter

- Jährliches Massenaufkommen (Bezugsmasse): 1.000 t
- mittlere spezifische Aktivität: 0,6 Bq/g

Modellergebnisse

Tabelle 6.3-2: *Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien aus Heil- und Mineralwassernutzungen*

Masse [t]	1.000			zu erwartender Massenanteil [t]	
Mittelwert [Bq/g]	0,6				
Streuung [Bq/g]	0,6	3	6		
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	183	616	713	(700)
	0,2 - 1	665	267	192	(200)
	1 - 10	151	111	86	90
	10 - 50	0	7	8	9
	50 - 100	0	0	1	1
	> 100	0	0	0	0

Werte in Klammern: strahlenschutzrechtliche Überwachung nach § 102 StrlSchV auszuschließen

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Für das erwartete Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird analog zur Modellierung der Wasserwerksschlämme eine sehr hohe Streuung zugrunde gelegt. Unter Nutzung dieser Streuung ist bei der abgeschätzten mittleren spezifischen Aktivität mit einem Massenanteil an Materialien > 10 Bq/g von ca. 1 % zu rechnen. In Anbetracht bekannter Bäder, in denen stark radiumhaltige Wässer genutzt werden (s. Abschnitt 4.3.4.3) und der bereits publizierten Messwerte aus einem dieser Bäder, ist das Ergebnis als plausibel einzuschätzen.

Auch hier ist wie bei anderen Scales zu berücksichtigen, dass Anlagenteile mit Scales als Ganzes geringere spezifische Aktivitäten als die reinen Ablagerungen aufweisen. Sofern im Zuge von Reinigungen Molchschrämme oder Sandstrahlgut anfallen, ist bei diesen Materialien die spezifische Aktivität um bis Faktor 5 niedriger als die "reiner" Scales.

6.3.2 Flusssedimente

Betrachtet wird das Auskoffern von Gewässerbetten in Flussabschnitten mit anthropogen erhöhten Radionuklidgehalten. Zur orientierenden Modellierung einer aktivitätsspezifischen Massenverteilung wird eine geschätzte Bezugsmasse von 1.000 t pro Jahr (entspricht nach Abschnitt 4.3.6 ca. 500 m Flussbett) zugrunde gelegt. Als Bezugsaktivität wird ein Wert von 1 Bq/g (Ra-226) aus der Tabelle 4.3-5 abgeschätzt, da nur für Werte über dieser Schwelle eine strahlenschutzrechtliche Überwachung des Aushubmaterials in Frage kommt.

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 1.000 t (Bezugsmasse)
- Spezifische Aktivität: 1 Bq/g (Bezugsaktivität)

Modellergebnisse

Tabelle 6.3-3: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Flusssedimenten

Masse [t]		1000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		1			
Streuung [Bq/g]		0,5	1	2	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	1	65	263	(0)
	0,2 - 1	593	597	474	(600)
	1 - 10	407	338	256	400
	10 - 50	0	1	7	0
	50 - 100	0	0	0	0
	> 100	0	0	0	0

Werte in Klammern: strahlenschutzrechtliche Überwachung nach § 102 StrlSchV auszuschließen

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Für das Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine geringe Streuung zugrunde gelegt, da die Grundannahmen bei der Massenfestlegung bereits eine Eingrenzung auf festgestellte Kontaminationsbereiche beinhalten. Auch für derartige Bereiche sind in technischen Sanierungen keine extremen Anreicherungen zu erwarten, so dass die hier abgeschätzten Verhältnisse für die Ziele dieser Studie plausibel sind.

6.3.3 Mineralsande und mineralsandhaltige Produkte

Auch das Aufkommen an evtl. in die Überwachung aufgenommenen Materialien aus Mineralsanden oder mineralsandhaltigen Produkten kann nur mit einer Bezugsmasse in das Mengengerüst aufgenommen werden.

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 1.000 t (Bezugsmasse)
- Spezifische Aktivität: 3 Bq/g U-238,sec (abgeleitet aus Literaturangaben (s. Abschnitt 4.3.9))

Modellergebnisse

Tabelle 6.3-4: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien mit Mineralsanden

Masse [t]		1000			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		3			
Streuung [Bq/g]		1,5	3	6	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	2	67	(0)
	0,2 - 1	18	181	342	(180)
	1 - 10	979	786	535	790
	10 - 50	3	31	54	30
	50 - 100	0	0	2	0
	> 100	0	0	0	0

Werte in Klammern: strahlenschutzrechtliche Überwachung nach § 102 StrlSchV auszuschließen

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Für das Aktivitäts-Mengen-Gerüst wird eine mittlere Streuung zugrunde gelegt. Der damit erhaltene Wertebereich deckt die aus der Literatur bekannten Wertebereiche (s. Abschnitt 4.3.9) weitgehend ab. Die abgeschätzten Werte sind für die Ziele dieser Studie plausibel.

6.4 Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen / sonstigen überwachten Materialien**6.4.1 Schmelzanlage GERTA**

Für die Verwertungsanlage GERTA der Fa. Siempelkamp sind relativ klare Mengen- und Aktivitätsangaben der dort entsorgten Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität bekannt. Die Daten der Recherche nach Abschnitt 4.4 sind in Tabelle 6.4-1 durch einfache Schätzung auf die Aktivitätsbereiche des Mengengerüsts verteilt dargestellt.

Tabelle 6.4-1: Aktivitäts-Mengen Verteilung von Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen bzw. Materialien

Anlage	Art	Referenz nuklid	Spezifische Aktivität	Jährliche Menge
Siempelkamp /GERTA	Schlacke	Ra-226	1 – 10 Bq/g	11 t
	Filterstaub	Pb-210	10 – 50 Bq/g	5 t
		Pb-210	50-100 Bq/g	2 t

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Durch den direkten Bezug auf Recherchedaten und die exakt eingegrenzte Herkunft sind die Daten hinreichend eingegrenzt.

6.4.2 Quecksilberzyklisierung der Fa. GMR Leipzig

Für die Quecksilberzyklisierung der Fa. GMR liegen detaillierte Untersuchungen zum Mengengerüst vor (s. Abschnitt 4.4.2), die für die Modellierung eines Aktivitäts-Mengen-Gerüsts heranzuziehen sind.

Eingangsparameter

- Jährliches Massenaufkommen: 100 t (s. Abschnitt 4.4.2)
- Spezifische Aktivität: 10 Bq/g Ra-226 (bezogen auf konditionierte Abfälle, s. Abschnitt 4.4.2)

Modellergebnisse

Tabelle 6.4-2: Aktivitätsspezifische Massenverteilung von Materialien der Quecksilberzyklisierung

Masse [t]		140			zu erwartender Massenanfall [t]
Mittelwert [Bq/g]		10			
Streuung [Bq/g]		5	10	20	
spezifische Aktivität [Bq/g]	0 - 0,2	0	0	1	
	0,2 - 1	0	1	16	16
	1 - 10	83	91	87	87
	10 - 50	57	46	33	33
	50 - 100	0	1	3	3
	> 100			1	1

Anmerkungen, Plausibilitätsbewertung

Durch den direkten Bezug auf Untersuchungsergebnisse und die exakt eingegrenzte Herkunft sind die Daten repräsentativ für die 2002 behandelten Materialien.

6.5 Zusammengefasstes Aktivitäts-Mengengerüst für NORM-Rückstände

In Tabelle 6.5-1 sind die abgeschätzten jährlich anfallenden Mengen an NORM-Rückständen zusammengestellt. Die dort aufgeführten Zahlen widerspiegeln den in dieser Studie erreichten Kenntnisstand mit allen in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigten und diskutierten Unsicherheiten bezüglich Datenbasis und Belastbarkeit im Detail. Um Fehlinterpretationen dieser Angaben zu vermeiden wird auf die folgenden Punkte explizit hingewiesen.

- Alle Ergebnisse beziehen sich auf die Praxis der Jahre von ca. 1995 bis 2002. Veränderungen durch neue Prozessführungen, Änderungen der Produktionsstrukturen sind in diesen Daten nur retrospektiv enthalten (z.B. das Einstellen der Rohphosphatverarbeitung).
- Die in Tabelle 6.5-1 benannten Gesamtmassen beziehen sich auf die im Modellansatz benutzten Massen. Sie beschreiben nicht die Gesamtmasse aller Abfälle und Materialien in dem betreffenden Wirtschaftsbereich, sondern vielmehr eine unter Berücksichtigung der erhöhten Radioaktivität abgeleitete Teilmenge in der jeweiligen Aktivitätsklasse.

- Die Aktivitätsklassen wurden so eingeteilt, dass sie eine Unterscheidung zwischen Rückständen ($a < 1$ Bq/g), überwachungsbedürftigen Rückständen ($a > 1$ Bq/g) und solchen Rückständen, für die ein Nachweis der radiologischen Unbedenklichkeit nach Anlage XII Teil C StrlSchV nicht zulässig ist ($a > 50$ Bq/g) möglich ist.
- Die den Teilmassen zuzuordnenden Aktivitäten innerhalb der Aktivitätsklassen sind nicht gleichverteilt, sondern unter Beachtung der angenommenen Log-Normalverteilung zu sehen. Das bedeutet z.B., dass beim Rotschlamm der Bauxitverarbeitung für die Aktivitätsklasse 1–10 Bq/g eine geringfügige Überschreitung der Schwelle von 1 Bq/g erwartet wird, nicht jedoch das Anfallen von Rückständen mit nahe 10 Bq/g.
- In den Mengenbilanzen sind Importe nicht enthalten. Insbesondere bei importierten Abfällen zur Verwertung oder Beseitigung werden NORM/TENORM Anteile als möglich eingeschätzt.
- Die Angaben von Mengen bei Materialien, die nur unregelmäßig anfallen (z.B. Bodenaushub, Bauschutt aus der Sanierung von Hinterlassenschaften oder Baggergut von belasteten Sedimenten) verstehen sich als Mittelwerte über längere Zeiträume von ca. 10 Jahren.
- Obwohl versucht wurde, ausgehend von allgemeinen Kenntnissen der Radionuklidfraktionierung in Prozessen einige bisher noch wenig beachtete Materialien in die Studie einzubeziehen (z.B. Luftfilter, Filter von Umweltsanierungsanlagen, Geothermie), ist davon auszugehen, dass es noch weitere Prozesse gibt, die zu einem Anfall von NORM/TENORM in Deutschland führen.
- Die in Tabelle 6.5-1 benannten Referenznuclide sind die nach bisheriger Kenntnis charakteristischen Nuclide des jeweiligen Materials. Im Einzelfall sind andere Nuclide als aktivitätsbestimmend im Sinne der maximalen spezifischen Aktivität in den Zerfallsreihen möglich.

Tabelle 6.5-1: Zusammengefasstes Mengen-Aktivitätsgerüst für NORM-Rückstände

Aktivitätsklasse in Bq/g →		0,2 - 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	> 100	Masse, gesamt t/a
Zuordnungsbereich 1	Ref.-Nuklid	Masse in Tonnen / Jahr					
Scales der Erdöl-/Erdgas-Industrie	Ra-226	0	3	14	9	14	40
Anlagenteilen mit Scales der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	0	130	65	4	1	200
Schlämme der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	0	50	150	35	15	250
Reinigungsgemische mit Sandstrahlgut der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	10	48	2	0	0	60
Rückstände der Aufbereitung von Phosphorgipsen	Ra-226	60	30	0	0	0	100
Rotschlamm der Bauxitverarbeitung	Ra-226	790.000	10.000	0	0	0	900.000
Rückständen der Ta-Produktion	U+Th	200	9.700	100	0	0	10.000
Pyrochlorschlacken	U+Th	0	10	90	0	0	100
Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Mineralen	k.A.						k.A.
Stäube aus dem Granitabbau	U-238sec	50000	3.000	0	0	0	100.000
Monazitsande des Kaolinabbaus	Th-232	80	10	0	0	0	100
Sinterstäuben der Roheisenmetallurgie	Pb-210	0	95	330	60	15	500
Hochofenschlämmen der Roheisenmetallurgie	Pb-210 (**)	34.000	54.000	5.500	500	0	100.000
Stäube der NE-Primärmetallurgie	Pb-210 (**)	425	450	24	1	0	1.000
Formstücke auf Bauxitbasis	Ra-226	28.000	2.000	0	0	0	70.000
Formstücke auf Zirkonbasis	U-238sec	1.000	5.500	500	0	0	7.000
Materialien der Sanierung von Hinterlassenschaften	Th-232, Ra-226	10	60	25	5	<1	100
Bodenaushub, Bauschutt vom Standort Oranienburg	Th-232	1.500	900	450	150	< 10	3.000
Zuordnungsbereich 2							
Wasserwerksschlämme	Ra-226	13.000	3.000	100	0	0	180.000
Materialien aus Heil- und Mineralwassernutzungen	Ra-226	200	90	9	1	0	1.000 (*)
Baggergut aus Flusssedimente	Ra-226	600	400	0	0	0	1.000 (*)
Materialien mit Mineralsanden		180	790	30	0	0	1.000 (*)
Schlacke GERTA	Ra-226	0	0	11	0	0	11
Filterstaub GERTA	Pb-210	0	0	5	7	0	12
Materialien der Quecksilberzyklisierung	Ra-226	16	87	33	3	1	140

(*) Bezugsmasse, nicht durch Daten gestützt, (**) U-238,max häufig Po-210

7 Erstellung eines Aktivitäts-Mengengerüsts für andere Materialien

7.1 Vorbemerkung

Die im Abschnitt 5 zusammengefassten Ergebnisse der Recherchen und Datenerhebungen haben gezeigt, dass hinreichend umfassende Daten zur differenzierten Ermittlung von anderen überwachten und zu entsorgenden Materialien außer NORM-Rückständen derzeit nicht vorliegen. Die industriellen und gewerblichen Bereiche, in denen derartige Materialien anfallen, sind im Wesentlichen bekannt und abgrenzbar. Das Mengenaufkommen in diesem Bereich wird aber stärker durch die Praxis des Umgangs mit den betreffenden Stoffen als durch die physikalisch-radiologischen Eigenschaften der Stoffe selbst bestimmt. Dabei spielt das Problem des Umgangs mit Kleinmengen eine wesentliche Rolle.

Aus diesem Grund wird für das Mengenaufkommen keine Modellierung in Analogie zum Abschnitt 6 durchgeführt. Ausgehend von den verfügbaren Daten werden Mengen-Aktivitäts-Verteilungen mit den Klasseneinteilungen der Modellrechnungen gutachterlich eingeschätzt.

7.2 Zuordnungsbereich 3: Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten

7.2.1 Thoriierte Schweißelektroden

Aus den Angaben von Abschnitt 5.2.1 wird folgende Verteilung für das Referenznuklid Th-232 geschätzt

Tabelle 7.2-1: Mengen-Aktivitätsgerüst für Reste thorierter Schweißelektroden aus Arbeiten

Masse [t]		7,5	Massenanfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	1 - 10	Zusätzlich eingestellte Menge für Filtermaterial und Schleifstäube	10
	10 - 50	Entsprechend 20 % WT 10, WT 30 und sonstige	1,5
	50 - 100	Entsprechend 70 % WT 20	5,2
	100 - 500	Entsprechend 10 % WT 40	0,8
	> 500		0

Anmerkungen

Das so ermittelte Mengengerüst tritt nur bei konsequenter Trennung und Sammlung der Elektrodenreste real auf. Bei der Sammlung als Mischabfall kann es zu deutlichen Mengenmehrungen bei gleichzeitiger Abnahme der spezifischen Aktivitäten kommen.

7.2.2 Gasglühkörper

Aus den Angaben von Abschnitt 5.2.2 wird die Verteilung für das Referenznuclid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.2-2: Mengen-Aktivitätsgerüst für Reste aus der Verwendung von Gasglühkörpern

Masse [t]		1,2 (als Summe des geschätzten Massenfalls)	Massenanfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	1 - 10	Zusätzlich eingestellte Menge für Filtermaterial und sonstige kontaminierte Mischabfälle	1
	10 - 50		
	50 - 100		
	100 – 500	Bei 50 MBq pro Jahr (s. Tabelle 5.2-3) und einer mittleren spez. Aktiv. von 200 – 300 Bq/g	0,2
	> 500		0

Anmerkung

Die hier geschätzten Mengen beziehen sich nur auf den gewerblichen Bereich des Einsatzes. Ein geordnet zu entsorgendes Aufkommen aus privater Nutzung war bisher nicht gegeben. Inwieweit durch die Rückgabepflicht nach § 107 StrlSchV hier Änderungen eintreten, ist derzeit nicht absehbar. Erhebliche Mengen sind wegen der geringen Akzeptanz radioaktiver Produkte kaum zu erwarten.

7.2.3 Thoriumverbindungen zu chemischen Zwecken

Aus den Angaben von Abschnitt 5.2.3 wird folgende Verteilung für das Referenznuclid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.2-3: Aktivitätsspezifisches Mengengerüst von Chemikalienresten

Masse [t]		Ca. 0,1	zu erwartender Massenanfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10		
	10 - 100	Verbrauchte Chemikalien (Schätzwert)	0,1
	100 – 500		
	> 500	Unverbrauchte Chemikalien	0,01

Anmerkung

Wie im Abschnitt 5.2.3 bemerkt, fallen übliche Uranverbindungen wegen des dort enthaltenen angereicherten Urans nicht in das Mengengerüst NORM/TENORM.

7.2.4 Materialien aus Arbeiten mit thorierten Legierungen

Nach den Angaben von Abschnitt 5.2.4 wird folgende Verteilung für das Referenznuklid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.2-4: Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten thoriierter Legierungen

Masse [t]		0,1	zu erwartender Massenfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10		
	10 - 100		
	100 – 500	Schätzwert	0,1
	> 500		

7.2.5 Arbeiten mit uran- oder thoriumhaltigen Produkten

Nach den Angaben von Abschnitt 5.2.5 kann derzeit keine Verteilung geschätzt werden.

Größere Mengen an Materialien aus dem Recycling von Lampen sind nicht auszuschließen. Es ist derzeit nicht bekannt, in welcher Weise diese Materialien weiter verwendet oder entsorgt werden.

7.3 Zuordnungsbereich 4: Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten

7.3.1 Herstellung von thorierten Schweißelektroden

Nach den Angaben von Abschnitt 5.3.1 wird folgende Verteilung für das Referenznuklid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.3-1: Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten aus der Herstellung thoriierter Schweißelektroden

Masse [t]		s. Spalte rechts	zu erwartender Massenfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10	Eingestellt zur Berücksichtigung von Bauschutt	10 (*)
	10 - 100	Schleifschlämme	12
	100 – 500		
	> 500		

(*) kein regelmäßiger Anfall

7.3.2 Herstellung von Gasglühkörpern/-strümpfen

Nach den Angaben von Abschnitt 5.3.2 wird die Verteilung für das Referenznuklid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.3-2: Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Gasglühkörperherstellung

Masse [t]		s. Spalte rechts	zu erwartender Massenfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10	Eingestellt zur Berücksichtigung von Bauschutt	10
	10 - 100		
	100 – 500		
	> 500	Produktionsreste (ca. 2000 Bq/g Th-232)	0,2 (10 (*))

(*) möglich bei vollständiger Rückgabe der Produkte

Anmerkung

Wegen Einstellung der Produktion kein dauerhaftes Aufkommen zu erwarten.

7.3.3 Herstellung von Lampen mit thorierten Elektroden

Nach den Angaben von Abschnitt 5.3.3 wird die Verteilung für das Referenznuclid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.3-3: Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Lampenproduktion

Masse [t]		s. Spalte rechts	zu erwartender Massenfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10	Eingestellt zur Berücksichtigung von Bauschutt	1
	10 - 100		
	100 – 500	Drähte, Späne, Stücke, Schleifschlämme	5
	> 500		

7.3.4 Verwendung von Uran bei der Herstellung von Produkten

Nach den Angaben von Abschnitt 5.3.4 wird die Verteilung für das Referenznuclid U-238 geschätzt.

Tabelle 7.3-4: Mengen-Aktivitäts-Gerüst von Resten der Verwendung von Uran

Masse [t]		s. Spalte rechts	zu erwartender Massenfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10		
	10 - 100	Lösungsreste	0,06
	100 – 500		
	> 500		

Anmerkung

Es ist möglich, dass es sich hierbei um angereichertes Uran handelt.

7.3.5 Thoriierte Oberflächenvergütung in der Optik

Nach den Angaben von Abschnitt 5.3.5 wird die Verteilung für das Referenznuclid Th-232 geschätzt.

Tabelle 7.3-5: Mengen-Aktivitäts-Gerüst für thorierte Optiken

Masse [t]		s. Spalte rechts	zu erwartender Massenanstfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1		
	1 - 10	Schätzwert	0,001
	10 - 100		
	100 – 500		
	> 500		

7.4 Zuordnungsbereich 5: Fund und Erlangen der tatsächlichen Gewalt

Nach den Angaben von Abschnitt 5.4.1 wird die Verteilung für unterschiedliche Referenznuclide geschätzt.

Tabelle 7.4-1: Aktivitätsspezifisches Mengengerüst von Funden (ohne Quellen)

Masse [t]		50	zu erwartender Massenanstfall [t]
		Bemerkungen	
spezifische Aktivität [Bq/g]	< 1	Keine Funde	0
	1 - 10		25
	10 - 100		20
	100 – 1.000		5
	> 1.000	Im kg-Bereich	<<1

Anmerkungen

Die angegebenen Zahlen verstehen sich aufgrund des sehr unregelmäßigen Auftommens nur als Orientierungszahlen.

Das Auftommen an Ra-Quellen und anderen Stoffen, bei denen die ionisierende Wirkung des Radiums genutzt wurde, ist massenseitig gering, kann allerdings erhebliche Aktivitäten beisteuern. Bei einer aus den ausgewerteten Unterlagen (s. Abschnitt 5.4) abzuleitenden durchschnittlichen Aktivität von 3 MBq je gefundener Quelle fallen bei ca. 30 Funden pro 10 Jahren ca. 90 MBq Ra-226 an.

Die hier angegebenen Massen können in Zukunft ansteigen, wenn auch Abfälle verstärkt auf Radioaktivität kontrolliert werden (s. Abschnitt 8.2.3).

7.5 Zusammengefasstes Aktivitäts-Mengen-Gerüst für andere Materialien

In Tabelle 7.5-1 ist das Aktivitäts-Mengen-Gerüst für andere Materialien zusammengefasst. Wie auch im Abschnitt 6.5 widerspiegeln die Angaben den in dieser Studie erreichten Kenntnisstand mit allen in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigten und diskutierten Unsicherheiten bezüglich Datenbasis und Belastbarkeit im Detail. Um Fehlinterpretationen dieser Angaben zu vermeiden, wird auf die folgenden Punkte explizit hingewiesen.

- Die angegebenen Mengen wurden auf der Basis von Literaturlauswertungen und Recherchen ermittelt und in die Aktivitätsklassen eingeteilt.
- Die Massen mit spezifischen Aktivitäten unter 1 Bq/g wurden nicht betrachtet, da sie im Rahmen der Regelungen nach Teil 3 StrlSchV als nicht radioaktive Stoffe entsorgt werden können und für die hier untersuchten Bereiche keine Rückstände nach Anlage XII Teil A sind.
- Speziell im Bereich der hier untersuchten Materialien sind, veranlasst durch die StrlSchV, erhebliche Veränderungen in den nächsten Jahren zu erwarten, die tendenziell zu einer Abnahme der hier aufgeführten Mengen führen könnten.
- Nicht berücksichtigt sind Importe von thorierten Produkten und die Verwendung von thorierten Legierungen im nichtzivilen Bereich.

Tabelle 7.5-1: Aktivitäts-Mengen-Gerüst für andere Materialien

Aktivitätsklasse in Bq/g →	Ref.-N.	Masse in Tonnen / Jahr				
		1 – 10	10 – 50	50 – 100	> 100	> 500
Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden	Th-232	10	1,5	5,2	0,8	
Verwendung von Gasglühkörpern	Th-232	1			0,2	
Chemikalienreste	Th-232		0,1			0,01
Thorierte Legierungen	Th-232				0,1	
Herstellung thorierte Schweißelektroden	Th-232	10 (**)	12			
Herstellung Gasglühkörper	Th-232	10 (**)	1 (**)			0,2 (10 (*))
Lampenproduktion	Th-232	1 (**)			5	
Verwendung von Uranchemikalien	U-238			0,06		
Thorierte Optiken	Th-232		0,001			
Funde (ohne Quellen)	diverse		25	20	5	<<1

(*) bei Rücknahme der Produkte (**) Eingestellt zur Berücksichtigung von Bauschutt / Dekontaminationsmaterial bei Rück- und Umbauten.

8 Einflussfaktoren auf das Mengenaufkommen

8.1 Vorbemerkung

Das in den vorhergehenden Abschnitten ermittelte Aufkommen an zu entsorgenden NORM-Rückständen und sonstigen überwachten Materialien bezieht sich im Wesentlichen auf die Praxis vor Novellierung der StrlSchV.

Grundsätzlich ist das Mengenaufkommen an NORM/TENORM in Deutschland nicht konstant, sondern zeitlich in hohem Maße veränderlich. Diese Tatsache zeigt sich beispielhaft in der erheblichen Veränderung der Mengenströme in der Phosphatindustrie. Während in /7/ für die Jahre 1990/95 noch Mengen von mehr als 100.000 t/a ermittelt wurden, ist nach den Ergebnissen dieser Studie ab 2001/02 praktisch kein Mengenaufkommen mehr vorhanden.

In der Zusammenstellung des bisherigen Sachstandes zu Art und Mengenaufkommen (Abschnitte 4 und 5) wurden daher bereits für einzelne der hier betrachteten Materialien Einschätzungen zu den erwarteten Veränderungen von Mengen und/oder spezifischen Aktivitäten getroffen.

Eine grundsätzliche Wirkung der novellierten StrlSchV dürfte in einer wesentlich verbesserten Kenntnis von Prozessen und Materialien bestehen, die erhöhte natürliche Radioaktivität aufweisen. Damit sind neue Feststellungen von Materialien in Bereichen, in denen bisher keine diesbezüglichen Kenntnisse vorlagen, zu erwarten. Auf die diesbezüglichen Kenntnisdefizite wurde in den entsprechenden Ausführungen der Abschnitte 4 und 5 bereits hingewiesen.

Neben den Grundlagenkenntnissen zur Radioaktivität sind vor allem die Umsetzung von ermessensgeleiteten Regelungen der StrlSchV (§ 102; § 96 Abs. 4), der Rücknahmeverpflichtung im Teil 4, die Regelungen zu Hinterlassenschaften (§ 101, § 118 Abs. 5), sowie die geplante Aufnahme der Hinterlassenschaften in das StrVG und die Auslegung von Regelungen im Kapitel 3 Teil 3 StrlSchV Faktoren, die zu derzeit noch nicht im Detail absehbaren Wirkungen auf das Mengenaufkommen führen können. Darüber hinaus können rechtliche Veränderungen außerhalb des Strahlenschutzrechtes und wirtschaftliche Aspekte, einschließlich Technologieentwicklungen, zu Veränderungen des Mengenaufkommens führen. Die zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Studie absehbaren Wirkungen werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt und eingeschätzt.

8.2 Regelungen mit möglichen Auswirkungen auf das Mengenaufkommen

8.2.1 Gewerbeabfallverordnung

Nach der bisherigen Praxis wurden Abfälle aus dem gewerblichen Umgang mit radioaktiven Produkten (Schweißelektroden, Glühstrümpfe), sofern sie nicht in beträchtlichen Mengen anfielen, mit dem Gewerbeabfall entsorgt. Eine radiologische Relevanz dieses Entsorgungsweges war durch die hohe Verdünnung der Abfälle nicht gegeben /7/.

Seit 2002 haben sich die Rahmenbedingungen bei Entsorgung von Gewerbeabfall durch die novellierte Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) geändert. Nach § 4 Abs. 1 GewAbfV dürfen gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle keine gefährlichen Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sein. Damit ist ein klarer Regelungsbestand festzustellen, nach dem radioaktive Stoffe nicht in die gemischten Siedlungsabfälle gelangen dürfen. In der Folge kann es zu einer verstärkten Samm-

lung oder Trennung von Materialien bei Arbeiten kommen. Insbesondere bei den in Anlage XI Teil B benannten Arbeitsfeldern können durch die Abfalltrennung in relativ reiner Form radioaktive Stoffe /Materialien anfallen (z.B. Elektrodenreste von Schweißelektroden), die eine geordnete Entsorgung erfordern.

8.2.2 Trinkwasserverordnung, Mineral- und Tafelwasserverordnung

Die TrinkwV 2001 enthält erstmals eine Regelung zu natürlicher Radioaktivität durch die Vorgabe einer Richtdosis von 0,1 mSv pro Jahr, die ab Dezember 2003 einzuhalten ist. In der Konsequenz dieser Richtdosis wurden für die Mineral- und Tafelwasserverordnung Obergrenzen für Ra-226 und Ra-228 in Mineralwässern für die Deklaration „Geeignet zur Zubereitung von Säuglingsnahrung“ diskutiert /159/.

Zur Einhaltung dieser Regelungen sind gezielte Verringerungen der Radionuklidkonzentrationen (insbesondere Radium) aus betroffenen Wässern zu erwarten. Das Aufkommen von Wasserwerksschlämmen und Filtermaterialien sowie die spezifische Aktivität dieser Materialien kann dadurch zunehmen.

Durch die Absenkung der Grenzwerte von Spurenelementen in der TrinkwV 2001 gegenüber dem Stand von 1990 (As: von 10 auf 5 µg/l, Pb von 40 auf 10 µg/l, Ni von 50 auf 20 µg/l) entsteht eine Notwendigkeit, zusätzlich zur bisherigen Praxis, Spurenelemente zu verringern. Durch den derzeit in einigen Grundwasserleitern beobachteten Anstieg von Schwermetallen als Folge von Versauerung kann ein weiterer Bedarf zur Abtrennung von Spurenelementen entstehen /61/. Auch in der Folge dieser Regelung sind Mengenzunahmen für Wasserwerksschlämme möglich.

Durch die WHO wird derzeit eine Urankonzentration im Trinkwasser von 10 µg/l als Grenzwert vorgeschlagen /160/. In Anbetracht der vielfach höheren natürlichen Konzentrationen von Uran im Grundwasser könnte hieraus ein Bedarf an einer zielgerichteten Abreicherung von Uran aus Grundwasser und damit das Anfallen von uranhaltigen Schlämmen der Wasseraufbereitung verbunden sein.

8.2.3 EU-Richtlinie zu Orphan-Strahlern

Mit der Richtlinie zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen (Vorschlag der EU-Kommission, 18.03.2002) ist beabsichtigt, die Gefahren, die aus einer unzureichenden Überwachung von hoch radioaktiven Strahlenquellen resultieren können, zu vermeiden. In Artikel 9 Pkt. 3 werden die Mitgliedsstaaten verpflichtet, Kontrollen einzuführen um „Strahlenquellen, die keiner gesetzlichen Kontrolle unterliegen“ (= „Orphan-Strahler“) aufzufinden. Als Orte derartiger Kontrollen werden Schrottplätze, Großanlagen für die Verwertung von Altmetall und Transitknotenpunkte benannt.

Für Deutschland könnte daraus eine weitere Verdichtung bestehender Kontrollen resultieren, die zu einem erhöhten Aufkommen an Funden führen kann. Als Teil dieses Aufkommens sind Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität zu erwarten.

8.3 NORM-Rückstände

8.3.1 Überwachungsbedürftige Rückstände (Zuordnungsbereich 1)

Die Mengen an Rückständen und überwachungsbedürftigen Rückständen wird nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie vor allem durch die industrielle Praxis bestimmt. Wesentliche Veränderungen bisheriger Prognosen sind möglich, wenn durch gezielte Steuerung der Prozessabläufe vor allem die spezifische Aktivität der anfallenden Stoffe beeinflusst wird. Diese Veränderung wird nach derzeitiger Einschätzung zu Verringerungen der spezifischen Aktivitäten und der Mengen an überwachungsbedürftigen Rückständen führen.

Wesentlichen Einfluss auf die Mengen besitzt auch die strahlenschutzrechtliche Einstufung von Materialien im weiteren Vollzug der StrlSchV, für die die Zuordnung zu den Rückstandsregelungen durch größere Interpretationsspielräume gekennzeichnet ist. Insbesondere die Einordnung der in Anlage XII Teil A Nr. b) benannten Formstücke ist in dieser Beziehung noch weitgehend offen. Hier kann es zu einer beträchtlichen Erhöhung der bisher bekannten Mengen an überwachungsbedürftigen Rückständen und eine Ausweitung auf andere Industrien als die in Anlage XII Teil A explizit benannten kommen (z.B. Glasindustrie).

Ein zu beachtendes Aufkommen an Rückständen ist aus der Sanierung oder anderen Erdbauarbeiten auf bereits bekannten Hinterlassenschaften oder aus zufällig festgestellten Bodenkontaminationen zu erwarten. Nach Einführung einer Regelung zu Hinterlassenschaften und einer Neubewertung alter Standorte auf systematischer Grundlage könnte sich diese Menge weiter erhöhen.

8.3.2 Sonstige überwachte Rückstände (Zuordnungsbereich 2)

Das Mengenaufkommen an sonstigen überwachten Rückständen wird entscheidend durch die tatsächliche behördliche Nutzung des § 102 zur Überwachung sonstiger Materialien bestimmt. Nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie wird sich diese Praxis aus folgenden Aspekten heraus entwickeln:

- Zunehmende Kenntnisse über Anreicherungsprozesse natürlicher Radionuklide in technischen Prozessen und daraus resultierende Kenntnisse über anfallende Materialien.
- Aus den Kenntnissen heraus abgeleitete Vermeidungsstrategien der Unternehmen, die zu einer Verringerung der Aktivitäten und relevanten Mengen führen.
- Die zunehmende Kontrolle der Entsorgungswege auf Radioaktivität durch die Umsetzung der StrlSchV.
- Interferierende Effekte aus anderen Regelungsbereichen. Dazu gehören z.B. die Gewerbeabfallverordnung, die Trinkwasserverordnung (TrinkwV), die Mineral- und Tafelwasserverordnung und eventuell weitere Regelungen, die zum Anfallen von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität führen können (s. Abschnitt 8.2).

Generell wird zumindest mittelfristig mit einer Zunahme von Materialmengen gerechnet, die als strahlenschutzrechtlich überwacht eingestuft und anschließend entsorgt werden müssen.

8.4 Andere überwachte Materialien

8.4.1 Materialien aus Arbeitsfeldern nach Anlage XI Teil B (Zuordnungsbereich 3)

Wie bereits im Abschnitt 5.2 festgestellt, wird das Aufkommen von Materialien, die nach § 96 Abs. 4 StrlSchV zur Entsorgung angewiesen werden können, von Menge und Aktivität her als gering eingeschätzt. Wird das Mengenaufkommen aus den Arbeitsfeldern der Anlage XI Teil B insgesamt betrachtet (also nicht nur die Überwachungsbedürftigen Arbeiten), wird die Entwicklung dieses Aufkommens nach derzeitiger Einschätzung in erster Linie durch die Umsetzung der Gewerbeabfallverordnung und technologische Entwicklungen bestimmt. Für eine Prognose zur Tendenz der Entwicklung konnten keine belastbaren Hinweise ermittelt werden.

8.4.2 Stoffe aus dem Zusetzen radioaktiver Stoffe zu Produkten (Zuordnungsbereich 4)

Durch den Teil 4 StrlSchV wurde ein Regelungsbereich geschaffen, der dem Schutz der Verbraucher beim Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten dient. Zu den Genehmigungsvoraussetzungen nach § 107 StrlSchV zum Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern zählt, dass die Hersteller (oder Importeure) zur kostenlosen Rücknahme der verbrauchten Produkte verpflichtet sind. Diese Rücknahmeverpflichtung kann zu einer Erhöhung des Mengenaufkommens an entsorgungsbedürftigen Resten bei Schweißelektroden und evtl. thorierten Optiken führen. Für Gasglühkörper wird eine Mengenzunahme wegen des generell sinkenden Verbrauchs nicht erwartet.

Für Lampen (außer Großlampen) wurde nach Herstellerangaben /162/ unter Bezug auf die Spezifikationen des § 107 eine Rücknahmepflicht nicht gefordert.

8.4.3 Zuordnungsbereich 5

Das Mengenaufkommen an Funden radioaktiver Stoffe ist u.a. von der Intensität der Kontrollen mit Detektionsanlagen abhängig. Durch die Umsetzung der EU-Richtlinie zu Orphan-Strahlern (s. Abschnitt 8.1.3) ist eine weitere Zunahme von Kontrollen und damit auch eine Zunahme von Funden anzunehmen.

