

# Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz

**Evaluierung des aktuellen Standes bei der Überwachung der Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in Medizin und Industrie  
- Vorhaben 3619S52560**

**Auftragnehmer:  
TÜV Nord EnSys GmbH & Co. KG**

**M. Görlich  
C. Röbbeln  
S. Oppermann**

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

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

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

**BfS-RESFOR-176/21**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2021012025020**

Salzgitter, Januar 2021

# Emissionsüberwachung potentieller Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie

Bericht zur Evaluierung des aktuellen Standes bei  
der Überwachung der Ableitung von radioaktiven  
Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in  
Medizin und Industrie

**Malte Görlich, Christian Röbbeln, Stella Oppermann**

**25.09.2020**

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

## Inhalt

1.	Zusammenfassung .....	4
1.1.	Potentielle Emittenten.....	4
1.2.	Emissionsüberwachung .....	6
1.3.	Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe .....	7
1.4.	Kurzdarstellung der Ergebnisse .....	8
1.5.	Resümee .....	13
2.	Einleitung und Zielsetzung .....	14
3.	Übersicht über Genehmigungsinhaber.....	16
3.1.	Vorgehensweise bei der Recherche.....	17
4.	Ermittlung von potentiellen Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie .....	18
4.1.	Medizin .....	19
4.2.	Forschung/Labore .....	20
4.3.	Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe .....	21
4.4.	Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe .....	24
4.5.	Sonstige Industrie .....	24
5.	Abschätzung der Ableitungen radioaktiver Stoffe.....	26
5.1.	Medizin .....	26
5.1.1.	Radioiodtherapie .....	26
5.1.2.	Diagnostik, ambulante Therapie und PET.....	26
5.1.3.	Strahlentherapie .....	28
5.2.	Forschung/Labore .....	28
5.2.1.	Großforschungseinrichtungen .....	28
5.2.2.	Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern.....	29
5.2.3.	Sonstige Labore.....	30
5.3.	Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe .....	30
5.4.	Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe .....	32
5.4.1.	Umgang in verpackter Form (Lagerung) .....	32
5.4.2.	Umgang in offener Form (Konditionierung) .....	33
5.5.	Sonstige Industrie .....	35
5.5.1.	Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen .....	35
5.5.2.	Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.....	35
6.	Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen der Emissionsüberwachung .....	37
6.1.	Gesetzliche Grundlagen .....	37
6.2.	Geltende Normen .....	37

6.3.	Weiteres Regelwerk.....	39
6.3.1.	Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU.....	39
6.3.2.	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen .....	40
6.3.3.	Messanleitungen für die Überwachung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen .....	40
7.	Überblick über Messgeräte und Messverfahren .....	41
8.	Emissionsüberwachung potentieller Emittenten .....	48
8.1.	Medizin .....	48
8.1.1.	Radioiodtherapie .....	48
8.1.2.	Diagnostik, ambulante Therapie und PET.....	48
8.1.3.	Strahlentherapie .....	49
8.2.	Forschung/Labore.....	49
8.2.1.	Großforschungseinrichtungen .....	49
8.2.2.	Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern.....	50
8.2.3.	Sonstige Labore.....	50
8.3.	Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe .....	50
8.4.	Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe .....	51
8.4.1.	Umgang in verpackter Form (Lagerung) .....	51
8.4.2.	Umgang in offener Form (Konditionierung) .....	52
8.5.	Sonstige Industrie .....	52
8.5.1.	Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen .....	52
8.5.2.	Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.....	53
9.	Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen der Bilanzierung und Ermittlung von Expositionen.....	54
9.1.	Gesetzliche Grundlagen .....	54
9.2.	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (2001): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen und Einrichtungen ..	55
9.3.	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)	55
10.	Bilanzierung der Ableitungen radioaktiver Stoffe .....	56
10.1.	Medizin .....	57
10.1.1.	Radioiodtherapie .....	57
10.1.2.	Diagnostik, ambulante Therapie und PET.....	57
10.1.3.	Strahlentherapie .....	57
10.2.	Forschung/Labore .....	58

10.2.1.	Großforschungseinrichtungen .....	58
10.2.2.	Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern.....	58
10.2.3.	Sonstige Labore.....	59
10.3.	Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe .....	59
10.4.	Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe .....	60
10.4.1.	Umgang in verpackter Form (Lagerung) .....	60
10.4.2.	Umgang in offener Form (Konditionierung) .....	60
10.5.	Sonstige Industrie .....	61
10.5.1.	Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen .....	61
10.5.2.	Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.....	61
	Literaturverzeichnis .....	62

# 1. Zusammenfassung

## 1.1. Potentielle Emittenten

Bei der Ermittlung potentieller Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie wurden eine Reihe von Einrichtungen, bei denen in Deutschland eine Ableitung denkbar ist, zusammengetragen. In Abschnitt 5 wurden – sofern nach der vorliegenden Datenlage möglich – Größenordnungen der zu erwartenden Ableitungen zusammengetragen oder alternativ die möglichen Ableitungen abdeckend abgeschätzt. Zur Zusammenfassung der Ergebnisse sind die jeweiligen Einrichtungstypen samt den ermittelten oder abgeschätzten Ableitungen in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Gruppe	Einrichtungstyp	Radio-nuklid(e)	Ableitungs-pfad	Ermittelte oder abgeschätzte Ableitungen	Bemer-kungen	
Medizin	Radioiodtherapie	I-131	Fortluft	einige 10 MBq/Jahr		
			Abwasser	einige 10 MBq/Jahr		
	Diagnostik, Therapie und PET	C-11	Fortluft	einige 10 MBq/Jahr		
			Abwasser	einige 10 GBq/Jahr		
		F-18	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr		
			Abwasser	einige 10 GBq/Jahr		
		Ga-68	Fortluft	einige 10 MBq/Jahr		
			Abwasser	einige 10 GBq/Jahr		
		Y-90	Fortluft	einige MBq/Jahr		
			Abwasser	einige GBq/Jahr		
		Tc-99m	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr		
			Abwasser	einige 100 GBq/Jahr		
		In-111	Fortluft	einige 100 kBq/Jahr		
			Abwasser	einige GBq/Jahr		
		I-123	Fortluft	einige MBq/Jahr		
			Abwasser	einige GBq/Jahr		
		I-131	Fortluft	einige 100 kBq/Jahr		
			Abwasser	einige 100 MBq/Jahr		
		Lu-177	Fortluft	einige 100 kBq/Jahr		
			Abwasser	einige 10 MBq/Jahr		
	Tl-201	Fortluft	einige 100 kBq/Jahr			
		Abwasser	einige 100 MBq/Jahr			
	Ra-223	Fortluft	einige 10 kBq/Jahr			
		Abwasser	einige 10 MBq/Jahr			
	Strahlentherapie	N-13	Fortluft	400 MBq/Jahr		
				50 MBq/Jahr		
				100 MBq/Jahr		
	Ionen-therapie	Ableitungen unterhalb der maximalen Aktivitätskonzentrationen nach StrlSchV				

Gruppe	Einrichtungstyp	Radio-nuklid(e)	Ableitungs-pfad	Ermittelte oder abgeschätzte Ableitungen	Bemerkungen
Forschung/Labore	Großforschungseinrichtungen	H-3	Abwasser	einige 100 GBq/Jahr	Bei Großforschungseinrichtungen mit anderem Forschungsschwerpunkt ggf. nicht abdeckend
		C-11	Fortluft	einige GBq/Jahr	
		N-13	Fortluft	einige GBq/Jahr	
		O-15	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr	
		N-16	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr	
		F-18	Fortluft	einige GBq/Jahr	
		Ar-41	Fortluft	10 MBq - einige GBq/Jahr	
		Co-60	Abwasser	einige MBq/Jahr	
		Kr-85	Fortluft	einige GBq/Jahr	
		Sr-90	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		I-131	Fortluft	< 1 MBq/Jahr	
			Abwasser	einige MBq/Jahr	
		Cs-137	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
	Alphastrahler	Abwasser	einige MBq/Jahr		
	ECD/IMS	Ni-63	Fortluft	< 10 kBq	Emission nur in Einzelfällen
	Sonstige Labore	Ableitungen unterhalb der maximalen Aktivitätskonzentrationen nach StrlSchV			
Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe	Allgemeine Hersteller	H-3	Fortluft	einige 100 GBq/Jahr	
			Abwasser	einige 10 GBq/Jahr	
		C-14	Abwasser	einige GBq/Jahr	
		Na-22	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		S-35	Abwasser	einige GBq/Jahr	
		Co-60	Abwasser	einige MBq/Jahr	
		Kr-85	Fortluft	einige TBq/Jahr	
		Sr-90	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		I-125	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr	
			Abwasser	einige 100 MBq/Jahr	
		I-131	Fortluft	einige 100 MBq/Jahr	
			Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		Cs-134	Abwasser	einige MBq/Jahr	
		Cs-137	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		Gd-153	Abwasser	einige 10 MBq/Jahr	
		Rn-222	Fortluft	einige 10 GBq/Jahr	
		Th-232	Abwasser	einige 10 kBq/Jahr	
		Am-241	Fortluft	einige 100 kBq/Jahr	
			Abwasser	einige MBq/Jahr	
		Herstellung von PET-Nukliden	C-11	Fortluft	einige 10 GBq/Jahr
	N-13		einige 100 MBq/Jahr		
	F-18		einige 100 GBq/Jahr		

Gruppe	Einrichtungstyp	Radio-nuklid(e)	Ableitungs-pfad	Ermittelte oder abgeschätzte Ableitungen	Bemerkungen
Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe	Lagerung	H-3	Fortluft	74 GBq/(Jahr Gebinde)	Worst-Case-Szenario, real 4-6 Größenordnungen geringer
		C-14		180 GBq/(Jahr Gebinde)	
		Kr-85		30 GBq/(Jahr Gebinde)	
		I-129		19 MBq/(Jahr Gebinde)	
		Rn-222		140 MBq/(Jahr Gebinde)	
	Konditionierungseinrichtungen Beispiel 1	H-3	Fortluft	50 GBq/Jahr	beantragte Ableitungswerte, real deutlich geringer
			Abwasser	4,0 TBq/Jahr	
		C-14	Fortluft	5,0 GBq/Jahr	
		partikelgebundene Radionuklide	Fortluft	4,5 GBq/Jahr	
	Konditionierungseinrichtungen Beispiel 2	Nuklidgemisch ohne H-3	Abwasser	4,8 TBq/Jahr	genehmigte Ableitungswerte, real deutlich geringer
		H-3	Abwasser	70 GBq/Jahr	
			Beta-/Gammastrahler ohne H-3	Abwasser	
		Beta-/Gammastrahler	Fortluft	50 MBq/Jahr	
	Alphastrahler	Fortluft	500 kBq/Jahr		
Abwasser		70 kBq/Jahr			
Sonstige Industrie	Einrichtungen mit Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	Ableitungen unterhalb der maximalen Aktivitätskonzentrationen nach StrlSchV			
	Einrichtungen mit Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung	keine Ableitungen, bei Energien über 10 MeV vergleichbare Ableitungen wie in der Strahlentherapie			

## 1.2. Emissionsüberwachung

Die gesetzlichen Grundlagen zur Emissionsüberwachung finden sich in den Regelungen der StrlSchV [4] wieder. Diese basieren inhaltlich auf der Richtlinie 2013/59/Euratom [2]. Neben den in Abschnitt 6.1 beleuchteten gesetzlichen Regelungen existieren eine Reihe von Festlegungen in untergesetzlichen

Unterlagen, die sich inhaltlich mit der Emissionsüberwachung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft oder mit dem Abwasser befassen.

Zur messtechnischen Umsetzung der Emissionsüberwachung gibt es auf dem Markt eine Reihe von Messgeräten und -einrichtungen, die von etablierten Herstellern vertrieben werden. Eine Auswahl samt Angabe der Messbereiche und erreichbaren Nachweisgrenzen ist in Abschnitt 7 aufgelistet.

Für die ermittelten potentiellen Emittenten wurden mithilfe von Literaturrecherchen und stichprobenartigen Befragungen von Betreibern der Einrichtungen und den zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden durch Stichproben zusammengetragen, ob in den Genehmigungen explizit Ableitungswerte festgelegt werden. Daneben wurde erfasst, welche messtechnischen Maßnahmen zur Emissionsüberwachung umgesetzt sind. Die Ausschöpfungsgrade der jeweils einzuhaltenden Ableitungswerte bewegen sich bei allen von uns betrachteten Einrichtungen für die meisten Radionuklide maximal im Prozentbereich. Lediglich für flüchtige Gase und H-3 in Abwässern liegen die Ausschöpfungsgrade mit bis zu einigen 10 % bei einigen Einrichtungen etwas höher.

Eine messtechnische Überwachung findet vielfach bei der Fortluft nur statt, wenn in der Genehmigung Ableitungswerte explizit festgelegt sind. Bei Abwasserableitungen erfolgt nach unseren Ergebnissen im Zuge der Abwassereinleitungen mit sammelnden Abwasseranlagen stets eine messtechnische Überwachung.

### 1.3. Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe

Aus den Regelungen der StrlSchV [1] geht für die Betreiber von Einrichtungen eine Mitteilungspflicht über die Ableitungen hervor, sofern die zuständige Behörde den Betreiber von der Mitteilungspflicht nicht befreit hat. Aus der Mitteilungspflicht geht die Erfordernis einer Bilanzierung hervor. Eine Ermittlung der für die Einzelpersonen der Bevölkerung zu erwartenden Expositionen hat – wenn überhaupt erforderlich – seitens des Strahlenschutzverantwortlichen einmalig im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zu erfolgen. Eine Ermittlung der von der Einzelperson der Bevölkerung im Kalenderjahr erhaltenen Exposition einer repräsentativen Person hat die zuständige Behörde in bestimmten Fällen vorzunehmen.

Nach den Ergebnissen unserer Recherchen und Befragungen werden die Ableitungen in der Regel bilanziert, wenn eine messtechnische Überwachung der Ableitungen erfolgt. Hinsichtlich der Bestimmung von Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung lässt sich zusammenfassen, dass die Bestimmung der Expositionen überwiegend anhand der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 vorgenommen wird. Vereinzelt wird auch ein vereinfachtes Verfahren verwendet, bei dem die Exposition durch die Fortluft direkt am Luftauslass bestimmt wird. Die ermittelten effektiven Expositionen liegen teilweise etwas oberhalb der Expositionen aus kerntechnischen Anlagen. Für den Großteil der Einrichtungen liegen die Expositionen für die effektive Dosis aber in einem Bereich von 1  $\mu\text{Sv}$  und somit auf einem ähnlichen niedrigen Niveau wie die kerntechnischen Anlagen.

Für Einrichtungen, die keine explizit genehmigten Ableitungswerte haben, sondern die Werte nach Anlage 11 einhalten, ist ein Vergleich mit den kerntechnischen Anlagen nicht sinnvoll, da sowohl das Modell als auch die Abschätzung der Ableitung konservativ sind, und die in der Regel messtechnisch nicht erfassten realen Expositionen erheblich niedriger sein sollten, wie unsere auf Basis von Umgangsaktivitäten und Freisetzungsgraden stichprobenartig durchgeführten Abschätzungen zeigen.

## 1.4. Kurzdarstellung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens nach Einrichtungen sortiert stichpunktartig dargestellt.

### Medizin

#### Radioiodtherapie

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Stationäre Behandlung von Patienten, Verabreichung radioaktiver Stoffe
Ableitungspotential:	Unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Vorhanden
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	In Einzelfällen
Bilanzierung:	Üblicherweise keine Bilanzierung

#### Diagnostik, ambulante Therapie und PET

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Ambulante Behandlung und Diagnostik von Patienten, Verabreichung radioaktiver Stoffe
Ableitungspotential:	Deutlich unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Üblicherweise keine Überwachung
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Üblicherweise keine Überwachung
Bilanzierung:	Keine Bilanzierung

#### Strahlentherapie

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Äußere Anwendung ionisierender Strahlung am Patienten
Ableitungspotential:	Deutlich unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Üblicherweise keine Ableitung mit dem Abwasser
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Üblicherweise keine Überwachung
Bilanzierung:	Keine Bilanzierung

## Forschung/Labore

### Großforschungseinrichtungen

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Diverse Anwendungen in der Forschung
Ableitungspotential:	Ggf. oberhalb der Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Vorhanden
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Vorhanden
Bilanzierung:	Bilanzierung wird vorgenommen

### ECD/IMS

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Analyse mithilfe radioaktiver Stoffe
Ableitungspotential:	Kein relevantes Verhältnis zu den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Keine Ableitung mit dem Abwasser
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Keine Überwachung
Bilanzierung:	Keine Bilanzierung

### Sonstige Labore

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Diverse Anwendungen
Ableitungspotential:	Großteils unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1], in Einzelfällen höher
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Nur in Einzelfällen
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Nur in Einzelfällen
Bilanzierung:	Bilanzierung wird vorgenommen, wenn erforderlich

## Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

### Hersteller üblicherweise in Deutschland angebotener Radionuklide

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Herstellung und Verarbeitung radioaktiver Stoffe
Ableitungspotential:	Oberhalb der Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Vorhanden
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Vorhanden
Bilanzierung:	Bilanzierung wird vorgenommen

### Herstellung von Radiopharmaka

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Herstellung und Verarbeitung radioaktiver Stoffe
Ableitungspotential:	Oberhalb der Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Vorhanden
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Vorhanden
Bilanzierung:	Bilanzierung wird vorgenommen, wenn erforderlich

## Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Stoffe

### Umgang in verpackter Form (Lagerung)

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Lagerung verpackter radioaktiver Stoffe und Reststoffe
Ableitungspotential:	Unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Üblicherweise keine Ableitung mit dem Abwasser
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Üblicherweise keine Überwachung
Bilanzierung:	Keine Bilanzierung

### Umgang in offener Form (Konditionierung)

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Konditionierung radioaktiver Stoffe und Reststoffe
Ableitungspotential:	Oberhalb der Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Vorhanden
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Vorhanden
Bilanzierung:	Bilanzierung wird vorgenommen

## Sonstige Industrie

### Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Diverse Anwendungen
Ableitungspotential:	In der Regel unter den Konzentrationswerten nach Anlage 11 der StrlSchV [1]
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Nur in Einzelfällen
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Nur in Einzelfällen
Bilanzierung:	Üblicherweise keine Bilanzierung

### Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung

Kurzbeschreibung des Umgangs:	Diverse Anwendungen
Ableitungspotential:	In der Regel kein Ableitungspotential
Messtechnische Überwachung des Abwassers:	Keine Ableitung mit dem Abwasser
Messtechnische Überwachung der Fortluft:	Üblicherweise keine Ableitung mit der Fortluft
Bilanzierung:	Keine Bilanzierung

## 1.5. Resümee

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorgenommenen Recherchen zeigen, dass nur bei einem sehr kleinen Teil der Inhaber von Genehmigungen zum Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen bzw. zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung im Normalbetrieb Emissionen von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft oder dem Abwasser oberhalb der in der Anlage 11 der Strahlenschutzverordnung [1] aufgeführten Aktivitätskonzentrationen auftreten können. In diesen Fällen wird bei allen von uns exemplarisch betrachteten Genehmigungsinhabern eine messtechnische Erfassung der Emissionen vorgenommen und es erfolgt eine Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe.

Bei Emissionen unterhalb der in der Anlage 11 der Strahlenschutzverordnung [1] aufgeführten Aktivitätskonzentrationen kann gemäß § 102 der Strahlenschutzverordnung [1] davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser den Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Kalenderjahr jeweils nicht überschreitet.

Entsprechend der Ergebnisse der Recherchen zur Bilanzierung sowie der vorgenommenen Betrachtungen anhand abgeschätzter oder bekannter realer Ableitungswerte liegen die Expositionen im Vergleich zu dem Grenzwert für die Exposition nach § 99 der Strahlenschutzverordnung [1] durch Ableitungen auf einem derart niedrigen Niveau, dass auch bei der Superposition von mehreren Emittenten keine unzulässigen Expositionen zu unterstellen sind.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens stellen die aktuelle Situation der Emissionen in Folge von Ableitungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb dar. Expositionen aufgrund von Direktstrahlung, Unfällen oder anderen Freisetzungspfaden wurden nicht betrachtet.

## 2. Einleitung und Zielsetzung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ist durch den Euratom-Vertrag verpflichtet [3], der Europäischen Kommission über die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser kerntechnischer Anlagen Bericht zu erstatten. Daneben ist das BMU nach dem Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks (Oslo-Paris-Konvention, OSPAR) [4] zu einer Berichterstattung über die radioaktiven Ableitungen und die sich daraus ergebenden Expositionen verpflichtet. Die Erhebung der Ableitungen erfolgt für kerntechnische Einrichtungen gemäß des Strahlenschutzgesetzes [5] und der Strahlenschutzverordnung [1] in Kombination mit der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [6]. Neben kerntechnischen Anlagen erfolgt auch ein Beitrag zur Exposition aus den Ableitungen nicht-kerntechnischer Einrichtungen.

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Auftrag gegebene Studie der *Evaluierung des aktuellen Standes bei der Überwachung der Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in Medizin und Industrie* soll deshalb ermitteln

- aus welchen Institutionen bzw. Unternehmen aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie radioaktive Stoffe emittiert werden,
- welche radioaktiven Stoffe dabei emittiert werden,
- wie die jeweiligen Aktivitätsableitungen erfasst und überwacht werden und
- ob und auf welche Art und Weise die Aktivitätsableitungen bilanziert werden.

Zielsetzung der Studie ist es, durch die Durchführung einer wissenschaftlichen Literaturstudie eine Grundlage für eine Entscheidung zu schaffen, ob eine Emissionsüberwachung analog zur derzeit durchgeführten Überwachung der kerntechnischen Einrichtungen auch für andere Institutionen bzw. Unternehmen durchgeführt werden sollte. Nach den Angaben des BfS als Auftraggeber beschränkt sich die Studie deshalb auf nicht-kerntechnische Einrichtungen. Ferner sollen Ableitungen aus dem NORM/TNORM-Bereich und aus genehmigungsfreien Tätigkeiten sowie Störfall- oder Unfallszenarien außer Acht gelassen werden. Räumlich begrenzt sich die Studie ausschließlich auf das deutsche Staatsgebiet.