9 Untersuchung der derzeitigen Praxis beim Umgang mit Rückständen und sonstigen Materialien; Prognose zukünftiger Vorgehensweisen

9.1 Vorbemerkung

Das in den Abschnitten 6 und 7 aufgestellte Mengengerüst an NORM/TENORM in Deutschland repräsentiert eine Gesamtmenge an Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, für die ein Entsorgungsbedarf gegeben ist. In Hinblick auf das deutsche Entsorgungskonzept sind von dieser Gesamtmenge nur solche Teilmengen relevant, die nicht auf andere Art und Weise verwertet oder beseitigt (= entsorgt) werden können. Um diese Teilmengen einzugrenzen, werden in diesem Abschnitt die bis 2001 praktizierten Entsorgungswege zusammengestellt sowie die bisher erkennbaren Wege einer zukünftigen Entsorgungspraxis untersucht.

Als bisherige Praxis wird der Umgang und die Entsorgung von NORM/TENORM seit Einführung der StrlSchV von 1989 betrachtet. Zeitlich weiter zurück liegende Handlungsweisen sind zwar historisch interessant, für die Prognose künftiger Vorgehensweisen jedoch weniger bedeutsam.

9.2 Bisherige Praxis der Entsorgung

9.2.1 Rechtliche Grundlagen

Generell ist bei früheren Handlungen zwischen strahlenschutzrechtlich genehmigtem Umgang (Tätigkeiten) und strahlenschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Arbeiten zu unterscheiden. Die Trennung korrespondiert allerdings nicht mit den derzeitigen Regelungen der StrlSchV. Relevant für die hier zu behandelnde Aufgabe sind nur Entsorgungswege für Materialien, die nach derzeitiger Rechtslage als überwachungsbedürftig einzustufen sind.

Obwohl die StrlSchV von 1989 in ihrer Anlage III Teil A den „Umgang mit festen Stoffen, deren spezifische Aktivität an radioaktiven Stoffen natürlichen Ursprungs weniger als 500 Bq/g beträgt“ genehmigungs- und anzeigefrei stellte, war die Entsorgung von radioaktiven Abfällen, deren spezifische Aktivität das 10^{-4} fache der Freigrenzen überstieg, nach § 4 Abs. 4 Nr. 2e StrlSchV (1989) genehmigungspflichtig. Da andererseits spezielle Regelungen zur Entsorgung von NORM/TENORM nicht existierten, mussten praktisch auftretende Fälle individuell gelöst werden. Dabei wurde fallspezifisch sehr unterschiedlich vorgegangen. Aus Literatursauswertungen sowie den Recherchen und Erhebungen dieser Studie lassen sich die im Folgenden zusammengestellten Entsorgungswege ableiten.

9.2.2 Rückstände nach Anlage XII Teil A - Zuordnungsbereich 1

Erdöl-Erdgasindustrie

Im Bereich der Erdöl-Erdgasindustrie war das Auftreten radioaktiver Stoffe bereits in den 80er Jahren bekannt (s. /16/). Auf der Grundlage dieser Kenntnisse wurde durch die Industrie in Abstimmung mit den Berg- und Strahlenschutzbehörden ein Konzept zum Umgang mit Ablagerungen geringer spezifischer Aktivität erarbeitet. In Bezug auf die Beseitigung von Stoffen mit natürlicher Radioaktivität wur-

den die in Tabelle 9.2-1 zusammengestellten Handlungsleitlinien aufgestellt und nach unseren Kenntnissen im Wesentlichen auch umgesetzt.

Tabelle 9.2-1: Handlungsrahmen zur Beseitigung von festen natürlichen radioaktiven Stoffe der Erdöl-/Erdgasgewinnung bis 2001 (aus /110/(*))

Spez. Aktivität [Bq/g]	Typ	Charakterisierung	Genehmigung	Beseitigung
≤ 0,5	alle Stoffe	keine radioaktiven Stoffe im Sinne des AtG	nein	wie Abfälle bzw. Rückstände, die keine radioaktiven Stoffe enthalten
> 0,5 – 500	Scale aus Steigrohren, Schlämme	weiterverwendbare Produktionsrückstände mit geringer spezifischer Aktivität	Sonderbetriebsplan	als Zuschlagstoff bei Verfüllungen (von Fördersonden)
	Arbeitsmittel, Schlämme, etc.	radioaktiver Abfall, sofern nicht wieder verwendbar	Sonderbetriebsplan	durch autorisiertes Fachunternehmen als Rohabfall oder durch Landessammelstelle nach Konditionierung
> 500	alle Stoffe	radioaktiver Abfall	Umgangsgenehmigung	

(*) Begriffe entsprechen der zitierten Quelle. Die Aktivitäten verstanden sich bezogen auf Referenznuclide (meist Ra-226) für den Wert 0,5 Bq/g und eine Summenaktivität Ra-226 + Pb-210 + Po-210 + Ra-228 + Th-228 für den Wert 500 Bq/g)

Danach wurden als Entsorgungswege genutzt:

- Verwerten von Rückstandsmaterial zur Verfüllung von Tiefbohrungen

Die Rückstände (vorzugsweise Schlämme) wurden als Zusatz bei der Herstellung von Versatzmaterial bei der Bohrlochverfüllung mitverwendet. Sie wurden gezielt in tiefe und geologisch isolierte Horizonte bis zum Zechstein eingebracht. Im Jahre 1997 wurde in Folge der Grundwasserverordnung (GrwV) ein Stopp dieses Entsorgungsweges verfügt, um den Eintrag vor allem von Quecksilber ins Grundwasser ausschließen zu können.

Hauptzweck der Bohrlochverfüllung war die dauerhafte Abdichtung der verschiedenen Grundwasserstockwerke gegeneinander und gegen die Oberfläche. Bei der Verfüllung handelte es sich daher um eine Verwertung der Rückstände als Füllmaterialien.

Die Bohrlochverfüllung ist nach Bergrecht auszuführen, um die Wiederherstellung einer nutzbaren Oberfläche (§§ 4 (4), 39 (3), 50 (3) Nr.4, 55 (1) Nr. 7, 55 (2) Nr. 2, 66 Nr. 8 BBergG) zu gewährleisten.

- Verbringen auf Betriebsdeponien sowie öffentliche Deponien

Von den Unternehmen betriebene Betriebsdeponien wurden teilweise auch zur Verbringung von Schlammern genutzt. Eine gezielte Kontrolle der Radioaktivität erfolgte dabei offensichtlich nicht.

- Abgabe zum Recycling

Kontaminierte Stahlrohre und Schrotte wurden teilweise zum Metallrecycling an die Fa. Siempelkamp abgegeben. Für stark quecksilberkontaminierte Scales und Schlämme steht seit dem Jahr 2001 ein Verwertungsweg über das Quecksilberrecycling bei der Fa. GMR Leipzig zur Verfügung.

- Sicherstellung und Entsorgung als radioaktiver Abfall

Rückstände mit mehr als 500 Bq/g spezifischer Aktivität, die nach den Regelungen der Bergbehörden in Umsetzung der StrlSchV 1989 als radioaktive Stoffe klassifiziert wurden, wurden durch Abgabe an die jetzige Fa. AEA Technology (AEAT) als radioaktive Abfälle entsorgt.

Als Zwischenschritt zur Verwertung von Metallrohren mit Scaleablagerungen hat sich eine Hochdruckreinigung bewährt. Die dabei anfallenden Schlämme enthalten praktisch das vollständige Aktivitätsinventar der Ablagerungen und wurden vielfach in Fässer verpackt und gesammelt.

Die derzeit praktisch genutzten Entsorgungswege können wie folgt beschrieben werden:

- Das Verwerten von Rückstandsmaterial zur Verfüllung von Tiefbohrungen; ist derzeit eingestellt (vgl. oben). Eine Neuzulassung von Verfüllungen steht zu erwarten /163/. Neben direkt anfallenden Schlämmen ist auch eine Verwendung von Schlämmen möglich, die bei der Reinigung kontaminierter Rohre anfallen.
- Das Verbringen auf eigene Betriebsdeponien im Rahmen bergrechtlich zugelassener Entsorgungswege ist praktisch eingestellt. Die Entsorgung auf sonstige Deponien über Entlassungsverfahren ist beabsichtigt und wird für konkrete Abfälle vorbereitet.
- Die Abgabe zum Quecksilberrecycling hat sich als Entsorgungsweg für stark quecksilberhaltige Rückstände bewährt. Die Deponierung der dabei anfallenden Materialien erfolgt auf einer Deponie in Sachsen.
- Kontaminierte Schrotte werden nur in geringem Umfang verglichen mit Lagerbeständen und Anfall durch Rückbau an die Fa. Siempelkamp abgegeben.

Die praktische Entsorgung von überwachungsbedürftigen Rückständen aus der Erdöl- Erdgasindustrie stößt derzeit auf folgende Vorbehalte und Probleme:

- Probleme mit Verfügbarkeit geeigneter Deponien aufgrund der Quecksilbergehalte des Materials.
- Probleme durch mangelnde Verfügbarkeit von Deponien, die zur Annahme größerer Anlagenteile, deren Zerlegung aufgrund der Quecksilberkontaminationen nicht ohne weiteres möglich ist, in der Lage sind.
- Keine Möglichkeit der Annahme höher belasteter Abfälle durch die Untertagedeponie Zielitz als Folge des Planfeststellungsbeschlusses der Deponie, der die Annahme radioaktiver Stoffe im Sinne des AtG oder der Gefahrguttransporte der Klasse 7 ausschließt.
- Generelle Vorbehalte von Entsorgern in Bezug auf die Annahme von Abfällen, die radioaktive Materialien enthalten (s. Diskussion im Abschnitt 9.4.2.4).

Phosphatindustrie

Da eine solche Verarbeitung nach derzeitigem Kenntnisstand in Deutschland nicht mehr stattfindet, wurden konkrete Entsorgungswege für Anlagen nicht ermittelt.

Nach Informationen der Fa. Siempelkamp /52/ wurden von ihr in den zurückliegenden Jahren radioaktiv kontaminierte Schrotte aus der Phosphatproduktion angenommen. Dabei handelte es sich allerdings um Material von Anlagen aus dem Ausland.

Bauxitverarbeitung

Die Entsorgung des bei der Aufbereitung von Bauxit anfallenden Rotschlammes erfolgt wegen der großen Massen auf Spülhalden oder durch Einspülung in aufgelassene Tagebaue. Die Radioaktivität des Materials spielte dabei bisher keine Rolle.

Aufgrund seiner Benennung im Abfallverzeichnis der AVV (Abfallschlüssel 01 03 09 Rotschlamm aus der Aluminiumherstellung) war bisher eine Entsorgung von Rotschlamm auf konventionellen Deponien relativ unproblematisch möglich. Aufgrund der geringen spezifischen Aktivität traten Entsorgungsprobleme als Folge der Radioaktivität offensichtlich nicht auf.

Niob-Tantal-Erze (Columbit, Mikrolith, Euxenit, Pyrochlor)

Rückstände der hydrometallurgischen Aufbereitung von Niob-Tantal-Erzen wurden aufgrund der geringen spezifischen Aktivitäten auf Betriebsdeponien entsorgt. Dabei wird bereits seit längerem durch sehr gezielte Auswahl der Rohstoffe die spezifische Aktivität der Rückstände begrenzt. Durch eine geeignete Prozesssteuerung konnten dabei Entsorgungsprobleme als Folge der Radioaktivität der Stoffe bisher vermieden werden /30/.

Schlacken der Verarbeitung von Pyrochlorerzen wurden auch in der Vergangenheit aufgrund ihrer relativ hohen natürlichen Aktivität (s. Abschnitt 4.2.4) als radioaktive Stoffe identifiziert. Die Entsorgung wurde nach den zugänglichen Informationen durch Beseitigung auf geeigneten Deponien vorgenommen. Die Entsorgung erfolgte nach Abstimmung mit den Strahlenschutzbehörden.

Eine Entsorgung von Schlacken, Stäuben oder anderen Resten der Produktion als radioaktive Stoffe mit Abgabe an Landessammelstellen ist nicht bekannt.

Aufbereitung und Verarbeitung von Seltene Erden Erzen

Eine Aufbereitung und Verarbeitung von Seltenen Erden Erzen zum Zwecke der Produktion von Metallen oder chemisch reinen Stoffen fand nach derzeitigem Kenntnis in Deutschland nach 1990 nicht mehr statt. Spezielle Entsorgungswege aus laufenden Produktionsprozessen, die unter Berücksichtigung der Radioaktivität festgelegt und überwacht wurden, sind nicht bekannt.

Für einen Fall ist die Entsorgung von ca. 20 t Aufbereitungsrückständen der Cerproduktion als radioaktiver Stoff bekannt. Das Material stammte aus einer Verarbeitung, die vor 1990 auf dem Gebiet der neuen Bundesländer durchgeführt wurde /95/. Das Material wurde an die Firma AEAT abgegeben.

Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe

Von den mineralischen Rohstoffen Granit und Kaolin, bei deren Gewinnung und Aufbereitung Materialien in den Regelungsbereich der StrlSchV fallen können, werden Gesteinsbruch und Gesteinsmehle vorzugsweise im Abbau selbst zur Auffüllung, Sicherung oder Renaturierung verwendet. Sie sind daher im Sinne der StrlSchV auch bei Überschreiten der spezifischer Aktivität von 0,2 Bq/g keine Rückstände. Bei einer Abgabe zur Verwertung oder anderweitigen Beseitigung kann es sich um Rückstände handeln. Bisher wurden diese Materialien allerdings ohne strahlenschutzrechtliche Genehmigung gehandhabt und ggf. verwertet oder beseitigt.

In einem Unternehmen des Kaolinabbaus ist die Anwesenheit von NORM bereits seit längerem bekannt. In diesem Abbau fallen Waschfraktionen der Aufbereitung an, die durch Monazitsande höhere spezifische Aktivitäten aufweisen. Bei der Aufbereitung kommt es auch zu Kontaminationen von Anlagenteilen und Geräten. Aus diesem Grunde wurde ein sachgemäßer Umgang mit allen NORM Stoffen in die Betriebsgenehmigung integriert. Eine Entsorgung von Materialien war bisher im Rahmen vorhandener Entsorgungswege möglich /94/.

Die bei der Verarbeitung von Titanerzen zur Produktion von TiO₂ angefallenen Rückstände wurden auf Betriebsdeponien oder anderen abfallrechtlich zugelassenen Anlagen entsorgt. Die erhöhte Radioaktivität einiger Titanminerale (vor allem Ilmenit) war in den befragten Unternehmen bekannt. Sie hatte bisher allerdings keine gravierenden Auswirkungen auf die Entsorgung.

Über die Entsorgung von Rückständen der Gewinnung und Aufbereitung seltener Metalle (Molybdän, Vanadium, Zirkon) sowie von Edelmetallen sind bisher keine Angaben bekannt, die auf Probleme infolge natürlicher radioaktiver Bestandteile hinweisen.

Rückstände der Rauchgasreinigung in der Metallurgie

Die als Rückstände einzustufenden Hochofenschlämme (= Schlämme aus der Nassentstaubung von Hochofengasen) in der Roheisenverhüttung wurden und werden auf Betriebsdeponien entsorgt. Da die Radioaktivität dieser Materialien bis etwa zum Jahr 2000 in den Unternehmen nicht bekannt war, wurde die Entsorgung ohne Beachtung dieser Eigenschaft vorzugsweise auf Betriebsdeponien durchgeführt. Derzeit wird in einer Studie des VDEh /93/ untersucht, bis zu welchen spezifischen Aktivitäten eine Entlassung der Schlämme praktisch möglich ist.

In der Nichteisenmetallurgie war die erhöhte Radioaktivität insbesondere bei den Theisenschlammern des Mansfelder Reviers bekannt. Diese Schlämme wurden nach 1990 als radioaktive Stoffe nach VOAS eingestuft. Als Beseitigungsanlagen wurden eine UTD sowie die Ablagerung auf Monodepo-

nien / Halden (Teich 10, Helbra) genutzt. Die Entsorgung erfolgte auf der Grundlage von strahlenschutzrechtlichen Genehmigungen nach VOAS. Entsorgt wurden auch Löserückstände aus der Theisenschlammaufbereitung, die zunächst in großen Mengen in Güterwagen auf dem Betriebsgelände der Bleihütte Hettstedt gelagert worden waren, bevor sie in Big-Bags verpackt eingelagert wurden /166/.

Ein weiterer Entsorgungsweg für Filterstäube war die Verwendung als Versatzmaterial in Bergbauen, wobei diese Stäube aufgrund ihrer geringen Direktstrahlung (Referenznuclid ist ggf. Pb-210) bisher kaum als radioaktiv identifiziert wurden.

Ein Sonderfall stellt die Entsorgung von Stäuben der Fa. Siempelkamp dar, da hier im genehmigten Umgang radioaktive Stoffe verarbeitet wurden. Die Pb-210-dominierten Stäube der Rauchgasreinigung dieses Unternehmens wurden in eine UTD entsorgt /52/. Die UTD begrenzte allerdings die spezifische Aktivität der Stäube unter Verweis auf die Freistellungsgrenze der GGVS auf 70 Bq/g.

Weitere regelmäßig genutzte Entsorgungswege von Stäuben oder Schlämmen der Rauchgasreinigung aus der Primärverhüttung, die in Kenntnis erhöhter Radioaktivität ausgeführt wurden, sind nicht bekannt.

Rückstände aus Formstücken

Formstücke aus Schamott (Rohstoff Bauxit) wurden bisher ohne Berücksichtigung der Radioaktivität entsorgt. Standardwege waren die Verwertung als Zuschlagstoff für die Zementproduktion oder die Beseitigung auf Industriedeponien oder Bauschuttdeponien /7/.

Bei Feuerfestmaterial und Formstücken mit hohen Zirkonanteilen war der Sachverhalt der Radioaktivität zwar teilweise bekannt, hatte aber offensichtlich keine Auswirkungen auf die Entsorgung. Allerdings wurden in den vergangenen Jahren in einigen Fällen Funde registriert, die als Formstücke eingestuft werden können (s. Abschnitt 5.4.1). Welche dieser Funde als radioaktive Stoffe über Fachfirmen sichergestellt und entsorgt wurden, konnte nicht ermittelt werden.

Bodenaushub und Bauschutt

Bei der Entsorgung von Bodenaushub und Bauschutt aus dem Rückbau kontaminierter Anlagen oder der Sanierung von Grundstücken, bei denen radioaktive Kontaminationen mit natürlichen Radionukliden vorlagen, wurde in der Vergangenheit sehr differenziert vorgegangen. In Tabelle 9.2-2 sind bekannte Fälle (ohne Uranbergbau!) zusammengestellt, bei denen Sanierungen und Rückbauarbeiten kontaminierter Standorte stattfanden und radioaktiv kontaminiertes Material entsorgt werden musste. Die Zusammenstellung zeigt, dass bei Materialien aus früher strahlenschutzrechtlich genehmigtem Umgang vorzugsweise eine Entsorgung als radioaktiver Abfall angestrebt wurde. Nur bei sehr großen Mengen, bei denen dieser Weg praktisch nicht finanzierbar war, wurden konventionelle Deponierungen genutzt.

Tabelle 9.2-2: Entsorgungswege von Materialien aus Sanierungs- und Rückbauarbeiten kontaminierter Standorte ab 1990, (Beispiele)

Bundesland	Herkunft	Referenz-nuklid	Menge	Entsorgungsweg	Lit.
BB	Verwendung von Katalysatoren. (Strahlenschutzrechtlich genehmigter Umgang bis 70er Jahre)	Th-232	3300 m ³ 5048 t ca. 13,4 t	Betriebsdeponie Deponie Schöneiche Abgabe an AEAT	R, R, /49/ R
BB	Produktion von Thoriumverbindungen und Uran (bis 1945)	Th-232	1200 m ³ 4748 m ³	Deponie Germendorf Straßenbau (Parkplatz)	R R
BW	Verwendung von Leuchtfarben in der Uhrenindustrie	Ra-226	ca. 1000 t (*)	Deponierung	/46/, /50/
HE	Verwendung von Radium in Forschungseinrichtung	Ra-226	ca. 1 t	radioaktiver Abfall	R, /45/
BE	Produktion von Thoriumverbindungen und Uran (bis 1945)	Th-232	40 Fässer à 200 l > 100 t	Landessammelstelle Sonderabfalldeponie	/167/ /168/
RP	Bodenkontamination	Th-232	Ca 10 t	Landessammelstelle	
ST	Aufbereitungsrückstände der Seltene Erden Produktion	Th-232	20 t	Abgabe an AEAT	/171/
ST	Filterstäube (Mansfeld)	Pb-210	> 100 t	Untertagedeponie	/169/
TH	Rückbau 2 ehemaliger Produktionsstätten von Glühstrümpfen (Strahlenschutzrechtlich genehmigter Umgang vor 1990)	Th-232	Ca. 100 Fässer à 200 l	Abgabe an AEAT	/101/

(R) Recherchenergebnis, s. Anlage 1; (*) Menge aus angegebener Literatur abgeschätzt.

9.2.3 Überwachte sonstige Rückstände - Zuordnungsbereich 2

Die in der Systematik dieser Studie als überwachte sonstige Materialien klassifizierten Stoffe konnten bisher nur als Funde nach den Regelungen des § 80 StrlSchV (1989) in eine behördliche Überwachung gestellt werden. Voraussetzung war die Feststellung deutlich erhöhter Aktivitäten. Da eine weitgehende Kontrolle der Aktivität nur in der Sekundärmetallurgie und an den Außengrenzen der Bundesrepublik realisiert ist, wurden vor allem radioaktiv kontaminierte Schrotte „gefunden“. Die bisherige Praxis beim Umgang mit Funden wird im Abschnitt 9.2.7 beschrieben.

Für andere Materialien, deren erhöhte natürliche Radioaktivität bei den zuständigen Behörden bekannt war, wurden folgende Entsorgungswege ermittelt:

- Radiumhaltige Sedimente, Inkrustierungen und damit behaftete Betriebsmittel im Steinkohlenbergbau wurden in einem Leitfaden der deutschen Steinkohlenindustrie als bergbauliche Abfälle eingestuft /54/. Der Umgang mit diesen Abfällen einschließlich ihrer Beseitigung wurde unter Beachtung der Schutzziele der StrlSchV (1989) nach Bergrecht geregelt. Generell wurden die Stoffe unter Tage abgelagert.
- Anlagenteile der Papierindustrie, die als radioaktiv kontaminiert eingestuft wurden, sind über das Rezyklieren bei der Firma Siempelkamp entsorgt /52/worden.

- Schlämme der Trinkwasseraufbereitung des Wasserwerkes Zwickau wurden als radioaktiv belastet eingestuft. Sie wurden mit Erlaubnis der zuständigen Behörden auf einer Deponie als konventioneller Abfall entsorgt /97/.
- Größere Rückbaumaßnahmen, die zum Anfallen radioaktiv kontaminierter Anlagenteile aus der Geothermie geführt haben, sind nicht bekannt. Die notwendige Reparatur einer Pumpe im Ausland (England) führte jedoch zur Notwendigkeit, die radiumhaltigen Ablagerungen zu beseitigen /103/.

Für die im Abschnitt 4.3 aufgeführten Stoffe, deren evtl. erhöhte Radioaktivität nicht bekannt war oder keine Maßnahmen zur Folge hatte, sind folgende Entsorgungswege bekannt:

- Mineralsande: Als bedeutendster Massenanteil dieser Materialgruppe sind die Gießerei-Altsande anzusehen. Vom jährlichen Aufkommen zirkonhaltiger Altsande (etwa 1,6 Mio. t) wurden gemäß /7/ knapp 40 % verwertet (Baustoffindustrie, Haldenrekultivierung, Straßen- und Tiefbau, Versatzbergwerke). Etwa 60 % wurden auf öffentlich zugänglichen Deponien (50 %) oder betriebseigenen Deponien (10 %) entsorgt. Ein nur geringer Anteil (< 1%) wurde Gießereisandregenerierungsanlagen zugeführt.

Entsorgungsprobleme durch die Radioaktivität zirkonhaltiger Sande, auch aus anderen Einsatzbereichen als Gießereien, gab es bisher nicht.

- Wasserwerksschlämme: In /164/ werden für die Entsorgung benannt: Zementwerke/Ziegeleien (12%), Land-/Forstwirtschaft (1%), Kanalisation/Klärwerk (16 %), Vorflut/Grundwasser (3 %), Deponierung (15 %), alternierende Verwertung oder Deponierung (12 %), sonstige Entsorgung, vor allem Papierindustrie als Streichmasse (41 %).

Anmerkungen

Eigene Erfahrungen und Recherchen im Internet weisen darauf hin, dass die Verwendung von Wasserwerksschlämmen als Bodenverbesserer durchaus größere Bedeutung haben kann als oben aufgeführt. Darüber hinaus ist die Verwertung in der Papierindustrie als Quelle der dort festgestellten Kontaminationen denkbar. Aus diesen Gründen sollte geprüft werden, ab welcher Höhe der spezifischen Aktivität eine Überwachung nach § 102 StrlSchV grundsätzlich angemessen ist.

9.2.4 Materialien aus der Aufbereitung von Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien

Für die Schmelzanlage GERTA der Fa. Siempelkamp wurden folgende Entsorgungswege von radioaktiv kontaminierten Stoffen genehmigt:

- Die Schlacke wird noch bei Siempelkamp in einem Verhältnis von ca. 1:4 mit unbelasteter Schlacke vermischt, bei einem beauftragten Recyclingunternehmen gemahlen, gesiebt und klassiert. Sie wird nachfolgend ausschließlich im Deponiebereich verwertet, beispielsweise als Abdeckmaterial. Eine Verwertung im Straßenbau, als Wegebefestigung oder als Schüttmaterial für den Parkplatzbau wurde zwar prinzipiell auf der Basis eines 1 mSv-Nachweises genehmigt /99/, /100/, aus Akzeptanzgründen jedoch unterlassen.

- Die Filterstäube der Rauchgasreinigung sind nicht wiederverwertbar, sondern werden an eine Untertagedeponie abgegeben.

Sofern durch die Aufkonzentrierung der Radioaktivität Materialien entstehen, die z. B. in eine Landessammelstelle verbracht werden müssen (mussten), wird eine Rücknahme durch den Anlieferer oder eine Übernahme der Entsorgungskosten gefordert. Bisher konnte durch sorgfältige Prüfung der Aktivitätsinventare in den Schrotten eine Andienung von Abfällen an eine Landessammelstelle vermieden werden /116/.

Die bei der Fa. GMR nach der vakuothermischen Behandlung verbleibenden Abfälle sind quecksilberfrei und können der Beseitigung auf der Deponie zugeführt werden. Für die Materialien, die aus der Verarbeitung von Rückständen der Erdöl-Erdgasgewinnung anfallen, ist in der Genehmigung eine Entsorgung auf eine Deponie in Sachsen eingeschlossen. Diese Zulassung wurde auf der Grundlage eines Nachweises der Einhaltung des Schutzziele 1 mSv erteilt.

9.2.5 Materialien aus anzeigepflichtigen Arbeiten - Zuordnungsbereich 3

Für die im Abschnitt beschriebenen Materialien, die bei nach der derzeitigen Klassifikation bei anzeigepflichtigen Arbeiten anfallen können, wurden bisher folgende Entsorgungswege genutzt:

- Materialien aus Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden (Schleifrückstände) wurden bisher in der Regel mit dem Gewerbemüll entsorgt. Elektrodenreste wurden teilweise gesammelt.
- Die bei der beruflichen / gewerblichen Verwendung thoriertes Gasglühstrümpfe anfallenden Abfälle wurden zumindest teilweise gesammelt und in Landessammelstellen oder über die Fa. AEAT entsorgt.

Anmerkung

Die aus der Verwendung thoriertes Gasglühstrümpfe im individuellen Bereich (z.B. Camping) entstehenden Abfälle wurden mit dem Siedlungsabfall entsorgt.

- Die bei der Verwendung von Uran und Thorium zu chemischen Zwecken angefallenen Abfälle in Forschungseinrichtungen und Laboratorien wurden in dieser Studie nicht gezielt untersucht. Aus einem Unternehmen der Pharmaindustrie wurde bezüglich der Entsorgung der dort anfallenden flüssigen Abfälle mit Uran und Thorium (ca. 60 l/a) auf eine Entsorgung als radioaktive Abfälle verwiesen /92/. Eine Änderung dieses Entsorgungsweges sei nicht geplant, da für eine derartig geringe Menge ein separates Entlassungsverfahren nicht wirtschaftlich ist.
- Radiologisch relevante Chemikalien (vor allem Uran- und Thoriumverbindungen), die nicht verbraucht werden, wurden an Landessammelstellen abgegeben.
- Die sehr geringen Mengen an Abfällen (z.B. Späne) aus der Bearbeitung thoriertes Legierungen wurden nach Auskunft befragter Firmen gesammelt und zur Verwertung zurückgeführt.
- Die bei der Verarbeitung von Pyrochlorerzen anfallenden Materialien sowie Kupferschiefer-schlacke sind Rückstände nach Anlage XII Teil A und wurden im Abschnitt 9.2.2 berücksichtigt.

9.2.6 Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten - Zuordnungsbereich 4

Materialien aus der Herstellung thoriierter Schweißelektroden

Durch den strahlenschutzrechtlich genehmigten Umgang fielen Abfälle bei der Herstellung von thorierten Schweißelektroden und thorierten Drähten, soweit sie nicht als geringfügig radioaktiv eingestuft und damit freigegeben werden konnten, in den Regelungsbereich der StrlSchV (1989). Bisher wurden die Herstellungsabfälle als radioaktive Stoffe eingestuft. Eine Abgabe an die zuständige Landessammelstelle war allerdings aufgrund der hohen Alphaaktivität nicht möglich. Daher wurden in den Unternehmen zwangsläufig Lagerbestände aufgebaut.

Aufgrund der hohen Kosten für eine Entsorgung radioaktiver Abfälle wurde nach Möglichkeiten gesucht, durch eine Aufarbeitung der Materialien und ein Rückgewinnung von Wertstoffen (vor allem Wolfram) zu kostengünstigen Entsorgungswegen zu kommen. Diese Wege wurden jedoch bisher noch nicht in technischem Maße umgesetzt.

Materialien aus der Herstellung thoriierter Gasglühstrümpfe

Durch die strahlenschutzrechtliche Genehmigung der Produktion war die Einstufung von radioaktiv kontaminierten Materialien als radioaktiver Stoff vorgegeben. Daher wurden die bei der Herstellung thoriierter Glühstrümpfe anfallenden radioaktiven Reste generell als radioaktive Abfälle betrachtet. Eine Unterscheidung zwischen „Zusatz“, der eindeutig diesem Zuordnungsbereich zuzuordnen ist, und einer Nachbearbeitung von Gasglühstrümpfen z.B. durch Abtrennen von überschüssigem Gewebe, die nicht unter den Begriff „Zusatz“ fällt, fand nicht statt.

Bisher wurden diese radioaktiven Abfälle an eine Landessammelstelle bzw. einen zugelassenen Entsorger (AEAT) abgegeben.

Herstellung von Lampen

Bei der Verwendung thoriierter Wolframelektroden zur Herstellung von Lampen fallen Elektrodenreste und Schleifschlämme an. Diese Stoffe waren bisher radioaktive Stoffe im Sinne der StrlSchV (1989). Sie wurden als solche gesammelt, konnten aber aufgrund ihrer hohen Alphaaktivität nicht entsorgt werden.

Materialien aus der Herstellung sonstiger Produkte / Konsumgüter mit natürlich radioaktiven Stoffen

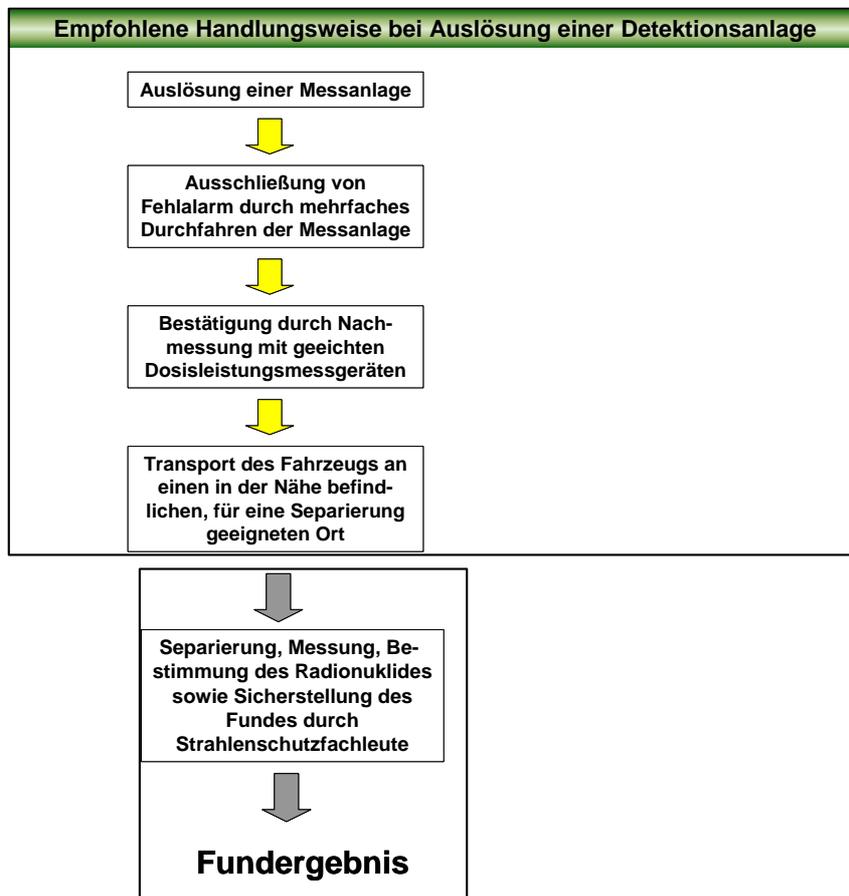
In allen anderen Bereichen, in denen derzeit noch Konsumgütern natürlich radioaktive Stoffe zugesetzt werden (oberflächenvergütete Optiken, Polierpasten/ Schleifmittel), sind die umgesetzten Mengen relativ klein. Spezielle Wege der Entsorgung konnten nicht ermittelt werden. Es ist davon auszugehen, dass entweder eine Sammlung und Entsorgung als Sonderabfall oder vereinzelt auch eine Abgabe an Fachfirmen oder Landessammelstellen praktiziert wurde.

9.2.7 Funde - Zuordnungsbereich 5

Wie im Abschnitt 5.4.1 beschrieben, resultierten Funde radioaktiver Stoffe vor allem aus der systematischen Überwachung von Anlagen mit Großflächendetektoren. Für das Vorgehen bei der Feststellung einer Alarmanzeige / Alarmmeldung wurden inzwischen verschiedene Leitfäden und Handlungsanleitungen erarbeitet /91/, /80/.

Bei Auslösen einer Detektionsanlage wird in /80/ das in Abbildung 9-1 dargestellte Handlungskonzept empfohlen. Dieses Konzept kann als Beispiel für eine auf bisheriger Praxis aufbauende Vorgehensweise gelten.

Abbildung 9-1: Beispiel für ein Handlungskonzept bei Funden radioaktiver Stoffe durch Detektionsanlagen (nach /80/)



Entscheidend für die mögliche Identifizierung radioaktiver Abfälle mit natürlichen Radionukliden ist die Bewertung der Fundergebnisse. Diese Bewertung beinhaltet nach der StrlSchV 1989 folgende Bewertungs- und Entscheidungsschritte:

- Prüfen auf Vorliegen der Meldepflicht auf der Grundlage von § 80 StrlSchV 1989, wobei die Freigrenze für den genehmigungsfreien Umgang mit festen Stoffen natürlicher Radioaktivität 500 Bq/g betrug.
- Bei meldepflichtigen Funden: Meldung an die Behörde, gefolgt von Sicherstellungen der Materialien, häufig in Landessammelstellen oder Anweisungen zur Entsorgung (z.B. Einschmelzen bei Fa. Siempelkamp).
- Bei nicht meldepflichtigen Funden: Rückgabe an den Besitzer. Von metallurgischen Unternehmen wurden auch solche Funde in der Regel zurückgewiesen. Die Entsorgung oblag dem Besitzer.

Recherchen im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie weisen auf eine Problematik hin, die sich bei Funden ergibt, welche aus importierten Schrotten stammen und deren Eigenschaft als Träger radioaktiver Verunreinigungen durch die Detektoren der Zollämter nicht erfasst worden sind. Derzeitiger Sachverhalt ist, dass diese Funde nicht zurückgeschickt werden können, da z.B. die Bahn nach Kenntnisnahme der Radioaktivität einen Rücktransport verweigert. Damit obliegt die Entsorgung dem jeweiligen Unternehmen. Gemäß Recherche werden die Funde gesammelt. In der Vergangenheit erfolgte eine Abgabe an AEAT.

9.2.8 Zusammenfassung bisher praktizierter Entsorgungswege

Insgesamt können bezüglich der bisher praktizierten Entsorgung von radioaktiven Materialien die folgenden typischen Entsorgungswege festgestellt werden.

- Entsorgung auf Betriebsdeponien oder andere Deponien als Abfall nach KrW-/AbfG. Dieser Entsorgungsweg wurde insbesondere bei großen Massenströmen (z.B. Verarbeitung von Bauxit zur Aluminiumproduktion, Entsorgung von Hochofenschlämmen) praktiziert. Neben einer Beseitigung wurden die Materialien teilweise auch zu Deponieabdeckungen verwendet. Es ist davon auszugehen, dass diese Entsorgungswege nach 1989/90 in ganz Deutschland nur mit Materialien geringer spezifischer Aktivität (geschätzt 1 Bq/g) oder bei Dominanz von Pb-210, Po-210 ohne Kenntnis des Sachverhaltes Radioaktivität ausgeführt wurden.
- Beseitigung auf Deponien nach Freigabe bzw. Genehmigung durch die zuständige Behörde. Dieser Weg wurde gewählt, wenn bei Kenntnis einer erhöhten Aktivität von Materialien (z.B. bei vorhergehendem Umgang nach § 3 StrlSchV 1989) eine Beseitigung als radioaktiver Abfall aus Kostengründen oder Kapazitätsgründen nicht infrage kam. Dieses Vorgehen wurde insbesondere bei Altlastensanierungen genutzt.
- Verwertung als Baustoff. Die Verwertung von radioaktiven Gesteinen (Nebengestein des Uranbergbaus, Kupferschieferschlacke) im Straßen- Wege-, Landschafts- und Wasserbau

fand von 1990 bis 2001 in den neuen Bundesländern unter den Regelungen der VOAS und der Haldenanordnung (HaldAO) statt. Aufgrund der i. Allg. geringen spezifischen Aktivität dieser Materialien wurden die Bedingungen der Verwertung von den zuständigen Behörden abdeckend definiert. Eine Freigabe im Einzelfall war bei Einhaltung der geforderten Bedingungen nicht nötig.

Da in den alten Bundesländern die Regelungen der VOAS nicht galten, konnten Gesteine uneingeschränkt verwendet werden. Eine Kontrolle und Überwachung der natürlichen Radioaktivität in den Baustoffen fand nicht statt. Eine zu beachtende Verwertung von Gesteinen oder Nebengesteinen signifikant erhöhter Aktivität ist nicht dokumentiert.

- Kontrollierte Verwertung im Bergbau. Für radiumhaltige Schlämme und Ablagerungen des Steinkohlenbergbaus und der Erdöl-Erdgasgewinnung wurden Entsorgungswege im Rahmen bergrechtlicher Zulassungen genutzt. Strahlenschutzaspekte wurden dabei beachtet.
- Rezyklierung. Aufgrund der sehr hohen Entsorgungskosten für radioaktive Abfälle wurden in den 1990er Jahren Verfahren zur Gewinnung von Wertstoffen aus Schrotten und quecksilberhaltigen Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität entwickelt und in die Praxis überführt (Fa. Siempelkamp, Fa. GMR). Die in diesen Anlagen anfallenden Abfälle mit erhöhter Radioaktivität werden deponiert oder als Baustoffe verwertet.
- Abgabe an Fachfirmen zur Entsorgung. Materialien, die wegen ihrer erheblich erhöhten Aktivität nicht auf konventionelle Deponien entsorgt werden konnten, wurden z.T. an Fachfirmen mit einer entsprechenden Umgangsgenehmigung übergeben. Auf diese Art wurden vor allem Stoffe entsorgt, die als Funde nach § 80 StrlSchV (1989) sichergestellt wurden oder die bei Altlastensanierungen anfielen. Die durch die Fachfirmen genutzten Wege der weiteren Entsorgung umfassten die sichere Aufbewahrung, eine endlagergerechte Konditionierung und Aufbewahrung, eine Verwertung (insbesondere von konzentrierten Th-Verbindungen), die Abgabe an Fa. Siempelkamp zur Rezyklierung oder die Abgabe an Landessammelstellen.
- Sicherstellung und Überführung in Landessammelstellen. Dieser Entsorgungsweg wurde für Funde und vereinzelt auch für Bodenaushub und Bauschutt genutzt, der bei Baumaßnahmen oder Sanierungsarbeiten anfiel.
- Planmäßige Entsorgung durch Fachfirmen und Abgabe an Landessammelstellen. Unternehmen, die mit einer Genehmigung nach § 3 StrlSchV 1989 radioaktive Stoffe verarbeiteten, entsorgten nicht freigebbare radioaktive Abfälle durch Abgabe an Landessammelstellen (z.B. Abfälle der Glühstrumpfherstellung, verbrauchte Glühstrümpfe aus den Wasser- und Schifffahrtsämtern). Teilweise wurden Materialien auch planmäßig an Fachfirmen zur endlagergerechten Konditionierung und Entsorgung abgegeben.

9.3 Aktuelle Rahmenbedingungen der Entsorgung

9.3.1 Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen der Beseitigung

Die StrlSchV orientiert für die Entsorgung von Rückständen und sonstigen Materialien klar auf die bestehenden Möglichkeiten der Abfallwirtschaft. Daher stellen die dort bereitstehenden Kapazitäten zur Beseitigung von Abfällen und abfallrechtlichen Regelungen eine wesentliche Grundlage für die Entsorgung von NORM/TENORM dar.

Für die Wahl von Entsorgungswegen sind die Zulässigkeit eines Entsorgungsweges, verfügbare Kapazitäten sowie die mit der Entsorgung verbundenen Kosten (Entsorgungskosten + Transportkosten) die entscheidenden Faktoren.

Die Zulässigkeit eines Entsorgungsweges wird zum einen durch die Abfallschlüsselnummer (ASN) nach AVV bestimmt. Die ASN charakterisiert den Abfall nach Art und Herkunft sowie in Hinblick auf den Überwachungsbedarf infolge Schadstoffgehalt. Zum anderen ist wesentlich, dass der Abfallbesitzer den Abfall grundsätzlich öffentlich rechtlichen Entsorgungsträgern zu überlassen hat. Von dieser Pflicht ist er freigestellt, wenn er Abfälle zur Verwertung abgibt, es sich um von der Überlassungspflicht durch Satzung ausgeschlossene Abfälle handelt („Sonderabfälle“) oder ein im Zuge der betrieblichen Zulassung genehmigter Entsorgungsweg (z.B. Betriebsdeponie) genutzt wird.

Die zur Entsorgung von Abfällen zugelassenen Deponien können gemäß Deponieverordnung (DepV) vom 24.07.2002 (i.V. mit AbfAbIV) in 5 verschiedene Deponieklassen eingeteilt werden. Tabelle 9.3-1 stellt die in dieser Verordnung definierten Klassen zusammen.

Tabelle 9.3-1: Deponieklassen nach DepV (2002)

Deponie klasse	Lage der Deponie	Beschreibung der zugelassenen Abfälle / der Deponie	Kriterien
DK 0	oberirdisch	Inertabfälle	Anhang 3 DepV
DK I	oberirdisch	Abfälle mit sehr geringem organischen Anteil und sehr geringer Schadstofffreisetzung im Auslaugungsversuch	§ 2 Nr. 8 AbfAbIV
DK II	oberirdisch	Abfälle, einschließlich mechanisch-biologisch behandelte Abfälle mit höherem organischem Anteil u. höherer Schadstofffreisetzung als bei Abfällen, die DK I zuzuordnen sind; höhere Anforderungen an Deponiestandort/-dichtung als bei DK I	§ 2 Nr. 9 AbfAbIV
DK III	oberirdisch	Abfälle, mit höherem Schadstoffanteil und höherer Schadstofffreisetzung als bei Abfällen, die DK II zuzuordnen sind; höhere Anforderungen an Deponiestandort/-dichtung als bei DK II	Anhang 3 DepV
DK IV	untertägig	Durch Einlagerung in ein Bergwerk (eigenständiger, von einer Mineralgewinnung getrennter Ablagerungsbereich) oder in eine Kaverne abgelagerte Abfälle	Anhang 3 DepV (in anderen Gesteinen als Salzgestein)

Für den Tatbestand einer zwischenzeitlichen Lagerung von Abfällen vor einer Beseitigung auf eine der oben aufgeführten Deponien oder aber einer Verwertung definiert die Deponieverordnung **Langzeitlager**. Per Definition (§ 2 Nr. 18-22 DepV) handelt es sich hierbei um Anlagen zur Lagerung von Abfällen nach § 4 Abs. 1 BImSchG i.V. mit Nummer 8.14 des Anhangs zur BImSchV. Die Bezeichnung ist gültig für Anlagen, in denen besonders überwachungsbedürftige Abfälle bzw. nicht besonders überwachungsbedürftige Abfälle über einen Zeitraum von über einem Jahr zwischengelagert werden, bevor sie einer Beseitigung oder Verwertung zugeführt werden. Bezugnehmend auf die Deponieklassen DK I bis DK III, definiert die DepV 4 Typen von oberirdischen Langzeitlagern:

<u>Langzeitlager der Klasse LK 0:</u>	Inertabfälle, Zuordnungswerte der DK I nach Anhang 3 DepV
<u>Langzeitlager der Klasse LK I:</u>	Zuordnungskriterien der DK I nach Anhang 1 AbfAbIV
<u>Langzeitlager der Klasse LK II:</u>	Zuordnungskriterien der DK II nach Anhang 1 AbfAbIV, höhere Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb als bei LK I
<u>Langzeitlager der Klasse LK III:</u>	Lager für Abfälle, die höhere Schadstoffanteile enthalten und eine höhere Schadstofffreisetzung zeigen als für LK II zulässige Abfälle; höhere Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb als bei LK II

Gemäß § 6 DepV erfordert eine Ablagerung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle Deponien oder Deponieabschnitte mindestens der DK III-Kategorie. Nicht reaktive besonders überwachungsbedürftige Abfälle, deren Auslaugverhalten die Zuordnungskriterien der jeweiligen Deponiekategorie einhält, können auch auf Deponien der Klassen I oder II verbracht werden.

Den wichtigsten Entsorgungsweg für gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfall stellen Hausmülldeponien dar. Hausmülldeponien verfügen derzeit über ausreichende Kapazitäten. Allerdings wird aufgrund der „Technischen Anleitung Siedlungsabfall“ (TASi) der Betrieb vieler Deponien spätestens ab 2005 eingeschränkt, weil die Beschaffenheit dieser Deponien nicht mehr den Anforderungen der TASi entspricht. Abfälle, die ab diesem Zeitpunkt auf die verbleibenden Deponien verbracht werden sollen, müssen einer Müllverbrennung oder einer biologisch-mechanischen Vorbehandlung zur Reduktion des organischen Anteils der Materialien unterzogen werden.

Sowohl bezogen auf die Gesamtmengen als auch die entsorgungstechnischen Problemfälle, die im Sinne dieser Studie zu radioaktiven Abfällen führen können, stellten Hausmülldeponien für NORM/TENORM bisher nur einen Beseitigungsweg geringerer Bedeutung dar. Eine Änderung dieser Situation ist nicht zu erwarten.

Da NORM /TENORM zumeist mineralische Abfälle bilden, ist für sie eine Entsorgung auf Mineralstoffdeponien (= Bauschuttdeponien; DK I, II) der vom Massenanteil her wichtigste Entsorgungsweg. Wie im Abschnitt 9.2 dargestellt, wurden bisher auf diesem Weg die massenintensiven Materialien wie

beispielsweise Rotschlamm, Hochofen-Schlämme, Rückstände der TiO₂-Produktion aber auch Rückstände der Gewinnung und Aufbereitung von Erzen entsorgt.

Sonderabfalldeponien (SAD) der Deponieklasse DK III und Untertagedeponien (UTD, DK IV) nehmen nur besonders überwachungsbedürftige Abfälle an. Andere Abfälle können erst angenommen werden, wenn andere Entsorger die Annahme abgelehnt haben oder eine spezielle Zuweisung nach Abfallrecht erfolgte. Daher stellen SAD generell einen nachrangig einzuschlagenden Entsorgungsweg dar, der nur bei fehlenden anderen Wegen genutzt werden soll.

Auch Sonderabfalldeponien haben derzeit freie Kapazitäten. Die Errichtung neuer Sondermülldeponien ist daher zur Zeit nicht zu erwarten.

Für die Entsorgung von NORM/TENORM stellten Sonderabfalldeponien bisher nur einen in Ausnahmefällen genutzten Entsorgungsweg dar. Es ist allerdings zu erwarten, dass für einige Materialien, wie z.B. quecksilberhaltige Rückstände der Erdöl- Erdgasproduktion, die nicht für ein Quecksilberrecycling geeignet sind, andere Entsorgungswege im Bereich des KrW-/AbfG praktisch nicht bestehen.

Da nach derzeitiger Einschätzung Entsorgung von NORM/TENORM in den meisten Fällen nicht durch die abfallrechtlichen Aspekte limitiert wird (s. Abschnitt 9.4.2.5) sind die Kapazitäten der SAD kein Faktor, der zum Entstehen radioaktiver Abfälle aus NORM führen wird.

Tabelle 9.3-2: Übertägige Sonderabfalldeponien und Untertagedeponien (UTD) in Deutschland

Bundesland	Bezeichnung, Ort	Typ	Bundesland	Bezeichnung, Ort	Typ
			NW	Niederrhein, Borth	UTD
BB	Röthelhof	Übertägig	NW	Hünxe-Schermsbeck	Übertägig
BW	Heilbronn	UTD	NW	Emscherbruch ZDE	Übertägig
BW	Billigheim	Übertägig	NW	Ochtrup	Übertägig
BY	Gallenbach	Übertägig	NW	Grevenbroich-Neuenhausen	Übertägig
BY	Raindorf	Übertägig	RP	Gerolsheim	Übertägig
HE	Herfa Neurode	UTD	SH	Rondeshagen	Übertägig
MV	Ihlenberg	Übertägig	ST	Zielitz	UTD
NI	Riedel	UTD (*)	TH	Rehestedt 2	Übertägig
NI	Hoheneggelsen	Übertägig	TH	Seligenstädt-Aga	Übertägig

(*)Genehmigung zu Errichtung und Betrieb in 2001 erteilt

Die praktische Wahl von Entsorgungswegen wird neben der abfallrechtlichen Zulässigkeit vor allem durch die Kosten der Entsorgung bestimmt. Tabelle 9.3-3 gibt einen groben Überblick über die Kosten der verschiedenen Beseitigungswege.

Tabelle 9.3-3: Entsorgungskosten zur Beseitigung von Abfällen nach KrW-/AbfG auf Deponien

Deponieart	Kosten in €/t
Mineralstoffdeponien (DK 0)	10 – 20
Hausmülldeponie (DK I, DK II)	20 – 60
Sonderabfalldeponie übertage (DK III)	60 – 200
Untertagedeponie (DK IV)	200 – 400

9.3.2 Verwertung von Materialien

Bei der Verwertung von Materialien mit erhöhter Radioaktivität sind zu unterscheiden:

- Rezyklierung und Verwertung der enthaltenen radioaktiven Stoffe,
- Rezyklierung und Verwertung anderer Wertstoffe,
- Stoffliche Verwertung des Materials,
- Energetische Verwertung des Materials.

Generell gibt es in Deutschland, abgesehen vom Thorium, keinen wirtschaftlichen Bedarf an natürlichen radioaktiven Stoffen. Aus diesem Grunde ist eine Verwertung anderer Radionuklide, außer Thorium, im nicht-kerntechnischen Bereich praktisch nicht möglich. Auch für Thorium ist der Bedarf, verglichen mit dem Angebot, äußerst gering, so dass aus Wirtschaftlichkeitsgründen eine Aufarbeitung von Abfällen zur Gewinnung von Thorium nur bei sehr hochkonzentrierten Stoffen sinnvoll ist.

Von den bisher betriebenen Verfahren mit **Verwertung von Materialien zur Gewinnung anderer Wertstoffe** sind auch in Zukunft als bedeutsam einzuschätzen:

- Rezyklierung von kontaminierten Metallteilen durch Einschmelzen. Die Herkunft des so verwerteten Schrotts ist vor allem aus den Zuordnungsbereichen 1, 2, 5 (überwachungsbedürftige Rückstände, sonstige überwachte Materialien, Funde), zu erwarten. Da diese Rezyklierung in der bisher genehmigten Anlage der Fa. Siempelkamp nach BImSchG unter Beachtung strahlenschutzrechtlicher Bedingungen ausgeführt wird, ist eine vorherige Entlassung vom Grundsatz her nicht erforderlich. Die spezifische Aktivität der angenommenen Materialien ist auf 500 Bq/g begrenzt. Ggf. werden auch ADR/GGVS Transporte der Klasse 7 akzeptiert /108/.
- Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Rückständen der Erdöl-/Erdgasgewinnung. Auch diese Rezyklierung der Fa. GMR Leipzig wird mit strahlenschutzrechtlicher Genehmigung ausgeführt. Eine Entlassung der Materialien vor der Annahme durch GMR ist daher vom Grundsatz her ebenfalls nicht erforderlich. Es bestehen auch keine Begrenzungen der spezifischen Aktivität, in den angenommenen Materialien. Ggf. werden auch ADR/GGVS Transporte der Klasse 7 akzeptiert /22/.

Durch diese Verwertungen werden zwar die Mengen an zu beseitigenden Materialien reduziert, nicht jedoch die Gesamtaktivität. Eine Beseitigung der anfallenden Materialien dieser Verwertungen als

Abfall ist daher zwingend erforderlich. Die Fortführung bisher genehmigter Entsorgungswege auf konventionelle Deponien bzw. Untertagedeponien ist vorgesehen. Radioaktive Abfälle entstanden bisher nicht.

Aus den Schlacken und Stäuben der Fa. Siempelkamp sind auch in Zukunft keine radioaktiven NORM-Abfälle zu erwarten, da zugelassene Entsorgungswege in hinreichendem Maße existieren. Durch geeignete Prozesssteuerung sind ungewollte Problemabfälle aus NORM praktisch auszuschließen.

Bezüglich der Entsorgungswege der Fa. GMR können bei einer sich etablierenden Praxis mit konsequenter Beachtung der ADR-Transportregelungen (s. Abschnitt 9.4.2.5) Entsorgungsprobleme nicht ausgeschlossen werden.

Derzeit noch nicht praktisch realisiert sind Rezyklierungsverfahren zur Rückgewinnung von Seltenen Metallen, insbesondere aus thorierten Wolframdrähten. Diese Verfahren befinden sich nach Auskunft der befragten Firmen in der Entwicklung. Sie werden nach derzeitiger Einschätzung vor allem dann wirtschaftlich, wenn als einzige Alternative eine Beseitigung als radioaktiver Abfall zu betrachten ist.

Ein weiterer, in der bisherigen Praxis realisierter stofflicher Verwertungsweg ist die **Verwendung als Versatzmaterial** im Bergbau. Dieser Weg steht auch mit den Regelungen der novellierten StrlSchV zur Verfügung. Durch seine höheren Überwachungsgrenzen von 5 Bq/g (bei Pb-210 bis 50 Bq/g) bietet der untertägige Versatz prinzipiell Optionen zur direkten Entsorgung von Rückständen. Bei Überschreiten der Aktivitätsgrenzen ist eine Verwertung nach vorheriger Entlassung möglich. Die daraus resultierenden Fragen werden im Abschnitt 9.4.2 untersucht.

Nach § 2 Abs. 2 Nr. 4 KrW-/AbfG unterliegt die Verwertung von Abfällen, „die beim Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten und Weiterverarbeiten von Bodenschätzen in den der Bergaufsicht unterstehenden Betrieben anfallen, ausgenommen Abfälle, die nicht unmittelbar und nicht üblicherweise nur bei den im 1. Halbsatz genannten Tätigkeiten anfallen“ nicht den Regelungen des KrW-/AbfG. Diese Stoffe können im Rahmen der bergrechtlichen Zulassungen für Aufgaben der Sicherung, Wiederherstellung der Nutzbarkeit nach § 55 BBergG verwendet werden. Dabei sind allerdings die umweltrechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere das Wasserrecht zu beachten. Wie bereits im Abschnitt 9.2.2 beschrieben, wurde aufgrund der Grundwasserverordnung (GrwV) der Versatz von radioaktiven Materialien der Erdöl-/Erdgasgewinnung 1997 eingestellt. Für die Zukunft sind nach Auskunft der zuständigen Bergbehörden in Sachsen-Anhalt und Niedersachsen allerdings neue Zulassungen zur Verfüllung von Tiefbohrungen mit überwachungsbedürftigen Rückständen zu erwarten. Dabei ist noch nicht geklärt, ob eine Begrenzung der spezifischen Aktivitäten gefordert wird oder nicht /124/.

Die Möglichkeit einer bergbaulichen Verwertung von bergbaufremden Abfällen wird in Zukunft durch die Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (VersatzV) eingeschränkt. Um den Zielen des KrW-/AbfG Rechnung zu tragen, wurde der Vorrang einer Verwertung durch Aufnahme von zulässigen Höchstgehalten an metallischen Wertstoffen (Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen) festgeschrieben sowie neue stoffliche Anforderungen an das Versatzmaterial als zulässige Eluatkonzentrationen definiert. Die Prüfung der Eluatkonzentrationen kann allerdings bei Versatz im

Salzgestein mit Langzeitsicherheitsnachweis entfallen. Bei höheren geogenen Hintergrundgehalten können für einzelne Stoffe Überschreitungen der Eluatkonzentrationen zugelassen werden.

Die Entsorgung von Rückstandsmaterial ist allerdings durch die Einschränkungen des bergbaulichen Versatzes nicht gefährdet, da hinreichende Möglichkeiten der Beseitigung evtl. betroffener Materialien bestehen.

Andere Verwertungswege wie der Einbau von mineralischen Materialien in zur Verfüllung zugelassene Gruben oder auch die Verwertung im Deponiebau (zur Profilierung oder Abdeckung) können als Entsorgungswege eine durchaus zu beachtende Rolle spielen, da bei Nutzung dieser (kostengünstigen) Wege der Besitzer frei über die Entsorgung entscheiden kann, sofern die Annahmekriterien eingehalten werden.

Rückstände, die sich prinzipiell für eine **energetische Verwertung** eignen, sind z.B. Schlämme aus der Erdöl/Erdgasindustrie. Ein Teil dieser Stoffe besitzen aufgrund ihrer organischen Komponenten einen vergleichsweise hohen Brennwert. Ein Problem stellt allerdings der häufig hohe Quecksilbergehalt dar.

Die Rückstandsverbrennung von überwachungsbedürftigen NORM/TENORM-Rückständen in einer konventionell betriebenen Sonderabfallverbrennungsanlage ist prinzipiell möglich, wenn die Materialien zuvor aus der Überwachung entlassen wurden. Der dazu vorzulegende Nachweis nach Anlage XII Teil D Nr. 2 StrlSchV verlangt die Ermittlung der Strahlenexposition, die alle auf diesem Verwertungsweg exponierten Personen berücksichtigt. Da in diesem Falle keine weiteren Produkte hergestellt werden, ist die Nachweisführung nach derzeitiger Einschätzung ohne prinzipielle Probleme machbar.

Außer der Behandlung in einer meist sehr teuren Sonderabfallverbrennungsanlage ist die Verwertung in einem thermischen Heizkraftwerk zu diskutieren. Vorstellbar wäre in diesem Zusammenhang die Mitverbrennung in einem Kohlekraftwerk. Aus strahlenschutzrechtlichen Gründen ist dieser Verwertungsweg allerdings wenig realistisch.

Nach derzeitiger Einschätzung sind für die energetische Verwertung ähnliche Begrenzungen wie für die Beseitigung auf Deponien anzusetzen.

Da die zu erwartende Wahl der Verwertungswege wesentlich von den Preisen bestimmt wird, sind in Tabelle 9.3-4 Marktpreise zur Orientierung zusammengestellt.

Tabelle 9.3-4: Entsorgungskosten zur Verwertung von Abfällen nach KrW-/AbfG

Verwertungsanlagen	Preis in Euro/Tonne
Einschmelzen (Fa- Siempelkamp)	1000 – 1500
Quecksilber-Rezyklierung (Fa. GMR)	3000
Untertägiger Bergversatz	50 - 200
Zugelassene Verfüllungen von Bodenabbauen	10-20
Sonderabfallverbrennung (Fa. Infraserve)	300-800

9.4 Zu erwartende Praxis der Entsorgung von NORM-Rückständen

9.4.1 Grundsätze der Entsorgung

Die im Abschnitt 9.2 beschriebenen bisherigen Vorgehensweisen bei der Entsorgung von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität sind nach der Novellierung der StrlSchV grundsätzlich zu überprüfen und ggf. auf aktueller Rechtsgrundlage neu zu organisieren. Dabei ist es in Hinblick auf das deutsche Entsorgungskonzept wesentlich, dass nur solche Materialien als radioaktive Abfälle zu betrachten sind, die nicht als radioaktive Stoffe verwertet oder als konventionelle Abfälle im Regelungsbereich des KrW-/AbfG verwertet oder beseitigt werden können.

Aus abfallrechtlicher Sicht ist festzustellen, dass für einige NORM-Rückstände aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften eine konventionelle Entsorgung im Geltungsbereich des KrW-/AbfG auf wenige Anlagen eingeschränkt ist. So sind für quecksilberbelastete Rückstände der Erdgasgewinnung oder hochgradig Schwermetall eluierende Schlacken im unbehandelten Zustand nur Beseitigungen in einer UTD möglich. Werden derartige Materialien aus Gründen der Radioaktivität von der Annahme ausgeschlossen, dann können ernsthafte Entsorgungsprobleme für derartige Chargen entstehen.

Für NORM-Rückstände im Sinne von Abschnitt 2.1 als sonstige radioaktive Stoffe im Sinne des AtG gilt der auch im § 4 KrW-/AbfG festgeschriebene Grundsatz, nach dem eine schadlose Verwertung Vorrang vor einer Beseitigung besitzt. Der Aspekt Verwertung ist allerdings in der StrlSchV bei Anordnungen von Behörden zur Art und Weise der Entsorgung von Abfällen weitgehend ausgeklammert. Für die Entsorgung von Rückständen (Zuordnungsbereich 1) und sonstigen überwachten Materialien (Zuordnungsbereich 2), für die der Verpflichtete keinen geeigneten Entsorgungsweg finden konnte (§ 99 StrlSchV), ist in der StrlSchV nur die Anordnung einer Beseitigung vorgesehen. Die Anordnung einer bestimmten Verwertung ist gemäß /13/ nicht vorgesehen, da davon ausgegangen wird, dass die Rückstände aufgrund ihrer Art und Aktivität dem Wirtschaftskreislauf auf Dauer entzogen werden sollen.

Der in der StrlSchV vorgesehene Standardweg der Entsorgung für überwachungsbedürftige Rückstände ist die konventionelle Verwertung oder Beseitigung nach Entlassung aus der Überwachung.

Eine Voraussetzung für die Deponierung oder Beseitigung von „sonstigen überwachten Materialien“, die nach § 102 StrlSchV in eine Überwachung aufgenommen wurden, ist, dass sie ihre Eigenschaft eines „radioaktiven Stoffes“ verlieren. Dazu ist ein entsprechender Verwaltungsakt erforderlich, der diese Eigenschaft aufhebt. Neben der Entlassung könnte eine Regelung im Rahmen von Genehmigungsbescheiden praktiziert werden. Inwieweit auch andere Foren eines Verwaltungsaktes zum Tragen kommen, muss die Praxis zeigen. Ohne entsprechenden Bescheid bleiben diese Materialien radioaktive Stoffe, die nicht auf konventionelle Deponien verbracht werden dürfen.

Im Folgenden wird, ausgehend von praktischen Erfahrungen und in Auswertung von Behördenrecherchen, untersucht, welche Aspekte eine konventionelle Entsorgung von NORM behindern oder einschränken und dadurch zu Situationen führen können, bei denen eine Entsorgung der NORM-Rückstände nicht möglich ist (also § 99 StrlSchV zu Tragen kommt).

9.4.2 Entlassung nach § 98 StrlSchV

9.4.2.1 Entlassungskriterien

Die Entlassung nach § 98 StrlSchV stellt einen Verwaltungsakt mit rechtsgestaltender Wirkung dar, durch den Materialien ihre Eigenschaft eines radioaktiven Stoffes im Sinne von § 2 AtG verlieren. Sie erfolgt auf Antrag des Besitzers der überwachungsbedürftigen Rückstände für einen bestimmten Entsorgungsweg durch einen Bescheid der zuständigen Strahlenschutzbehörde und ist an die Erfüllung der folgenden Forderungen gebunden.

Radiologische Forderungen (Schutzziel der StrlSchV)

- Die aus der Entsorgung resultierende zusätzliche Strahlenexposition hält den **Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv** für alle beteiligten Personen **ohne weitere Maßnahmen** ein (§ 98 (1) StrlSchV).

Abfallrechtliche Forderungen nach § 98 StrlSchV

- Es bestehen keine Bedenken gegen die **abfallrechtliche Zulässigkeit** des Entsorgungsweges.
- Es liegt eine **Annahmeerklärung** des Verwerters oder Beseitigers vor.
- Der Antragsteller bestätigt mit einer verbindlichen **Verbleibserklärung** die Einhaltung des vorgesehenen Entsorgungsweges.
- Es wird ein **Einvernehmen mit der zuständige Abfallbehörde** zu den Anforderungen an den Verwertungs- oder Beseitigungsweg hergestellt.

Das Beibringen aller notwendigen Erklärungen und der Nachweis der Einhaltung des Schutzzieles der StrlSchV stellen im konkreten Fall eine komplexe Aufgabe dar, deren Details sehr diffizil ausfallen können. Im Weiteren wird daher das Entlassungsverfahren daraufhin geprüft, ob durch die zu erwartende Praxis für bestimmte Rückstände ein Verbleib in der Überwachung abzusehen ist, aus dem radioaktive Abfälle resultieren können.

Als grundsätzliche Frage ist die Einhaltung des Schutzzieles der StrlSchV von 1 mSv zu prüfen. Dafür sind neben der Frage, ob eine generelle Nichteinhaltung dieses Schutzzieles bei bestimmten hier betrachteten Materialien zu besorgen ist, auch die radioökologischen Aspekte der Nachweisführung und das geforderte realistische Herangehen an die Dosisermittlung zu diskutieren.

Befragungen von verschiedenen Länderbehörden und Erfahrungen mit durchgeführten Entlassungsverfahren weisen auf folgende weitere Punkte hin, die in der Erarbeitung von Entlassungsbescheiden die Entlassung behindern können:

- Annahmefähigkeit von Entsorgern (s. Abschnitt 9.4.2.4),
- Limitierung der spezifischen Aktivität (s. Abschnitt 9.4.2.5),
- Umsetzung der Forderung nach Einhaltung des Schutzzieles „ohne weitere Maßnahmen“ (s. Abschnitt 9.4.2.6),
- Interpretation des Vermischungsverbot nach § 97 Abs. 2 (s. Abschnitt 9.4.2.7),

- Herstellung des Einvernehmens bei länderübergreifenden Entlassungen.

Während der letztgenannte Punkt eine Komplikation des Entlassungsverfahrens beschreibt, die aber keine prinzipielle Wirkung auf die Entlassungsfähigkeit von NORM-Rückständen besitzt, können die anderen genannten Punkte zum Versagen der Entlassung und damit zum Verbleib der Rückstände in der Überwachung beitragen. Daher werden diese Punkte im Folgenden genauer geprüft.

9.4.2.2 Nachweis der radiologischen Unbedenklichkeit

Voraussetzung jeder Entlassung von überwachungsbedürftigen Rückständen oder sonstigen überwachten Materialien aus der Überwachung ist der Nachweis, dass durch die vorgesehene Verwertung oder Beseitigung des Materials das Schutzziel der StrlSchV einer effektiven Dosis von 1 mSv pro Kalenderjahr für Personen der Bevölkerung eingehalten wird. Da die Überwachungsgrenzen selbst aus abdeckenden Expositions-betrachtungen für die Verwertung oder Beseitigung von typischen Stoffgruppen (Aschen, Schlacken, Berge, Sand) mit dem 1 mSv-Kriterium abgeleitet wurden /5/, ist die Nachweisführung im konkreten Fall nur durch fallspezifische Präzisierungen der Berechnungsannahmen möglich. Für die Nachweisführung gibt die Anlage XII Teil D StrlSchV daher vor, realistische Expositionspfade und Expositionsannahmen zu verwenden.

Unter dieser Voraussetzung wird eine prinzipielle Überschreitung der Richtdosis, die zu einem zwingenden Verbleib von NORM-Rückständen in der Überwachung führt, bei den in Abschnitt 4 oder 5 untersuchten Materialien und Mengen aus folgenden Gründen nicht gesehen:

- Dosislimitierender Teil der Nachweise sind die Arbeiten, die direkt im Zusammenhang mit der Verwertung oder Beseitigung der Rückstände stehen. Expositionsszenarien für die Bevölkerung sind zwar ggf. einzubeziehen, werden aber nach Einschätzung der Bearbeiter in den derzeit geforderten Nachweisen nur in Sonderfällen bestimmend für die Entlassung sein. Da generell eine Aktivitäts-Mengen-Relation anzunehmen ist, bei der höhere spezifische Aktivitäten nur in geringeren Mengen von Materialien auftreten, führen die von kleineren Mengen ausgehenden Expositionen bereits durch die verringerten Aufenthaltszeiten / Arbeitszeiten (Standardszenario stets 2000 h/a) zu geringeren Expositionen.
- Durch die Wahl der Entsorgungswege können Handlungen ausgeschlossen werden, die zu zusätzlichen Expositionen führen. So sind Beseitigungswege in der Regel mit geringeren Expositionen verbunden als Verwertungen.
- Durch geeignete Vorbehandlung der Materialien können Expositionsbedingungen so verändert werden, dass die Dosis bei der Entsorgung limitiert wird. In diesem Zusammenhang sind die Immobilisierung oder Verpackung (z.B. in Big-Bags) von Materialien praktikable Lösungsansätze, um vor allem den Staub als Expositionspfad zu begrenzen.
- Praktische Erfahrungen mit der Beseitigung großer Materialmengen (5.000 t thoriumkontaminiertes Material) mit spezifischen Aktivitäten deutlich über den Überwachungsgrenzen auf ei-

ne Deponie zeigten, dass die tatsächlichen Expositionen für einbezogene Personen der Bevölkerung (Deponiearbeiter) nur im Bereich einiger 10 μSv lagen /49/.

Allerdings können formale Aspekte die Nachweisführung im Einzelfall behindern oder erschweren. In diesem Zusammenhang ist auf folgende Punkte hinzuweisen:

- Die Praxis der radiologische Nachweisführung hat wesentlichen Einfluss auf die Kapazitäten von Entsorgungsanlagen in Bezug auf die Annahme überwachter Materialien. In diesem Zusammenhang sind die Konservativität von Nachweisen aber auch Probleme der Interferenz von mehreren Entlassungen / Entsorgungen innerhalb eines Kalenderjahres sowie evtl. Langzeitaspekte in Entlassungsverfahren begrenzende Faktoren der Annahmekapazitäten von NORM/TENORM. Derzeit besteht in Deutschland noch kein in sich schlüssiges Konzept oder Regelwerk, mit dem die Frage der realistischen Expositionsannahmen hinreichend bewertet werden kann. Von Seiten der EU wurde ein technischer Leitfaden vorgelegt /128/, der für kerntechnische Anlagen und künstliche Radionuklide einen Rahmen zur Eingrenzung realistischer Szenarien vorgibt. Die Übertragbarkeit dieses Leitfadens auf Entlassungsverfahren dürfte allerdings kaum effektiv sein.
- Die Anlage XII Teil C sieht eine auf das Kalenderjahr bezogene Bilanzierung von Aktivitäten und Gesamtmassen als Grundlage des Entlassungsbescheides vor. Dieses Vorgehen ist in sich konsistent ausführbar, solange keine weiteren Nachweise nach Teil D vorgelegt werden. Werden allerdings Nachweise nach Teil C und Teil D für unterschiedliche Materialmengen auf ein und dieselbe Deponie vorgelegt, so ist die Beurteilung, ob das Schutzziel der StrlSchV unter Berücksichtigung vorhergehender Expositionen eingehalten wird, durch die Behörde nicht eindeutig zu treffen.
- Einzelfallbetrachtungen nach Anlage XII Teil D können sehr schnell zur Limitierung von Depositionskapazitäten führen, wenn sie (z.B. aus Kostengründen) zunächst stark konservativ angelegt sind. Werden die Dosiswerte rechnerisch durch einen Nachweis ausgeschöpft, bestehen zumindest im Kalenderjahr keine weiteren Möglichkeiten der Entlassung auf die betreffende Anlage.