Die Studie zur *Evaluierung des aktuellen Standes bei der Überwachung der Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser in Medizin und Industrie* wird in mehreren Arbeitspaketen durchgeführt, die durch den hier vorliegenden Zwischenbericht dokumentiert werden.

Das erste Arbeitspaket umfasst die Ermittlung von potentiellen Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser und die Abschätzung der Größenordnung und der Zusammensetzung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe sowie eine Einteilung der Ableitung in kontinuierliche und diskontinuierliche Ableitungen. Die Ergebnisse des ersten Arbeitspakets sind in den Abschnitten 4 bis 5 dargestellt.

Das zweite Arbeitspaket befasst sich mit der Emissionsüberwachung der im ersten Arbeitspaket ermittelten potentiellen Emittenten. Hierbei werden die rechtlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen der Emissionsüberwachung und die Umsetzung in den jeweiligen Genehmigungen samt der praktischen Durchführung der Emissionsüberwachung beleuchtet. Die Ergebnisse des zweiten Arbeitspakets sind in den Abschnitten 6 bis 8 dargestellt.

Im dritten Arbeitspaket wird die Bilanzierung der Emissionen betrachtet. Hierbei werden die rechtlichen Grundlagen der Bilanzierung der Emissionen dargestellt und es wird auch betrachtet, ob eine Bilanzierung erfolgt sowie ob und wie aus den ermittelten Aktivitätsableitungen die zusätzliche Exposition der Bevölkerung berechnet wird und in welcher Relation diese zu den Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen stehen. Werden derartige Berechnungen nicht vorgenommen, werden an dieser Stelle Abschätzungen herangezogen. Die Ergebnisse des dritten Arbeitspaketes sind in den Abschnitten 9 bis 10 dargestellt.

### 3. Übersicht über Genehmigungsinhaber

Entsprechend der in Abschnitt 1 beschriebenen Zielsetzung ist zunächst im Arbeitspaket 1 die Ermittlung der potentiellen Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser essentiell. Die Evaluierung konzentriert sich daher zunächst auf die Fragestellung, welche möglichen Emittenten von radioaktiven Stoffen sich in Deutschland befinden.

Die Einschränkungen, Störfall- und Unfallszenarien auszuschließen und Ableitungen aus dem NORM-Bereich und aus genehmigungsfreien Tätigkeiten außer Acht zu lassen, reduziert dabei die im Rahmen dieser Studie zu betrachtenden Einrichtungen deutlich, da Genehmigungen mit ausschließlichem Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen nicht zu betrachten sind. Nach dem „Jahresbericht 2016 Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU [7] existierten in Deutschland mit Stand vom 31.12.2016 10 338 Inhaber einer Genehmigung nach § 7 der zu der Zeit gültigen Strahlenschutzverordnung [8], davon hatten jedoch 5 608 Genehmigungsinhaber ausschließlichen Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen. Im Jahresbericht des BMU [7] sind die Genehmigungsinhaber in verschiedene Bereiche eingeteilt. Betrachtet man nur den Anteil der Genehmigungen im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und Sonstige (z. B. Behörden) und lässt den Bereich Medizin und Forschung außer Acht, vergrößert sich der Anteil der Genehmigungsinhaber für den ausschließlichen Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen noch weiter. So existierten am 31.12.2016 6 148 Genehmigungsinhaber nach § 7 der 2016 gültigen Strahlenschutzverordnung [8] aus dem industriellen bzw. gewerblichen Bereich. 4 396 Genehmigungsinhaber aus diesem Bereich sind dabei ausschließlich mit umschlossenen radioaktiven Stoffen umgegangen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind aufgrund von Aktivierung die Inhaber einer Genehmigung für den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung. Nach dem Jahresbericht des BMU [7] gab es mit Stand vom 31.12.2016 für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung 838 Genehmigungsinhaber. Hier überwiegt der Anteil der Genehmigungsinhaber im Bereich der Medizin und Forschung (730 Genehmigungen) den Anteil der Genehmigungsinhaber im industriellen bzw. gewerblichen Bereich samt sonstigen Einrichtungen (108 Genehmigungen) deutlich.

Der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oder der Betrieb einer Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung ist somit für rund 5 500 Genehmigungsinhaber genehmigt. Mehr als die Hälfte der Genehmigungen fallen dabei in die Bereiche Medizin und Forschung (siehe auch Abbildung 1).

Nicht jeder dieser rund 5 500 Genehmigungsinhaber ist direkt ein potentieller Emittent radioaktiver Stoffe. In vielen Fällen kann durch verschiedenartige Barrieren ausgeschlossen werden, dass es zu relevanten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser kommen kann (siehe auch Abschnitt 5).

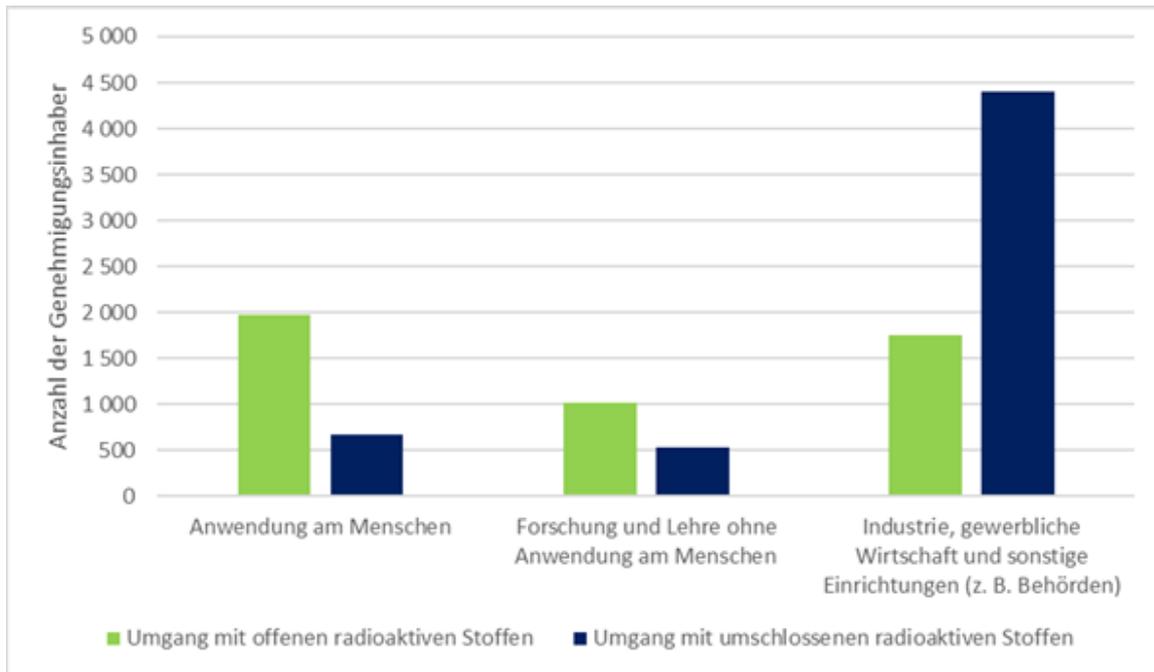


Abbildung 1: Anzahl der Genehmigungsinhaber nach § 7 der 2016 gültigen StrlSchV nach Anwendungsbereichen

### 3.1. Vorgehensweise bei der Recherche

Als Grundlage zur Evaluierung der möglichen Emittenten radioaktiver Stoffe (Arbeitspaket 1) diente zunächst einschlägige öffentlich zugängliche Literatur. Dabei wurden Anwendungsbereiche mit offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenzen, Bereiche, in denen mit Abfallgebinden mit flüchtigen gasförmigen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sowie Bereiche mit ionisierender Strahlung, bei der durch Aktivierung hervorgerufene Ableitungen möglich sind, ermittelt.

Neben der Literaturrecherche wurde anhand

- unserer eigenen Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden und Betreiber,
- von Lieferprogrammen/Referenzen einschlägiger Lieferanten radioaktiver Stoffe,
- zusätzlicher Befragungen der Lieferanten zu Kundenbereichen,
- der Befragung von einschlägigen Gremien/Arbeitskreisen bspw. dem Arbeitskreis Umweltüberwachung des Fachverbandes für Strahlenschutz,
- der Prüfung der Ergebnisse vergleichbarer Studien in Europa und
- anonymisierter Befragung von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden

geprüft, ob weitere Emittenten vorhanden sind.

Zu den einzelnen Anwendungsbereichen wurde dabei parallel ermittelt oder alternativ bei fehlenden bzw. unzureichenden Informationen abgeschätzt, in welcher Größenordnung und welcher Nuklidzusammensetzung radioaktive Stoffe abgeleitet werden. Diese Abschätzungen stellen dabei nur Orientierungswerte dar, da die tatsächlichen Ableitungen in den Einzelfällen von vielen Faktoren, wie Art und Qualität der Fortluftfilterung oder Abwasserbehandlung abhängen.

Zur Betrachtung der Emissionsüberwachung (Arbeitspaket 2) haben wir zunächst die gesetzlichen und untergesetzlichen Vorgaben für die Notwendigkeit der Durchführung einer Emissionsüberwachung bei

den ermittelten Emittenten zusammengestellt. Auf Grundlage einer Literaturrecherche, die in Anlehnung an das o. g. Vorgehen und durch Befragungen von Messgeräteherstellern erweitert wurde, wurde sodann zusammengetragen, welche Messmethoden in der Praxis angewandt werden, welche Messgeräte hierbei eingesetzt werden, wie die Probenentnahme erfolgt und welche Nachweisgrenzen behördlicherseits gefordert werden und welche Nachweisgrenzen real erreicht werden.

Für die Ermittlung des Standes bei der Bilanzierung und bei der Ermittlung von Expositionen für Einzelpersonen der Bevölkerung (Arbeitspaket 3) haben wir analog zur Vorgehensweise bei der Betrachtung der Emissionsüberwachung zunächst die rechtlichen Grundlagen dargestellt und anschließend auf Grundlage einer um die oben genannten Punkte erweiterten Literaturrecherche zusammengetragen, ob eine Bilanzierung bei den ermittelten Emittenten erfolgt und ob bzw. wie eine Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung bestimmt werden. Bei Einrichtungen, bei denen üblicherweise keine Berechnungen der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung vorgenommen wird, haben wir Abschätzungen vorgenommen.

#### 4. Ermittlung von potentiellen Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie

Die ermittelten Anwendungsbereiche wurden in fünf Gruppen eingeteilt. Die gewählten Gruppen zeichnen sich dadurch aus, dass ähnliche Anwendungsbereiche zusammengefasst wurden. Dies bedingt nicht direkt ein ähnliches Emissionspotential (diese Bezeichnung wird im Folgenden für die Möglichkeit einer Emission mit der Fortluft und dem Abwasser verwendet). So hat beispielsweise die Anwendung der Radioiodtherapie mit Ableitungen über die Abwasseranlage und über die Raumluft ein anderes Emissionspotential als die Behandlung mit einer Beschleunigeranlage (Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung, bei der Luftaktivierung auftreten kann). Dennoch sind beide Anwendungen im medizinischen Bereich anzufinden und werden somit in ähnlichen Betrieben vorgenommen. Deshalb sind beide Anwendungsbereiche in der Gruppe „Medizin“ einsortiert.