9.4.2.3 Radioökologische Aspekte der Nachweisführung

Neben den Fragen der realistischen Szenarienbedingungen sind für die Nachweisführung auch inhaltliche Aspekte der Expositionsermittlung zu diskutieren. Auf folgende aus Sicht der Bearbeiter wesentliche Aspekte ist hinzuweisen:

Dosiskoeffizienten der Inhalation können unter Bezug auf die ICRP-Publikation 71, Absatz 58 bei unbekannter chemischer Zusammensetzung des radioaktiv kontaminierten Stoffes für Klasse „M“ anstelle des konservativsten Wertes verwendet werden. Ein Vergleich der Werte der Inhalationsklassen F, M, S für berufliche Strahlenexposition und der bisher gebräuchlichen Werte nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau /6/ zeigt Abbildung 9-2. Wird z.B. für den Inhalationspfad mit den konservativsten

Dosiskoeffizienten gerechnet, so werden insbesondere für die Radionuklide U-238, U-234 und Po-210 zu hohe Expositionen berechnet. Analoges gilt für Personen der Bevölkerung.

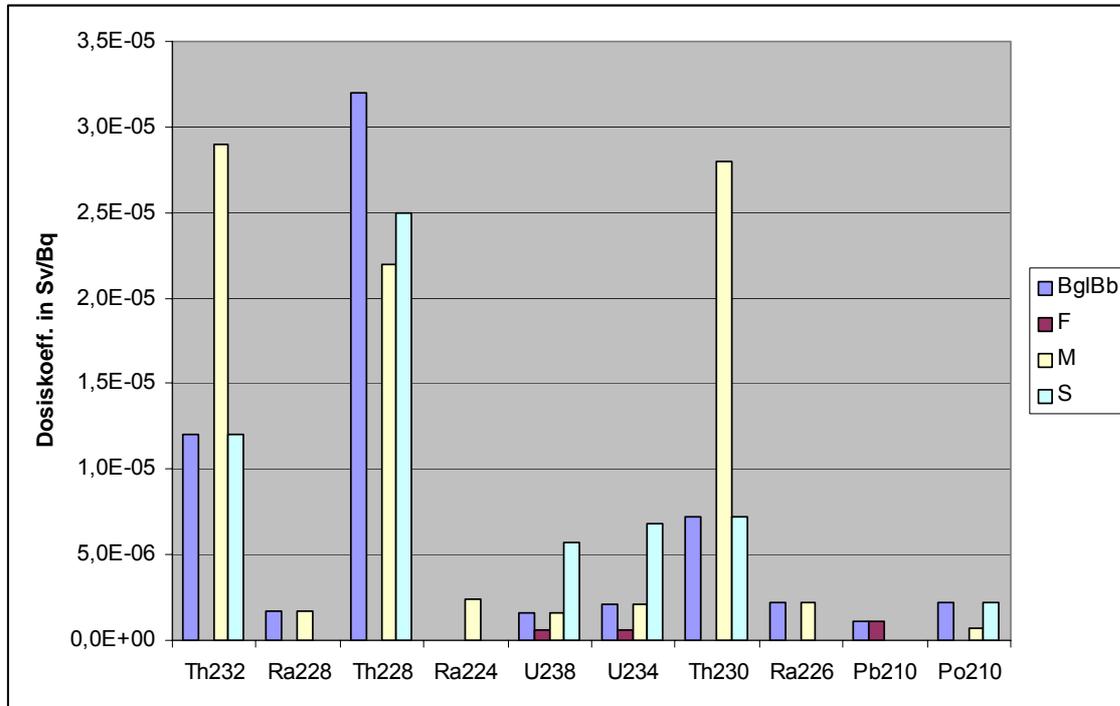


Abbildung 9-2: Vergleich von Inhalationsdosiskoeffizienten unterschiedlicher Inhalationsklassen (F, M, S) und bisher genutzte Werte nach Berechnungsgrundlage Bergbau (BglBb) /6/

Ein Sonderfall in Bezug auf die Nachweisführung stellen untertägige Entsorgungsanlagen dar. Es ist nach Einschätzung der Bearbeiter fraglich, ob das Konzept der jahresbezogenen Nachweisführung bei Einlagerung von radonfreisetzenden Materialien und die Bewertung der Direktstrahlung an Arbeitsplätzen den spezifischen Bedingungen der untertägigen Entsorgung hinreichend entspricht.

Für die Beurteilung des Wasserpfades ist derzeit nicht hinreichend klar, inwieweit eine auf einen Einzelvorgang bezogene Betrachtung ausreicht, oder ob bzw. wie andere entlassene Materialmengen kumulierend einzubeziehen sind.

Es ist daher dringend zu empfehlen, eine Richtlinie zu den Berechnungsgrundlagen zu erarbeiten, die insbesondere Empfehlungen für realistische Szenarien und Vorgaben zur realistischen Berechnung von Dosiswerten enthält. Eventuell könnten auch spezifische Rahmennachweise durch Industrieverbände oder Branchenzusammenschlüsse für die von ihnen vertretenen Unternehmen einheitliche Grundlagen für die Entlassungsverfahren in den Bundesländern legen.

9.4.2.4 Annahmefähigkeit von Entsorgern

Voraussetzung einer Entlassung ist die schriftliche Annahmeerklärung eines Entsorgers. Das Beschaffen dieser Annahmeerklärung stößt auf folgende Probleme:

- (1) Die im KrW-/AbfG geregelte Überlassungspflicht, nach der Abfälle zur Beseitigung aus dem Gewerbe, sofern nicht durch Satzung der Entsorgungsträger ausgeschlossen, grundsätzlich öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zu überlassen sind, kollidiert derzeit noch mit der Akzeptanzfrage. Solange nicht klar ist, ob ein zuständiger Entsorgungsträger die Annahme von Abfällen, die zwar bei der Entstehung radioaktive Stoffe im Sinne des AtG waren, bei der Entsorgung aber als gewöhnliche Abfälle zu betrachten sind, ablehnen kann oder zur Annahme verpflichtet ist, wird es hier ein hohes Maß an subjektiver Entscheidungskompetenz und geringes Maß an Planbarkeit der Entsorgung geben.
- (2) In vielen Bundesländern besteht für besonders überwachungsbedürftige Abfälle eine generelle Andienungspflicht an Abfallgesellschaften (§ 13 Abs. 4 KrW-AbfG). Die Abfallgesellschaften weisen den Abfällen einen Entsorgungsweg zu. Dieser Verfahrensweg bringt insofern Probleme in die Vorbereitung von Entlassungsanträgen, als für den jeweiligen Antrag eine konkrete Deponie benannt werden muss und für diese Deponie eine verbindliche Bereitschaft zur Annahme vorliegen muss. Damit wird die Entscheidung der Abfallgesellschaften praktisch eingeschränkt. Andererseits zeigen erste Erfahrungen, dass Abfallgesellschaften die Bearbeitung von Zuweisungen für überwachungsbedürftige Rückstände ablehnen und zuvor eine Entlassung fordern.
- (3) In einem Bundesland wurden einige Deponien für die Annahme von freigegebenen Abfällen aus dem Rückbau eines Kernkraftwerkes reserviert und für diese Deponien eine Entlassung von Rückständen ausgeschlossen. Damit ist der Betreiber faktisch nicht in der Lage, Annahmeerklärungen für Rückstände abzugeben. Die Entsorgungskapazitäten des Landes reduzieren sich, da die betreffenden Deponien durch ihren hohen Sicherheitsstatus für ein breites Spektrum an Abfällen zugelassen sind.

Im Rahmen von konkreten Aufgaben zur Entsorgung von Materialien wurden Recherchen zur Annahmefähigkeit von Entsorgern ausgeführt. Den Recherchen lagen als Fälle zugrunde:

- Entsorgung von thoriumhaltigem Bodenaushub (Fall 1: Kleinmenge unter 10 t; Fall 2: > 1000 t),
- Entsorgung von radiumhaltigem Bodenaushub (> 100 t),
- Entsorgung von Filterstäuben der Metallurgie (Fall A: Mengen bis 200 t/a; Fall B: > 1000 t/a),
- Entsorgung von scalekontaminierten Anlageteilen.

Dazu wurden im Jahre 2002 verschiedene Entsorgungsunternehmen (Sonderabfall- und Siedlungsabfalldeponiestandorte, Betreibergesellschaften) hinsichtlich ihrer prinzipiellen Bereitschaft zur Annahme dieser überwachungsbedürftigen Rückstände abgefragt. Die Recherchen erfolgten in der Regel schriftlich und wurden z.T. durch ein persönliches Gespräch oder ergänzendes Telefonat unteretzt.

Dabei wurde die Zulässigkeit der beabsichtigten Entsorgung unter Verweis auf die StrlSchV besonders betont und die Einhaltung des Schutzziels für alle Beschäftigten zugesichert.

In Tabelle 9.4-1 sind die Ergebnisse der Abfragen als länderspezifische anonymisierte Zusammenfassung der Antworten dargestellt.

Tabelle 9.4-1: Rechercheergebnisse zur Annahmefähigkeit von Entsorgungsunternehmen gegenüber überwachungsbedürftigen Rückständen

Bundesland	Deponie	Annahmefähigkeit		Begründung / Bemerkung / Bedingung
		ja	Nein	
BB	Sonderabfall	x		
	Siedlungsabfall	x		Wegen Herkunft aus Entsorgungsgebiet bedingt zugestimmt
	Siedlungsabfall	x		Wegen Freihaltung für Entlassungen behördlicherseits ausgeschlossen ^(*)
	Industrie		X	Es werden keine fremden Abfälle entsorgt
	Industrie	x		Vertraglich gebunden an Rückstandserzeuger
BW	Sonderabfall		X	"politische" Gründe (Entsorgung aus anderem Bundesland angefragt)
BY	Sonderabfall	x		Annahme nur bei Abfällen ohne Bezeichnung "radioaktiv"
	Siedlungsabfall		X	Besorgnis um Arbeitssicherheit und Öffentlichkeitsakzeptanz generell keine Annahme radioaktiver Stoffe / keine Akzeptanz
MV	Sonderabfall		X	keine Annahme „radioaktiver Abfallstoffe“
NI	Sonderabfall	x		
	Siedlungsabfall		X	Entscheidung Firmenleitung
	Bauschutt		X	Entscheidung Geschäftsführung
	Bauschutt		X	„Kein Interesse“
NW	Sonderabfall		(X)	Entscheidung aus „politischen“ Gründen zurückgestellt
RP	Sonderabfall		X	gemäß Ministeriumsentscheid keine Annahme radioaktiver Abfallstoffe
SH	Sonderabfall		X	keine Angabe von Gründen
TH	Sonderabfall			keine Antwort
SN	Siedlungsabfall	x		generell möglich, jedoch im Einzelfall zu prüfen
	Sonderabfall	x		
ST	Siedlungsabfall	x		
	Sonderabfall		(X)	Entscheidung aus „politischen“ Gründen zurückgestellt

^(*)in 2003 aufgehoben

Die Rechercheergebnisse zeigen, dass unabhängig von der Art der Entsorgungsanlage (Sonderabfall-/Siedlungsabfalldeponie/sonstige Deponien) gegenüber der Deponierung von Rückstandsmaterialien häufig Vorbehalte bestehen, die in der Regel zu einer Ablehnung der Annahme führen. Als Gründe für einen ablehnenden Bescheid werden mehrheitlich angegeben:

- Grundsätzliche Ablehnung radioaktiver Stoffe als Deponiegut,
- Akzeptanzprobleme durch Öffentlichkeit,
- Besorgnis um Arbeitssicherheit.

Folgende Einzelaspekte sind hervorzuheben:

- (1) Der Anteil der Sonderabfalldeponien, die eine Annahme radioaktiver Stoffe generell ablehnen, ist mit etwa 50 % vergleichsweise hoch. Ursache für die Ablehnung ist offensichtlich die Besorgnis um die öffentliche Akzeptanz. Da diese Deponien grundsätzlich Gegenstand des öffentlichen Interesses sind, wird durch die Betreiber befürchtet, dass die Annahme radioaktiver Stoffe das Akzeptanzproblem erheblich verkompliziert. Dabei wird nicht zwischen den möglichen Herkunftsbereichen der radioaktiven Stoffe (Tätigkeiten ↔ Arbeiten) unterschieden.
- (2) Bei Rückständen, die aus abfallrechtlichen Kriterien nur überwachungsbedürftige Abfälle darstellen, ist eine Entsorgung auf einer Sonderabfalldeponie nicht ohne Weiteres zulässig. Eine Beseitigung auf diesem Weg ist nur dann zu rechtfertigen, wenn die für den Entstehungsort der Rückstände zuständige Entsorgungsanlage nicht zu einer Annahme des Rückstandsmaterials bereit ist. Es ist derzeit noch nicht einzuschätzen, inwieweit zuständige Entsorgungsanlagen zu einer Annahme verpflichtet sind bzw. verpflichtet werden können.
- (3) Die Annahme „radioaktiver Stoffe“ wird vielfach verweigert, da mit dem Begriff „Radioaktivität“ radioaktive Abfälle im Sinne des Teils 2 StrlSchV verbunden werden.
- (4) Vor allem bei kleineren Mengen oder Massenströmen, die einen geringen wirtschaftlichen Anreiz bieten, wird eine Annahme verweigert. Aus einzelnen Rechercheergebnissen ist abzuleiten, dass bei größeren Mengen das wirtschaftliche Interesse bestehende Vorbehalte ggf. so reduziert, dass einer Entsorgung in Einzelfällen zugestimmt werden kann.

Sofern die Rückstände aufgrund ihrer abfallwirtschaftlichen Kenndaten als besonders überwachungsbedürftige Abfälle im Sinne des KrW-/AbfG einzustufen sind, ist nach § 13 Abs. 4 KrW-/AbfG in einigen Ländern die Andienungspflicht vorgeschrieben. Die Notwendigkeit einer Andienungspflicht wirkt im Hinblick auf das Entlassungsverfahren verkomplizierend. Da der Antrag auf Entlassung der Rückstände aus der Überwachung der zuständigen Strahlenschutzbehörde nur unter Bezug auf einen konkreten Entsorgungsweg erfolgen kann, wird die Zuweisung durch die Andienungsgesellschaft von vornherein auf eine Vorauswahl des Antragstellers festgelegt. Die Zuweisungsfähigkeit der jeweiligen Entsorgungsanlage ist damit bereits im Vorfeld zu überprüfen. Ein Zirkelschluss ergibt sich, wenn die Andienungsgesellschaft vor einer Zuweisung die vorausgehende Entlassung fordert, das Entlassungsverfahren aber die abfallrechtliche Zulässigkeit des Entsorgungsprozesses, zu der auch die aktenkundliche Zuweisung durch die jeweilige Andienungsgesellschaft zu zählen ist, zur Bedingung macht. Die praktische Erfahrung zeigt, dass eine derartige Entsorgungsproblematik nur dann zu lösen ist, wenn die beteiligten Abfall- und Strahlenschutzbehörden ihre Bescheide vorbehaltlich einer Entlassung bzw. einer Zuweisung formulieren.

9.4.2.5 Limitierung der spezifischen Aktivität

Durch die Fassung des § 98 StrlSchV ist die spezifische Aktivität der zu entlassenden Materialien zunächst nicht beschränkt. Unter Bezug auf den vereinfachten Nachweis nach Anlage XII Teil C StrlSchV wurde durch die befragten Länderbehörden teilweise ein Limit für die Entlassung von Rückständen bei 50 Bq/g je Nuklidkette für besonders überwachungsbedürftige Abfälle gesehen. Es ist allerdings zu erwarten, dass diese Interpretation im Zuge der Harmonisierung der Entlassungsverfahren keinen Bestand haben wird.

Entscheidendes Kriterium für die Limitierung der spezifischen Aktivität bei der Beseitigung auf Deponien ist nach der bisher absehbaren Praxis die Zuordnung bzw. Nichtzuordnung von Materialien zu den Regelungen des Transportrechtes. Gefahrguttransporte der Klasse 7 ADR, die als solche äußerlich kenntlich sind, werden von den Deponiebetreibern aus Gründen der öffentlichen Akzeptanz skeptisch gesehen und häufig abgelehnt. Darüber hinaus sind Deponien bekannt, bei denen die Plangenehmigung/-feststellung die Annahme von Klasse 7 Transporten untersagt. Diese Deponien müssen daher (solange der Genehmigungsbescheid nicht geändert ist) derartige Materialien von der Annahme ausschließen.

Gemäß Definition der Klasse 7 in der novellierten Anlage A des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) sind „radioaktive Stoffe und Erze, die in der Natur vorkommende Radionuklide enthalten, wobei eine Bearbeitung für den Gebrauch dieser Radionuklide nicht beabsichtigt ist, vorausgesetzt, die Aktivitätskonzentration dieser Stoffe überschreitet nicht das Zehnfache der in Absatz 2.2.7.7.2 angegebenen Werte“ von den Regelungen der Klasse 7 freigestellt (Nr. 2.2.7.1.2 lit. e). Die entsprechenden Werte der Aktivitätskonzentration / spezifischen Aktivität⁴ für natürliche Radionuklide sind in Tabelle 9.4-2 aufgeführt. Aus diesen Werten ist zu entnehmen, dass insbesondere für Rückstände mit Uran- oder Thoriumkontaminationen (sowie Ra-Rückstände mit Ra-228 + Th-228) die Transporte schon bei relativ geringen spezifischen Aktivitäten als Gefahrguttransporte abzuwickeln sind.

Tabelle 9.4-2: Freistellungswerte natürlicher Radionuklide von Regelungen der Klasse 7 ADR

	a (Klasse 7) allgemein Bq/g	a (Klasse 7) natürlich Bq/g		a (Klasse 7) allgemein Bq/g	a (Klasse 7) natürlich Bq/g
Ac-227	0,1	1	Th-228	1	10
Pb-210	10	100	Th-230	1	10
Ra-226	10	100	Th-232	10	100
Ra-228	10	100	Th-nat	1	10
Po-210	10	100	U-nat	1	10

⁴ Durch die unterschiedliche Begriffsdefinitionen in der StrlSchV und den Anlagen zur ADR wird im Weiteren bei Bezug auf das Transportrecht ggf. diese Doppelbezeichnung benutzt.

Als wesentlich für die Einstufung von Materialien erweist sich die Interpretation des Teilsatzes „radioaktive Stoffe und Erze, die in der Natur vorkommende Radionuklide enthalten“. Bei Umfragen unter verschiedenen Länderbehörden im Jahre 2002 wurde der Begriff „natürliche Stoffe und Erze“ von einigen Behörden so interpretiert, dass technogen veränderte Nuklidvektoren generell nicht unter diesen Begriff fallen. Das bedeutet, dass z.B. Rückstände der Erdöl-Erdgasindustrie nicht als „natürliche Stoffe“ angesehen wurden. Inzwischen ist jedoch eine einheitliche Interpretation absehbar, da durch den Ausschuss für Transportsicherheitsstandards der IAEA (TRANSSC) im Jahr 2002 zu diesem Punkt eine präzisierende Definition erarbeitet wurde. Die Textfassung dieser der UN zugeleiteten Fassung lautet /102/:

„Natural material and ores containing naturally occurring radionuclides which are either in their natural state, or have only be processed for purposes other than for extraction of the radionuclides, and which are not intended to be processed for use of radionuclides provided the activity concentration of the material does not exceed 10 times the value specified in paras 401-406.“

Mit dieser Definition sind nur solche Materialien **keine natürlichen Stoffe** im Sinne der ADR, die zum Zweck des Herauslösens von Radionukliden verarbeitet wurden und für die ein Gebrauch dieser Radionuklide beabsichtigt war. Durch diese Präzisierung des Begriffs „natürlicher Stoff“ ergibt sich eine zweigeteilte Bewertung von Materialien. Niedrige Freistellungswerte von nur 1 Bq/g für Th-228, Th-230, Th-nat, U-nat sind demnach zu berücksichtigen bei:

- Abfällen aus der Verwendung von chemisch abgetrennten Uran- oder Thoriumverbindungen zu chemisch – analytischen oder chemisch – präparativen Zwecken,
- Bodenaushub / Bauschutt aus früheren Tätigkeiten oder Arbeiten unter Verwendung von chemisch abgetrennten Uran- oder Thoriumverbindungen zu chemisch – analytischen oder chemisch – präparativen Zwecken,
- Abfällen aus dem Zusetzen radioaktiver Stoffe zu Produkten, wenn die verwendeten Stoffe chemisch abgetrennte Radionuklide, z.B. Thorium darstellen (da deren Nutzung beabsichtigt war).

Bei natürlichen Stoffen mit Nuklidgemischen im Nichtgleichgewicht oder Anteilen der Uran- und Thoriumreihe, kann die Freistellungsgrenze beträchtlich unter den Freistellungsgrenzen der Einzelnuklide liegen, da in einem solchen Fall die Summenformel anzuwenden ist. Von Weiß /23/ wurde gezeigt, dass z.B. für Ablagerungen der Erdgasproduktion bei Berücksichtigung von Ra-226, Pb-210, Ra-228, Th-228 mit einer freigestellten Aktivitätskonzentration / spezifischen Aktivität von 15 bis 20 Bq/g bezogen auf das Referenznuclid Ra-226 zu rechnen ist. Damit könnte auch für diese Gruppe an Rückständen die Entsorgung wahrscheinlich in hohem Maße durch die Limitierung der Transportaktivitäten beeinflusst werden.

Insgesamt ergibt sich bisher der Sachverhalt, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die spezifische Aktivität bei der Entlassung zur Beseitigung auf die Freistellungswerte der ADR limitiert wird. Diese zu erwartende Limitierung der spezifischen Aktivität von Materialien bei der Entlassung führt dann zu einem grundsätzlichen Entsorgungsproblem, wenn eine Vermischung zum Zwecke der Transportkonditionierung untersagt wird. Die Durchführbarkeit einer solchen Vermischung wird im Abschnitt 9.4.2.7 genauer geprüft.

Die Spezialunternehmen zur Aufarbeitung und Rezyklierung von Materialien GMR und Siempelkamp akzeptieren auch Klasse 7 Transporte, so dass für diese Entsorgungswege in Bezug auf die Transporte keine Limitierung existiert. Von Siempelkamp wurde aber als Grenze der spezifischen Aktivität ein Wert von 500 Bq/g genannt /116/, /108/.

9.4.2.6 Nachweis „ohne besondere Maßnahmen“

Wesentliche Voraussetzung für eine Entlassung ist, dass die Strahlenschutzüberwachung zur Einhaltung des Dosisrichtwerts nicht weiter aufrechterhalten werden muss. Eine Entlassung aus der Überwachung kommt daher nach /13/ nicht in Betracht, wenn das Auftreten höherer Strahlenexpositionen nur durch Installation von Einrichtungen oder Geräten wie Wasserreinigungsanlagen, Filter oder messtechnische Apparaturen, die speziell aus Strahlenschutzgründen betrieben werden, vermieden werden kann.

Die Umfragen unter Länderbehörden erbrachten zu diesem Punkt folgende Hinweise:

- (1) Die Einlagerung radiumhaltiger Materialien in Untertagedeponien erfordert nach Einschätzung einer Bergbehörde eine dauerhafte Überwachung der untertägigen Arbeitsplätze. Diese Forderung wird unabhängig von einem rechnerischen Nachweis der radiologischen Unbedenklichkeit gesehen. Da diese Überwachung von Arbeitsplätzen allerdings „als besondere Maßnahme“ anzusehen ist, wurde die Einlagerung derartiger Materialien in eine Untertagedeponie im Salzgestein auf der Basis einer Entlassung als nicht möglich bezeichnet.

Sofern sich diese Auffassung durchsetzt, ist zumindest die untertägige Entsorgung in Kaligruben, bei denen bisher die Radonüberwachung nicht stattfand, eingeschränkt. Da aber andererseits nach Anlage XI StrlSchV für alle untertägigen Arbeitsplätze eine Radonüberwachung gefordert wird, könnte diese Überwachung in den Untertagedeponien „keine besondere Maßnahme“ darstellen. Damit entfällt dieses Argument und die Entlassung ist ungehindert möglich.

Eine belastbare Prognose über die zu erwartende Praxis in diesem Punkt ist derzeit verfrüht.

- (2) Von einer Strahlenschutzbehörde wurde eingeschätzt, dass zuwenig belastbare Kenntnisse über die Mobilisierung von natürlichen Radionukliden auf Hausmülldeponien oder auf Bau-schuttdeponien vorliegen. Es wird vermutet, dass es in den Klärschlämmen der Deponiesickerwasseraufbereitung zur Bildung von Materialien kommen kann, die dann ggf. eine dauerhafte Überwachung verlangen.

Da bisher keine umfassenden Untersuchungen über die Freisetzung von natürlichen Radionukliden mit dem Deponiesickerwasser vorliegen, ist die Beurteilung dieses Punktes im Detail offen. Eine Gefahr für die Rechtmäßigkeit der Entlassung wäre dann zu vermuten, wenn in der Sickerwasserfassung der Deponie die Anzeigewerte nach § 71 StrlSchV überschritten werden können. In Tabelle 5.4-2 sind die entsprechenden Werte für wichtige natürliche Radionuklide aufgeführt. Für die meisten Fassungsanlagen von Deponiesickerwasser sind die Abwassermengen kleiner als 10^5 m^3 im Jahresmittel, so dass die höheren Konzentrationen zur Anwendung kommen müssten.

Die Erfahrungen der Bearbeiter dieser Studie mit der Bewertung von Materialien unterschiedlicher Zusammensetzung geben allerdings keine konkreten Hinweise auf eine erhebliche Gefahr für die Entlassung durch die Mobilisierung von Radionukliden im Deponiesickerwasser. Dabei ist allerdings auch auf unterschiedliche Bewertungsansätze hinzuweisen. Werden für die Bewertung des Sickerwasserpfades Methoden wie der pH-stat Versuch /172/ benutzt, dann finden sich in der sauren Extraktionslösung Radionuklidkonzentrationen, die deutlich über den Hintergrundwerten liegen.

- (3) Uneinheitliche Auffassungen gibt es derzeit auch zum „Ort der Entlassung“. Die Auffassungen reichen hier vom Beginn des Abtransportes bis hin zum Einbau des Rückstands auf der Deponie. Diese unterschiedliche Auffassung steht in direktem Zusammenhang mit dem Kriterium „ohne besondere Maßnahmen“. Im Falle der Entlassung mit Verladung zum Abtransport sind alle weiteren Schritte nicht mehr durch die Strahlenschutzbehörde steuerbar, sondern sind ausschließlich auf der Basis einer guten fachlichen Praxis nach den Regeln des Abfall- bzw. Transportrechtes auszuführen. Das bedeutet, dass ein evtl. zur Minderung von Expositionen vorgesehener besonderer Einbau auf der Deponie, ein sofortiges Überschieben mit nicht radioaktiven Abfällen u.ä. weder angeordnet noch bei der Expositions Betrachtung angesetzt werden kann. Unklar ist in solchem Fall auch die Behandlung des Materials bei Unfällen der Transportfahrzeuge. Wird der Ort der Entlassung auf die Deponie gelegt, dann können entsprechende Steuerungen aus strahlenschutzfachlicher Sicht einfacher umgesetzt werden. Allerdings wird dieses Vorgehen z.T. von Entsorgungsunternehmen abgelehnt, da in solchem Fall radioaktiver Stoff im Sinne des AtG sich zumindest zeitweise auf der Entsorgungsanlage befindet und damit gegen den satzungsgemäßen Ausschluss solcher Stoffe verstoßen wird.

Insgesamt ist festzustellen, dass die tatsächliche Praxis in Bezug auf die hier diskutierten Punkte derzeit gutachterlich schwierig einzuschätzen ist. Konkrete Limitierungen bei der Beseitigung von überwachungsbedürftigen Rückständen und sonstigen Materialien sind daraus derzeit nicht abzuleiten. Als Konsequenz des hier diskutierten Punktes (2) wird allerdings empfohlen, die Frage der Vorbelastung des Deponiesickerwassers mit natürlichen Radionukliden genauer zu untersuchen. Nur bei Vorliegen einer hinreichenden Datenbasis können spätere Messergebnisse eingeordnet und sachgerecht beurteilt werden.

9.4.2.7 Transportkonditionierung von Rückständen

Nach den Ergebnissen dieser Studie ist die Annahmefähigkeit von Deponien in hohem Maße an eine Freistellung der Transporte von Gefahrguttransporten gebunden. Andererseits liegen die spezifischen Aktivitäten vieler Rückstandsmaterialien nach den Ergebnissen von Abschnitt 4 bzw. 6 erheblich über den Freistellungsgrenzen der ADR. Um die daraus resultierenden Probleme einer Abfallbeseitigung zu lösen, müssen die Rückstände oder Materialien ggf. soweit in ihrer spezifischen Aktivität reduziert werden, dass eine Annahme durch Deponien gewährleistet ist. Dieses Vorgehen wird von einigen befragten Behörden mit Verweis auf das Abfallmischungsverbot nach TA Abfall kritisch gesehen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt (eigene Erfahrungen HGN), dass große Mengen an überwachungsbedürftigen Rückständen nur entsorgt werden können, wenn eine Transportkonditionierung durchgeführt wird.

Die Zulässigkeit einer solchen Transportkonditionierung ergibt sich sowohl aus den Regelungen der StrlSchV als auch der TA Abfall.

Nach § 97 Abs. 2 StrlSchV dürfen anfallende Rückstände vor der beabsichtigten Verwertung oder Beseitigung nicht mit anderen Materialien vermischt werden, um die Überwachungsgrenzen einzuhalten. Damit wird in der StrlSchV die Vermischung von Rückständen zum Zweck des Umgehens einer Entlassung verboten. Das bedeutet andererseits, dass eine im Zuge eines Entlassungsverfahrens geplante und mit dem Entlassungsbescheid bestätigte bzw. akzeptierte Vermischung statthaft ist. Dabei lässt die StrlSchV offen, ob die Vermischung mit Rückständen gleicher Art aber unterschiedlicher Aktivität oder durch Hinzufügen anderer Materialien ausgeführt wird.

Auch nach Abfallrecht gilt das Vermischungsverbot nicht, wenn die Mischung „in Verbindung mit dem Entsorgungs-/Verwertungsnachweis entsprechend der Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung und im Auftrag und nach Maßgabe des Betreibers der vorgesehenen Abfallentsorgungsanlage oder des Verwerter“ erfolgt (TA-Abfall Nr. 4.2). Ziel des Vermischungsverbotes ist es auch hier, dass „die Abfallzusammensetzung und Schadstoffkonzentration nicht zum Zweck der Umgehung der in den Nrn. 4.3 und 4.4 vorgesehenen Zuordnung zu Entsorgungswegen und -anlagen beeinflusst wird“ (TA-Abfall Nr. 4.2).

Die TA-Abfall besagt allerdings auch, dass Abfälle vor einer Beseitigung soweit erforderlich so zu behandeln sind, dass „schädliche und gefährliche Inhaltsstoffe in den Abfällen durch thermische, chemisch/physikalische oder biologische Behandlung nach Nr. 8 soweit zerstört, umgewandelt, abgetrennt, konzentriert oder immobilisiert werden, dass sie, soweit nicht verwertbar, ohne Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit abgelagert werden können. Dabei ist eine Volumenreduzierung anzustreben.“ Von diesen Vorgaben wird bei einer Transportkonditionierung im günstigen Fall eine Immobilisierung erreicht werden können. Die anderen Forderungen scheiden aus Sachgründen aus (Zerstörung, Umwandlung, Abbau von Radionukliden) oder sind in dem hier diskutierten Kontext nicht zielführend (Abtrennung, Aufkonzentration).

Insgesamt ist festzustellen, dass eine Transportkonditionierung sowohl nach Strahlenschutzrecht als auch nach Abfallrecht prinzipiell ausführbar sein sollte. Ohne eine solche Vorgehensweise wird die Beseitigung von Rückständen und Materialien auf Deponien nach derzeitiger Einschätzung in hohem Maße

schwierig sein und es sind beträchtliche Mengen zu erwarten, die gemäß § 99 StrlSchV in der Überwachung bleiben müssen und für die ggf. die Entsorgung als radioaktiver Abfall durchzuführen ist.

9.4.2.8 Immobilisierungsverfahren

Sofern erforderlich können Rückstände und sonstige Materialien verpackt oder verfestigt werden, um die Exposition der Beschäftigten auf einer Entsorgungsanlage zu minimieren. Neben den in der Abfallwirtschaft üblichen Techniken (Verpacken in Big-Bags, Verfestigung mit Aschen oder Zement) hat sich die Immobilisierung mit Geopolymer speziell für die Entsorgung von Stoffen erhöhter natürlicher Radioaktivität bewährt.

Geopolymere sind nach ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften eine neue Klasse von anorganischen, alumosilikatischen Bindemitteln. Sie sind künstlich hergestellte Alkali-Erdalkali-Alumosilikate mit einer amorphen bis nanokristallinen Struktur. Ihre chemische Zusammensetzung entspricht der von gesteinsbildenden Mineralen wie Feldspat, Glimmer, Zeolith oder Ton.

Geopolymere wurden bisher sowohl für die Immobilisierung von Aufbereitungsrückständen der Wasserreinigung bei der WISMUT als auch zur Immobilisierung der Rückstände der Entquickung von Scale eingesetzt /84/. Durch diese Immobilisierung wird die Exposition faktisch auf die Direktstrahlung reduziert. Die Eigenschaften des Geopolymers gewährleisten eine im Vergleich zu anderen Baustoffen hohe Langzeitstabilität und geringe Eluierbarkeit /84/. Damit bietet dieses Verfahren eine sehr gute Möglichkeit, um die Entsorgungseigenschaften von NORM / TENORM zu verbessern. Es kann vor allem dann eingesetzt werden, wenn aus Gründen der Richtwertehaltung oder der Akzeptanzverbesserung eine Minimierung der Exposition erforderlich ist.

Die Kosten für eine derartige Immobilisierung sind mit ca. 1000 €/t zu veranschlagen.

9.4.3 Zu erwartende Entsorgungswege bei Entlassungen

9.4.3.1 Übersicht über Entsorgungswege

Durch die novellierte StrlSchV werden die bestehenden, im Abschnitt 9.2 beschriebenen Entsorgungswege für solche Materialien, die nach den hier genutzten Klassifikationen als NORM-Rückstände bezeichnet werden, vom Grundsatz her nicht untersagt, sondern nur in einen neuen rechtlichen Rahmen gestellt. Aus der bisherigen Praxis und den neuen strahlenschutzrechtlichen Rahmenbedingungen heraus sind für den Zuordnungsbereich 1 die in Tabelle 9.4-3 zusammengefassten Entsorgungswege als wichtigste Wege abzuleiten. Dabei ergibt sich die Notwendigkeit zur Änderung bestehender Entsorgungswege vor allem dann, wenn nach Information des Entsorgers über die Radioaktivität die Annahmefähigkeit widerrufen wird. Derartige Fälle sind den Bearbeitern dieser Studie bereits bekannt. Das Versagen der Annahme ist dann sogar zwingend, wenn die Entsorgungsanlage laut Plangenehmigung /-feststellung keine ADR Klasse 7 Transporte annehmen darf (s. Abschnitt 9.4.2.4).

Wesentliche Änderungen bestehender Entsorgungswege sind absehbar, wenn Formstücke (außer Kupferschieferschlacken) in die Überwachung nach § 97 StrlSchV aufgenommen werden. In solchem Fall könnten bestehende Verwertungswege für diese Materialgruppe beträchtlich betroffen sein. In der Folge ist eine Präferenz von Deponierung und Versatz als Entsorgungsweg zu erwarten.

Tabelle 9.4-3: Erwartete Hauptentsorgungswege von überwachungsbedürftigen Rückstände

Nr.(*)	Herkunftsbereich	Relevante Rückstände	Entsorgungswege
1	Erdöl, Erdgas	Scales	GMR, Deponierung, Tiefbohrungen
1		Schlämme	Deponierung, GMR, Tiefbohrungen
1		Reinigungsgemische	Deponierung, GMR, Tiefbohrungen
1		Anlagenteile mit Scales	Deponierung, Siempelkamp
2	Phosphorgipse (Aufbreitung)	(Kein regelmäßiges Aufkommen)	(unbekannt)
3a	Bauxit	Rotschlamm	Spülhalde (Betriebsdeponie), Deponie
3a	Columbit, Mikrolyth, Euxenit	Schlämme, Prozessrückstände (Gips, Schwerspat) Stäube	Deponierung (Betriebsdeponie) (unbekannt)
3a	Pyrochlor	Pyrochlorschlacken	Deponierung
3a	Kupferschiefer	Schlacke	Verwertung Straßen-Wege-Landschaftsbau; Wasserbau
3a	Zinnerz	Nur im Zusammenhang mit Ta-Metallurgie	s. Columbit, ...
3a	Seltene Erden	Keine Rückstände bekannt	
3	Uranerz	(Hier nicht betrachtet)	
3b	Granit	Granitstaub, Granitbruch	Bergbauliche Verwendung vor Ort
3b	Kaolin	Monazitsande	Bergbauliche Verwendung vor Ort

Tabelle 9.4-3 Fortsetzung

Nr.(*)	Herkunftsbereich	Relevante Rückstände	Entsorgungswege
4	Roheisenverhüttung	Sinterstäube Hochofenschlämme	Versatz, Betriebsdeponien
4	Primärverhüttung Nichteisenerze	Filterstäube/-Schlämme	Versatz, Deponierung
a)	Zweckgerichtetes Anfallen	Keine Fälle bekannt	entfällt
b)	alle vorgenannten Rückstände	Formstücke	Deponierung, Versatz
c)	Grundstücke mit Rückständen	Bodenaushub	Deponierung, (teilweise Verwertung im Straßen-Wege-Landschaftsbau)
c)	Gebäude, bauliche Anlagen mit Rückständen	Bauschutt , Schlämme	Deponierung Zuweisung an Dritte oder Landes-sammelstellen (**)

(*) nach Anlage XII Teil A StrlSchV ; (**) bei ehemaligen Tätigkeiten, besonders bei fortgeltender Genehmigung

Wesentlich stärkere Auswirkungen auf die Entsorgungswege sind bei Materialien zu erwarten, die nach § 102 StrlSchV in eine Überwachung gestellt werden. Da diese Materialien bisher allein aufgrund ihrer abfallrechtlichen Eigenschaften verwertet oder beseitigt werden, sind Verwertungswege bei einer erhöhten Radioaktivität besonders zu beachten (s. Anmerkungen zu Wasserwerksschlämmen in Abschnitt 9.2.3). Daraus kann sich die Notwendigkeit zur wesentlichen Änderung der bestehenden Praxis ergeben. In Tabelle 9.4-4 sind die Entsorgungswege zusammengestellt, die bei überwachten Materialien hauptsächlich zum Tragen kommen dürften.

Vor allem in Bereich der sonstigen überwachten Rückstände könnte das Kleinmengenproblem die Entsorgung behindern. Sofern nur kleine Mengen (wenige Tonnen) an überwachten Material vorliegen, können die Kosten eines Entlassungsverfahrens auch bei Nutzung der vereinfachten Nachweise nach Anlage XII Teil C StrlSchV den Entsorgungspreis erheblich verteuern.

Tabelle 9.4-4: Erwartete Hauptentsorgungswege von sonstigen überwachten Rückständen

Nr.	Herkunftsbereich	Material	Entsorgungswege
	Phosphatindustrie	Ablagerungen	Siempelkamp, Deponierung
	Steinkohlenbergbau	Schlämme der Grubenentwässerung	Entsorgung untertage; Deponierung
	Geothermie	Anlagenteile	Siempelkamp; Deponierung
	Wasserwirtschaft , Kurbetriebe	Schlämme Anlagenteile	Deponierung, Versatz Deponierung, Siempelkamp
	Bodenluft-/Grundwassersanierung	Filtermaterial	Deponierung
	Flusssedimente	Baggergut	Deponierung
	Papier- / Zellstoffindustrie	Anlagenteile	Siempelkamp, Deponierung
	Klimaanlagen	Filter	Deponierung
	Feuerfestindustrie	Mineralsande	Deponierung, Versatz

9.4.3.2 Beseitigung auf Deponien nach Entlassung / Genehmigung

Der Entsorgungsweg „Beseitigung auf Deponien nach Entlassung / Genehmigung“ wird nach Einschätzung der Bearbeiter als Hauptentsorgungsweg die größte Menge an überwachten Materialien aufnehmen. Das dazu notwendige Verfahren der Entlassung oder anderweitigen Zulassung der Entsorgung wird sich – trotz anfänglicher Akzeptanzprobleme in der Abfallwirtschaft – einspielen. Die Wahl der Deponien wird dabei in erster Linie durch die abfallrechtliche Zulässigkeit und den Preis bestimmt. Eine generelle Entsorgung von NORM/TENORM auf hochwertige Deponien (insbesondere SAD) ist nicht zu erwarten. Allerdings sind besonders in der Anfangsphase der Umsetzung durch die ablehnende Haltung von Entsorgern verstärkt Beseitigungen auf SAD anzunehmen.

Die in der StrlSchV nicht präferierte Verwertung von Materialien auf Deponien könnte in der Praxis eine größere Rolle spielen, da sie (bei abfallrechtlicher Eignung) eine freie Auswahl des Entsorgungsweges gestattet. Durch die damit erreichbaren Preisvorteile können die Nachteile des teureren Nachweises der radiologischen Unbedenklichkeit nach Anlage XII Teil D kompensiert werden.

Bei der längerfristigen Bewertung des Entsorgungsweges Deponierung sind folgende perspektivische Entwicklungen zu beachten:

- Durch die Ablagerungsverordnung (Abf-01) und die Deponieverordnung (DepV) kommt es ab 2005 zu einer Reduzierung der Abfallmengen (durch thermische Vorbehandlung von Siedlungsabfall) und einer Dominanz der Beseitigung mineralischer Abfälle. Dadurch können die vereinfachten Nachweise zur Entlassung nach Anlage XII Teil C an Bedeutung einbüßen und der Aufwand der Entlassungsverfahren steigt an.
- Sofern bei bestimmten Deponien (vor allem SAD) eine Eingangskontrolle der Radioaktivität installiert oder anderweitig praktiziert wird, können nicht überwachte Materialien als Funde festgestellt werden. Aufgrund der dabei anzuwendenden Freigrenzen nach Anlage III Tabelle 1 StrlSchV müssten die Materialien anschließend entlassen oder anderweitig zur Entsorgung zugelassen werden. In jedem Fall ist aber davon auszugehen, dass in solchen Fällen die Aktivität bzw. Exposition der Beschäftigten zu erfassen und mit zu bilanzieren ist.

Die auf diesem Weg **nicht** zu entsorgenden Materialien haben großen Einfluss auf die Menge an möglicherweise anfallenden radioaktiven Abfällen. Dabei können sich nach bisheriger Einschätzung die Fragen der Limitierung von spezifischen Aktivitäten durch das Gefahrgutrecht und die Handhabung der Transportkonditionierung entscheidend für das Mengenaufkommen (s. Abschnitt 9.4.2) auswirken.

Bei Materialien, für die aus radiologischen, toxischen oder sonstigen abfallrechtlichen Gründen eine Entsorgung auf Deponien nicht möglich ist, können durch Verpackung, Konditionierung oder Immobilisierung die Voraussetzungen für eine konventionelle Deponierung beträchtlich verschoben werden. Dabei stehen sowohl die in der Abfallentsorgung üblichen Verfahren (Big-Bags, Verfestigung mit Aschen, etc.) als auch Spezialverfahren für NORM/TENORM /109/ zur Verfügung. Damit kann bei

Bedarf die abfallrechtliche Zulässigkeit und damit die Voraussetzung einer Entlassung in vielen Fällen hergestellt werden.

9.4.3.3 Stoffliche Verwertung (Baustoff, Versatzmaterial)

Die Verwertung als Baustoff wird vor allem für Materialien mit spezifischen Aktivitäten unter den Überwachungsgrenzen bedeutsam sein. Für die Beseitigung von überwachungsbedürftigen Rückständen und überwachten Materialien wird dieser Weg nur eine untergeordnete Rolle spielen, da durch die StrlSchV die direkte Beseitigung präferiert wird. Allerdings ist auf die Verwertung von Materialien als Deponiebaustoff hinzuweisen. In diesem Bereich könnten größere Mengen (z.B. Filterstäube) entsorgt werden.

Die Verwertung von Rückständen als bergbauliche Abfälle im Rahmen der zugelassenen Betriebspläne wird auch weiterhin ein wichtiger Weg zur Entsorgung gering aktiver Materialien in Bergbaubetrieben sein. Durch Sonderbetriebspläne geregelte Entsorgungswege für radiumhaltige Materialien des Steinkohlenbergbaus bleiben unberührt, da diese Materialien keine Rückstände im Sinne der StrlSchV sind.

Inwieweit die Nutzung von Rückstandsmaterial als Versatzmaterial zur Verfüllung von Tiefbohrungen in Zukunft eine Rolle spielen wird, ist derzeit nicht genau absehbar. In Anbetracht anderer möglicher Entsorgungswege für Rückstände der Erdöl-Erdgasproduktion ist eine Abnahme dieses Entsorgungsweges anzunehmen. Der Weg könnte allerdings an Bedeutung gewinnen, wenn die Beseitigung höheraktiver Rückstände durch die Limitierungen des Transportrechtes deutlich eingeschränkt ist.

Die Verwertung bergbaufremder Materialien als Bergversatz wird durch die novellierte Versatzverordnung (VersatzV) wahrscheinlich eingeschränkt. Entsorgungsprobleme für Rückstände (insbesondere Filterstäube) sind daraus nicht zu erwarten, da für die zum Versatz geeigneten Stoffe auch andere konventionelle Beseitigungswege möglich sind.

Generell ist festzustellen, dass die stoffliche Verwertung von NORM-Rückständen einen weiterhin wichtigen Entsorgungsweg darstellen wird. Soweit aufgrund der radiologischen Eigenschaften des Materials einzelne bisher betriebene Verwertungswege entfallen, resultiert daraus kein prinzipielles Entsorgungsproblem, da genügend Beseitigungswege existieren. Allerdings können sich die Preise für die Entsorgung ggf. deutlich ändern, so dass die Wirtschaftlichkeit einzelner Produktionsprozesse gefährdet sein kann. Inwieweit auch aus diesen Gründen Anzeigen der Verpflichteten nach § 99 StrlSchV erfolgen, ist derzeit nicht absehbar.

9.4.3.4 Stoffliche Verwertung durch Rezyklierung⁵

Das Rezyklieren von speziellen NORM-Rückständen (und anderen Materialien) hat sich von Anfang an als Entsorgungsweg etabliert, mit dem das Anfallen radioaktiver Abfälle vermieden oder minimiert werden sollte. Dieser Aufgabe wurde durch die novellierte StrlSchV eine wichtige Grundlage entzogen, da jetzt eine Vielzahl von Entsorgungswegen strahlenschutzrechtlich offen steht. Die weitere Entwicklung dieses Entsorgungsbereiches wird allerdings wesentlich davon abhängen, inwieweit der Grundsatz Verwertung vor Beseitigung in der Praxis der Rückstandsentsorgung umgesetzt wird. Derzeit sind Tendenzen erkennbar, die auf eine verstärkte direkte Beseitigung insbesondere von Schrott hinzielen. In Anbetracht der kostenseitigen Vorteile dieses Weges ist zumindest im Bereich des Schrottrecyclings eine Verschiebung zu alternativen Beseitigungswegen möglich.

Nach Auskunft der Fa. Siempelkamp ist derzeit bei den potenziellen Kunden Interesse an einer Entsorgung durch ein Einschmelzen der Metalle vorhanden, jedoch sei in der Übergangsphase von alter zu neuer StrlSchV derzeit eine eher abwartende Haltung zu beobachten. Es werden auch andere denkbare Entsorgungsoptionen wie Bohrlochverfüllung, Untertagedeponie oder Bergversatz oder die Dekontamination der Metalle mit anschließender Entsorgung des Sekundärabfalls Scale in Erwägung gezogen. Entscheidend wird letztendlich die Vorgehensweise der zuständigen Behörden sein, die die angebotenen Entsorgungswege beim Verursacher, Konditionierer und Entsorger zu bewerten und zu genehmigen haben /116/.

Die Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Rückständen der Erdgasgewinnung wird auch in Zukunft als wichtiger Entsorgungsweg erwartet. Durch die nur begrenzten Möglichkeiten zur Beseitigung von stark quecksilberhaltigen Abfällen (nur UTD) wird diese Verwertung hohe Bedeutung behalten.

Generell ist einzuschätzen, dass die Rezyklierung wesentlich dazu beiträgt, Materialien zu entsorgen, für die ansonsten keine oder nur stark eingeschränkte Entsorgungswege bestehen und die von daher nach § 99 StrlSchV zu melden wären.

9.4.3.5 Energetische Verwertung

Die Verbrennung von energetisch verwertbaren NORM-Rückständen ist prinzipiell auch im Zusammenhang mit Entlassungen nach § 98 StrlSchV durchführbar. Die Bedeutung dieses Weges für die Entsorgung von NORM/TENORM wird als gering eingeschätzt.

⁵ Grundsätzlich ist für die Entsorgung auf Anlagen mit entsprechenden Genehmigungen zum Umgang mit Radioaktivität keine Entlassung erforderlich.

9.4.3.6 Abgabe an Fachfirmen oder Landessammelstellen

Die Recherchen zu den zu erwartenden Entsorgungswege für NORM-Rückstände erbrachten nur für die Bereiche

- Bodenaushub, Bauschutt aus Altlasten bzw. Altobjekten mit früherem genehmigten Umgang sowie
- Rückstände der Erdöl-Erdgasgewinnung mit spezifischen Aktivitäten über 50 Bq/g

eine konkrete Absicht, Teilmengen als radioaktive NORM-Abfälle zu entsorgen /45/, /101/, /111/.

In Fällen, die dem erstgenannten Bereich zuzuordnen sind, wird offensichtlich durch Bezug auf alte Genehmigungstatbestände und zur Sicherung der strahlenschutzrechtlichen Kontrolle, dieses Vorgehen gewählt. Dabei werden sowohl die Möglichkeiten des § 118 Abs. 5 StrlSchV, die auch bei Hinterlassenschaften aus Tätigkeiten eine Entsorgung nach den Rückstandsregelungen zulassen, als auch die des § 102 StrlSchV bezüglich der Schutzmaßnahmen offensichtlich nicht ausgeschöpft.

Der zweite hier genannte Bereich resultiert aus einer offensichtlichen Fehlinterpretation der StrlSchV in der Technischen Regel des WEG aus den Jahre 2001 /111/. Dort wird im Kapitel 7.4 eine Abgabe an Landessammelstellen oder eine Verwendung als Zuschlag beim Verfüllen von Bohrungen vorgesehen, wenn die spezifische Aktivität berechnet nach Anlage XII Teil B StrlSchV über 50 Bq/g liegt. Obwohl nicht zu erwarten steht, dass in der Praxis diese durch die Industrie selbst vorgegebene Regel konsequent umgesetzt wird (zumindest nicht bezüglich Abgabe an Landessammelstellen) ist sie als Variante in Bezug auf ihre Auswirkungen auf das deutsche Entsorgungskonzept hin zu beachten.

Daneben zeigen einige Meinungsäußerungen kontaktierter Behörden (exemplarisch Rechercheantwort NRW, Anlage 1) dass bei auffällig hohen spezifischen Aktivitäten von NORM/TENORM eine Sicherstellung und Beseitigung als radioaktiver Abfall erwogen wird. Derartige Entscheidungen sind nach unserer Einschätzung eher in der Übergangsphase zu etablierten Praktiken des neuen strahlenschutzrechtlichen Verwaltungshandelns zu erwarten. Ein grundsätzliches Problem wird darin nicht gesehen.

9.4.4 Anordnung von Entsorgungswegen

Die §§ 99, 102 StrlSchV sehen vor, dass die zuständige Behörde die Art und Weise anordnen kann, in der überwachte Materialien zu beseitigen sind. Generelle Voraussetzung für eine solche Anordnung ist das Vorhandensein eines realisierbaren und rechtlich zulässigen Beseitigungsweges, d.h. die Anordnung kann nur auf bestehende Anlagen / Einrichtungen bezogen sein und darf deren Rechte nicht berühren. Die Anordnungen können allerdings nach Auffassung der Bearbeiter Zwischenbehandlungen einschließen (z.B. Entquicken oder Immobilisieren), wenn im Ergebnis die Beseitigung des radioaktiven Materials steht.

Stoffe, für die kein Entsorgungsweg gefunden werden kann und über die daher nach § 99 StrlSchV entschieden wird, müssen nach Auffassung der Bearbeiter

- an Fachfirmen für die Behandlung, ggf. endlagergerechte Konditionierung und die zeitweilige Aufbewahrung,
- direkt an eine Landessammelstelle,
- oder an einen zugelassenen Dritten abgegeben werden. Durch den Dritten kann eine Verwertung oder Verarbeitung des Materials unter strahlenschutzrechtlicher Genehmigung ausgeführt werden. Dazu gehört auch die Rezyklierung von Metallen oder die Entquicklung.

Nur durch derartige Anordnungen kann daher ein Aufkommen an NORM-Rückständen entstehen, das als radioaktiver NORM-Abfall zu beseitigen ist.

9.5 Zu erwartende Praxis der Entsorgung von anderen Materialien

9.5.1 Materialien aus anzeigebedürftigen Arbeiten (Zuordnungsbereich 3)

Die aus der bisherigen Praxis unter Beachtung aktueller gesetzlicher Bedingungen zu erwartenden Entsorgungswege für Materialien aus dem Zuordnungsbereich 3 sind in Tabelle 9.5-1 zusammengestellt. Über die Aufteilung der Mengen auf die einzelnen Entsorgungswege sind derzeit keine detaillierten Aussagen möglich.

Tabelle 9.5-1: Erwartete Entsorgungswege für Materialien des Zuordnungsbereiches 3

Arbeitsfeld	Beseitigung als Abfall	Wiederverwendung, Rezyklierung	Abgabe an Fachfirmen od. Landessammelstellen
WIG-Schweißen	Elektrodenreste, Schleifstäube; Luftfilter mit Gewerbeabfall	Sammeln, Rückgabe an Hersteller	
Handhabung thoriertes Gasglühstrümpfe	Kommunale Einrichtungen: Entsorgung mit Gewerbeabfall		Bahn, Wasser und Schifffahrtverwaltung des Bundes Evtl. Restposten aus Lagern
Präparative und analytisch-chemische Arbeiten mit U, Th	Verbrauchte / verdünnte Reste		Unverbrauchte Chemikalienreste; Teilweise auch verbrauchte Reste wg. Kleinmengen
Arbeiten mit thorierten Legierungen		Rückgabe an Hersteller	
Arbeiten mit uran-/thoriumhaltigen Produkten	Verbrauchte Lampen als Mischabfall (*)	Großlampen: Rückgabe Laseroptiken: Rückgabe an Vertreiber möglich /86/	

(*) Lampenrecycling möglich.

Da für Materialien, die bei anzeigebedürftigen Arbeiten anfallen, eine grundsätzliche Überwachung in der StrlSchV nicht vorgesehen ist, können Abfälle aus der Verwendung von thorierten Schweißelektroden, thorierten Gasglühkörpern oder U-/Th-Chemikalien als konventionelle Abfälle entsorgt werden. In der Begründung zur StrlSchV /13/ wird dargelegt, dass mit Expositionen von mehr als 1 mSv/a bei

der Entsorgung von Abfällen aus Arbeitsplätzen nicht zu rechnen ist, wenn z.B. thorierte Schweißelektroden oder thorierte Gasglühkörper wie konventioneller Abfall entsorgt werden.

Anordnungen nach § 96 Abs. 4 wie Abfälle zu entsorgen sind, können durch die Behörde nur getroffen werden, wenn an den konkreten Arbeitsplätzen eine effektive Dosis von 6 mSv/a überschritten werden kann. Auch in solchem Fall ist eine Beseitigung als konventioneller Abfall möglich, da sich diese Anordnung an den Regelungen des Teils 3 der StrlSchV und damit am 1-mSv-Richtwert orientieren wird.

Unabhängig von diesen Regelungen der StrlSchV ist aufgrund der GewAbfV jedoch die Entsorgung mit dem Mischabfall prinzipiell nicht mehr zulässig. Vor diesem Hintergrund ist die Sammlung und Rückgabe an den Hersteller ein zu erwartender neuer Entsorgungsweg für Anwender.

Es ist auch zu erwarten, dass ähnlich wie in der bisherigen Praxis, vor allem die Entsorgung von Chemikalienresten (U-, Th-Verbindungen in chemisch reiner Form) nicht als konventioneller Abfall erfolgen kann. Eine Vermischung von Restbeständen oder anderweitig unbrauchbaren Resten mit dem Gewerbeabfall widerspricht der Gewerbeabfallverordnung (s. Abschnitt 8.2.1). Eine Entlassung oder Freigabe zur Beseitigung als konventioneller Abfall steht faktisch im direkten Widerspruch zum Verwertungsgebot. Daher ist zumindest eine Abgabe von Chemikalienresten an Landessammelstellen auch zukünftig als Entsorgungsweg anzunehmen.

9.5.2 Abfälle aus dem Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten (Zuordnungsbereich 4)

Bei der Herstellung von Produkten, denen natürlich radioaktive Stoffe zugesetzt werden, fallen auch zu entsorgende Stoffe an. Für die Entsorgung dieser Stoffe nach den Regelungen der neuen StrlSchV ist die rechtliche Zuordnung entscheidend. Dabei ist folgendes zu beachten.

- (1) Bei der Herstellung von Produkten, wie thorierten Schweißelektroden oder Gasglühstrümpfen, kommt es zum „Zusatz radioaktiver Stoffe“ gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 38 StrlSchV, da es unter Bezug auf § 3 Abs. 2 Nr. 38b StrlSchV zu einer Überschreitung von einem Fünftel der Freigrenze der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV kommt. Diese Feststellung gilt unabhängig davon, ob der Zusatz aufgrund der Radioaktivität oder aufgrund anderer Eigenschaften erfolgt. Der „Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern“ stellt gemäß § 2 Abs. 1 eine Tätigkeit dar.
- (2) Der Umgang als eine Form der Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1a bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen bezieht sich stets auf die Nutzung der Radioaktivität (oder eines Kernbrennstoffs). Der Zusatz nach § 2 Abs. 1 Nr. 1e ist in der StrlSchV von Umgang deutlich getrennt. Da nur der Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen einer Genehmigung nach § 7 Abs. 1 StrlSchV bedarf, sind Handlungen mit Thorium zum Zwecke der Herstellung thoriertes Konsumgüter Tätigkeiten, die nicht genehmigungspflichtig sind, da der Einsatz von Thorium nicht aufgrund von dessen Radioaktivität erfolgt.

Wird ausschließlich die Argumentation (1) herangezogen, sind alle Abfälle aus dem Vorgang des Zusatzes zwingend radioaktive Stoffe, die nach den Vorschriften des Teils 2 StrlSchV bewertet und behandelt werden müssen. Da eine Freigabe nach § 29 StrlSchV für die meisten Abfälle nicht in Frage

kommt, da die Freigrenzen überschritten sind, verbleiben nur Entsorgungswege in einem genehmigten Umgang. Sofern eine vollständige Wiederaufarbeitung / Recycling nicht möglich ist, müssen die verbleibenden Reststoffe als radioaktive Abfälle entsorgt werden.

Argumentation (2) eröffnet aber Möglichkeiten, den Zusatz ohne Umgangsgenehmigung nach § 7 StrlSchV durchzuführen. In solchem Fall, für den ggf. über § 96 Abs. 5 eine behördliche Überwachung angeordnet werden kann, sind konventionelle Entsorgungswege

- nach Entlassung (nach Aufnahme in die Überwachung gemäß § 102 StrlSchV),
- entsprechenden Verfahren, welche die Eigenschaft als „radioaktiver Stoff“ i.S. d. AtG. aufhebt bzw. Regelungen zur Entsorgung der Materialien vorgibt (§ 96 (4) StrlSchV), oder
- z.B. im Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren

offen. Da die neue behördliche Praxis in den hier zu betrachtenden Feldern nicht vollständig geklärt werden konnte, sind definitive Aussagen zu den Entsorgungswegen im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Aus der Analyse der technischen Prozesse und der derzeit erkennbaren Absichten von Unternehmen und Behörden werden die in Tabelle 9.5-2 zusammengestellten Entsorgungswege eingeschätzt.

Tabelle 9.5-2: Erwartete Entsorgungswege für Materialien des Zuordnungsbereiches 4

	Beseitigung als Abfall (*)	Wiederverwendung, Rezyklierung	Abgabe an Fachfirmen oder Landessammelstellen
Herstellen thorierten Schweißelektroden	(Bauschutt aus Rück- und Umbau)	Erwartete Vorzugsoption	Nicht aufarbeitbare Reststoffe
Herstellen von Gasglühkörpern /-strümpfen	(Bauschutt aus Rück- und Umbau)		Produktionsreste (**)
Herstellen von Lampen mit thorierten Elektroden		Erwartete Vorzugsoption	Nicht aufarbeitbare Reststoffe
Verwenden von Uran bei der Herstellung von Produkten	Evtl. möglich		Wegen Kleinmengen keine wirtschaftliche Alternative
Vertrieb thoriertes Optiken	Evtl. möglicher Weg	Rückführung an Hersteller (im Ausland)	Kaum zu erwarten

(*) Nach Entlassung bzw. Genehmigung; (**) wegen Einstellung der Produktion nur noch kurzfristig zu erwarten.

Auch bei Entfallen der Umgangsgenehmigung nach § 7 StrlSchV kommen die hier betrachteten Materialien für eine konventionelle Beseitigung nur bedingt in Frage, da aufgrund des hohen Wertstoffgehaltes (z.B. Wolfram) eine Beseitigung auf Deponien den Grundsätzen des Krw-/AbfG zuwider läuft. Durch die zumeist hohe spezifische Aktivität im Rahmen der NORM/TENORM Rückstände sowie der Frage der Gefahrguttransporte (s. Abschnitt 9.4.2.5) ist eine Beseitigung als Abfall auf konventionellen

Deponien problematisch. Daher besteht zumindest für den massenseitig größten Teil der thorierten Elektroden die Notwendigkeit der Aufarbeitung und Rezyklierung. Neue Recyclingverfahren sind daher für die Verarbeitung von thorierten Wolframdrähten zu erwarten. Diese Verfahren werden besonders dann wirtschaftlich interessant, wenn ihr Betrieb unter den Regelungen des Teils 3 StrlSchV möglich ist.

Aufgrund des hohen Wertstoffgehaltes (Wolfram) in thorierten Elektroden und der hohen Preise für Qualitätsoptiken ist ein Export zur Aufarbeitung in das Ausland als Wirtschaftsgut nicht auszuschließen, wenn effektive Möglichkeiten zur Aufarbeitung und Entsorgung der Produkte in Deutschland nicht gegeben sind.

Für Kleinmengen und nicht aufarbeitbare Reste ist ein Bedarf an geordneter Beseitigung als radioaktiver Abfall absehbar.

9.5.3 Funde (Zuordnungsbereich 5)

Bei Funden ist zu erwarten, dass zukünftig eine Unterscheidung dahingehend erfolgt, ob die gefundenen Stoffe nach aktuellem Recht dem Teil 2 oder Teil 3 StrlSchV zuzuordnen sind. Die dem Teil 3 zugeordneten Funde können danach wahrscheinlich als Rückstände oder sonstige überwachte Materialien entsorgt werden.

Eine detaillierte Auswertung der Dokumentationen /78/, /79/, /80/ zeigt allerdings, dass vereinzelt auch Funde auftreten können, die zwar als Materialien zu klassifizieren sind (z.B. reine Seltene-Erden-Mineralen oder Mineralkonzentrate), für die aber aufgrund ihrer sehr hohen spezifischen Aktivität von über 1.000 Bq/g eine Entsorgung auf Deponien nicht sachgerecht ist. Für derartige Stoffe muss mit einer Zuweisung der Behörde zur Sicherstellung in der Landessammelstelle gerechnet werden.

Eine Zuordnung des Fundes zum Teil 2 StrlSchV schließt eine Beseitigung als konventioneller Abfall definitiv aus, da in solchem Fall die Freigrenzen überschritten sein müssen und eine Freigabe nach § 29 StrlSchV damit nicht mehr zulässig ist.

Insbesondere bei Funden könnte die Kleinmengenproblematik die Entsorgung behindern.

9.6 Abschätzung der mit der Entsorgung von NORM-Rückständen verbundenen Kosten

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, ist der Regelweg für die Entsorgung von überwachtungsbedürftigen NORM-Rückständen die Beseitigung auf Deponien. Für das Mengengerüst nach Abschnitt 6.5 sollen im Folgenden orientierende Kostenschätzungen für diesen Entsorgungsweg vorgenommen werden. Dabei ist es derzeit nicht möglich, für die einzelnen NORM-Rückstände differenzierte Kosten anzugeben, da viele Entsorgungswege (vor allem in den alten Bundesländern) erst noch den neuen Regelungen der StrlSchV angepasst werden müssen.

Die Kostenschätzung basiert dabei auf einem einfachen Modellansatz, bei dem:

- Rückstände mit spezifischen Aktivitäten unter der allgemeinen Überwachungsgrenze (1 Bq/g) generell ausgeklammert werden (obwohl sie im Einzelfall durchaus überwachungsbedürftig sein können).
- Mengen mit spezifischen Aktivitäten über 100 Bq/g nicht einbezogen, da für diese Mengen eine Entlassung grundsätzlich problematisch ist (s. Abschnitt 9.4.2.5).
- Eine Zuweisung wahrscheinlicher Entsorgungswege für die NORM-Rückstände nach Tabelle 6.5-2 erfolgt. Dabei werden unterschieden: Deponien (D), Sonderabfalldeponien (SAD), Untertägiger Versatz (V) und Rückführung in Abbaubetrieben (R).
- Die Zuweisung dieser Wege erfolgt differenziert nach Aktivitätsklassen, wobei die Abfalleigenschaften und die bereits bestehende Entsorgungspraxis in die gutachterliche Bewertung eingehen. Unter Bezug auf Anlage XII Teil C StrlSchV wurde die Aktivität von 10 Bq/g zur Differenzierung des Entsorgungsweges Deponie – SAD genutzt. Für bestimmte Materialien, deren Entsorgungswege bekannt sind (z.B. Rückstände des Quecksilberrecycling) wurden die bekannten Wege eingesetzt.
- Sonderwege für Materialien, die aufgrund nicht-radioaktiver Kontaminationen anderweitig behandelt werden müssen (vor allem quecksilberhaltige Rückstände der Erdöl-/Erdgasgewinnung) werden ausgeklammert.

Für die Entsorgungswege werden unter Bezug auf Abschnitt 9.3 Kostensätze nach Tabelle 9.6-1 veranschlagt. Für die Rückführung bzw. den Wiedereinbau von mineralischen Resten bei Gewinnungsbetrieben wurden keine Kosten berücksichtigt.

Tabelle 9.6-1

Kürzel	Entsorgungsweg	Unter 1000 t/a	Über 1000 t/a
D	Deponie (DK 0, I, II)	20 €	10 €
SAD	Sonderabfalldeponie (DK III, IV)	200 €	100 €
V	Versatz	100 €	50 €

Die so abgeschätzten Kosten sind in Tabelle 9.6-2 aufgeführt. Sie stellen **keine** Zusatzkosten aufgrund der Radioaktivität der Materialien dar, sondern beschreiben zunächst die abfallwirtschaftlichen Entsorgungskosten. Als Mehrkosten können die Kosten für eine Entsorgung auf Sonderabfalldeponien gelten, da bei vielen der hier betrachteten Stoffe eine derartige Entsorgung nicht zwingend ist.

Tabelle 9.6-2 Abschätzung von Entsorgungskosten für NORM-Rückstände

Aktivitätsklasse in Bq/g →	Ref.-Nuklid	Masse in Tonnen / Jahr			Kosten in €/a		
		1 - 10	10 - 50	50 - 100	V	D	SAD
Zuordnungsbereich 1							
Scales der Erdöl-/Erdgas-Industrie	Ra-226	D	S	S	60		
Anlagenteilen mit Scales der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	D	S	S	2.600		
Schlämme der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	D	S	S	1.000		
Reinigungsgemische mit Sandstrahlgut der Erdöl-/Erdgasindustrie	Ra-226	D	S		960		
Rückstände der Aufbereitung von Phosphorgipsen	Ra-226	D			600		
Rotschlamm der Bauxitverarbeitung	Ra-226	D			100.000		
Rückständen der Ta-Produktion	U+Th	D	SAD		194.000		20.000
Pyrochlorschlacken	U+Th	D	SAD		200		18.000
Rückstände der Aufbereitung von Seltenen-Erden-Mineralen	k.A.						
Stäube aus dem Granitabbau	U-238sec	R					
Monazitsande des Kaolinabbaus	Th-232	R					
Sinterstäuben der Roheisenmetallurgie	Pb-210	V	V	V		48.500	
Hochfenschlämmen der Roheisenmetallurgie	Pb-210 (**)	D	D	D	600.000		
Stäube der NE-Primärmetallurgie	Pb-210 (**)	D (V)	D (V)	SAD	9.480	47.400	200
Formstücke auf Bauxitbasis	Ra-226	D			20.000		
Formstücke auf Zirkonbasis	U-238sec	D	SAD		55.000		100.000
Materialien der Sanierung von Hinterlassenschaften	Th-232, Ra-226	D	SAD		1.200		5.000
Bodenaushub, Bauschutt vom Standort Oranienburg	Th-232	D	D	SAD	27.000		
Zuordnungsbereich 2							
Wasserwerksschlämme	Ra-226	D	SAD		30.000		20.000
Materialien aus Heil- und Mineralwassernutzungen	Ra-226	D	SAD	SAD	1.800		2.000
Baggergut aus Flusssedimente	Ra-226	D	0		8.000		
Materialien mit Mineralsanden		D	SAD		15.800		6.000
Schlacke GERTA	Ra-226		SAD				2.200
Filterstaub GERTA	Pb-210		SAD	SAD			2.400
Materialien der Quecksilberzyklisierung	Ra-226	SAD	SAD	SAD			24.600

In der Summe ergeben sich damit pro Jahr:

- 1,07Mio. € für Entsorgungen auf Deponien,
- ca. 0,1 Mio. € für Entsorgungen als Versatz,
- ca. 0,2 Mio. € für Entsorgungen auf SAD.

In diesen Kosten enthalten sind auch Teilmengen, die evtl. nicht entlassen werden und damit gesondert betrachtet werden müssen. Diese Mengen werden in den folgenden Abschnitten genauer untersucht.

In den Entsorgungskosten nicht berücksichtigt sind die notwendigen Aufwendungen für:

- Die Bestimmung repräsentativer spezifischer Aktivitäten,
- Die Kosten der Entlassungsverfahren auf Seiten der Antragsteller,
- Die Verwaltungskosten zur Bearbeitung der Entlassung.

Diese Kosten können insbesondere bei Kleinchargen erheblich sein und den Entsorgungspreis effektiv auf mehr als 1000 €/t steigern.

Ein zu beachtender Effekt der Kostensteigerung kann allerdings aus der geringen Akzeptanz der Abfallwirtschaft bezüglich radioaktiver Materialien entstehen. Insbesondere bei Kleinmengen ist aus Erfahrungen der Bearbeiter dieser Studie die Tendenz erkennbar, die zu einer Präferenzierung von SAD oder anderen höherpreisigen Entsorgungsanlagen führt.

10 Identifikation von Materialien, die voraussichtlich im deutschen Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind

10.1 Geplante Entsorgung von NORM Rückständen als radioaktiver Abfall

Im Abschnitt 9.4.3.6 wurden als NORM-Rückstände, für die eine Abgabe an Landessammelstellen vorgesehen, identifiziert:

- Materialien der Erdöl-Erdgasgewinnung mit spezifischen Aktivitäten über 50 Bq/g (nach den Technischen Regeln des WEG /111/),
- Bauschutt aus Rückbau und Sanierungsmaßnahmen von Anlagen mit früherem strahlenschutzrechtlich genehmigtem Umgang.

Es wird eingeschätzt, dass es sich in beiden Fällen nicht um Standardwege der Entsorgung für betreffende Fälle handeln wird, da durch die StrlSchV andere und kostengünstiger Entsorgungswege offen sind. Ein regelmäßiges Mengenaufkommen aus diesem Bereich ist daher nicht zu erwarten.

10.2 Ursachen für den Verbleib von NORM-Rückständen in der Überwachung

Die Prüfung der bisherigen und der zu erwartenden Praxis bei der Entsorgung von überwachungsbedürftigen Rückständen zeigte, dass eine Beseitigung auf konventionellen Deponien den Regelfall der Entsorgung für alle Materialien darstellt, die nicht verwertet werden können. Die in der StrlSchV vorgesehenen Möglichkeiten der Entlassung stellen eine praktikable Grundlage dar, um diese Entsorgung vorzubereiten.