Die gewählten Gruppen sind:

- Medizin: Hierunter fallen alle medizinischen Anwendungen am Menschen mit offenen radioaktiven Stoffen oder mit Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.
- Forschung/Labore: Hier sind Großforschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen aber auch Labore anderer öffentlicher Einrichtungen oder sonstiger gewerblicher Dienstleister zu finden. Ebenfalls in diese Gruppe fallen Einrichtungen, die in der medizinischen Forschung anzusiedeln sind.
- Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe: In dieser Gruppe wurden alle Einrichtungen einsortiert, die im Herstellungs- oder Lieferprozess von offenen aber auch umschlossenen radioaktiven Stoffen beteiligt sind.
- Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe: Alle in der Entsorgung oder in der Konditionierung radioaktiver Stoffe bzw. radioaktiver Reststoffe anzusiedelnden Anwendungsbereiche sind in dieser Gruppe zusammengefasst. Nicht in diese Gruppe fallen jedoch die meisten Deponien oder Verbrennungsanlagen, die nur – eingeschränkt oder uneingeschränkt – freigegebene Reststoffe annehmen, da freigegebene Reststoffe aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung [1] entlassen wurden und somit kein genehmigungspflichtiger Umgang vorliegt.

- Sonstige Industrie: Alle Anwendungsbereiche, die nicht in die vier anderen Gruppen einzuordnen sind, fallen in diese Gruppe. Sie besteht im Wesentlichen aus Industrieanlagen, die im Chemie- oder Pharmabereich tätig sind, sofern diese nicht im Herstellungs- oder Lieferprozess radioaktiver Stoffe anzusiedeln sind, und aus rein technischen Anwendungen offener radioaktiver Stoffe oder Einrichtungen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.

Die einzelnen Gruppen sind in den Abschnitten 4.1 bis 4.5 genauer dargestellt. Eine Abschätzung der Ableitungen radioaktiver Stoffe der jeweiligen Gruppen wird in Abschnitt 5 vorgenommen.

Beim Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen ist – mit Ausnahme von Störfall- und Unfallszenarien – kein Emissionspotential zu erwarten. Aus diesem Grund wird dieser Umgang in den folgenden Abschnitten ausgeklammert.

## 4.1. Medizin

Diese Gruppe umfasst alle Anwendungen von offenen radioaktiven Stoffen sowie ionisierender Strahlung am Menschen. Hierzu gehören insbesondere nuklearmedizinische Praxen für die Diagnostik und ambulante Therapie, Einrichtungen für die Radioiodtherapie, die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) sowie die Strahlentherapie mit Elektronenbeschleunigern. Die ausschließliche Anwendung von Röntgeneinrichtungen wird nicht weiter betrachtet, da hierbei keine Ableitungen vorkommen.

Für die einzelnen Anwendungsbereiche ist der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen jeweils mit typischen Radionuklide charakterisiert. Bei der Radioiodtherapie ist dies I-131. Bei der Radiodiagnostik kommen vor allem Tc-99m und I-123 zum Einsatz. Bei der Radiodiagnostik in größeren Krankenhäusern oder Universitätskliniken kommen jedoch noch weitere Radionuklide wie Y-90, In-111, I-131, Xe-133, Lu-177 und Ra-223 [9] zum Einsatz. Bei der PET muss man zwischen zwei Ausgangssituationen unterscheiden. Einmal den Fall, dass die Radiopharmaka von extern zugeliefert werden. In diesem Fall beschränkt sich der Umgang aufgrund der Halbwertszeiten auf F-18 und Ga-68. In dem anderen Fall, dass ein Zyklotron vor Ort die radioaktiven Stoffe produziert, werden auch die kurzlebigeren Radionuklide C-11, N-13 und O-15 verwendet. Bei allen verwendeten Radionukliden ist die Isotopenreinheit, d. h. das Verhältnis der Aktivität des gewollten Radioisotops zur Gesamtaktivität im Radiopharmakon, zu beachten. Diese Isotopenreinheit wird durch den jeweiligen Hersteller überprüft. Eine Verunreinigung ist aber für die Ableitungen im Normalfall nicht relevant, da hierbei im Gegensatz zu Fragestellungen wie der Freigabe von Sedimenten aus Abklingbehältern keine Aufkonzentration von Radionukliden mit einer längeren Halbwertszeit zu besorgen ist. Bei der Herstellung der Radionuklide für die PET sind die Radioisotopenverunreinigungen aber vernachlässigbar gering [10].

Bei der Strahlentherapie erfolgt im Allgemeinen kein direkter Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen. Hier ist stattdessen die Aktivierung der Luft für die hier betrachtete Aufgabenstellung relevant. Diese tritt bei Elektronenbeschleunigern mit einer maximalen Energie von  $\geq 10$  MeV auf. Bei Ionenbeschleunigern ist allgemein mit der Aktivierung der Luft zu rechnen.

In der Tabelle 2 und der Tabelle 3 haben wir den typischen Jahresumsatz einer Radioiodtherapiestation sowie einer größeren nuklearmedizinischen Einrichtung mit angeschlossener PET für die jeweils gängigen Radionuklide aufgeführt. Bei kleineren nuklearmedizinischen Praxen für die Diagnostik beschränkt sich der Umgang typischerweise auf die Nuklide Tc-99m und I-123. Die Ableitungen erfolgen dabei zum großen Teil mit dem Abwasser. Das größere Potential für Ableitungen liegt hierbei bei den nuklearmedizinischen Einrichtungen, da Einrichtungen für die Radioiodtherapie stets über eine Abwasserbehandlung verfügen [11] und somit die Höhe der Ableitungen mit dem Abwasser regelbar

ist. Diese erfolgt entweder über eine reine Sammlung und anschließender Abklinglagerung, über eine biologische Behandlung mit anschließender Sedimentation und Filterung oder eine Kombination dieser zwei Methoden.

Unsere Informationen stammen dabei im Wesentlichen aus Veröffentlichungen über den Einsatz von radioaktiven Stoffen in der Medizin [10] [12], unseren eigenen Erfahrungen aus Tätigkeiten für Behörden und Betreiber sowie aus Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und der Genehmigungsinhaber.

Tabelle 2: Jahresumsatz einer exemplarischen Radioiodtherapiestation

Radionuklid	Jahresumsatz
I-131	einige TBq

Tabelle 3: Jahresumsatz einer exemplarischen Radiodiagnostik mit PET

Radionuklid	Jahresumsatz
C-11	einige 100 GBq
N-13	einige 100 GBq
O-15	einige TBq
F-18	einige 100 GBq
Ga-68	einige 10 GBq
Y-90	einige 10 GBq
Tc-99m	einige TBq
In-111	einige 10 GBq
I-123	einige 10 GBq
I-131	einige GBq
Xe-133	einige GBq
Lu-177	einige GBq
Tl-201	einige GBq
Ra-223	einige 100 MBq

## 4.2. Forschung/Labore

In diesem Abschnitt werden die Labore von Universitäten und Hochschulen aber auch Labore anderer öffentlicher Einrichtungen oder gewerbliche Dienstleister untersucht. Darunter befinden sich neben Radionuklidlaboren, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, auch Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung im Bereich der Forschung. Aufgrund des sehr heterogenen Einsatzes radioaktiver Stoffe in der Forschung gestaltet es sich schwierig, allgemeine Angaben zum Umgang und zu den möglichen Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser zusammenzufassen. In Tabelle 5 werden exemplarisch einige Nuklide aufgeführt. Prinzipiell muss aber unterstellt werden, dass auch viele weitere Nuklide zum Einsatz kommen.

Zusätzlich zu den kommerziell verfügbaren Radionukliden sind auch weitere Radionuklide zu unterstellen, die beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung durch beabsichtigte oder unbeabsichtigte Aktivierung abhängig von der Betriebsweise der Anlage entstehen können.

Üblicherweise sind Ableitungen zu unterstellen bei Einrichtungen

- in der medizinischen/tiermedizinischen Forschung mit radioaktiven Stoffen (radioaktive Tracer oder Kontrastmittel),

- in der sonstigen Forschung (nichtmedizinische Zwecke) mit Umgang mit radioaktiven Stoffen,
- mit Elektronenbeschleunigeranlagen mit Photonenenergie von über 10 MeV (siehe auch Abschnitt 5.1.3) oder Ionenbeschleunigeranlagen, wie Zyklotrons, Synchrotrons, Linearbeschleuniger oder Ringbeschleuniger.

Eine Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ist zudem beim Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren (ECD) und Ionenmobilitätsspektrometern (IMS), bei denen offene Ni-63-Präparate eingesetzt werden, denkbar. In den Genehmigungen zum Betrieb derartiger Messeinrichtungen findet sich nicht selten eine Nebenbestimmung, dass zum Messzweck am offenen Ni-63-Präparat vorbei geleitete Messgase der Fortluft zuzuführen sind.

Das größte Emissionspotential ist bei Großforschungseinrichtungen – also Einrichtungen, bei denen an einem Standort mehrere Labore oder Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung vorhanden sind – zu erwarten, da hier ggf. die Ableitungen verschiedener Einrichtungen der Großforschungseinrichtungen superpositioniert werden. Die Emission aus einzelnen Einrichtungen einer Großforschungseinrichtung kann hingegen auch ein geringeres Emissionspotential als bei anderen Forschungseinrichtungen aufweisen. Auch wenn beispielsweise angenommen werden könnte, dass in Isotopenlaboren von Großforschungseinrichtungen das Aktivitätsinventar höher sein kann als bei anderen Forschungseinrichtungen, ist auch vorstellbar, dass in Großforschungseinrichtungen höherwertige Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe oder Filterungen der Ableitungen vorhanden sind.

Aufgrund der sehr heterogenen Situation in der Gruppe „Forschung/Labore“ wurden einige Einrichtungen – darunter Großforschungseinrichtungen, Universitäten sowie davon unabhängige Labore – exemplarisch ausgewählt und hinsichtlich der Aufgabenstellung betrachtet.

Unsere Informationen stammen dabei im Wesentlichen aus Veröffentlichungen der Eigenüberwachung der Betreiber der Einrichtungen sowie aus Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und der Genehmigungsinhaber.

### 4.3. Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

In dieser nach der Anzahl der in Deutschland existierenden Einrichtungen vergleichsweise kleinen Gruppe wurden alle Einrichtungen einsortiert, die im Herstellungs- oder Lieferprozess radioaktiver Stoffe eingebunden sind. Die in Deutschland angebotenen radioaktiven Stoffe sind sehr vielfältig. Sie reichen von Stoffen für die medizinische Anwendung – in der Brachytherapie, in der Radiotherapie, für Bildgebungsverfahren oder mit Radiopharmaka – über Kalibrierquellen und Industriequellen für diverse messtechnische Anwendungen einschließlich zerstörungsfreier Prüfverfahren bis hin zu radioaktiven Quellen für Bestrahlungseinrichtungen. Die Lieferprogramme der in Deutschland ansässigen Hersteller/Lieferanten sind dementsprechend ebenfalls vielfältig. Eine auf den öffentlich zugänglichen Informationen zu den Lieferprogrammen basierende Liste einiger in Deutschland vertriebener Radionuklide ist der Tabelle 5 zu entnehmen. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass bei Herstellern oder Lieferanten radioaktiver Stoffe in Einzelfällen auch mit anderen Radionukliden umgegangen wird.