Die detaillierte Prüfung ergab jedoch, dass folgende Aspekte die Entsorgung im Bereich des KrW-/AbfG so einschränken oder behindern können, dass sie als in der Überwachung verbleibende Rückstände nach § 99 StrlSchV eingestuft werden müssen:

- Die für eine Entlassung zwingend erforderliche Annahmefähigkeit der Entsorger für radioaktive Materialien ist derzeit noch sehr zurückhaltend, teilweise auch deutlich ablehnend. Von dieser Haltung sind weniger große Materialströme mit bereits etablierten Entsorgungswegen betroffen, sondern vor allem die Entsorgung von Kleinmengen.
- Vor dem Hintergrund der zurückhaltenden Annahmefähigkeit stellt der Transport von Materialien als Gefahrguttransport nach ADR Klasse 7 für die meisten Entsorger ein Ausschlusskriterium dar. Grund für diese Haltung sind Besorgnisse in Bezug auf die öffentliche Akzeptanz der Deponien als Ganzes. Damit werden die spezifischen Aktivitäten der zu beseitigenden Materialien in der Praxis durch die Freistellungswerte nach ADR limitiert.
- Als Verfahren zur Einhaltung der Freistellungsgrenzen nach ADR haben sich „Transportkonditionierungen“ bewährt. Sofern dieses Verfahren nicht als zulässiges Verfahren zur Einhaltung der Freistellungsgrenzen akzeptiert wird, sind NORM-Rückstände mit höheren spezifischen Aktivitäten als diese Freistellungsgrenzen in praxi nicht entlassbar.

Alle anderen Faktoren, die eine Entlassung behindern oder beeinflussen, wirken nach derzeitiger Einschätzung eher lenkend in bestimmte Entsorgungswege und stellen keine prinzipiellen Hindernisse einer Entlassung dar.

Um die Materialien eingrenzen zu können, für die durch die Limitierung der spezifischen Aktivitäten als Folge der ADR Regelungen eine Gefährdung des Entsorgungsweges besteht, sind in Tabelle 10.2-1 die spezifischen Aktivitäten / Aktivitätskonzentrationen für freigestellte Stoffe („Freistellungsgrenzen“) für wichtige in dieser Studie betrachtete Materialgruppen zusammengestellt. Die Berechnung dieser Werte erfolgte unter Bezug auf die nuklidspezifischen Angaben der Tabelle 2.2.7.2.1 ADR und der Summenformel nach Absatz 2.2.7.7.2.4 ADR. Durch Abschätzung von Nuklidvektoren nach den Angaben von Abschnitt 4 bzw. 5 und bei Variation der Verhältnisse der Uran- und Thoriumreihe von 10 : 1 bis 1 : 10 erhält man die in Tabelle 10.2-1 genannten Werte.

Tabelle 10.2-1: Zusammenstellung von Freistellungsgrenzen (C_{FG}) für verschiedene Materialien

Materialien	Referenz-nuklid	C_{FG} (Bq/g)	Bemerkung
Scales, Schlämme und Ablagerungen der Erdöl-/Erdgasgewinnung,	Ra-226+	Ca. 20 Bq/g	Limitierende Nuklide sind Ra-228, Th-228
Rückstände der Rohphosphatverarbeitung	U-238sec Ra-226+	10 Bq/g 100 Bq/g	
Rückstände der Gewinnung und (mechanischen) Aufbereitung von Rohstoffen	Th-232sec, U-238sec	5 – 9 Bq/g	Abhängig vom Verhältnis U/Th
Rückstände der Gewinnung und (hydro-metallurgischen) Aufbereitung von Rohstoffen	Ra-226+	8 Bq/g	Bei Ra-228=Th-228 = Ra-226 und Annahme „natürlicher Stoff“
Stäube der Primärverhüttung, sonstige Materialien mit Pb-210, Po-210	Pb-210++ Po-210	100 Bq/g 100 Bq/g	
Formstücke mit Schwermineralen; Mineralsande	U-238sec, Th-232sec	5 – 9 Bq/g	Abhängig vom Verhältnis U/Th
Bodenaushub / Bauschutt mit Kontamination durch „natürliche Stoffe“ im Sinne ADR (Typ Rohstoffreste)	Th-232sec, U-238sec Ra-226+	5 - 9 Bq/g 5 - 9 Bq/g. ca. 80 Bq/g	Abhängig vom Verhältnis U/Th; bei Ra-226++ ohne Ra-228
Bodenaushub / Bauschutt bei Kontamination vom Typ Produkt-/ Aufbereitungsrückstände	Th-232	0,7 Bq/g	
Wasserwerksschlämme, Ablagerungen aus Wasserwerken und Heilbädern	Ra-226+	20 Bq/g	Bei Ra-228; Th-228 = 0,3 · Ra-226
Materialien aus der gezielten Abtrennung von Radium aus Wasser	Ra-226+	Ca. 8 Bq/g	Wegen der chemischen Abtrennung kein „natürlicher Stoff“ im Sinne ADR
Scales anderer Herkunft (Geothermie, Papierindustrie, ..)	Ra-226+	Ca. 20 Bq/g	Limitierende Nuklide sind Ra-228, Th-228
Thorierte Elektroden, thorierte Optiken, thorierte Legierungen, thorierte Glühkörper	Th-232 20 a alt (*)	0,7Bq/g	Wegen der chemischen Abtrennung und anschließenden Nutzung von Th kein „natürlicher Stoff“ im Sinne ADR bei Th-230 = 0,2 Th232

(*) s. Tabelle 2.5-5

Mit den Freistellungsgrenzen nach Tabelle 10.1-1 und den Mengenmodellen nach Abschnitt 6 können die in Tabelle 10.2-2 zusammengestellten NORM-Rückstände ermittelt werden, für die nach den hier zugrunde gelegten Annahmen eine Beseitigung auf Deponien durch die ADR-Regelungen in Verbindung mit der Annahmeerklärung ernsthaft behindert sein kann.

Tabelle 10.2-2: Identifizierung von Materialien des Zuordnungsbereiches 1 mit möglichen ADR-Problemen bei der Entsorgung

Nr.(*)	Herkunftsbereich	Rückstände	ADR-relevante Teilmengen vorhanden?
1	Erdöl, Erdgas	Scales	Ja
1		Schlämme	Ja
1		Reinigungsgemische	Kaum
1		Anlagenteile mit Scales	Ja
2	Phosphorgipse (Aufbreitung)	(Kein regelmäßiges Aufkommen)	nein
3a	Bauxit	Rotschlamm	Nein
3a	Columbit, Mikrolyth, Euxenit	Schlämme, Prozessrückstände (Gips, Schwerspat) Stäube	Möglich
3a	Pyrochlor	Pyrochlorschlacken	Ja
3a	Kupferschiefer	Schlacke	Nein
3a	Zinnerz	Nur im Zusammenhang mit Ta-Metallurgie	s. Columbit, ...
3b	Granit	Granitstaub, Granitbruch	Nein
3b	Kaolin	Monazitsande	Nein
4	Roheisenverhüttung	Sinterstäube Hochofenschlämme	Möglich Möglich
4	Primärverhüttung Nichteisenerze	Filterstäube/-Schlämme	Möglich
b)	alle vorgenannten Rückstände	Formstücke	Kaum
c)	Grundstücke mit Rückständen	Bodenaushub	Ja, besonders bei chemisch extrahierten Radionukliden
c)	Gebäude, bauliche Anlagen mit Rückständen	Bauschutt, Schlämme	Ja, besonders bei chemisch extrahierten Radionukliden

(* nach Anlage XII Teil A StrlSchV

Tabelle 10.2-3: Identifizierung von Materialien des Zuordnungsbereiches 2 mit möglichen ADR-Problemen bei der Entsorgung

Nr.	Herkunftsbereich	Material	ADR-relevante Teilmengen vorhanden?
	Phosphatindustrie	Anlagenteile mit Ablagerungen	Nein (*)
	Steinkohlenbergbau	Schlämme der Grubenentwässerung	Nein
	Geothermie	Anlagenteile	Ja
	Wasserwirtschaft, Kurbetriebe	Schlämme Anlagenteile	Kaum Möglich
	Bodenluft-/Grundwassersanierung	Filtermaterial	(unbekannt)
	Flusssedimente	Baggergut	Nein
	Papier- / Zellstoffindustrie	Anlagenteile	Ja (s. Anlage 1, Rechercheantwort BDSV)
	Klimaanlagen	Filter	Nein
	Feuerfestindustrie	Mineralsande	Kaum

(*) Entsorgungsweg Siempelkamp für ADR offen

10.3 Identifizierung von anderen überwachten Materialien, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden

Radioaktive Abfälle von anderen Stoffen oder Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität als die im Abschnitt 10.2 beschriebenen fallen nach den Ergebnissen des Abschnitts 9.5 aus folgenden Gründen an:

- Von den Materialien, die bei überwachungsbedürftigen Arbeiten nach Anlage XI Teil B anfallen, sind ungenutzte Chemikalienreste (Uran-, Thoriumverbindungen) als radioaktive Abfälle zu erwarten, da für diese Stoffe eine Entsorgung im Gewerbeabfall unabhängig von der radiologischen Relevanz nicht den Forderungen der GewAbfV und den Anforderungen an einen sachgerechten Umgang mit radioaktiven Stoffen genügt.

In den nächsten Jahren sind darüber hinaus auch ausgesonderte Gasglühkörper (Schiffahrt, Städte, evtl. Bahn) als radioaktive Abfälle zu erwarten.

Weitere Auftreten an radioaktiven Abfällen sind möglich, wenn durch konsequente Abfalltrennung eine Sammlung von radioaktiv kontaminierten Materialien praktiziert wird, die bei der Nutzung von thorierten Gasglühstrümpfen, Schweißelektroden anfallen und die nicht an den Erzeuger zurückgegeben werden können (z.B. Luftfilter).

- Wenn im behördlichen Ermessen die Tätigkeit des Zusetzens von radioaktiven Stoffen zu Konsumgütern mit einer Genehmigung nach § 7 StrlSchV zwingend verbunden wird und die Handhabung der chemischen Verbindungen beim Zusetzen damit zu einem Umgang mit radioaktiven Stoffen wird, entstehen in der Konsequenz auch radioaktive Abfälle. Wird die

Handhabung der chemischen Verbindungen als Tätigkeit verstanden, die keiner Umgangsge-
nehmigung bedarf, stellen die Handlungen mit den chemischen Verbindungen Arbeiten im
Sinne der Anlage XI Teil B StrlSchV dar. In diesem Fall können für anfallende Materialien al-
ternative Entsorgungswege genutzt werden. Soweit erforderlich, hat die zuständige Behörde
nach § 96 Abs. 4 die Möglichkeit, Entsorgungswege anzuordnen. Dazu kann auch eine Si-
cherstellung in Landessammelstellen gehören.

- Funde nach § 71 StrlSchV, die Materialien in Sinne des § 3 Nr. 20 StrlSchV beinhalten, führen
nach der bisher etablierten und auch weiterhin zu erwartenden Praxis nur dann zu radioakti-
ven Abfällen, wenn die Fundstücke nicht verwertet werden können und eine konventionelle
Entsorgung aufgrund der spezifischen Aktivität oder anderer Eigenschaften nicht praktikabel
ist.

10.4 Varianten für Prognosen des Aufkommens radioaktiver NORM-Abfälle

Die Untersuchung der zu erwartenden Praxis der Entsorgung von Stoffen mit erhöhten Gehalten na-
türlicher Radionuklide im Abschnitt 9 zeigte, dass auf der Grundlage der StrlSchV trotz einzelner noch
unklarer Punkte hinreichende Möglichkeiten bestehen, um die in Deutschland anfallenden
NORM/TENORM Massen, die in den Regelungsbereich des Teils 3 der StrlSchV fallen, konventionell
zu entsorgen. Für das Entstehen von radioaktiven Abfällen aus NORM/TENORM wurden drei grund-
sätzlich verschiedene Fallgruppen ermittelt:

Fallgruppe 1 betrifft Materialien, für die eine Entsorgung als radioaktiver Abfall direkt geplant ist oder
durch Behördenentscheide eine Zuordnung zum Genehmigungstatbestand des § 7 StrlSchV („Um-
gang“) hergestellt wird. Nach den Ergebnissen dieser Studie sind dies:

- (1.1) (Freiwillig) in Landessammelstellen abgegebene Rückstände der Erdöl-Erdgasgewinnung.
- (1.2) Bodenaushub, Bauschutt aus dem Rückbau oder der Sanierung von Standorten, an denen
natürlich radioaktive Stoffe mit strahlenschutzrechtlicher Genehmigung verwendet wurden und
bei denen die Behörde eine Zuweisung der Abfälle als radioaktive Abfälle vornimmt.

Fallgruppe 2 umfasst Materialien der Zuordnungsbereiche 3, 4 und 5, für die aufgrund etablierter
Praktiken oder bestehender Genehmigungen eine Sicherstellung und Entsorgung als radioaktiver
Abfall erfolgt und nach derzeitiger Einschätzung weiterhin erfolgen wird.

- (2.1) Verbrauchte Chemikalienreste (U- bzw. Th-Verbindungen),
- (2.2) Abfälle, aus der Aufarbeitung von nicht weiter verwertbaren Materialien der Wiederaufarbei-
tung thoriertes Elektroden (Schweißelektroden, Lampenelektroden),
- (2.3) Reste der Herstellung oder Verwendung von Gasglühstrümpfen,
- (2.4) Spezielle Funde von Materialien, insbesondere solche mit hoher spezifischer Aktivität.

Fallgruppe 3 betrifft Materialien der Zuordnungsbereiche 1 und 2, die wegen der ADR-Problematik ggf. nicht aus der Überwachung nach Teil 3 StrlSchV entlassen werden können und für die keine anderen (wirtschaftlich realistischen) alternativen Entsorgungswege zur Verfügung stehen. Fallgruppe 3 umfasst

- (3.1) Scales der Erdöl-, Erdgasgewinnung (insbesondere solche ohne Quecksilber),
- (3.2) Rückstände der Aufbereitung anderer Rohstoffe,
- (3.3) Formstücke mit Schwermineralien (insbesondere Seltene Erden),
- (3.4) Bodenaushub, Bauschutt aus Hinterlassenschaften.

Unsicherheiten bei der Einstufung resultieren im Wesentlichen aus

- der zukünftigen Praxis der Behörden bei der rechtlichen Einstufung von Prozessen und Stoffen der Fallgruppe 2 sowie
- aus der derzeit nicht exakt absehbaren Wirkung der ADR Regelungen bei der Entlassung und Entsorgung überwachungsbedürftiger Rückstände bzw. sonstiger überwachter Materialien auf Deponien.

Um diesen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, werden für das weitere Vorgehen im Rahmen dieser Studie 2 Varianten betrachtet:

Variante 1 (Grundvariante): Nur Materialien der Fallgruppe 1 und 2 sind als radioaktive Abfälle im deutschen Entsorgungskonzept zu betrachten. Die möglichen Probleme mit der Entlassung von Materialien der Fallgruppe 2 werden in der Praxis vollständig überwunden.

Diese Variante ergibt die voraussichtliche Mindestmenge an radioaktiven Abfällen aus NORM/TENORM.

Variante 2 (Maximalvariante): Zusätzlich zur Fallgruppe 1 und 2 sind alle Materialien der Fallgruppe 3, für die keine gesicherten Entsorgungswege existieren, die bezüglich Gefahrguttransporten tolerant sind (z.B. Recycling), als radioaktive Abfälle zu beseitigen. Diese Variante stellt eine Maximalvariante in Hinblick auf das Mengengerüst dar.

Bei der Ableitung der Angaben in Tabelle 11.2-1 wurden:

- die für die Fallgruppe 1 eingestellten Mengenangaben unter Bezug auf die Ergebnisse der Abschnitte 6, 9.2 und 9.4.3 gutachterlich eingeschätzt,
- für die Aktivitätsklasse 1 - 10 Bq/g aus Arbeiten mit Schweißelektroden und der Verwendung von Gasglühkörpern Entsorgungswege auf Deponien für realistischer eingeschätzt,
- die Summen auf maximal 2 zählende Ziffern gerundet.

Das mögliche Aufkommen durch die Rückgabe verbrauchter Schweißelektroden ist durch die 52 Tonnen aus den Arbeiten mit Schweißelektroden abgedeckt.

Bei der Bewertung und Verwendung der Daten sollten die Erläuterungen zu Datengrundlagen und Unsicherheiten im Abschnitt 7.5 beachtet werden.

Für die Entsorgungsoptionen ist wichtig, dass es sich bei den ausgewiesenen Materialien um durchweg alphaaktive Stoffe handelt.

11.3 Mögliches zusätzliches Aufkommen

Die im Abschnitt 10.2 ermittelten NORM-Rückstände, für die Entlassung bei konsequenter Umsetzung der StrlSchV und der ADR-Regelungen nur nach Transportkonditionierung oder grundsätzlich verändertem Annahmeverhalten der Deponien möglich ist, stellen das nach Einschätzung der Bearbeiter **maximale zusätzliche Mengenaufkommen** an für das deutsche Entsorgungskonzept zu beachtenden NORM/TENORM dar. In Tabelle 11.3-1 sind die mit den Modellannahmen des Abschnitts 6 und den Freistellungsgrenzen nach Tabelle 10.2-1 durch eine Nachberechnung ermittelten Mengen, bezogen auf einen 10 Jahre-Zeitraum, zusammengestellt. Die Angaben wurden wiederum mit einer mittleren Dichte von 1,5 t/m³ in Volumina umgerechnet. Der in der letzten Spalte angegebene Bezug auf „Gesamt“ bezieht sich auf Gesamtmasse der überwachungsbedürftigen Rückstände nach Abschnitt 6.

Bei der Berechnung wurden folgende Vereinfachungen getroffen:

- Die in Tabelle 10.2-1 ausgewiesenen Aktivitätsbereiche von 5 - 9 Bq/g in Abhängigkeit von U/Th-Verhältnis wurden einheitlich mit einem Mittelwert von 7 Bq/g modelliert.
- Die im Abschnitt 6.3 benutzten Bezugsmassen für Materialien, deren Überwachung nur im Einzelentscheid zu regeln ist, wurden ohne Modifikation in das Massengerüst eingestellt. Es wird von den Bearbeitern eingeschätzt, dass damit eher eine Überschätzung als Unterschätzung der in der späteren Praxis anfallenden Masse erfolgt.
- Für die Hinterlassenschaft Oranienburg wurde eine Aufteilung im Verhältnis 1 : 1 auf die Typen „Rohstoffreste“ und „Produkt-/Aufbereitungsrückstände“ vorgenommen. Als Freistellungsgrenzwerte wurden vereinfacht 1 Bq/g für Produkt-/Aufbereitungsrückstände und 10 Bq/g für Rohstoffreste angenommen.

Tabelle 11.3-1: Erwarteter Mengenanfall von ADR-relevanten NORM-Rückständen

Nr.(*)	Herkunftsbereich	Rückstände	Menge in t /10 a	Menge in m ³ / 10 a	Anteil an Gesamt
1	Erdöl, Erdgas	Scales	330	220	83 %
1		Schlämme	1.400	930	56 %
1		Reinigungsgemische	0	0	(0,4 %)
1		Anlagenteile mit Scales	210	140	11 %
3a	Columbit, Mikrolyth, Euxenit + Zinnerzkonzentrate	Schlämme, Prozessrückstände (Gips, Schwespat) Stäube	1.000 k. A.	670	1 %
3a	Pyrochlor	Pyrochlorschlacken	880	590	88 %
4	Roheisenverhüttung	Sinterstäube Hochofenschlämme	160 340 (**)	110 230	3 % 0,03 (**)
4	Primärverhüttung Nichteisenerze	Filterstäube/-Schlämme	0	0	(< 0,1 %)
b)	alle vorgenannten Rückstände	Formstücke	9.700	6.500	14 %
c)	Hinterlassenschaften	Bodenaushub (Typ: Produkt- / Aufbereitungsrückstände)	9.000	6.000	90 %
c)	Hinterlassenschaften Oranienburg (+)	Bodenaushub (Typ Rohstoff) Bodenaushub Typ Produkt- / Aufbereitungsrückstand	3.000 7.500	2.000 5.000	20 % 25 %
	Geothermie	Anlagenteile mit Scales	k. A.		
	Wasserwirtschaft , Kurbetriebe	Schlämme Materialien aus Nutzung von Mineral-/Heilwasser (++)	380 30	250 20	0,02 0,3 %
	Papier- / Zellstoffindustrie	Anlagenteile mit Scales	k. A.		
	Feuerfestindustrie	Mineralsande, Mineralsandhaltige Produktreste	760	510	8 %
		Summe	34.690	23.170	

(*) nach Anlage XII Teil A StrlSchV ; (**) bei Berücksichtigung von Po-210 wahrscheinlich 1 Größenordnung höher; (+) Erläuterungen s. Text, (++) ohne gesonderte Berücksichtigung der gezielten Abtrennung von Radium

Im Gesamtergebnis wird eine Menge von ca. 35.000 Tonnen bzw. 23.000 m³ für den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren ermittelt, die im hier angenommenen Fall als endlagerrelevant in das deutsche Entsorgungskonzept anzusehen wäre.

Die bedeutendsten Massenanteile fallen nach den hier vorgenommenen Abschätzungen im Bereich der zirkonhaltigen Formstücke und der Sanierung von Hinterlassenschaften an. Die Summe dieser Anteile an der Summe aller ADR-relevanter Mengen beträgt 29.200 t bzw. 19.500 m³ in 10 Jahren. Alle übrigen Herkunftsbereiche ergeben zusammen nur etwa 5.000 t bzw. 3.500 m³ für den Betrachtungszeitraum.

Die in Tabelle 11.3-1 zusammengestellten Materialien können dabei nach der Halbwertszeit ihrer aktivitätsbestimmenden Nuklide in folgende Gruppen eingeteilt werden:

Tabelle 11.3-2 Klassifizierung des Zusatzaufkommens nach Tabelle 11.3-1 nach Halbwertszeiten

	Halbwertszeit	Nuklide	Art der identifizierten NORM-Abfälle	Menge in t
Gruppe 1	6 bis 22 Jahre	Ra-228, Pb-210,	Sinterstäube, Hochofenschlämme (Roheisenverhüttung), Filterstäube/-Schlämme (Nichteisenmetallurgie)	500
Gruppe 2	1600 Jahre	Ra-226	Scales, Schlämme, Anlagenteile der Erdöl-/Erdgasgewinnung, Anlagenteile Geothermie, Teilmengen der Nb-Ta-Metallurgie, Wasserwerksschlämme	2.350
Gruppe 3	über 10.000 Jahre	U-238, Th-232,	Pyrochlorschlacken, Formstücke, Bodenaushub, Mineralsande, mineralsandhaltige Produktreste	31.840

Demnach ist für den größten Teil der hier identifiziertem Materialien eine große Halbwertszeit (Faktisch $10^9 - 10^{10}$ Jahre) anzusetzen. Die Mengenanteile mit Nukliden geringer Halbwertszeit sind relativ klein.

12 Untersuchung von Entsorgungsoptionen

12.1 Übersicht über Entsorgungsoptionen

Im Weiteren werden nur die Materialien betrachtet, die nach den Ergebnissen von Abschnitt 11 nicht oder eventuell nicht aus einer strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen und nicht anderweitig verwertet oder beseitigt werden können. Diese Materialien werden unter Bezug auf Abschnitt 2.1 als NORM-Abfälle bezeichnet.

Für diese NORM-Abfälle existieren derzeit folgende Entsorgungsmöglichkeiten, die auch bereits genutzt werden:

- (1) Abgabe an Dritte zur Konditionierung und Verpackung, Aufarbeitung oder Verwertung unter strahlenschutzrechtlicher Genehmigung.
- (2) Abgabe an Dritte zur Verwahrung und Beseitigung.
- (3) Abgabe an Landessammelstellen zur späteren Beseitigung als radioaktiver Abfall in einem Endlager für radioaktive Abfälle.

Folgende ergänzende Entsorgungsoptionen werden als realistische Varianten eingeschätzt und daher in dieser Studie weiter geprüft:

- (4) Bau spezieller Deponien zur Beseitigung radioaktiver Abfälle mit NORM / TENORM (als bundeseinheitliche Lösung),
- (5) Nutzung vorhandener Deponien, insbesondere SAD für NORM-Abfälle (vor allem als länderspezifische Lösung),
- (6) Nutzung vorhandener Entsorgungswege in genehmigten Anlagen der WISMUT GmbH,
- (7) Errichtung von Langzeitlagern zur Verwahrung,

Für folgende Optionen wird auf eine weitere Prüfung verzichtet:

- Abklinglagerung von Materialien mit entsorgungsrelevanten Uran-, Ra-226-, Pb-210-, Th-232-Aktivitäten, da diese Nuklide zu lange Halbwertszeiten besitzen.
- Abklinglagerung bei Filterstäuben mit Po-210 im signifikanten Überschuss zu Pb-210 oder Materialien mit hoher Ra-228-Aktivität (ohne Th-232, z.B. bestimmte Scales) reduzieren ggf. konkrete Teilmengen an NORM-Abfällen, können jedoch ggf. grundsätzliche Entsorgungsprobleme nicht lösen.
- Endlagerung in ausländischen Endlagern für radioaktive Abfälle, da derzeit keine praktischen Voraussetzungen für diesen Entsorgungsweg gegeben sind. Das schließt allerdings eine Beseitigung auf anderen geeigneten Anlagen im Ausland nicht aus (s. Abschnitt 12.3.5).
- Extraktion und Verwertung von Th-230, Ra-226, Pb-210, Po-210, Ra-228, da für die hier genannten Nuklide kein wirtschaftlicher Bedarf mehr besteht.

Folgende Optionen können allerdings in speziellen Fällen zur Lösung von Entsorgungsproblemen beitragen:

- (8) Extraktion und Verwertung von Thorium kombiniert mit einer Abklinglagerung der verbleibenden Materialien, da die Aktivität dieser Materialien durch Ra-228 bestimmt wird.
- (9) Extraktion und Verwertung von Uran, sofern im Material keine anderen langlebigen Radionuklide in Aktivitäten vorkommen, die die Extraktionsrückstände zu einem neuen NORM-Abfall mit anderem Nuklidvektor werden lassen.

12.2 Prüfung vorhandener Entsorgungswege

12.2.1 Abgabe an Dritte zur Konditionierung und Verpackung, Aufarbeitung oder Verwertung

Sachstandsdarstellung

Prinzipiell besteht auch für NORM-Abfälle die Möglichkeit der Aufarbeitung im Rahmen eines nach § 7 StrlSchV genehmigten Umgangs mit radioaktiven Stoffen. Entsprechende Anlagen, die zur Behandlung von radioaktiven Stoffen aus kerntechnischen Anlagen ausgerüstet sind, stehen u.a. in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe des Forschungszentrums Karlsruhe, der Einrichtungen des Forschungszentrums Jülich und der Landessammelstelle Berlin zur Verfügung.

Als privatwirtschaftliche Firmen bieten entsprechende Dienste an: AEAT Braunschweig, Gamma-Service Recycling Leipzig, GNS Essen, Sina Industrieservice Pforzheim (Aufzählung evtl. nicht vollständig).

Einschätzung der Nutzbarkeit für NORM-Abfälle

- a) Endlagerechte Konditionierung und Verpackung.

Die endlagerechte Konditionierung ist Zwischenschritt für eine Beseitigung in einem Endlager. Die im Abschnitt 10 identifizierten NORM-Abfälle sind überwiegend als nicht brennbare, feste, anorganische Abfälle zu klassifizieren. Als solche können sie in zugelassenen Behälter (z.B. 400-l/280-l/200-l-Fässer) verpackt werden.

Für alle Materialien der Grundvariante (Tabelle 11.2-1) und die meisten Materialien eines möglichen zusätzlichen Aufkommens ist eine solche Verpackung geeignet und ausreichend als endlagerechte Konditionierung. Die Anlagenteile in Tabelle 11.3-1, die als Teil eines möglichen zusätzlichen Aufkommens identifiziert wurden, können Großteile darstellen, die ggf. vor einer Verpackung zerkleinert werden müssen. Eine solche Zerkleinerung stellt zwar einen kostenrelevanten Zwischenschritt dar, jedoch kein grundsätzliches Hindernis der Verpackung.

Insgesamt ist die endlagerechte Konditionierung als prinzipiell geeigneter Schritt in einer Entsorgungslinie einzuschätzen, die auf eine Beseitigung von NORM-Abfällen in einem Endlager hinzielt. Sie ist gegenwärtig allerdings nur in der Lage, die Abfälle in Landessammelstellen einzustellen. Die ver-

fügbaren Kapazitäten und die Kosten der Behandlung werden im Abschnitt 12.2.3 zusammenfassend dargestellt.

- b) Abtrennung von nicht radioaktiven Stoffen (ggf. auch Wertstoffen) zur Massen- und /oder Volumenreduzierung.

Die Abtrennung von Wertstoffen im Sinne eines Recyclings wird für bestimmte Stoffe bereits praktiziert (s. Abschnitt 9.4.3.4). Daher wird diese Option unter den bereits vorhandenen Entsorgungsweegen behandelt, obwohl die nachfolgend beschriebenen Optionen derzeit noch nicht oder nur in Teilen realisiert sind.

Von den als NORM-Abfällen identifizierten Materialien ist insbesondere bei thorierten Legierungen eine Möglichkeit gegeben, um Masse und Volumen der zu beseitigenden NORM-Abfälle zu reduzieren. Dabei ist die Aufarbeitung von Materialien mit hohen Anteilen an Wolframelektroden eine auch wirtschaftlich zu beachtende Option. Die im Zuge der Recherchen erhaltenden Auskünfte verschiedener Unternehmen, in denen derartige Materialien vorkommen, zeigen, dass diese Option auch von den betreffenden Unternehmen geprüft und offensichtlich zum Teil auch umgesetzt wird. Genauere Angaben zu den Verfahren, Kosten und Kapazitäten wurden nicht gemacht.

Eine Aufbereitung von Magnesiumlegierungen zur Abtrennung von Magnesium dürfte aufgrund des relativ geringen Magnesiumpreises (ca. 4,6 \$ pro kg in 1995, seither gefallen /173/) und der voraussichtlich geringen Mengen (s. Tabelle 11.2-1) kaum wirtschaftlich interessant sein.

Für Pyrochlorschlacken und kontaminierte Anlagenteile (Tabelle 11.3-1) wird eine Aufarbeitung wirtschaftlich, wenn als einzige Alternative die Beseitigung in einem Endlager steht. Dazu sind derzeit allerdings (außer dem Einschmelzen von Anlagenteilen bei der Fa. Siempelkamp, durch die die Voraussetzungen der Einstufung als NORM-Abfall entfallen) keine Verfahrensvarianten bekannt.

Generell führt die Abtrennung von nicht-radioaktiven Wertstoffen zu einer Verringerung der zu beseitigenden Massen bzw. Volumina verbunden mit einer Erhöhung der spezifischen Aktivität. Dieser Effekt ist zu beachten, da die Annahmebedingungen der Landessammelstellen Uran- oder Thorium in Abfällen limitieren können (s. Abschnitt 12.2.3).

- c) Verwertung der NORM-Abfälle für strahlenschutzrechtlich genehmigte Vorhaben.

Eine Verwertung von NORM-Abfällen im Rahmen strahlenschutzrechtlich genehmigter Vorhaben ist grundsätzlich durch Nutzung von kontaminierten Anlagenteilen möglich. Konkrete Verwertungswege werden jedoch derzeit nicht gesehen. Diese Option wird im Weiteren nicht mehr betrachtet.

12.2.2 Abgabe an Dritte zur Verwahrung und Beseitigung

Sachstandsdarstellung

Radioaktiver Abfall wird in der Regel von der jeweils zuständigen Behörde an eine Landessammelstelle verwiesen (s. Abschnitt 12.2.3). Abfallerzeuger, deren Abfälle aufgrund der Annahmebedingungen einer Landessammelstelle oder aus anderen Gründen dort nicht entsorgt werden können (z. B. flüssige Abfälle in Hessen), können sich von der Ablieferungspflicht befreien lassen. Nach § 77 StrlSchV kann die Behörde bei der Genehmigung von der Ablieferungspflicht der radioaktiven Stoffe an eine Landessammelstelle Abstand nehmen, wenn deren anderweitige Entsorgung im Einverständnis mit der für den Empfänger zuständigen Behörde abgeklärt ist. Solche Abfälle können über private Firmen entsorgt werden.

In Deutschland sind derzeit folgende Firmen als Entsorger für radioaktive Abfälle tätig: AEAT Braunschweig, Gamma-Service Recycling Leipzig, GNS Essen, Sina Industrieservice Pforzheim (Aufzählung evtl. nicht vollzählig).

Nach Auskunft der Unternehmen und der Länderbehörden (s. Rechercheschreiben Anlage 1) wurden in den vergangenen Jahren vor allem folgende Materialien mit natürlicher Radioaktivität als radioaktive Abfälle sichergestellt bzw. entsorgt:

- Bodenaushub/Bauschutt aus dem Rückbau von ehemals strahlenschutzrechtlich genehmigten Anlagen,
- Chemikalienreste (z.B. Th-Oxalat , s. Rechercheantwort Brandenburg)
- Scalematerial der Erdöl-/Erdgasgewinnung mit spezifischen Aktivitäten über 500 Bq/g (s. /117/, Rechercheantwort Niedersachsen),
- Fundstücke (s. Rechercheantwort Bremen).

Ein Großteil der Entsorgung von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität wurde in den vergangenen Jahren durch die Firma AEAT realisiert. In dieser Firma befanden sich daher in den 1990er Jahren auch die umfangreichsten Lagerbestände an Thorium /11/. Geringere Bestände besitzt die Fa. Gamma-Service Recycling /174/. Die Fa. GNS ist hauptsächlich im Bereich kerntechnischer Entsorgungen tätig.

Die Möglichkeiten der Abgabe und Verwahrung an Dritte wurde am Beispiel der Fa. AEAT vertiefend untersucht /175/.

Die Firma AEA Technology QSA GmbH, früher Amersham Buchler, mit Sitz in Braunschweig, bietet als Dienstleistung Abholung, Transport, Behandlung und Entsorgung radioaktiver Abfälle an und plant, dies auch in Zukunft für NORM-Materialien gemäß Teil 3 der StrlSchV anzubieten. Radioaktive Abfälle nach Teil 2 der StrlSchV werden je nach Genehmigungsbescheid des Abfallverursachers von AEAT konditioniert. AEAT liefert die Abfälle entweder an die für den Abfallverursacher zuständige Landessammelstelle bzw. übernimmt sie in den eigenen Besitz.

AEAT weist gegenüber vielen Landessammelstellen einen erheblich höheren Durchsatz an radioaktiven Abfallmengen auf. Die Firma verfügt über umfangreiche eigene Konditionierungstechniken sowie die Möglichkeit der länderübergreifenden Annahme von radioaktiven Abfällen zur Konditionierung und zusätzlich über ein eigenes Zwischenlager.

Kapazitäten, Kosten

Die Kapazitäten für die Konditionierung sind bei AEAT auch bei größeren Mengen von NORM-Stoffen für die nächsten Jahre ausreichend. Eine allgemeine Angabe von Preisen zur Entsorgung von NORM-Abfällen konnte AEAT aufgrund der Heterogenität der unterschiedlichen NORM-Materialien nicht abgeben. Am Beispiel von Scales aus der Erdöl/Erdgasindustrie wurde jedoch ein Angebot erstellt, das folgende Leistungen enthält:

- Abholung der Behälter vor Ort
- Transportdeklaration
- GGVS Transport nach Braunschweig
- Eigentumsübergang auf AEA Technology bei der Übernahme vor Ort
- Erstellung einer Übernahmescheinigung zur Vorlage bei der zuständigen Aufsichtsbehörde

Der Mindestpreis beträgt demnach 428,00 €, der Preis für das 200 l-Fass mit Scale-Rückständen liegt je nach Verunreinigungen der Scale mit Quecksilber zwischen 20,45 € bis 35,00 € pro kg.

Nuklid- und Aktivitätsangaben des angelieferten Materials müssen bekannt sein.

Einschätzung der Nutzbarkeit für NORM-Abfälle

Die Abgabe von NORM/TENORM-Abfällen an private Entsorger stellt gegenüber der Abgabe an eine Landessammelstelle eine gleichberechtigte Alternative dar. Die Firmen besitzen die Möglichkeit, bestimmte radioaktive Stoffströme aus ganz Deutschland im Rahmen ihrer Genehmigungen zu bündeln. Durch die Entwicklung zugeschnittener Verfahren und Entsorgungskonzepte können bei einem entsprechenden wirtschaftlichen Bedarf spezielle Entsorgungspfade etabliert werden.

Private Anbieter wie AEAT sind zudem in der Lage, eine breite Palette an Beseitigungs-/Rezyklierungs- und Abfallbehandlungsoptionen anzubieten. Sie entsorgen ggf. auch Kleinmengen (z.B. aus Funden).

Die privaten Firmen sind aber nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie nicht in der Lage, Mengen von mehreren 1.000 t pro Jahr an NORM-Abfällen aus einem zusätzlichen Aufkommen nach Abschnitt 11.3 dauerhaft anzunehmen und sicherzustellen.

12.2.3 Abgabe an Landessammelstellen

Sachstandsdarstellung

NORM-Abfälle, die aus einem genehmigten Umgang nach § 7 StrlSchV stammen (ggf. beim Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten möglich) sind im Regelfall an eine Landessammelstelle abzuliefern (§ 76 Abs. 4 Nr. 1 StrlSchV). Alle anderen NORM-Abfälle dürfen nur bei einer Landessammelstelle abgeliefert werden, wenn die für den Abfallerzeuger zuständige Landesbehörde dies zugelassen hat. Es ist allerdings davon auszugehen, dass bei einer Versagung der Entlassung und Zuordnung in den § 99 StrlSchV die Zulassung der Verbringung in eine Landessammelstelle erfolgen wird.

Die meisten Bundesländer verfügen direkt über eine eigene Landessammelstelle oder besitzen auf der Basis von Ländervereinbarungen einen gesicherten Zugang zu derartigen Einrichtungen. Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in Medizin, Forschung, Gewerbe, Industrie, Wissenschaft und Technik entstehende radioaktive Abfälle sind durch den Abfallerzeuger gemäß § 9a AtG bzw. § 76 der StrlSchV an eine Landessammelstelle abzuliefern. Die Landessammelstellen sind verpflichtet, die gesammelten Abfälle an eine Anlage des Bundes (Endlager) abzuführen.

Mit der Ablieferung eines Abfalls an die Landessammelstelle geht dieser Abfall in den Besitz der Landessammelstelle über. Diese führt alle weiteren Entsorgungsschritte durch.

Die Landessammelstelle entscheidet nach den Abfalleigenschaften sowie den vorhandenen Lagerkapazitäten und den verfügbaren Konditionierungseinrichtungen, ob und wie der Abfall behandelt wird. Zur Abfallkonditionierung werden die vor Ort vorhandenen Einrichtungen herangezogen. Zum Teil nutzen die Landessammelstellen aber die Dienstleistungen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe des Forschungszentrums Karlsruhe und der Einrichtungen des Forschungszentrums Jülich bzw. nehmen den Abfall nur in endlagergerecht konditioniertem Zustand an.

Annahmebedingungen

Die Abgabe an eine Landessammelstelle ist nur möglich, wenn der radioaktive Abfall die jeweiligen Annahmebedingungen erfüllt. Hierfür ist unter anderem die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für die α -Aktivität des anzunehmenden Materials ausschlaggebend. Die für eine spätere Einlagerung in ein Endlager erforderlichen Aktivitätsgrenzwerte orientieren sich dabei an den für Schacht Konrad festgelegten Werten. Einen beispielhaften Überblick über die Annahmebedingungen der Landessammelstelle Niedersachsen gibt Tabelle 12.2-1. Für nicht brennbaren, festen Abfall muss der Anteil an natürlichem Thorium weniger als 2 kg betragen. Das entspricht einer Aktivität von Th-232 von ca. 8 MBq.

Tabelle 12.2-1: NORM-relevante Aktivitätsgrenzwerte für radioaktive Abfälle der Landessammelstelle Niedersachsen (nach /176 /)

Abfallsorte	α -/ β -Gesamt	U_{nat}	Th_{nat}
Nicht brennbar, anorganisch fest	< 4,2 E+05 Bq/g, davon max. 50 kBq/g γ -Strahler	< 4 kg	< 2 kg
Brennbar, organisch fest	< 2,5 E+07 Bq/l, davon < 2,5 E+04kBq/l α -Strahler	< 1,2 g/l	< 0,8 g/l

Weiterhin ist zu beachten, dass bei der jeweiligen Landessammelstelle nur der Abfall angenommen werden darf, der im Bundesland anfällt, für das die Landessammelstelle zuständig ist.

Kapazitäten, Kosten

Die Lagerkapazitäten der Landessammelstellen sind nach Kenntnis der Bearbeiter dieser Studie weitgehend ausreichend für die nächsten 10 Jahre. Eine Ausnahme ist die LSSSt Berlin, deren Auslastung bereits in den nächsten 4 bis 6 Jahren erreicht sein soll. Die Prognosen gehen allerdings davon aus, dass sich die jährliche Abgabe an radioaktiven Abfällen gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich verändert.

Die Kosten für die Entsorgung eines 200 l-Fasses sind je nach Landessammelstelle unterschiedlich. Es werden Gebühren für die Konditionierung des Abfalls, für die Aufbewahrung im Zwischenlager sowie für die spätere Endlagerung erhoben. Landessammelstellen, die selbst nicht konditionieren, liefern die Rohabfälle in vielen Fällen bei einem Konditionierungsunternehmen ab oder nehmen diese nur fertig konditioniert an. Beim Vergleich der verschiedenen Gebührenordnungen ist zu beachten, dass unterschiedliche Zwischenlagerungszeiten berücksichtigt sind. Seit 2001 geht man von einer Zwischenlagerung von 40 Jahren aus, was die Kosten erheblich beeinflusst.

Tabelle 12.2-2: Annahmepreise von Landessammelstellen für 2002 (Rechercheergebnis Öko-Institut)

Landessammelstelle	Gebinde	Preisspanne in €	Bemerkungen
Brandenburg / Mecklenburg-Vorpommern	200 l Fass	2.812 bis 5.624	
Niedersachsen	180 l Press-trommel	9.340	Bei Sonderabfällen, die einer besonders aufwändigen Behandlung bedürfen, können zusätzlich Kosten entstehen
Bayern	200 l Fass	7.000 – 8.000	eventuell notwendig werdende Konditionierungsmaßnahmen sind hierbei nicht berücksichtigt
Berlin	200 l Fass	2.376 (kompaktierbar: 1.691)	Nicht brennbare und nicht kompaktierbare Abfälle. Transport, Zuschläge für erhöhte Dosisleistung am Gebinde, Transport- und Behältergebühren sowie Konditionierung.

Somit bewegen sich die Preise für ein 200-l Fass mit Abfällen zwischen ca. 2.000 (Berlin, Brandenburg) bis etwa 10.000 € (Niedersachsen) für Materialien, die keiner weiteren Behandlung mehr bedürfen.

Tabelle 12.2-3 Einmalige Annahmegebühr bei Ablieferung radioaktiver Abfälle, Landessammelstelle Baden-Württemberg, Stand 20.03.2002 (Rechercheergebnis Öko-Institut)

Feste nicht verbrennbare Reststoffe, bereits in Paketier- trommeln verpackt	Anfallende Gebühren
Verpressen von Reststoffen mit einer Dosisleistung < 10 mSv/h an der unabgeschirmten Oberfläche und Gesamt- aktivität < 3,0 E+11 Bq	50- 20.000 € pro Behälter (200 l)
Vergießen von Reststoffen mit einer Dosisleistung < 10 mSv/h an der unabgeschirmten Oberfläche und Gesamtaktivität < 3,0 E+11 Bq, mit Zementmörtel oder Beton	1.900 bis 25.000 € pro Behälter (200 l)
Vergießen von Reststoffen mit einer Dosisleistung > 10 mSv/h an der unabgeschirmten Oberfläche und Gesamtaktivität > 3,0 E+11 Bq, mit Zementmörtel oder Beton oder Verpressen	2.500 bis 30.000 € pro Behälter (200 l)
Zementierung von Chemikalien bis 2 kg	100 bis 500 € pro Stück

Bei einer Konditionierung können noch deutlich höhere Preise anfallen. In Tabelle 12.2-3 sind die einmaligen Annahmegebühren der baden-württembergischen Landessammelstelle bei der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) Karlsruhe bei Ablieferung radioaktiver Abfälle aufgeführt: In diesen Gebühren ist die Konditionierung enthalten. Je nachdem, welche Behandlungsschritte erforderlich und welche Besonderheiten beim Material zu berücksichtigen sind, können die Kosten demnach auf bis zu 25.000 € ansteigen. Zusätzlich fallen Transportkosten an. Bei Sammeltransporten bewegen sich die Transportkosten für ein 200-l Fass bei ca. 100 €.

Einschätzung der Nutzbarkeit für NORM-Abfälle

Eine Abgabe an Landessammelstellen ist für die Abfälle der Grundvariante eine realistisch mögliche Entsorgungsoption. Die Einschränkungen bezüglich der Alphaaktivität können durch entsprechende Aufarbeitung der Materialien bei Bedarf überwunden werden. Eine Entsorgung mehrerer 1.000 t/a eines möglichen zusätzlichen Aufkommens nach Abschnitt 11.3 in die Landessammelstellen wird die kapazitiven Möglichkeiten dieser Einrichtungen überfordern.

12.2.4 Zusammenfassende Einschätzung

Nach den hier dargestellten Sachverhalten sind die vorhandenen Möglichkeiten der Behandlung und Beseitigung von NORM-Abfällen als **ausreichend für** die Beseitigung der nach **Grundvariante** zu erwartenden Mengen und Aktivitäten anzusehen. Sie reichen allerdings nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie nicht aus, um Mengen von mehreren 1000 t/a eines möglichen zusätzlichen Aufkommens nach Abschnitt 11.3 zu entsorgen. Für diese Mengen sind alternative Entsorgungsoptionen zu prüfen.

12.3 Ergänzende Entsorgungsoptionen

12.3.1 Bau spezieller Deponien zur Beseitigung radioaktiver Abfälle mit NORM / TENORM

Sachstandsdarstellung

Grundsätzlich ist die Option der Errichtung spezieller Deponien/Entsorgungsanlagen zu prüfen, wenn große Mengen an NORM-Abfällen anfallen, für die die vorhandenen Kapazitäten im kerntechnischen Bereich nicht ausreichen. Nach Abschnitt 11 betragen die dabei zu berücksichtigenden Mengen ca. 35.000 Tonnen bzw. 23.000 m³ für einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren.

Einschätzung der Machbarkeit

Als Varianten einer neu zu errichtenden Anlage kommen prinzipiell oberflächennahe/obertägige oder untertägige Deponien in Frage. Aus rechtlichen Gründen müssten derartige Deponien als Endlager für (radioaktive) NORM-Abfälle eingestuft werden.

Im internationalen Maßstab wird für die Endlagerung von kurzlebigen radioaktiven Abfällen und von Abfällen mit langlebigen Radionukliden bei begrenzter Konzentration eine oberflächennahe Deponierung diskutiert /177/. Im vorliegenden Fall ist die spezifische Aktivität aller als NORM-Abfälle identifizierten Mengen mit deutlich weniger als 1.000 Bq/g bezogen auf die beurteilungsrelevanten Referenznuclide anzusetzen. Daher wäre eine oberflächennahe Deponierung eine auf fachtechnischer Sicht zu prüfende Variante.

Aus folgenden Gründen wird die Errichtung oberflächennaher Spezialdeponien bzw. einer Spezialdeponie für NORM-Abfälle für nicht realistisch eingeschätzt:

- Eine Spezialdeponie der hier zu diskutierenden Auslegung hätten den Charakter eines Endlagers für radioaktive Abfälle. Damit ist ein Planfeststellungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung zwingend notwendig. Es steht dabei zu erwarten, dass erheblicher öffentlicher Widerstand gegen derartige Planungen entsteht. Das gilt insbesondere, wenn in einer zentralen Anlage alle Abfälle aus dem Bundesgebiet entsorgt werden sollen.
- Von Seiten des BfS wird derzeit die Genehmigungsfähigkeit von oberflächennahen Endlagern grundsätzlich verneint /178/. Als Entsorgungsweg für radioaktive Abfälle wird ausschließlich die Verbringung in tiefere geologische Schichten gesehen. Auch in Hinblick auf die Besonderheiten der hier betrachteten natürlichen Radionuklide ist eine abweichende Vorgehensweise für die Öffentlichkeit schwer zu vermitteln.

Aus diesem Grund kämen in Deutschland derzeit nur Lösungen in Frage, die eine Verbringung in tiefere geologische Horizonte einschließen. Im Sinne der hier betrachteten Option liefe das faktisch auf die Errichtung eines speziellen Endlagers hinaus. Eine derartige Option ist derzeit in Anbetracht der relativ geringen Mengen an NORM-Abfällen nur eine nachrangig zu prüfende Variante, die außerdem als extrem kostenintensiv einzuschätzen ist. Sie wird in dieser Studie daher nicht vertiefend geprüft.

12.3.2 Nutzung vorhandener Deponien (speziell Sonderabfalldeponien, SAD)

Sachstandsdarstellung

In der Bundesrepublik gibt es eine Vielzahl von Deponien der Deponieklasse III bzw. IV (s. Abschnitt 9.3.1), die als Sonderabfalldeponien (SAD) für die Entsorgung toxischer und anderer gefährlicher Abfälle zugelassen sind. Das Abfallrecht und die Planfeststellungsgenehmigungen dieser Deponien schließen eine Annahme von radioaktiven Stoffen im Sinne des AtG für diese Anlagen bisher aus. Nicht zwingend ausgeschlossen ist allerdings die Annahme von Materialien, die nach ADR-Klasse 7 transportiert werden müssen.

Für die Entsorgung von NORM-Abfällen auf vorhandene Deponien ergeben sich damit folgende grundsätzliche Möglichkeiten:

- Erreichen der Annahmefähigkeit bei Deponien, bei denen die Annahme von Klasse 7 Transporten nicht im Planfeststellungsbescheid ausgeschlossen ist, als Voraussetzung einer Entlassung nach § 98 StrlSchV, um die Eigenschaft des radioaktiven Stoffes im rechtlichen Sinne aufzuheben.
- Streichen des Ausschlusses von Transporten der ADR-Klasse 7 aus den Planfeststellungsbescheiden (soweit dort fixiert),
- Erweiterung der Betriebsgenehmigungen auf (bestimmte) radioaktive Stoffe im Sinne des AtG.

Einschätzung der Machbarkeit

Das Erreichen einer Annahmefähigkeit von Deponien, bei denen die Genehmigung keine expliziten Einschränkungen in Hinblick auf die ADR-Klasse 7 enthält, stellt die insgesamt naheliegendste Vorgehensweise dar. Sie wird vor allem dann leichter durchsetzbar, wenn die Kennzeichnungspflicht der Transporte durch Sonderregelungen modifiziert wird, so dass die äußerliche Erkennbarkeit der ADR-Klasse entfällt. Ansonsten ist damit eine Akzeptanzfrage verbunden, deren Wirksamkeit im konkreten Fall derzeit schwierig zu beurteilen ist.

Da die ADR/GGVS-Regelungen nicht auf Grundlage des AtG erlassenen Rechtsverordnungen darstellen, ist die Einstufung von Materialien in die Klasse 7 ADR nicht zwingend mit einer Einstufung der Materialien als radioaktiver Stoff im Sinne des AtG verbunden. Das Streichen des Ausschlusses von Transporten der ADR-Klasse 7 aus Planfeststellungsbescheiden ist daher eine Möglichkeit, die Forderungen von KrW-/AbfG und StrlSchV gleichermaßen einzuhalten und die Aktivitätslimitierung nach Abschnitt 9.4.2.5 aufzuheben. Eine solche Änderung der Genehmigung ist ggf. durch den Betreiber der Entsorgungsanlage zu beantragen. Sie kann aber als wesentliche Änderung des Planfeststellungsbescheides zu einem Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung führen. In solchem Fall sind zusätzliche technische Maßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition als Konsequenz zu erwarten. Derartige Maßnahmen können sein:

- Einrichtung von Monodeponiebereichen für NORM-Abfälle mit zusätzlichen Barrieren und speziellen Betriebsverfahren. In diesem Zusammenhang kann eine Einstufung von Arbeitsplätzen als überwachte Arbeitsplätze nach § 96 Abs. 6 bei Bedarf getroffen werden.
- Forderung nach spezieller Form der Vorbehandlung oder Verpackung.

Die Erweiterung der Betriebsgenehmigung von Deponien auf die Annahme von radioaktiven Stoffen im Sinne des AtG ist nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie wenig realistisch, da sie den derzeitigen Regelungen des KrW-/AbfG widerspricht. Sie erfordert ggf. Änderungen im KrW-/AbfG, die ohne zwingenden Bedarf kaum durchsetzbar sind.

Gesamtbewertung

Die Erweiterung der Akzeptanz von SAD-Betreibern in Hinblick auf NORM-Abfälle stellt den mit Sicherheit einfachsten und praktikabelsten Weg zur Lösung der Entsorgung des Zusatzaufkommens nach Abschnitt 11.3 dar. Die damit ggf. notwendige Aufrüstung vorhandener SAD wird nach Einschätzung der Bearbeiter diese Studie durch Bau spezieller Deponiebereiche (z.B. Einbaukassetten) und geeignete Zusatzbarrieren technisch lösbar sein. Die Genehmigungsfähigkeit derartiger Lösungen ist allerdings pauschal nicht einschätzbar. Sie wird allerdings in dem Maße steigen, in dem sich die Entsorgung von Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität auf Deponien als Regelweg der Beseitigung von NORM-Rückständen etabliert, da aus physikalischer und strahlenschutztechnischer Sicht keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen ADR-pflichtigen und freigestellten Materialien besteht.

Als wesentliches Element der Akzeptanzverbesserung wird durch die Bearbeiter der Studie eine bessere Information bzw. Qualifizierung von Entscheidungsträgern in der Abfallwirtschaft eingeschätzt. Vor allem in Hinblick auf die differenzierte Bewertung der Radioaktivität in der StrlSchV sollten die Kenntnisse deutlich verbessert werden.

Vorteile einer solchen Lösung sind:

- Es werden langfristig nutzbare Entsorgungswege geschaffen.
- Die Entsorgung ist relativ kostengünstig

Folgende Nachteile ergeben sich, wenn eine Änderung der Betriebsgenehmigung erforderlich ist:

- Änderungen von Planfeststellungen erfordern ein längeres (in der Regel mehrjähriges) Genehmigungsverfahren,
- Die Errichtung von Monodeponieabschnitten oder andere Nachrüstungen der Deponie müssen wahrscheinlich auf die entsorgten
- In Anbetracht der relativ kleinen Abfallmengen und der hohen Öffentlichkeitsbeachtung der Radioaktivität besteht nur geringes wirtschaftliches Interesse an der Entsorgung.

12.3.3 Nutzung vorhandener Entsorgungswege in genehmigte Anlagen der WISMUT GmbHSachstandsdarstellung

Für die Sanierungsaufgaben der WISMUT GmbH wurden seit 1990 mehrere Anlagen in Sachsen und Thüringen errichtet, die speziell für die Entsorgung von Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität ausgelegt sind. Einen Überblick über diese Anlagen gibt Tabelle 12.3-1.

Tabelle 12.3-1 Entsorgungsanlagen der WISMUT GmbH für radioaktive Materialien /155/

Anlage	Aufgabe	Kapazität	Besonderheiten
Sonderabfalldeponie Lichtenberg	Deponie zur Aufnahme mehrfachkontaminierten Abfalls aus einem Altdeponiekomplex und aus der Sanierungstätigkeit der Wismut GmbH	1,17 Mio. m ³	Sicherungskomponenten nach dem Multibarrierenprinzip mit Basis- und Oberflächenabdichtung
Verwahrstandort Aue	Verwahrort für mit Zement verfestigte, kontaminierte Rückstände der Grubenwasserbehandlung	100.000 t	Rückstände in Big Bags eingelagert
Verwahrstandort Ronneburg	Verwahrort für mit Zement verfestigte, kontaminierte Rückstände der Sickerwasserbehandlung	19.000 t	
Verwahrung Schlema-Alberoda	Mittels hydraulischer Bindemittel werden immobilisierte Rückstände der Grubenwasserbehandlung als kubische Formkörper in Big Bags auf der Halde 371/I verwahrt. Der Einbau der Immobilisate erfolgt in mehreren Lagen, die jeweils einzeln abgeschlossen werden.	40.000 m ³	Verwahrbereich entsprechend den strahlenschutz- und abfallrechtlichen Anforderungen vorbereitet. Eingelagert werden NORM-Stoffe mit einer spezifischen Aktivität von ca. 300 Bq/g U _{nat} und 50 Bq/g Ra-226. Neben Immobilisaten aus Portland-Zement werden auch Immobilisate aus Geopolymer verwahrt.
Rückstandsverwahrung Helmsdorf	Verwahrung von Rückstände der Wasserreinigung (Urankonzentrat, Arsen-Radium-Schlämme) auf den Spülstränden der IAA Helmsdorf	k. A.	Die entwässerten Fällungs-/Flotationsschlämme der Arsen-Radium-Abtrennung werden mit hydraulischen Bindemitteln gemischt und als krümelndes Material in vorbereiteten Kassetten der IAA eingebaut, verdichtet und abgedeckt.

Die Deponie Lichtenberg ist eine Sonderabfalldeponie, die nach Stand der Technik geplant und errichtet wurde und nach gegenwärtigem Genehmigungsstand nur zur Aufnahme von Abfällen aus der WISMUT-Sanierung dient. Die Annahme von radioaktiven und toxischen Stoffen von außerhalb der

WISMUT wird von Seiten WISMUT als technisch möglich eingeschätzt /114/, zumindest im Bereich von einigen 100 bis 1000 Jahrestonnen.

Der Verwahrstandort Halde 371/I Schlema-Alberoda dient der Aufnahme immobilisierter Rückstände der Wasserbehandlungsanlage. Von Seiten der WISMUT wird eingeschätzt, dass zusätzliche Entsorgungskapazitäten derzeit (Anfang 2003) schwer abschätzbar sind /114/.

Die Verwahrung von Rückständen auf der IAA Helmsdorf ist an den Sanierungsverlauf der IAA gebunden. Nach Abschluss der Verwahrungsarbeiten auf den Spülstränden ist eine weitere Einlagerung nicht mehr möglich /114/.

Die größten Gesamtkapazitäten besitzt die Verwahranlage in Aue. Dort fallen auch die höchsten spezifischen Aktivitäten in der Wasserbehandlung an (s. Tabelle 4.3-4).

Von der WISMUT wird im Schreiben /114/ auch auf die Nutzung ehemaliger Bergwerke hingewiesen. Sofern diese Bergwerke die geotechnischen und hydrogeologischen Voraussetzungen erfüllen, wäre eine Nutzung bei Bedarf prüffähig. Die genehmigungspolitische Seite dieser Nutzung ist jedoch unklar.

Rechtliche / sachliche Probleme / Hindernisse

Eine Genehmigung zur Einlagerung von NORM/TENORM-Abfällen, die außerhalb der WISMUT entstanden sind, wurde bisher nicht erteilt und nicht beantragt. Weder die WISMUT noch ihre Tochtergesellschaft WISUTEC sind als Entsorgungsfachbetrieb zugelassen. Eine derartige Zulassung könnte jedoch bei entsprechendem wirtschaftlichen Interesse und einer positiven Vorklärung der Genehmigungslage geprüft werden /114/.

Für die Deponie Lichtenberg der WISMUT müsste zur Unterbringung von Rückständen fremder Herkunft ein erneutes Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden. Ein derartiger Genehmigungsaufwand wird von Seiten der WISMUT als unvertretbar hoch und risikobehaftet eingeschätzt /114/.

Die Planung und Errichtung der Verwahrstandorte der WISMUT erfolgte entsprechend den allgemeinen Anforderungen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. In /114/ wird dabei ausdrücklich auf die teilweise hohen spezifischen Aktivitäten bis über 1000 Bq/g hingewiesen.

Eine Anlieferung von Gefahrguttransporten mit Rückständen externer Herkunft war bisher nicht Gegenstand der Betrachtungen bei WISMUT. Generell wird die Annahme von ADR-Klasse 7 Transporten bei WISMUT eher als technisches und genehmigungsrechtliches Problem eingeschätzt, das bei einer Einlagerung von Rückständen keine erheblichen Akzeptanzfragen aufwirft /114/.

Einschätzung der Eignung als Entsorgungsweg

Die Sonderabfalldeponie Lichtenberg besitzt unter allen deutschen Deponien einen Sonderstatus, weil hier bereits eine Spezialisierung hinsichtlich der Einlagerung radioaktiver Rückstände vorliegt. Die

Einlagerung von TENORM/NORM-Stoffen auf einer Deponie zusammen mit dem bereits vorhandenen radiologisch ähnlichen Material aus dem Uranerzbergbau bei spezieller Einlagerung und kontrolliertem Umgebungsmonitoring ist daher als technisch günstige Option einzuschätzen. Vorteilhaft ist auch, dass am Standort Lichtenberg entsprechendes Know How bei der Handhabung mit radioaktiver Rückstände vorliegt. Die Tatsache, dass sich die Deponie in Bundeseigentum und unter bestimmten radiologischen Konditionen befindet, stellt aus unserer Sicht keinen besonderen Vorteil dar.

Genehmigungstechnisch dürfte die Akzeptanz von Seiten der Bevölkerung nicht zu vernachlässigen sein, die durch die Vorgeschichte des Gebietes betroffen und dementsprechend sensibilisiert ist.

Es wird daher eingeschätzt, dass die Nutzung der Deponie Lichtenberg für die Beseitigung von NORM-Abfällen im hier diskutierten Kontext vorerst nicht geeignet ist.

Die Nutzung von anderen Verwahrstandorten (insbesondere Aue) könnte allerdings bei einem konkreten Bedarf eine prüffähige Option darstellen.

12.3.4 Errichtung von Langzeitlagern bzw. Zwischenlagern zur Verwahrung

Sachverhaltsdarstellung

Im Falle des Ausfalls aller bisher untersuchten Entsorgungsoptionen für das mögliche Zusatzaufkommen an NORM-Abfällen wäre auch die Errichtung von Langzeitlagern bzw. Zwischenlagern zu prüfen. Langzeitlager sind auch in der konventionellen Abfallwirtschaft vorgesehen, um eine zwischenzeitlichen Lagerung von Abfällen vor einer Beseitigung oder einer Verwertung über einen Zeitraum von mehr als 1 Jahr zu ermöglichen (§ 2 Nr. 18-22 DepV). Nach DepV handelt es sich hierbei um Anlagen zur Lagerung von Abfällen nach § 4 Abs. 1 BImSchG i.V. mit Nummer 8.14 des Anhangs zur BImSchV. Als solche sind sie für radioaktive Abfälle nicht genehmigungsfähig. Es müssten demnach Zwischenlager für radioaktive Materialien auf der Basis strahlenschutzrechtlicher Genehmigungen eingerichtet werden.

Einschätzung der Machbarkeit

Die Erfahrungen mit der Genehmigung von Zwischenlagern an Standorten der Kernkraftwerke zeigen, dass bei entsprechender Begründung eine Genehmigung derartiger Anlagen in überschaubaren Zeiten erreicht werden kann. Von daher wird durch die Bearbeiter dieser Studie eine prinzipielle Machbarkeit dieser Option gesehen.

Gesamtbewertung

Derzeit ist ein konkreter Bedarf an Zwischenlagern nicht erkennbar. Allerdings liegen bei den Bearbeitern der Studie aus der Vergangenheit Erfahrungen vor, die zeigten, dass längerfristige Sicherstellun-

gen von kontaminierten Bodenaushub notwendig werden können. Von daher stellt diese Option stets eine kurzfristig angehbare Option beim Versagen anderer Entsorgungen dar.

Vorteile einer solchen Lösung sind:

- Die Lagerkapazitäten können an den tatsächlichen Bedarf orientiert werden. Damit reduzieren sich die Kosten auf ein tatsächlich erforderliches Maß.
- Es können relativ einfach dezentrale Lösungen geschaffen werden.
- Da eine Rückholung zur Beseitigung inhärenter Bestandteil des Konzeptes und der Genehmigung ist, könnten ggf. auch geeignete vorhandene Anlagen genutzt werden. Derartige Anlagen könnten auch die Verwahranlagen der WISMUT sein (s. Abschnitt 12.3.3) zählen.

Nachteilig ist:

Es ist im Konzept der Lager enthalten, dass damit nachhaltige Entsorgungsvorgänge nicht gesichert werden können. Lager kommen daher nur in Frage, wenn ein abgegrenztes Inventar an NORM-Abfällen bis zur Errichtung geeigneter Endlagermöglichkeiten aufbewahrt werden soll. Sie sind daher für die Entsorgung industrielle Produktionsprozesse nicht geeignet. Abfälle aus der Sanierung von Hinterlassenschaften können aber bei Bedarf auf diese Weise sichergestellt werden.

Als eine spezielle Lösung können nach derzeitiger Einschätzung Verwahrstandorte der WISMUT in eine Prüfung von Lagerkapazitäten einbezogen werden.

12.3.5 Zusammenfassende Einschätzung

Von den ergänzenden Entsorgungsoptionen erwiesen sich praktisch nur die Nutzung vorhandener Sonderabfalldeponien ggf. ergänzt um eine Nutzung von Verwahrorten der WISMUT als eine beim derzeitigen Kenntnisstand als realistisch zu bewertende Entsorgungsoption. Dabei wird die Nutzung vorhandener Deponien nur nach Aufhebung der Eigenschaft Radioaktivität als machbar eingeschätzt. Die Voraussetzungen für die Aufhebung dieser Eigenschaft für die hier betrachteten NORM-Abfälle können u.a. durch eine hochwertige Immobilisierung (z.B. mit Geopolymer) verbessert werden.

Eine realistische Alternative zu dem vorhergenannten Konzept besteht in der Errichtung von speziellen Zwischenlagern für NORM-Abfälle.

13 Abschätzung der mit der Beseitigung der NORM-Abfälle verbundenen Kosten

13.1 Grundvariante

Nach den Ergebnissen des Abschnitts 12 sind die vorhandenen Entsorgungswege in Deutschland für radioaktive Abfälle auch für die in der Grundvariante identifizierten NORM-Abfälle nutzbar und werden als Regelweg der Entsorgung eingeschätzt. Da die im Abschnitt 11.2 identifizierten Massen auch bisher zu großen Teilen über diesen Entsorgungsweg beseitigt wurden, ergibt sich daraus keine grundsätzliche Veränderung der bisherigen Situation.

Zur Kostenschätzung können die im Abschnitt 12.2.3 zusammengestellten Angaben heran gezogen werden. Für eine überschlägige Ermittlung der zu erwartenden Kosten wird danach ein Preis von 10.000 € für ein 200 l-Fass angesetzt. Mit dem ermittelten Gesamtvolumen an Materialien der Fallgruppen 1 und 2 nach Tabelle 11.2-1 von etwa 670 – 680 m³ in 10 Jahren ergibt sich daraus eine Kostenschätzung in der Größenordnung von ca. 34 Mio. € verteilt über 10 Jahre.

Ein Großteil der Kosten fällt aufgrund der Mengenanteile nach Tabelle 11.2-1 durch die Entsorgung von Funden sowie Materialresten aus der Herstellung thoriertes Schweißelektroden und thoriertes Gasglühkörper an. Darin enthalten ist auch der kalkulatorisch berücksichtigte Anteil von Bauschutt aus Rück- und Umbau von für diese Produktionslinien genutzten Gebäuden.

Die Kostenschätzung bezieht sich ausdrücklich nur auf das Mengengerüst der Tabelle 11.2-1 und enthält damit implizit die bei der Ableitung dieses Mengengerüsts getroffenen Annahmen. Alle Möglichkeiten, die zu einer Aufarbeitung, Rezyklierung oder anderweitigen Entsorgung möglich sind, können die geschätzten Mengen und damit auch die Kosten reduzieren.

Durch die absehbare Verringerung der Herstellung und Verwendung thoriertes Produkte wird der hier betrachtete Anteil an NORM-Abfällen zurückgehen. Mittelfristig ist daher eher mit abnehmenden Entsorgungskosten zu rechnen.

13.2 Maximalvariante

Als Maximalvariante für die zu berücksichtigenden Kosten bei der Entsorgung von NORM-Abfällen ist eine vollständige Entsorgung der in der Grundvariante und aus dem zusätzlichen Aufkommen abgeleiteter Mengen als radioaktiver Abfall über die vorhandenen Entsorgungswege zu betrachten. Nach den Angaben der Tabelle 11.3-1 wurde ein Volumen von 23.170 m³ an zusätzlichem Mengenaufkommen für einen Zeitraum von 10 Jahren geschätzt. Mit dem Kostenansatz von ebenfalls 10.000 € pro 200 l-Fass und einer einfachen Umrechnung der Abfallvolumina in Fässer ergeben sich die in Tabelle 13.2-1 zusammengestellten Maximalkosten. **Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den dort angegebenen Zahlen um reine Szenarienwerte handelt.** Zusätzlich zu diesen Kosten fallen die Kosten der Grundvariante an.

Tabelle 13.2-1 Schätzung von maximalen Entsorgungskosten für ein evtl. Zusatzaufkommen an NORM-Abfällen (Erläuterungen im Text beachten!)

Herkunftsbereich	Rückstände	Menge in m ³ / 10 a	Kosten in Mio. €
Erdöl, Erdgas	Scales, Schlämme,	1290	64,5
Columbit, Mikrolyth, Euxenit + Zinnerzkonzentrate	Schlämme, Prozessrückstände (Gips, Schwerspat) Stäube	670	33,5
Pyrochlor	Pyrochlorschlacken	590	29,5
Roheisenverhüttung	Sinterstäube , Hochofenschlämme	340	17,0
alle vorgenannten Rückstände	Formstücke	6.500	325,0
Hinterlassenschaften	Bodenaushub	6.000	300,0
Hinterlassenschaften Oranienburg (+)	Bodenaushub	7.000	350,0
Wasserwirtschaft , Kurbetriebe	Schlämme	270	13,5
Feuerfestindustrie	Mineralsande, Mineralsandhaltige Produktreste	510	25,5
	Summe	23.170	1.158,5

Ein Großteil der in Tabelle 13.2-1 ausgewiesenen Kosten entstände bei der Beseitigung von Hinterlassenschaften (ca. 50 %) und müsste von den betroffenen Ländern getragen werden, da Rechtsnachfolgefirmen wahrscheinlich nur in wenigen Fällen herangezogen werden können.

Die Schätzung der Maximalvariante verdeutlicht an dieser Stelle mögliche Probleme, die auftreten können, wenn die im Abschnitt 10.2 identifizierten Hindernisse einer Entlassung voll zum Tragen kommen. Die bisherige Praxis lässt dieses Szenario nicht wahrscheinlich erscheinen. Es sollte jedoch für die Beurteilung der Gesamtproblematik berücksichtigt werden.

13.3 Realistische Varianten

Nach Abschnitt 12.3 ist die Nutzung vorhandener Deponien oder vorhandener Anlagen der WISMUT GmbH ein praktikabler Weg, um anderweitig nicht zu beseitigende NORM-Abfälle zu entsorgen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung dieser Wege ist eine Aufbereitung und Konditionierung, um Strahlenexpositionen der Beschäftigten auf den Deponien zu minimieren.

Gelingt es generell, die Annahmefähigkeit von Deponien (SAD, UTD) für ADR Klasse 7 Transporte zu erreichen, kann ein Großteil der Zusatzmengen direkt auf diese Anlagen deponiert werden. Daher ergeben sich für die Kostenschätzung zwei Varianten.

Variante 1 beinhaltet eine Direktentsorgung nach entsprechende Annahmefähigkeit auf eine SAD. Als Kostensatz wird unter Bezug auf Abschnitt 9.3.1 der höhere Wert von 400 €/t angesetzt.

Variante 2 beinhaltet eine Entsorgung nach vorhergehender Konditionierung z.B. mit Geopolymer ebenfalls auf eine SAD. Die Kosten für die Immobilisierung werden nach Abschnitt 9.4.2.8 mit 1000 €/t angesetzt. Für die Entsorgung werden in diesem Fall 300 € veranschlagt.

Da die Kosten für die Entsorgung auf Deponien massenbezogen sind, wird die Schätzung auf die in Tabelle 11.3-1 angegebenen Massen bezogen.

In Tabelle 13.3-1 sind die Kosten für diese beiden Varianten zusammen gestellt.

Tabelle 13.3-1 Kostenschätzung für realistische Entsorgungsoptionen

Herkunftsbereich	Rückstände	Masse t/ 10 a	Kosten in Mio. €	
			Variante 1	Variante 2
Erdöl, Erdgas	Scales, Schlämme,	1.940	0,776	2,52
Columbit, Mikrolyth, Euxenit + Zinnerzkonzentrate	Schlämme, Prozessrückstände (Gips, Schwerspat) Stäube	1.000	0,400	1,30
Pyrochlor	Pyrochlorschlacken	880	0,352	1,14
Roheisenverhüttung	Sinterstäube , Hochofenschlämme	500	0,200	0,65
alle vorgenannten Rückstände	Formstücke	9.700	3,88	12,61
Hinterlassenschaften	Bodenaushub	9.000	3,60	11,70
Hinterlassenschaften Oranienburg (+)	Bodenaushub	10.500	4,20	13,65
Wasserwirtschaft , Kurbetriebe	Schlämme	410	0,164	0,53
Feuerfestindustrie	Mineralsande, Mineral-sandhaltige Produktreste	760	0,304	0,99
	Summe	34.690	13,876	45,09

Die für die Verbringung auf SAD kalkulierten ca. 14 Mio. € sind als realistisch für die Entsorgung der hier diskutierten Mengen aus dem Status von NORM-Abfällen heraus einzuschätzen. Eine vollständige Konditionierung aller hier betrachteten NORM-Abfälle mit Geopolymer oder ähnlichen qualitativ hochwertigen Konditionierungstechniken ist mit hoher Wahrscheinlichkeit für die Gesamtmenge der betrachteten Materialien nicht erforderlich. Die Gesamtkosten der Variante 2 geben daher einen oberen Bereich für Kostenschätzungen bei realistischen Entsorgungsoptionen an.