Die genehmigten Aktivitäten für den Umgang können bei diesen Einrichtungen im Vergleich zu Einrichtungen anderer Gruppen recht hoch sein. Insbesondere, wenn in den Einrichtungen eine Bearbeitung oder Einschließung von umschlossenen radioaktiven Stoffen vorgenommen wird oder wenn die Einrichtungen im Herstellungs- oder Lieferprozess offener radioaktiver Stoffe eingebunden

sind, muss angenommen werden, dass radioaktive Stoffe in die Fortluft oder in das Abwasser gelangen können.

Ein Spezialfall im Hinblick auf die verarbeiteten Radionuklide sind die Labore für die Herstellung von Nukliden für die PET. Aufgrund der kurzen Halbwertszeiten werden hier recht große Aktivitäten mit einem Zyklotron hergestellt und direkt anschließend zu Radiopharmaka verarbeitet. Der typische Jahresumsatz eines derartigen Labors ist in Tabelle 4 dargestellt. Für den Fall eines Weitertransports ist hierbei aufgrund der kurzen Halbwertszeiten im Normalfall nur F-18 von Relevanz. Ga-68 wird dann in der PET-Einrichtung vor Ort mittels Ge-68 Generatoren erzeugt.

*Tabelle 4: Jahresumsatz eines exemplarischen Labors mit angeschlossenem Zyklotron zur Herstellung von Radiopharmaka*

Radionuklid	Jahresumsatz
C-11	einige 10 TBq
N-13	einige TBq
O-15	einige TBq
F-18	einige 10 TBq
Ga-68	einige TBq

Andere Radiopharmaka werden häufig aus dem entsprechenden Radionuklid und einem auf die jeweilige Untersuchung abgestimmten Markierungskit vor Ort in den nuklearmedizinischen Praxen hergestellt. Die Bereitstellung der Radionuklide durch den Hersteller ist somit identisch zu der Bereitstellung für andere Labore oder Einrichtungen zu betrachten.

Unsere Informationen über Einrichtungen im Bereich der Herstellung/Lieferung radioaktiver Stoffe stammen im Wesentlichen aus Befragungen der zuständigen Genehmigungs- bzw. Aufsichtsbehörden, aus von Betreibern herausgegebenen Informationen und Berichten sowie auch aus unseren eigenen Erfahrungen in diesem Tätigkeitsfeld.

Tabelle 5: Einige exemplarisch ausgewählte in Deutschland vertriebene Radionuklide und beispielhafte Anwendungsbereiche

Radionuklid	Beispielhafter Anwendungsbereich
H-3	Radiochemische Labore, Tracerlabore
C-14	Radiochemische Labore, Tracerlabore
Na-22	Referenzquellen
P-32	Tracerlabore
P-33	Tracerlabore
S-35	Tracerlabore
Cl-36	Referenzquellen
Ca-45	Tracerlabore
Cr-51	Tracerlabore
Fe-55	Tracerlabore, Referenzquellen
Co-57	Referenzquellen
Co-60	Industriequellen, Referenzquellen
Ni-63	ECD, IMS, Referenzquellen
Rb-85	Tracerlabore
Kr-85	Industriequellen, Ionisierung von Aerosolen
Sr-85	Referenzquellen
Y-88	Referenzquellen
Sr-90	Industriequellen, Referenzquellen
Y-90	medizinische Anwendungen
Tc-99	Referenzquellen
Tc-99m	medizinische Anwendungen
Ru-106	Referenzquellen
Cd-109	Referenzquellen
In-111	medizinische Anwendungen
I-123	medizinische Anwendungen
I-125	Tracerlabore, Referenzquellen
I-129	Referenzquellen
I-131	medizinische Anwendungen
Ba-133	Industriequellen, Referenzquellen
Xe-133	medizinische Anwendungen
Cs-134	Referenzquellen
Cs-137	Industriequellen, Referenzquellen
Pm-147	Industriequellen, medizinische Anwendungen
Eu-152	Referenzquellen
Eu-155	Referenzquellen
Lu-177	medizinische Anwendungen
Tl-201	medizinische Anwendungen
Tl-204	Referenzquellen
Po-210	Referenzquellen
Ra-223	medizinische Anwendungen
Th-232	Labore, Referenzquellen
U-234	Referenzquellen
Pu-238	Referenzquellen
Am-241	Industriequellen, Referenzquellen, Labore
Cm-244	Industriequellen, Referenzquellen
Cf-252	Industriequellen, Referenzquellen

#### 4.4. Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe

In die Gruppe „Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe“ fallen alle Einrichtungen, die in den Entsorgungspfad radioaktiver Stoffe eingebunden sind, sofern sie nicht nur mit eingeschränkt oder uneingeschränkt freigegebenen Reststoffen in Berührung kommen. Hierunter fallen insbesondere Konditionierungsanlagen und Sammelstellen sowie Zwischenlager. Das Emissionspotential richtet sich dabei im Wesentlichen danach, ob die radioaktiven Reststoffe in verpackter Form oder nicht verpackt vorliegen.

Liegen die radioaktiven Reststoffe in verpackter Form – in Fässern, Behältern oder Containern, ... – vor, so kann eine relevante Emission radioaktiver Stoffe ohne Betrachtung von Störfall- und Unfallszenarien ausschließlich über den Fortluftpfad erfolgen. Hierbei sind insbesondere leicht flüchtige radioaktive Gase zu betrachten.

Einrichtungen, die mit offen gehandhabten – also (noch) nicht verpackten – radioaktiven Reststoffen umgehen, sind üblicherweise in der Konditionierung radioaktiver Reststoffe zu finden. Hier ist eine vergleichbare Einschränkung der potentiellen Emission auf den Fortluftpfad, wie bei den bereits verpackten Reststoffen, nicht möglich.

Nach der Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Reststoffe und radioaktiver Abfälle [13] ist Konditionierung definiert als Herstellung von Abfallgebinden durch Behandlung und/oder Verpackung von radioaktivem Abfall. Die Konditionierung umfasst somit alle Schritte zur Behandlung der radioaktiven Reststoffe zur Erzeugung von transport- und lagerfähigen Produkten. Übliche Bearbeitungsschritte, die in den zu betrachtenden Einrichtungen in Deutschland durchgeführt werden, sind beispielsweise: thermische und mechanische Zerlegearbeiten, Verpressen, Trocknen, Granulieren, Verbrennen, Verdampfen, Zementieren, ...

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Bearbeitungsschritte lassen sich die Emissionspotentiale nicht pauschalisieren. In allen von uns exemplarisch betrachteten Konditionierungseinrichtungen wurden die Abwässer gesammelt bzw. behandelt und die Fortluft gefiltert.

Unsere Informationen zur Emission radioaktiver Stoffe bei Einrichtungen zur Entsorgung und zur Konditionierung radioaktiver Reststoffe stammen im Wesentlichen aus öffentlich zugänglichen Literatur sowie aus Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und der Genehmigungsinhaber.

#### 4.5. Sonstige Industrie

Wie bereits Abschnitt 3 zu entnehmen, gibt es eine Reihe von Genehmigungen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in der sonstigen Industrie, wovon jedoch nur etwa 30 % für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ausgestellt sind. Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in Einrichtungen, die nicht bereits in den anderen Gruppen aufgeführt wurden, findet sich nach den Ergebnissen unserer Befragungen der einschlägigen Gremien/Arbeitskreise und der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden hauptsächlich in der Chemieindustrie und in der Pharmaindustrie (die Herstellung von Radiopharmaka wird in Abschnitt 4.3 abgehandelt). Der Einsatz offener radioaktiver Stoffe ist nach den Befragungsergebnissen rückläufig, wodurch weitere zum Teil exotischere Anwendungsbereiche entfallen sind. Neben dem gezielten Einsatz offener radioaktiver Stoffe können diese auch durch Prozesse in industriellen Anlagen – gewollt oder ungewollt – entstehen. So werden bei der Produktentwicklung – beispielsweise in Motorenprüfständen – aktivierte Bauteile eingesetzt. Durch mechanische oder chemische Beanspruchung der Bauteile (beim Beispiel der Motorenprüfstände durch Verschleiß der Motorenteile) kann es zu einer Aktivitätsfreisetzung bzw.

zu einem Übertritt in Betriebsmedien kommen. Offene radioaktive Stoffe sind aber auch als Abfallprodukt – beispielsweise in Wäschereien, die Kontrollbereichswäsche waschen – denkbar. Bei derartigen Einrichtungen können alle Radionuklide, mit denen offen umgegangen wird und die entsprechende Halbwertszeiten haben, auftreten.

Einrichtungen zur Erzeugung ionisierender Strahlung werden ebenfalls in der Industrie eingesetzt. Nach den Ergebnissen unserer Befragungen der einschlägigen Gremien/Arbeitskreisen und der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden beschränken sich diese auf Elektronenbeschleuniger für Durchstrahlungsaufnahmen (Durchstrahlung von Maschinenteilen, Autoreifen, Munition, ...) und Deuterium-Ionenbeschleuniger als Neutronengeneratoren, die hauptsächlich in der Erdöl-/Erdgasindustrie eingesetzt werden.

Ein weiterer Bereich dieser Gruppe findet sich in der Tiermedizin. Hier sind alle Anwendungen, die auch am Menschen praktiziert werden denkbar, weshalb auf eine separate Betrachtung verzichtet wird.

Unsere Informationen zur Emission radioaktiver Stoffe bei Einrichtungen der sonstigen Industrie stammen im Wesentlichen aus Befragungen der einschlägigen Gremien/Arbeitskreisen, der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und der Genehmigungsinhaber sowie aus öffentlich zugänglicher Literatur und unseren Erfahrungen mit derartigen Einrichtungen.

## 5. Abschätzung der Ableitungen radioaktiver Stoffe

Für die in Abschnitt 4 ermittelten potentiellen Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser haben wir Abschätzungen der Ableitungen vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Abschätzungen werden im Folgenden ausgeführt. Für die Anwendungsbereiche wird jeweils begründet dargestellt, ob und an welcher Stelle abdeckende Betrachtungen in die Abschätzung der Ableitungen mit einfließen.

### 5.1. Medizin

Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsbereiche ist es sinnvoll, die Betrachtungen der Ableitungen für die Hauptanwendungen zu unterteilen.

#### 5.1.1. Radioiodtherapie

Die Radioiodtherapie erfolgt in Deutschland stationär in speziell ausgestatteten Einrichtungen. Die Fortluft aus den Patientenzimmern soll separat geführt und über Iodfilter über das Dach abgeleitet werden. Bei den betrieblichen Räumen ist auch eine konventionelle Lüftung z. B. über die Fenster möglich. [11] Bei älteren Einrichtungen kommt auch bei den Patientenzimmern noch die Möglichkeit der Lüftung über die Fenster vor. Für den Übergang von I-131 in die Luft kann ein Faktor von 0,015 % angenommen werden [14]. Damit ergibt sich mit dem Jahresumsatz aus Tabelle 2 eine Aktivität im Bereich von 100 MBq in der Raumluft. Da die Fortluft in der Regel [11] zusätzlich noch über Iodfilter geführt wird, verringert sich die Aktivität in der Fortluft je nach Güte des Filters noch um einen Faktor von etwa 100 bis 2 000.