Insbesondere für die hier untersuchten Mengen steht allerdings zu erwarten, dass erhebliche zusätzliche Kosten für Deklarationsanalytik, Entlassungsverfahren und Transport nach GGVS anfallen, so dass im Einzelfall Kosten in Höhe von 3000 bis 4000 €/t als durchaus realistisch eingeschätzt werden.

14 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Untersuchung des Mengenaufkommens an Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität in Deutschland konnte aufbauend auf bereits vorhandenen Arbeiten ein Mengengerüst für diese Stoffe ableiten. Dieses Mengengerüst stellt zunächst eine Orientierung für die erwarteten Aktivitäts-Mengenströme in Deutschland dar.

Bei den einzelnen Prüfungen von Sachverhalten wurden eine Reihe von Kenntnisdefiziten und offenen Fragen zum Vollzug der StrlSchV festgestellt, die zu folgenden Empfehlungen führen:

- Die physikalisch-chemischen Vorgänge der Radionuklidakkumulation bei technischen Prozessen sollten als Grundlage von Vermeidungsmaßnahmen und für bessere Schätzungen von Mengenaufkommen systematisch untersucht werden. Durch eine derartige Untersuchung könnten für den Vollzug der StrlSchV verbesserte Grundlagen geschaffen werden. Darüber hinaus könnte die Kenntnis der Parameter TENORM-bildender Prozesse helfen, eine Vorabwertung der radiologischen Relevanz von Prozessveränderungen für Unternehmen und Behörden zu ermöglichen.
- Die tatsächlichen Mengen an überwachungsbedürftigen Rückständen können nur dann ermittelt werden, wenn auch die Rückstandsregelungen der StrlSchV (insbesondere § 100) im Vollzug umgesetzt werden. Dieser Vollzug sollte daher durch geeignete Maßnahmen (Information der potentiell betroffenen Unternehmen; unabhängige Prüfung durch Behörden oder Forschungsvorhaben) unterstützt werden.
- Abfallimporte sind eine bisher noch nicht betrachtete Zusatzmenge an Materialien erhöhter natürlicher Radioaktivität. Eine grundsätzliche Klärung ist daher zu empfehlen.
- Für die Bereiche, die nur einzelfallbezogen nach § 102 StrlSchV in eine strahlenschutzrechtliche Überwachung aufgenommen werden können, sind sowohl die Angaben zu tatsächlichen Aktivitätsverteilungen als auch die Einschätzungen zukünftigen behördlichen Handelns in hohem Maße unsicher. Weitere Untersuchungen zur Klärung von TENORM-bildenden Prozessen und möglichen Mengen mit deutlich erhöhter spezifischer Aktivität für die in dieser Studie genannten Bereiche werden empfohlen. Als ein Teilbereich mit erwarteter höherer Relevanz wurden ermittelt:
 - Gewinnung und Aufbereitung von Mineralwasser sowie spezielle Heilwassernutzungen ermittelt. Eine Zunahme von Mengen aus der zielgerichteten der Ra-Abtrennung ist anzunehmen.
 - Die Bildung von Materialien erheblich erhöhter Aktivität bei den Bodenluft und Grundwasser-Sanierungen.
 - Entstehung von TENORM-Bildungen in der Papier- und Zellstoffindustrie.

Eine grundsätzliche Überprüfung wird empfohlen

- Da die Entlassung von Rückständen höherer spezifischer Aktivität Einzelfallnachweise nach Anlage XII Teil D StrlSchV erfordert, ist eine Richtlinie zu den Berechnungsgrundlagen zu empfehlen, die insbesondere Empfehlungen für realistische Szenarien und Vorgaben zur realistischen Berechnung von Dosiswerten enthält. Eventuell könnten auch spezifische Rahmen nachweise durch Industrieverbände oder Branchenzusammenschlüsse für die von ihnen vertretenen Unternehmen einheitliche Grundlagen für die Entlassungsverfahren in den Bundesländern legen.
- Da bisher die Vorbelastung von Deponiesickerwasser mit natürlichen Radionukliden nicht hinreichend untersucht wurde, fehlt derzeit eine Datenbasis, um spätere Messergebnisse einzuordnen und sachgerecht zu beurteilen. Es wird empfohlen, eine derartige Datenbasis zu erarbeiten.
- Das Vorkommen von TENORM-Bildungen im Bereich kerntechnischer Anlagen oder sonstiger Einrichtungen mit strahlenschutzrechtlich genehmigtem Umgang sollte geprüft werden.
- Laboratorien können insgesamt Mengen von einigen Tonnen pro Jahr an Probenmaterial in Labors untersuchen. Durch die NORM-Regelungen der StrlSchV ist von einer Zunahme dieser Menge auszugehen. Eine grundsätzliche Prüfung der Entsorgungswege dieser Materialien wird empfohlen.

Radioaktive Abfälle mit natürlichen Radionukliden sind schwerpunktmäßig aus den Herkunftsbereichen Funde und Zusatz radioaktiver Stoffe zu Produkten zu erwarten. Bei allen anderen Herkunftsbereichen (überwachungsbedürftige Rückstände, sonstige überwachte Materialien) ist die Entstehung radioaktiver Abfälle an die Unmöglichkeit der Entlassung nach § 98 StrlSchV bzw. eine dazu analoge behördliche Anordnung/ Zulassung gebunden. Als Hauptproblem für mögliche Entlassungen nach § 98 StrlSchV wurden die Freistellungsgrenzen der ADR ermittelt. Bei konsequenter Anwendung der Regelungen und Untersagung von Transportkonditionierungen können Zusatzmengen an radioaktiven Abfällen von ca. 20.000 – 25.000 m³ im Zeitraum von 10 Jahren entstehen. Es ist allerdings nach Einschätzung der Bearbeiter dieser Studie möglich, das tatsächliche Entstehen dieser zusätzlichen Aufkommens an radioaktiven Abfällen (NORM-Abfällen) zu vermeiden. Dazu sind neben der Transportkonditionierung als Vorzugsvariante spezielle Deponien für die Annahme von Gefahrguttransporten der Klasse 7 zu öffnen. Die diesbezüglichen Möglichkeiten der vorhandenen Sonderabfalldeponien sollten dazu geprüft werden.

Die Akzeptanz der Entsorgungswirtschaft kann nur verbessert werden, wenn die Entscheidungsträger der Entsorgungsunternehmen in Hinblick auf die differenzierte Bewertung der Radioaktivität in der StrlSchV besser qualifiziert werden. Hier sind entsprechende Maßnahmen zu empfehlen.

15 Quellennachweis

- 1 Proceedings. International Symposium on radiological problems with natural radioactivity in the Non-Nuclear Industry. Amsterdam 1997 (NORM I)
- 2 Proceedings. Second International Symposium on the Treatment of Naturally Occurring Radioactive Materials. NORM II. Krefeld 1998
- 3 Symposium Book NORM III. FANC-AFCN, Brussels, Belgium 2001
- 4 Proceedings. Seventh International Symposium Natural Radiation Environment (NRE-VII), May 2002, Rhodes, Greece
- 5 Ableitung von Überwachungsgrenzen für Reststoffe mit erhöhten Konzentrationen natürlicher Radioaktivität. Brenk Systemplanung 31.05.1999
- 6 Berechnungsgrundlagen Bergbau. BMU 1999
- 7 Eingrenzung und Bewertung der von den vorgesehenen NORM-Regelungen der Novelle StrlSchV betroffenen Bereiche. Bericht der Brenk Systemplanung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Aachen, Januar 2000
- 8 Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Anthropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil Ia - Strahleneigenschaften von Roh- und Reststoffen. Studie des TÜV Bayern Sachsen im Auftrag des StMLU, München 1994
- 9 Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Anthropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil IIa – Untersuchungen zur Strahlenexposition beim beruflichen Umgang. Detail- und Langzeitmessungen in einer Trinkwasseraufbereitungsanlage. Studie des TÜV Bayern Sachsen im Auftrag des StMLU, München 1994.
- 10 Therapie mit Ra-224-Radiumchlorid. Empfehlungen und Stellungnahmen der SSK 1998, Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission, Band 44
- 11 Beurteilung von Sicherheitsfragen bei der langfristigen Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen, abgebrannten Brennelementen und HAW-Glaskokillen. Bericht der GRS Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit mbH im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Vorhaben SR 2091 vom Januar 1997
- 12 Jahresbericht der Staatlichen Gewerbeaufsicht 1999. Hrsg. Niedersächsisches Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales sowie Niedersächsisches Umweltministerium
- 13 Begründung zur StrlSchV (Kabinettsfassung vom 14.03.2001). Veröffentlicht unter www.bmu.de
- 14 Telefonat zwischen Frau Dr. Schulz-Klemm, VDEh und Dr. Gellermann, HGN, Januar 2002
- 15 Radionuklid-Analyse für Umweltbewertung. Studie im Rahmen eines Förderprojektes. IAF-Radioökologie GmbH, Dresden 1995; AG: Ministerium für Wirtschaft, Sachsen
- 16 W. Kolb und Wojcik: Strahlenschutzprobleme bei der Gewinnung und Nutzung von Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland. PTB-Bericht PTB-Ra-17, Februar 1985
- 17 Untersuchungen von IAF-Radioökologie GmbH Dresden im Auftrag der Fa. GMR Leipzig, 2002
- 18 Telefonische Mitteilung von Herrn Dr. Steffan (EMPG) an Frau Mohr (Öko-Institut), März 2003
- 19 Recherchen durch IAF - Radioökologie GmbH, Untersuchung von Scaleanfall in Tubings nach Hochdruckreinigung 2002
- 20 Aufkommen und Beseitigung von schwach radioaktiven und quecksilberhaltigen Produktionsrückständen in der Erdöl- und Erdgasindustrie. Studie W.E.G. e.V. (September 1997)

- 21 F.A. Hartog u.a.: Origin and encounter of ²¹⁰Pb in E&P facilities. In: /2/, S. 53-57
- 22 Beitrag von W. Mothes, 26. Sitzung des Arbeitskreise "Natürliche Radioaktivität", AKNAT, Salzwedel 16. - 17.10. 2003
- 23 D. Weiß, Verfahren zur „Freimessung“ kontaminierter Tubbinge zur Entsorgung in der Untertagedeponie (UTD) Zielitz. GRS Berlin 27.05.2002 (unveröffentl. Bericht)
- 24 S. Schucht: Ökologische Modernisierung und Strukturwandel in der deutschen Aluminiumindustrie. Fallstudie im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes „Erfolgsbedingungen umweltschonenden Strukturwandels: Internationale Fallstudien zu ausgewählten Grundstoffindustrien. FFU-Report 99-4
- 25 J. Kouptsidis, F. Peters, D. Proch, W. Singer: Niob für TESLA. Eine globale Marktanalyse. TESLA-Report 2001-27, Hamburg, Oktober 2000
- 26 R. Lindner: H.C. Starck sieht seine Zukunft im Bayer-Konzern. F.A.Z. vom 6. Juni 2001
- 27 P. Eggert: Niob - ein junges Legierungsmetall hat sich auf dem Weltmarkt etabliert. DIW Wochenberichte 1999
- 28 Bundesrepublik Deutschland. Rohstoffsituation 1997. Herausg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Band XV (1999)
- 29 BAFA, Schreiben vom 17.01.2002 an HGN Hydrogeologie GmbH
- 30 Telefonat Dr. Martin, HC Stark mit Dr. Gellermann, HGN vom Januar 2003
- 31 Umweltradioaktivität. Jahresbericht 1989. Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz. Report SAAS-389 (1990)
- 32 Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides. European Commission, 1999
- 33 Entwicklung eines Handlungsrahmens zur Verwertung und Beseitigung überwachungsbedürftiger Rückstände. Studie HGN Hydrogeologie und IAF-Radioökologie. AG: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2002 (unveröffentlichter Bericht)
- 34 Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Mündliche Mitteilung, 2002
- 35 Radiologische Bewertung der Deponierung von Gichtgasschlamm in der Eisenverhüttung. Gutachten der HGN Hydrogeologie GmbH im Auftrag des VDEh Verein Deutscher Eisenhüttenleute e.V., November 20002, unveröffentlicht.
- 36 D.S. Harvey: Natural Radioactivity in Iron and Steel Production. In: /2/, S. 62-66
- 37 Strahlenschutzbericht Sachsen-Anhalt 1991. Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt
- 38 Daten zur grenzüberschreitenden Verbringung von genehmigungspflichtigen Abfällen, Veröffentlicht auf: www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/gav/sta.htm
- 39 Daten zur grenzüberschreitenden Verbringung von genehmigungspflichtigen Abfällen, Import im Jahre 1999 nach Abfallart und Art der Entsorgung. Veröffentlicht auf <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/gav/DeutschlandUStatGImport1999.pdf>
- 40 <http://www.feuerfest-online.com>
- 41 R. Gellermann, K. Kip, H. Schulz: Differentiation of radioactive ground contamination with TENORM. In: Symposium Book NORM III, Brüssel, 2001 (s. /3/)
- 42 G. Nagel: Atomversuche in Deutschland (Gottow, Oranienburg, Stadtilm), Heinrich-Jung-Verlagsgesellschaft mbH. Zella-Mehlis /Meiningen, 2002
- 43 G. Nagel, Der „Uranverein“, Strahlenschutz Praxis 6 (2000) H.3, p.46-50

-
- 44 K.-H. Lehmann, A. Reichelt, W. Hauk: Control measurements during remediation for unrestricted release of a thorium-contaminated building. In: Release of radioactive Material from Regulatory Control: Proceed. 2. Intern. Sympos.; TÜV Nord Akademie. Hamburg, Nov. 99, S. 315-325
 - 45 Telefonische Auskunft Dr. Müller-Kiemes, Hess. Ministerium für Umwelt, an Dr. Gellermann, HGN, März 2002
 - 46 G. Eisele, J. Stock, G. Heckmann: Revitalisierung einer Industriebrache – das Kienzle-Areal in Villingen-Schwenningen. Terra-Tech 2/200, S. 44-47
 - 47 Ableitung von Prüfwerten für die Beurteilung einer Grundwassergefährdung durch natürlich radioaktive Altlasten im Gebiet der Stadt Oranienburg. Bericht der HGN Hydrogeologie GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, November 2001
 - 48 W. Feldheim, M. Taube, R. Heepe: Ermittlung und Beräumung thoriumkontaminierter Flächen auf dem Betriebsgelände der BASF Schwarzheide GmbH. in: Berichte aus der Arbeit. Landesumweltamt Brandenburg, 1994
 - 49 M. Hahn, R. Gellermann, R. Heepe: Sanierung einer thoriumkontaminierten Industrialtlast. In: Berichte aus der Arbeit 1999. Landesumweltamt Brandenburg (2000), S. 228 - 231
 - 50 Zusammenstellung von Messergebnissen aus den durch die Landesanstalt für Umweltschutz, Referat 32 durchgeführten Untersuchungen auf dem Gelände der ehemaligen Betriebsdeponie der Firma Kienzle in Villingen-Schwenningen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Ref 32. November 1990 (unveröffentl.)
 - 51 Evaluation of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials.- Committee on Evaluation of EPA Guidelines for Exposures to Naturally Occurring Radioactive Materials, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council, Washington DC 1999.
 - 52 Siempelkamp, Schreiben vom 18.01.2002 an HGN Hydrogeologie GmbH
 - 53 Ch. Kunze, E. Hermann, I. Griebel, G. Kiessig, F. Dullies und M. Schreiter: Entwicklung und Praxiseinsatz eines hocheffizienten selektiven Sorbens für Radium. Wasser, Abwasser 143 (2002) Nr. 7-8S. 572 - 577
 - 54 Leitfaden für die Ermittlung und Bewertung von natürlichen radioaktiven Stoffen in Sedimenten des Steinkohlenbergbaus und die sich daraus ergebenden Maßnahmen, unter Ausnahme von Radon. Internes Dokument der Steinkohlenindustrie, 24.09.1996
 - 55 S. Feige und J. Wiegand: Einfluss des Kohlebergbaus auf das Radon-Potential. In: Radioaktivität in Mensch und Umwelt. 30. Jahrestagung FS. TÜV-Verlag Köln, 1998, S. 930 ff
 - 56 D. Becker: Strahlenschutzpraxis 6(2000) Nr. 3
 - 57 J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingerder, J. Wörner: Radiological impact due to wastes containing radionuclides from use and treatment of water. Report EUR 19255. May 2000
 - 58 Internetseite: The TENORM Page: www.tenorm.com (Dezember 2002)
 - 59 R. Gellermann, J. Wiegand, L. Funke, J. Gerler: Mineral waters with anomalous high radium concentrations in the Northern Harz region. In: High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects BfS Schriften 24/2002; S. 83-86
 - 60 S. Wisser: Außergewöhnliche Anreicherung natürlicher Radionuklide in Thermalwasserleitungen. Wasser & Boden 54/3 (2002) S. 20-22
 - 61 N. Cremer, A. Bergmann, O. Dördelmann, D. Stetter: Die Novelle der Trinkwasserversorgung: Senkung des Grenzwertes für Nickel – Ursachen des Auftretens im und Verfahren zur Entfernung aus Rohwasser. bbr Jg. 53 (2002) H. 11, S. 35-46
 - 62 Internet Seite: www.institutdrjaeger.de; April 2002
-

-
- 63 A. Barth, M. Seehafer, D. Weiß: Die Auswirkungen des Uranbergbaus in Sachsen und Ostthüringen auf Radionuklidkonzentrationen in Sedimenten und Auenböden. In: Uranium Mining and Hydrogeology II. Verlag S. von Loga, Köln 1998, S. 515 –526.
- 64 D. Weiß, H. Biesold: Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten: Bericht zum Sondermessprogramm „Sedimente und Auenböden“. GRS Berlin und Köln, Juni 1998. GRS-A-2580
- 65 Internet Seite H. Klös: <http://people.freenet.de/hans.kloes/0.htm>
- 66 Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG). BG-Information BGI 746. Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften VMBG. Entwurf Stand 04.09.2002
- 67 Internet Seite <http://www.geothermie.de>
- 68 Internet Seite EPA (USA) http://www.epa.gov/radiation/tenorm/sources_table.htm
- 69 M. Köhler: TENORM in a geothermal heating plant. In: NORM III Symposium 2001 (in /3/)
- 70 M. Köhler, R. Knappig, B. Gleisberg, I. Schäfer, W. Boden, M. Bothe: Das Labor für Umwelt- und Radionuklidanalytik im VKTA Rossendorf. In: Strahlenschutz für Mensch und Gesellschaft im Europa von Morgen. 33. Jahrestagung Fachverb. Strahlenschutz 2001; Köln. TÜV verlag 2001, S. 272-275
- 71 J. Wiegand: The radioactivity of saliniferous waters: Genesis and possible consequences for the environment. II. Int. Symp. on Technologically Enhanced Natural Radiation, Rio de Janeiro. Proceedings
- 72 A Reichelt, A Reineking.: Die Messung freigesetzter dosisrelevanter Radionuklide beim Wolfram-Inertgas Schweißen mit thorierten Elektroden. In: Radioaktivität in Mensch und Umwelt (30. Jahrestagung FS e.V.). Verlag TÜV Rheinland, Köln 1998; S. 33-38
- 73 T. Sternad; U. Kratzel: Strahlenexposition beim berufsbedingten WIG-Schweißen mit thorierten Wolframelektroden. In: Radioaktivität in Mensch und Umwelt (30. Jahrestagung FS e.V.). Verlag TÜV Rheinland, Köln 1998; S.27-32
- 74 E. Börner, D.E. Becker, R. Czarwinski, G. Dick, W. Fasten, R. Prüsse, F. Quednau: Herrenlose Strahlenquellen: Wie begegnet der Strahlenschutz dem wachsenden Risiko? Strahlenschutzpraxis 3/2001
- 75 Maßnahmenkatalog zur Umsetzung der novellierten TrinkwV und StrlSchV in der deutschen Wasserversorgung, Projektleitung Dr. Wolfgang Bott, Sascha Wisser <http://www.uni-mainz.de/~eswe/>.
- 76 Mündliche Mitteilung Dr. Dobychai, Verband Deutscher Mineralbrunnen VDM Bonn, an Dr. Gellermann HGN Hydrogeologie am 15.04.2002
- 77 Spezifische Strahlenschutzanalysen in Verbindung mit kontaminierten Schrotten für Zwecke der Aufsicht. Bericht zum Vorhaben St.Sch. 4091 der Brenk Systemplanung, Aachen und NIS Ingenieurgesellschaft, Hanau, 1997
- 78 F. Nürbchen: Kontaminierte Schrotte und Recyclingmaterialien - ein neues Überwachungsproblem? Strahlenschutzpraxis 2/2000, S. 30 - 37
- 79 Th. Paßvoß, GHS Iserlohn: Zusammenstellung Funde radioaktiver Stoffe (2002)
- 80 FUND RADIOAKTIVER STOFFE IM SCHROTTVERKEHR. Eine Empfehlung des Konzernstrahlenschutzes der Deutschen Bahn zur praktischen und ge-setzeskonformen Handlungsweise beim Fund radioaktiver Stoffe im Schrottverkehr. Informationsschrift DB AG (ohne Jahr)
- 81 BAFA, Veröffentlichungen zur Produktion von NE-Metallen; www.bafa.de/1/de/aufgaben/wirtschaft.htm

-
- 82 R. Lehmann: Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien, fossilen Brennstoffen und Düngemitteln. In: A. Siehl: Umweltradioaktivität. Berlin. Verlag Ernst und Sohn 1996, S. 135 ff
- 83 Hintergrundpapier zur Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage, BMU, 29.07.2002
- 84 Gatzweiler R., Herrmann H., Kießig G., Kunze C., P. Schmidt: TREATMENT AND DISPOSAL OF NORM AT SPECIAL LANDFILL SITES AND FORMER URANIUM MINING SITES IN GERMANY: PRACTICAL APPROACHES AND SOLUTIONS. NORM III, Brüssel Sept. 2001
- 85 Internet Seite des Verbandes Deutscher Papierfabriken. http://www.vdp-online.de/pdf/Kompass_dt_I_03.pdf
- 86 Sicherheitshinweise für CO₂ Laseroptik; Photonics News 23 (2001) S. 3
- 87 W. Schreiter: Seltene Metalle. Dt. Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig 1962.
- 88 von Philipsborn, H. mündliche Mitteilung, Radiometrisches Seminar Theuern, 2000
- 89 Landrock, K. In: StrahlenschutzPraxis H. 2(2002)
- 90 T. Paßvoß: Telefonat Mai 2003 mit Dr. Gellermann
- 91 M. Hoor.: Überwachung von Metallschrott auf radioaktive Bestandteile – Leitfaden. Verlag Technik und Information. Bochum 1996.
- 92 U. Kastl: Rechercheantwort per Mail vom 14.02.2002 an Dr. Gellermann, HGN
- 93 Radiologische Bewertung der Deponierung von Hochofenschlamm in der Roheisenerzeugung. Studie. HGN Hydrogeologie GmbH 2003 im Auftrag des VDEH Düsseldorf.
- 94 Telefonische Auskunft, Herr Posset, AKW Amberg an Dr. Gellermann, HGN vom Januar 2003
- 95 Strahlenschutzbericht Sachsen-Anhalt 1996
- 96 SSK - Empfehlungen Mansfelder Schlacke
- 97 E. Hermann, A. Weiß, P. Franke: E.: Strahlenschutzrelevante Probleme in Wasserwerken. Vortrag AKNAT (Oktober 2002)
- 98 Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 1999, BfS, Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität
- 99 U. Quade: Disposal of waste produced by melting of NORM contaminated scrap. In: Release of radioactive Material from Regulatory Control: Proceed. 2. Intern. Sympos.; TÜV Nord Akademie. Hamburg, Nov. 99, S. 454-460
- 100 M. Sappok, U Quade, R.Kreh,: Radioaktive Abfälle natürlicher Herkunft aus nichtnuklearen Industrien. In: Proc. 28. Jahrestagung Fachverband Strahlenschutz e.V. ; Verlag TÜV Rheinland, Köln 1998, Bd. II, S. 937-942
- 101 Telefonische Auskunft Herr Eberhardt, Thür. Landesamt für Umwelt an Dr. R. Gellermann vom Januar 2003
- 102 UN Sub-Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods: Harmonisation with the International Atomic Energy Agency (IEA) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. UN/SCETDG/20/INF.29 and ST/SG/AC.10/C.3/2002/55 (2002 May 13); Veröffentlicht unter www.unece.org
- 103 M. Köhler: Entsorgungsprobleme bei Rückständen aus geothermischen Anlagen. Vortrag AKNAT (Oktober 2002)
- 104 G. Schmidt und C. Küppers: Handling of radium and uranium contaminated wastes piles and other wastes from phosphate ore processing. European Commission. Nuclear Science and Technology. Final Report. Contract ETNU-CT92-0084 (1995)
-

-
- 105 Chronik der WISMUT. Veröffentlichung der WISMUT GmbH
- 106 Prüfstelle für Strahlenschutz Nürnberg: Prüfbericht (S 741): Bestimmung der spezifischen Aktivität von Proben von Pyrochlorkonzentrat und Ferroniobkorundschlacke; Bestimmung der spezifischen Aktivität im Eluat von Proben grobstückiger Ferroniobkorundschlacke. 20.06.1984
- 107 Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1977 Report to the General Assembly.
- 108 Siempelkamp, Telefonat mit Herrn Kluth, 02.01.2003
- 109 E.Hermann; C. Kunze: Schadloose Beseitigung von Rückständen mit erhöhten spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide, Umweltpraxis Jan./Feb. 2001, S. 17 - 20
- 110 WEG 91: Leitfaden Radioaktive Ablagerungen niedriger spezifischer Aktivität. Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., Hannover, März 1991
- 111 WEG 01: Leitfaden für Arbeiten mit natürlicher Radioaktivität. Technische Regel. Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., Hannover, Zitiert als Stand 11/01
- 112 U. Aengenvoort: Sturm in der Mineralwasserflasche? Der Verbraucherschutz hat gewonnen. StrahlenschutzPraxis Heft 1/2001. S. 23 -24
- 113 IAF-Radioökologie: Kenntnisse aus diversen Einzelprojekten
- 114 D. Hagen, C. Kunze, Schreiben vom 04.02.2003 an HGN Dr. Gellermann
- 115 Gewinnung von Quecksilber aus Schlämmen der Erdgasförderung, Woche der Umwelt - Eine Initiative des Bundespräsidenten in Zusammenarbeit mit der DBU, Ausstellung, Schloß Bellevue, Berlin 3. und 4. Juni 2002
- 116 Telefonische Auskunft, Herr Quade, Siempelkamp Krefeld an Frau Mohr, Öko Institut, 2002
- 117 WEG 97: Aufkommen und Beseitigung von schwach radioaktiven und quecksilberhaltigen Produktionsrückständen in der Erdöl- und Erdgasindustrie. Studie W.E.G. e.V. (September 1997)
- 118 Internetseite FH Köln; Prof. Rieckmann zum Recycling von Entladungslampen.
<http://www.av.fh-koeln.de/professoren/riECKmann/recyclingtechnik/RCProjekt9798N.html>
- 119 Telefonische Auskunft Frau Löffler, Sozialministerium Brandenburg an Dr. Gellermann, HGN vom Februar 2002
- 120 Bericht zur Umweltradioaktivität 1996 (erschienen Januar 1999). Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorssicherheit
- 121 O. Beffort, C. Hausmann: Das Leichtmetall Magnesium und seine Legierungen. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Thun (Schweiz) 12.03.1999
- 122 Telefonische Auskunft Dr. Lubkoll, MSA Auer an Dr. Gellermann, HGN vom 27.08.2003
- 123 NEUE REGELN FÜR DIE UNTERTÄGIGE ABFALLVERWERTUNG, Die Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage und zur Änderung von Vorschriften zum Abfallverzeichnis wurde am 29.Juli 2002 im BGBl I, S. 2833 verkündet. Internet-Mitteilung BMU (2002)
- 124 Telefonische Auskunft, Herr Gravenhorst, Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld an Dr. Gellermann, HGN vom 20.01.2003
- 125 Telefonat mit Herrn Köhn vom VDP in Bonn, Dr. Gellermann, HGN vom Juni 2002
- 126 Umweltstatistische Erhebungen. Wasserwirtschaft. Bundesamt für Statistik.
(<http://www.destatis.de/basis/d/umw/umwtab3.htm>)
- 127 Dichtungstone und -massen. Prospekt der Fa. Pumpenboese SBF-Hagusta (2002)

- 128 Radiation protection 129. Guidance on the realistic assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear installations under normal conditions. European Commission 2002.
- 129 G. Michel: Mineral- und Thermalwässer. Allgemeine Balneogeologie. Lehrbuch der Hydrogeologie Band 7. Gebrüder Bornträger. Berlin, Stuttgart 1997
- 130 Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water (TENAWA), EU Contract No: FI4P-CT96-0054. (Info: ESWE Wiesbaden)
- 131 H. Rühle: Radioaktivität in verschiedenen Wasservorkommen. In: A. Siel: Umweltradioaktivität. Berlin. Ernst und Sohn 1996; S. 157 ff
- 132 I. Gans, H.U. Fusband, H. Wollenhaupt u.a.: Radium 226 und andere natürliche Radionuklide im Trinkwasser und in Getränken in der Bundesrepublik Deutschland. WaBoLu Hefte 4/1987
- 133 H. Rühle: Natürlich radioaktive Stoffe in Trinkwasser und Mineralwasser. Strahlenschutzpraxis heft 1/2001 S. 14 ff
- 134 R.-D. Wilken, S. Wisser, W. Bott, O. Weiss, K. Haberer: Natürliche Radionuklide in Wasserwerken. Vortrag SSK A3 (03(1712)SSK/A3-167/U 1)
- 135 K.Haberer, O.Raff, A. Akkermann-Kubillus, R.-D. Wilken: Natural Radionuclides in Drinking Water in Europe and Treatment Methods for their Removal. Bericht des ESWE-Instituts, Wiesbaden, 1997
- 136 S. Wisser: Natürliche Radionuklide im Thermalwasser des rheinland-pfälzischen Kurortes Bad Kreuznach. Mitt. Pollichia. Bd. 88 S.115-121
- 137 H. Scheel: Zeitschr. Für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete. Bd. 13 (1967) S. 892-894
- 138 R. Gellermann, H. Gast: Ra-Rn-Datierung der Quellwässer von Bad Brambach. Z. Physiother. Jg. 35 (1983) S. 129-135
- 139 Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly
- 140 Strahlenschutzanweisung für den Umgang mit Glühkörpern der Propan-Signallaternen. Deutsche Bahn AG. Zentralbereich. Bahn-Umwelt-Zentrum Dez. 1994
- 141 A. Richter: Messung von Thoriumaktivitäten. Deutsche Bahn AG. Zentralbereich. Forschungs- und Versuchszentrum Minden. 08.11.1995 – ZTV 246 Ri (unveröffentlichter Bericht)
- 142 Strahlenexposition beim Umgang mit thorierten Gasglühkörpern in den Propanwartungszügen der Deutschen Bahn AG. Untersuchungsbericht. Sept. 2000. Bearbeiter: TÜV Süddeutschland
- 143 Telefonat Herr Schellhorn, Marx Bergbau mit Dr. Gellermann; Dez. 2002
- 144 Telefonat Herr Richter, DB Minden mit Dr. Gellermann, Aug. 2003
- 145 Merkblatt für das WIG-Schweißen. Wolfram Industrie (Traunstein) (Internetveröffentlichung)
- 146 Telefonat Herr Endemann, Wolfram Industrie mit Dr. Gellermann, HGN, Februar 2003
- 147 Internetseite: <http://www.mitgas.de/extern/mitgas/content.nsf/index/> (09.10.2002)
- 148 Gaslaternen-Freilichtmuseum Berlin:
<http://www.dtmb.de/Aktuelles/Kooperationen/Laternen/body.html>, (15.08.2001)
- 149 Internetseite: http://www.oberkassel.de/gruene90/was_wollen_wir.html
- 150 STADTWERKE DÜSSELDORF. JOURNAL Ausgabe Dezember 2001
- 151 Auskunft Dr. Lubkoll, MSA Auer an Dr. Gellermann, HGN, Febr. 2002

-
- 152 Erfassung von Arbeitsplätzen / Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch Uran und Thorium und deren Zerfallsprodukten ohne Radon. Studie. Beak Consult Freiberg, GRS Berlin. AG: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 20.12.2002
- 153 Telefonische Auskunft Herr Scheibe, DREWAG Stadtwerke Dresden an Frau Schellenberger, IAF-Radioökologie, Januar 2003
- 154 F. Hermann: Gas betriebene Schifffahrtszeichen. Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken. Internetseite: <http://www.wsv.de/fvt/lichte1/schizga1/schizga1.html> (Dez. 2001)
- 155 Referenzmappe NORM. WISUTEC GmbH 2002 (2003 verfügbar über <http://www.wisutec.de/index2.htm>)
- 156 H.C.Starck: Presseinformation vom 24.05.2002. (Internetseite: http://www.hcstarck.com/index.php?bereich_id=61&news_id=20030108122525368301000000)
- 157 Tantal und Niob-Schlüssel zu den Märkten der Zukunft. H.C.Starck: Internetpublikation http://www.hcstarck.de/pages/61/tantal_niob031201d.pdf
- 158 Prüfstelle für Strahlenschutz Nürnberg: Prüfbericht (S 741): Bestimmung der spezifischen Aktivität von Proben von Pyrochlorkonzentrat und Ferroniobkorundschlacke; Bestimmung der spezifischen Aktivität im Eluat von Proben grobstückiger Ferroniobkorundschlacke. 20.06.1984
- 159 Zweite Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasserverordnung (Entwurf Sept. 2001)
- 160 Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organisation (WHO), Geneva 2001
- 161 B.L. Dickson: Radium in groundwater. In: The Environmental Behaviour of Radium. Vol. I. IAEA Vienna 1990
- 162 Telefonische Auskunft, Dr. Weinmüller, Siemens AG an Dr. Gellermann, HGN vom Februar 2002
- 163 Telefonische Auskunft, Herr Gravenhorst, Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld an Dr. Gellermann, HGN vom Januar 2003
- 164 S. Schneider: Wie können Wasserwerksschlämme verwertet werden? Bericht ESWE Institut Wiesbaden (<http://www.uni-mainz.de/~eswe/bericht7.html>)
- 165 Radionuklidanalytik unterschiedlicher Filterrückstände, IAF- Radioökologie GmbH im Auftrag von Firmen aus der Mineralwasserwirtschaft, 2003
- 166 Strahlenschutzbericht des Landes Sachsen-Anhalt (1999)
- 167 Mdl. Auskunft R. Schulze, Landessammelstelle Berlin an Dr. R. Gellermann (2002)
- 168 Telefonische Auskunft Herr Conrad (MEAB) an Dr. R. Gellermann (2001)
- 169 Mdl. Auskunft Untertagedeponie Zielitz, Herr Weber an Dr. Gellermann (1997)
- 170 Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover, 1985
- 171 Strahlenschutzbericht Sachsen-Anhalt (1997)
- 172 PFEIFER, F.; ODENSAß M., SCHROERS S. (1999): Abschätzung des Stoffeintrages in das Grundwasser nach Bodenschutz- und Altlastenverordnung; altlasten-spektrum 3/1999, Erich Schmidt Verlag
- 173 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover: Fakten, Analysen, Hintergrundinformationen. No. 11 (2000)
- 174 Telefonische Auskunft von Herrn Reckin, Fa. Gamma-Service Recycling an Dr. Gellermann vom Juni 2002
-

- 175 W. Fasten: Informationen zur Fa. AEAT (2003)
- 176 GNS: Annahmebedingungen der Landessammelstelle Niedersachsen. GNS B 092/2002, Rev. 0 (Juli 2002)
- 177 Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of Low and Intermediate Level Waste. Techn. Report Series 412. IAEA, Vienna 2002.
- 178 Internet-Seite BfS, FAQ Zwischenlager
(http://www.bfs.de/transport/faq/faq_zwischenlager.html)