Der größte Teil der verabreichten Aktivität gelangt in das Abwasser der Radioiodtherapiestationen. Durch spezielle Abwasserbehandlungsanlagen oder reine Abklinganlagen mit Sammel tanks wird die Aktivität in der Ableitung mit dem Abwasser unterhalb der Werte nach Anlage 11 StrlSchV [1] gehalten. Vor der Abgabe an das Kanalnetz erfolgt immer eine Aktivitätsbestimmung [11]. Im Normalfall werden die Werte nach Anlage 11 StrlSchV [1] deutlich unterschritten.

In der Tabelle 6 sind die maximalen Aktivitätswerte für die Ableitungen einer Radioiodtherapiestation dargestellt. Typischerweise sind die realen Ableitungen insbesondere bei modernen Einrichtungen geringer.

Tabelle 6: Ableitungen einer exemplarischen Radioiodtherapiestation

Radionuklid	Maximale Ableitung pro Jahr	Ableitungspfad
I-131	einige 10 MBq	Abwasser
I-131	einige 10 MBq	Fortluft

Die Ableitungen erfolgen bei der Radioiodtherapie bei der Fortluft in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich. Eine Abwasserabgabe erfolgt aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich. Die Ableitung von I-131 aus den Radioiodtherapien kann mit weniger als 2 GBq für ganz Deutschland abgeschätzt werden [15].

#### 5.1.2. Diagnostik, ambulante Therapie und PET

Die abgeleiteten Nuklide im Bereich der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie (mit Ausnahme der Radioiodtherapie) unterscheiden sich sehr von der Größe der jeweiligen Einrichtung bzw. von dem jeweils angebotenen Untersuchungsspektrum. Es gibt Einrichtungen, die nur Tc-99m einsetzen; es gibt

aber auch Einrichtungen die eine Vielzahl von unterschiedlichen Untersuchungen mit vielen verschiedenen Radionukliden und auch PET anbieten. Der Anteil der den Patienten verabreichten Aktivitäten, der innerhalb der Einrichtung wieder ausgeschieden oder in die Luft gelangt, ist je nach Nuklid unterschiedlich. Ein Übergang in die Luft ist zudem auch bei der Vorbereitung der Radiopharmaka sowie bei der Applikation möglich. Es kann ein Freisetzungsfaktor in die Luft von etwa  $10^{-4}$  [16] [17] abgeschätzt werden. Bei der Applikation von gasförmigen radioaktiven Stoffen bzw. Aerosolen wird im Regelfall durch das Auffangen der exhalieren Luft eine Freisetzung in die Raumluft weitgehend verhindert. Für die Ausscheidungen innerhalb der Einrichtungen liegen die Anteile zwischen 0,8 und 0,05 [9]. Höhere Ausscheidungsanteile haben die Nuklide im PET-Bereich mit 0,4 bis 0,2. Für die typischen Nuklide außer im PET-Bereich liegen die Ausscheidungsanteile im Bereich von 0,25 bis 0,05.

In der Tabelle 7 und in der Tabelle 8 sind die Ableitungen einer exemplarischen Radiodiagnostik mit PET dargestellt. Für kleine Einrichtungen reduziert sich vor allem die Anzahl der verwendeten Nuklide. Für die kurzlebigen Nuklide N-13 und O-15 haben wir aufgrund der kurzen Halbwertszeit keine Betrachtungen ermittelt.

*Tabelle 7: Ableitungen einer exemplarischen Radiodiagnostik/-therapie mit PET mit der Fortluft*

Radionuklid	Maximale Ableitung pro Jahr
C-11	einige 10 MBq
F-18	einige 100 MBq
Ga-68	einige 10 MBq
Y-90	einige MBq
Tc-99m	einige 100 MBq
In-111	einige 100 kBq
I-123	einige MBq
I-131	einige 100 kBq
Lu-177	einige 100 kBq
Tl-201	einige 100 kBq
Ra-223	einige 10 kBq
Xe-133	einige 100 kBq

*Tabelle 8: Ableitungen einer exemplarischen Radiodiagnostik/-therapie mit PET mit dem Abwasser*

Radionuklid	Maximale Ableitung pro Jahr
C-11	einige 10 GBq
F-18	einige 100 GBq
Ga-68	einige 10 GBq
Y-90	einige GBq
Tc-99m	einige 100 GBq
In-111	einige GBq
I-123	einige GBq
I-131	einige 100 MBq
Lu-177	einige 10 MBq
Tl-201	einige 100 MBq
Ra-223	einige 10 MBq

Nach unseren Erfahrungen kann für die Planung einer größeren nuklearmedizinischen Einrichtung ohne Radioiodtherapie die Ausschöpfung der Werte nach Anlage 11 StrlSchV [1] im Bereich von 50 % nach oben abgeschätzt werden. Die realen Ausschöpfungen sind etwa eine Größenordnung geringer [9].

Die Ableitungen erfolgen bei der Diagnostik und bei der PET bei der Fortluft und beim Abwasser in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich.

### 5.1.3. Strahlentherapie

Bei der Strahlentherapie mit Elektronenbeschleunigern ist die Aktivierung der Luft abhängig von der maximalen Beschleunigungsenergie. Die Schwellenenergie für die wesentlichen ( $\gamma$ , n)-Reaktionen, die zur Aktivierung der Luft führen, liegt für die Entstehung von N-13 bei 10,6 MeV und für O-15 bei 15,7 MeV [18]. Die Aktivitätskonzentration steigt mit zunehmender Maximalenergie an und nimmt mit höherem Luftwechsel ab. In der Literatur finden sich maximale Raumluftaktivitätskonzentrationen ohne Belüftung von etwa 1 kBq/m<sup>3</sup> und mit dem vorgeschriebenen achtfachen Luftwechsel von 0,6 kBq/m<sup>3</sup> für die Summe aus N-13 und O-15, wobei der Anteil an N-13 überwiegt [19], bzw. von 0,7 kBq für die Summe aus N-13 und O-15 und 3 kBq für Ar-41 [20]. Für die Ableitung mit der Abluft werden mittlere Aktivitätskonzentrationen von 21 Bq/m<sup>3</sup> für N-13, 3 Bq/m<sup>3</sup> für O-15 und 5 Bq/m<sup>3</sup> für Ar-41 angegeben [20]. Multipliziert mit einem exemplarischen Fortluftstrom von 2 000 m<sup>3</sup>/h erhält man somit eine Ableitung von etwa 400 MBq N-13, 50 MBq O-15 und 100 MBq Ar-41 im Jahr.

Für die Ionentherapie können nach unserer Einschätzung die in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) als abdeckende Abschätzung der abgeleiteten Aktivitäten herangezogen werden.

Die Ableitungen erfolgen in der Strahlentherapie bei der Fortluft in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich. Ableitungen mit dem Abwasser erfolgen nicht.

## 5.2. Forschung/Labore

Aufgrund der unterschiedlichen Emissionspotentiale werden im Folgenden Großforschungseinrichtungen, Einrichtungen, in denen Elektroneneinfangdetektoren oder Ionenmobilitätsspektrometer eingesetzt werden und alle sonstigen Labore separat behandelt.

### 5.2.1. Großforschungseinrichtungen

Die abgeleiteten Radionuklide mit der Fortluft und dem Abwasser sind für Großforschungseinrichtungen teilweise veröffentlicht. Zu beachten ist dabei, dass einige Einrichtungen von Großforschungseinrichtungen auf Grundlage des Atomgesetzes [21] genehmigt sind. Diese Einrichtungen fallen damit nicht in die Aufgabenstellung dieser Studie, die sich auf nicht-kerntechnische Einrichtungen beschränken soll. In einigen Fällen ist vom Genehmigungsinhaber aufgeschlüsselt, welche Ableitungen aus welchen Einrichtungen stammen. Hier lassen sich die Ableitungen aus den nicht-kerntechnischen Einrichtungen direkt ablesen. In anderen Fällen haben wir den Anteil der Ableitungen aus den kerntechnischen Anlagen aufgrund unseren Erfahrungen mit ähnlichen Einrichtungen abgeschätzt und abgezogen. Da uns nicht für alle Großforschungseinrichtungen entsprechende Daten zugänglich waren, haben wir uns auf eine exemplarische Betrachtung beschränken müssen. In den Großforschungseinrichtungen, für die uns Daten vorlagen waren aber unter anderem auch Zyklotrons, Synchrotrons, Linearbeschleuniger, Isotopenlabore sowie heiße Zellen vorhanden. Dabei ergeben sich maximal die in Tabelle 9 und in

Tabelle 10 angegebenen Ableitungswerte. Die angegebenen Ableitungswerte sind dabei nur für die von uns exemplarisch betrachteten Großforschungseinrichtungen sicher abdeckend. Bei anderen, von uns nicht betrachteten Großforschungseinrichtungen mit anderen Forschungsschwerpunkten können die Ableitungswerte auch deutlich abweichen.

Tabelle 9: Aktivitätsabgaben mit der Fortluft der exemplarisch betrachteten Großforschungseinrichtungen

Radionuklid	Ableitungswerte einer exemplarischen Großforschungseinrichtung
C-11	einige GBq
N-13	einige GBq
O-15	einige 100 MBq
N-16	einige 100 MBq
F-18	einige GBq
Ar-41	10 MBq – einige GBq
Kr-85	einige GBq
I-131	< 1 MBq

Tabelle 10: Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser der exemplarisch betrachteten Großforschungseinrichtungen

Radionuklid(e)	Ableitungswerte einer exemplarischen Großforschungseinrichtung
H-3	einige 100 GBq
Co-60	einige MBq
Sr-90	einige 10 MBq
I-131	einige MBq
Cs-137	einige 10 MBq
Alphastrahler	einige MBq

Die Ableitungen von Großforschungseinrichtungen erfolgen bei der Fortluft in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich. Eine Abwasserabgabe erfolgt üblicherweise aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich.

### 5.2.2. Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern

In Elektroneneinfangdetektoren (ECD), wie sie in Gaschromatographen verbaut sein können, und Ionenmobilitätsspektrometern (IMS) können im Gerät verbaute aber dennoch offene Ni-63-Präparate zum Einsatz kommen. Nach unseren Erfahrungen und nach den Ergebnissen unserer Befragungen der Genehmigungsinhaber ist es vor allem bei Gaschromatographen üblich, das aus den Geräten austretende Messgas der Fortluft zuzuführen. Häufig wird dies auch in den Nebenbestimmungen der Genehmigung gefordert. Üblicherweise werden in diesen Geräten Ni-63-Präparate mit einer Nennaktivität von maximal 555 MBq eingesetzt. Im Normalbetrieb derartiger Geräte sollten keine radioaktiven Stoffe in die Fortluft gelangen. Da jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass sich radioaktives Ni-63 vom Präparat löst, ist in einigen Nebenbestimmungen auch geregelt, dass die Fortluftschläuche der Geräte in regelmäßigen Abständen beprobt werden müssen. Nach unseren Erfahrungen bei derartigen Prüfungen lässt sich in den Fortluftschläuchen im Normalfall keine Ni-63-

Aktivität feststellen. In Einzelfällen wurden jedoch Aktivitäten im Bereich bis zu einigen 100 Bq gefunden. Die Nachweisgrenze unserer Prüfung liegt üblicherweise deutlich unter 4 Bq. Welcher Anteil sich bei einer Aktivitätsfreisetzung im Fortluftschlauch absetzt und welcher Anteil tatsächlich mit der Fortluft emittiert wird, ist allerdings schwer abzuschätzen. Unterstellt man, dass sich mindestens 1 % der aus dem Ni-63-Präparat gelösten Aktivität im Fortluftschlauch absetzt, ergeben sich Ableitungen von Ni-63 in besagten Einzelfällen von bis zu 10 kBq. Diese Ableitung erfolgt in Ausnahmefällen und somit diskontinuierlich.

### 5.2.3. Sonstige Labore

Die sonstigen exemplarisch betrachteten Labore mit Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in der Gruppe „Forschung/Labore“ wurden nicht weiter aufgeteilt, da unabhängig davon, ob die Labore zu Hochschulen, Universitäten, öffentlichen Einrichtungen oder Dienstleistern zuzuordnen sind, die zum Einsatz kommenden Radionuklide für jedes dieser Labore individuell variieren. Im Bereich der Biologie werden beispielsweise in Tracerlaboren häufig die Radionuklide H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45, Cr-51, Fe-55, Rb-85 und I-125 verwendet. Die in den von uns betrachteten Laboren zum Einsatz kommenden Radionuklide und deren Einsatzgebiete können der Tabelle 5 entnommen werden.

Trotz des vielfältigen Einsatzes unterschiedlichster Radionuklide haben alle von uns exemplarisch ausgewählten Labore hinsichtlich der Ableitungen radioaktiver Stoffe ein ähnliches Konzept. Entweder werden beim offenen Umgang technische Barrieren (z. B. durch geführte und gefilterte Fortluft oder Sammlung der Abwässer in Abklingbecken) eingesetzt, dass im Rahmen des Genehmigungsverfahrens keine Ableitung oberhalb der in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) unterstellt werden musste, oder es wird nur mit derart geringen Aktivitäten bzw. Stoffen mit einer derart geringen Aktivitätsfreisetzung umgegangen, dass die Unterschreitung der maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen von vorneherein gewährleistet ist. Dieses Konzept deckt sich auch mit der Norm DIN 25425-1 [17] für die Auslegung von Radionuklidlaboratorien. In dieser Norm werden die Labore nach ihrem Inkorporationsrisiko kategorisiert und entsprechend gestaffelte Barrieren und Schutzmaßnahmen gefordert. Nach den Ergebnissen unserer Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden bzw. der Genehmigungsinhaber wird in allen betrachteten Fällen, in denen eine relevante Aktivitätsfreisetzung in Höhe der maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, durch Probenentnahme etwaiger Abwässer oder Auswertung von Fortluftfiltern nachgewiesen, dass keine relevanten Aktivitäten abgeleitet wurden. Üblicherweise orientieren sich die Nachweisgrenzen dabei an den in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]). Diese Aktivitätskonzentrationen können somit als abdeckende Abschätzung der abgeleiteten Aktivitäten in derartigen Einrichtungen herangezogen werden.

Die Ableitung der Fortluft erfolgt aus Laboren kontinuierlich, die Tätigkeiten mit Freisetzungspotential aber ggf. diskontinuierlich. Die Abwasserabgabe kann hingegen aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich oder durch direkte Abgaben und somit „quasi-kontinuierliche“ erfolgen.

### 5.3. Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

Die exakten Aktivitäten, mit denen die in diese Gruppe fallenden Einrichtungen umgehen, sowie genaue Details zu den Bearbeitungsschritten fallen in vielen Fällen unter die Geschäftsgeheimnisse. Berichte der Betreiber zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und zur von der Einrichtung ausgehenden

Strahlenbelastung der allgemeinen Bevölkerung sind zwar teilweise veröffentlicht, jedoch häufig recht allgemein gehalten. Nuklidvektoren oder gar spezifisch abgeleitete Aktivitäten werden in derartigen Berichten in der Regel nicht veröffentlicht.

Nach unseren Erfahrungen und nach den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und der Genehmigungsinhaber erfolgt eine Handhabung offener radioaktiver Stoffe in der Regel in Einkapselungen wie Produktionsboxen oder Handschuhkästen mit Unterdruckhaltung oder bei niedrigerer Freisetzungswahrscheinlichkeit, wie bei der Verarbeitung von wässrigen Lösungen, in Abzügen. Hierdurch sollen Freisetzungen in die Raumluft vermieden werden. Die Fortluft wird üblicherweise in Fortluftanlagen gefiltert und die abgegebene Fortluft kontinuierlich überwacht und zum Nachweis der Einhaltung der genehmigten Ableitungswerte bilanziert. Insbesondere auf dem Fortluftpfad lassen sich einige Radionuklide besser zurückhalten als andere. Dies spiegelt sich meist direkt in den genehmigten Ableitungswerten, aber auf jeden Fall in den tatsächlichen Ableitungen wieder, weshalb man nicht alle in Tabelle 5 aufgezählten Nuklide bei den Ableitungen wiederfindet.

Prozesswasser und Abwasser werden nach unserer Erfahrung und nach den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden je nach möglicher Kontamination unterschiedlich gehandhabt. Potentiell kontaminierte Wässer werden in Tanks gesammelt, ggf. werden Abklinglagerungen oder Weiterbehandlungen durchgeführt und anschließend Beprobungen zur Auswertung und Entscheidung, ob eine Ableitung erfolgen kann, vorgenommen. Üblicherweise werden die Aktivitätsabgaben mit den Abwässern bilanziert, um die Einhaltung der genehmigten Ableitungswerte nachzuweisen.

Die genehmigten Ableitungswerte sind bei den exemplarisch betrachteten Einrichtungen für die je nach Ableitungspfad relevanten Radionuklide explizit festgelegt. Für alle weiteren Radionuklide wurden im jeweiligen Genehmigungsverfahren die in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) belastet. Die nach den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden von uns abgeschätzten genehmigten Ableitungswerte für die Fortluft und für das Abwasser sind in Tabelle 11 bzw. in Tabelle 12 dargestellt. Die tatsächlichen Ableitungen liegen wesentlich unterhalb der genehmigten Ableitungswerte. Nach den von uns beispielhaft betrachteten Angaben im Umweltbericht eines Herstellers radioaktiver Stoffe [22] werden die genehmigten Ableitungswerte zu etwa 10 % ausgeschöpft. Eine erste grobe Abschätzung der real abgeleiteten Aktivitäten mit der Fortluft und dem Abwasser liegt somit bei etwa 10 % der in Tabelle 11 bzw. in Tabelle 12 genannten Werte.

Tabelle 11: Übliche genehmigte Ableitungswerte für die Fortluft für Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

Radionuklid	Übliche Größenordnungen genehmigter Ableitungswerte pro Jahr
H-3	einige TBq
Kr-85	einige 10 TBq
I-125	einige GBq
I-131	einige GBq
Rn-222	einige 100 GBq
Am-241	einige MBq

Tabelle 12: Übliche genehmigte Ableitungswerte mit dem Abwasser für Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

Radionuklid	Übliche Größenordnungen genehmigter Ableitungswerte pro Jahr
H-3	einige 100 GBq
C-14	einige 10 GBq
Na-22	einige 100 MBq
S-35	einige 10 GBq
Co-60	einige 10 MBq
Sr-90	einige 100 MBq
I-125	einige GBq
I-131	einige 100 MBq
Cs-134	einige 10 MBq
Cs-137	einige 100 MBq
Gd-153	einige 100 MBq
Th-232	einige 100 kBq
Am-241	einige 10 MBq

Bei der Herstellung von Radiopharmaka für den Bereich der PET mit einem Zyklotron und daran angeschlossenen Labor werden insbesondere technische Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe und damit zur Vermeidung von Ableitungen verwendet. Teilweise wird auch eine Abklinglagerung der Fortluft zur Minimierung der Ableitungen angewendet. Ableitungen mit dem Abwasser sind im normalen Betrieb nicht gegeben. Es ergeben sich die in Tabelle 13 dargestellten maximalen Ableitungswerte; das kurzlebige O-15 wurde hierbei aufgrund der geringen Halbwertszeit von wenigen Minuten nicht betrachtet. Diese Ableitungswerte können sich bei der Anwendung von einer Abklinglagerung der Fortluft noch weiter verringern. Bei Einrichtungen, die nur Radiopharmaka für den Vertrieb produzieren, wird im Normalfall nur F-18 produziert.

Tabelle 13: Ableitung mit der Fortluft eines exemplarischen Labors mit angeschlossenen Zyklotron zur Herstellung von Radiopharmaka

Radionuklid	Maximale Ableitungen
C-11	einige 10 GBq
N-13	einige 100 MBq
F-18	einige 100 GBq

Die Ableitungen von Herstellern/Lieferanten radioaktiver Stoffe erfolgen bei der Fortluft in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich. Eine Abwasserabgabe erfolgt üblicherweise aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich.

## 5.4. Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe

Aufgrund des unterschiedlichen Emissionspotentials haben wir die Einrichtungen dieser Gruppe dahingehend aufgeteilt, ob die radioaktiven Reststoffe in bereits verpackter Form oder offen vorliegen.

### 5.4.1. Umgang in verpackter Form (Lagerung)

Bei der Lagerung radioaktiver Reststoffe liegen die radioaktiven Stoffe üblicherweise in verpackter Form – in Fässern, Behältern, Containern oder sonstigen Gebinden – vor. Die Emission radioaktiver Stoffe über den Abwasserpfad kann in derartigen Einrichtungen, wenn man die Störfall- und

Unfallszenarien ausnimmt, vernachlässigt werden. Die Emission über den Fortluftpfad richtet sich nach der Anzahl, dem Inventar und der Art der im jeweiligen Lager gelagerten Gebinde. Als erste Näherung für die Ableitung radioaktiver Stoffe haben wir die für das geplante Endlager KONRAD festgelegten Annahmebedingungen [23] herangezogen. Hier werden für die flüchtigen Gase je nach Qualifikation der einzelnen Gebinde maximal zulässige Aktivitätswerte vorgegeben. Für eine abdeckende Abschätzung der möglichen Ableitung mit der Fortluft haben wir die maximal flüchtigen Anteile der in den Annahmebedingungen [23] angegebenen Garantiewerte für die radioaktiven Stoffe in Verpackungen ohne spezifizierte Dichtheit angesetzt und unterstellt, dass die gesamte Aktivität innerhalb eines Jahres über die Fortluft entweicht. Es ergeben sich die in Tabelle 14 angegebenen maximalen jährlichen Aktivitätsfreisetzungen pro Gebinde.

*Tabelle 14: Maximale Aktivitätsfreisetzung aus einem gelagerten Gebinde, abgeleitet aus den Annahmebedingungen für das geplante Endlager KONRAD*

Radionuklid	Maximale Aktivitätsfreisetzung je Gebinde im Jahr
H-3	74 GBq
C-14	180 MBq
Kr-85	30 GBq
I-129	19 MBq
Rn-222	140 MBq

Unter der Annahme, dass die gelagerten Gebinde den Annahmebedingungen des geplanten Endlagers KONRAD genügen, stellen die in Tabelle 14 angegebenen Werte eine abdeckende Abschätzung der möglichen Aktivitätsfreisetzungen pro Gebinde dar. Unterstellt man weiter, dass die aus den Gebinden freigesetzten Aktivitäten vollständig mit der Fortluft emittiert werden, kann die gesamte Emission eines Lagers durch Multiplikation der in Tabelle 14 angegebenen Werte mit der Anzahl der gelagerten Gebinde nach oben hin abgeschätzt werden (Worst-Case-Szenario). Da sich diese Abschätzung an den Maximalwerten orientiert und nicht davon ausgegangen werden muss, dass alle Gebinde diese Maximalwerte ausreizen, liegen reale Emissionen mit der Fortluft sicher deutlich unterhalb dieser Abschätzung.

Die Ableitungen aus Einrichtungen mit Umgang von radioaktiven Reststoffen in verpackter Form mit der Fortluft erfolgt kontinuierlich.

#### 5.4.2. Umgang in offener Form (Konditionierung)

Das Emissionspotential bei der Konditionierung von radioaktiven Reststoffen ergibt sich durch die mögliche Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebungsluft oder in Prozesswässer.

Nach unseren Erfahrungen und nach den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden in dem Tätigkeitsfeld wird die Fortluft in allen exemplarisch betrachteten Konditionierungseinrichtungen mit Fortluftanlagen gefiltert, die abgegebene Fortluft überwacht und zum Nachweis der Einhaltung der genehmigten Ableitungswerte bilanziert. Prozesswässer und Abwässer werden nach den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden je nach möglicher Kontamination unterschiedlich gehandhabt. Potentiell kontaminierte Wässer werden in Tanks gesammelt, ggf. werden Abklinglagerungen oder Weiterbehandlungen durchgeführt und anschließend Beprobungen zur Auswertung und Entscheidung, ob eine Ableitung erfolgen kann, vorgenommen. Die Aktivitätsabgaben mit den Abwässern werden bilanziert, um die Einhaltung der genehmigten Ableitungswerte nachzuweisen.

Die Freisetzung von radioaktiven Stoffen hängt nicht nur von den jeweils vorgenommenen Bearbeitungsschritten ab, sondern auch von der Aktivität des bearbeiteten Reststoffes. Die möglichen Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit den Abwässern unterscheiden sich somit von Fall zu Fall. Berichte von Betreibern von Einrichtungen zur Konditionierung von radioaktiven Reststoffen, in denen aufgetretene Ableitungen angegeben werden, eignen sich deshalb nicht zur Abschätzung der möglichen Emissionen bei anderen Konditionierungseinrichtungen, bei anderen Bearbeitungsschritten oder bei der Konditionierung von anderen Reststoffen.

Es ist jedoch möglich anhand genehmigter Ableitungswerte die Emission radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser nach oben hin abzuschätzen (Worst-Case-Szenario). Wir haben deshalb anhand unserer Erfahrungen und den Ergebnissen der Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie öffentlich zugänglicher Literatur [24] genehmigte bzw. beantragte Ableitungswerte verschiedener Konditionierungseinrichtungen ermittelt. Da sich nicht nur die Ableitungswerte sondern auch die Gruppierung der Radionuklide teilweise erheblich unterscheiden, haben wir für zwei verschiedene Einrichtungen die ermittelten Ableitungswerte in Tabelle 15 und Tabelle 16 exemplarisch angegeben.

*Tabelle 15: Beantragte bzw. genehmigte Ableitungswerte mit der Fortluft zweier exemplarisch ausgewählter Konditionierungseinrichtungen*

Radionuklid(e)	Beantragte Ableitungswerte exemplarische Einrichtung 1	Genehmigte Ableitungswerte exemplarische Einrichtung 2
	pro Jahr	pro Jahr
H-3	50 GBq	-
C-14	5,0 GBq	-
partikelgebundene Radionuklide	4,5 GBq	-
Beta-/ Gammastrahler	-	50 MBq
Alphastrahler	-	500 kBq

*Tabelle 16: Beantragte bzw. genehmigte Ableitungswerte mit dem Abwasser zweier exemplarisch ausgewählter Konditionierungseinrichtungen*

Radionuklide	Beantragte Ableitungswerte exemplarische Einrichtung 1	Genehmigte Ableitungswerte exemplarische Einrichtung 2
	pro Jahr	pro Jahr
H-3	4,0 TBq	70 GBq
Radionuklidgemisch ohne H-3	4,8 TBq	-
Beta-/ Gammastrahler ohne H-3	-	80 MBq
Alphastrahler	-	70 kBq

Man erkennt deutliche Unterschiede in den genehmigten Ableitungswerten von mehreren Größenordnungen. Dies deckt sich mit der oben erläuterten Erwartung, dass die Ableitungen von Konditionierungseinrichtungen stark variieren können.

Die Ableitungen von Konditionierungseinrichtungen erfolgen bei der Fortluft in Abhängigkeit der Betriebszustände kontinuierlich. Eine Abwasserabgabe erfolgt üblicherweise aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich.

## 5.5. Sonstige Industrie

Die in Abschnitt 4.5 dargestellten Einrichtungen, bei denen ein Emissionspotential erkannt wurde, lassen sich in den Bereich des Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen und in den Bereich des Einsatzes von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung aufteilen. Die Darstellungen der möglichen Ableitungen erfolgen im Folgenden für diese zwei Bereiche jeweils separat.

Einrichtungen der Tiermedizin werden nicht weiter betrachtet, die in erster Näherung unterstellt werden kann, dass die Ableitungen in etwa mit den Einrichtungen vergleichbarer Anwendungen am Menschen ähneln (siehe auch Abschnitt 5.1).

### 5.5.1. Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Wir haben entsprechend unserer in Abschnitt 4.5 dargestellten Ergebnissen exemplarisch Einrichtungen, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, betrachtet. Hierbei wurden auch Einrichtungen der Chemieindustrie, Einrichtungen, in denen in Motorenprüfständen aktivierte Bauteile zum Einsatz kommen, und Wäschereien für Kontrollbereichswäsche untersucht. Nach den Ergebnissen unserer Befragungen fallen keine weiteren Wäschereien in den genehmigungspflichtigen Bereich, da üblicherweise kontaminierte Kleidung dem radioaktiven Abfall zugeführt wird. Für Einrichtungen aus der Pharmaindustrie muss aus unserer Sicht keine separate Betrachtung erfolgen, da das Emissionspotential mit dem in der Chemieindustrie vergleichbar ist.

Bei allen von uns exemplarisch ausgewählten Einrichtungen sind entweder technische Barrieren (z. B. durch geführte und gefilterte Fortluft oder Sammlung der Abwässer in Abklingbecken) eingesetzt, wodurch im Rahmen des Genehmigungsverfahrens keine Ableitung oberhalb der in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) unterstellt werden musste, oder es wird nur mit derart geringen Aktivitäten bzw. Stoffen mit einer derart geringen Aktivitätsfreisetzung umgegangen, dass die Unterschreitung der maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen von vorneherein gewährleistet ist. Bilanzierungen der tatsächlich abgeleiteten Aktivitäten sind jeweils nicht vorhanden. Zur abdeckenden Abschätzung der abgeleiteten Aktivitäten können somit analog zu Abschnitt 5.2.3 die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach der Strahlenschutzverordnung herangezogen werden.

Die Ableitung der Fortluft erfolgt aus derartigen Einrichtungen kontinuierlich. Die Abwasserabgabe kann hingegen aus Abwassertanks und somit diskontinuierlich oder durch direkte Abgaben und somit „quasi-kontinuierliche“ erfolgen.

### 5.5.2. Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung

Zur Durchstrahlung von Maschinenteilen, Autoreifen, Munition etc. werden neben Röntgeneinrichtungen auch Elektronenbeschleuniger eingesetzt. Nach den Ergebnissen unserer Befragungen der einschlägigen Gremien/Arbeitskreisen und der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden kommen dabei Photonenenergien im Bereich von 1 MeV bis 6 MeV zum Einsatz. In diesem Energiebereich sind keine relevanten Aktivierungsprozesse zu unterstellen (siehe auch Abschnitt 5.1.3). Somit müssen auch keine Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft unterstellt

werden. Der Abwasserpfad ist analog zu Abschnitt 5.1.3 zu vernachlässigen. Sollte im Einzelfall ein Elektronenbeschleuniger mit einer Photonenenergie von über 10 MeV betrieben werden, kann das Emissionspotential und somit die Emission radioaktiver Stoffe mit der Fortluft unter Berücksichtigung der jeweiligen Strahlzeiten in erster Näherung mit den in Abschnitt 5.1.3 vorgenommenen Betrachtungen abgeschätzt werden.

Die in der Erdöl- und Erdgasindustrie eingesetzten Deuterium-Ionenbeschleuniger werden mit H-3-Target zur Erzeugung eines monoenergetischen Neutronenstrahls mit einer Energie von 14 MeV verwendet. Die Deuterium-Ionenbeschleuniger werden in Sonden in Bohrlöcher zur Bohrlocherkundung eingelassen. Nach den Ergebnissen unserer Befragungen der Genehmigungsinhaber treten keine relevanten Aktivierungen im Spülwasser auf. Nach unseren eigenen Berechnungen können Aktivierungen an Feststoffen in den Bohrlöchern bzw. an der Sonde selber auftreten. Aufgrund von diesen Aktivierungen ist im Normalbetrieb jedoch keine relevante Aktivitätsfreisetzung und somit keine Ableitung zu unterstellen.

## 6. Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen der Emissionsüberwachung

### 6.1. Gesetzliche Grundlagen

Nach Artikel 67 der Richtlinie 2013/59/Euratom [2] verpflichten Mitgliedstaaten Unternehmen, die für die mit einer Zulassung zur Abgabe radioaktiver Ableitungen verbundenen Tätigkeiten verantwortlich sind, die im Normalbetrieb erfolgende Ableitung luftgetragener und flüssiger radioaktiver Stoffe in die Umwelt in geeigneter Weise zu überwachen oder gegebenenfalls zu bewerten und die Ergebnisse der zuständigen Behörde mitzuteilen. Die Richtlinie 2013/59/Euratom [2] hat als Richtlinie keinen Gesetzescharakter. Artikel 33 des Euratom-Vertrags [3] regelt jedoch die Umsetzung der Richtlinie aller Mitgliedstaaten in nationales Recht. Im Rahmen dieser Umsetzung wurde die Bundesregierung mit § 81 StrlSchG [5] unter anderem ermächtigt, durch Rechtsverordnungen festzulegen, welche Vorsorge- und Überwachungsmaßnahmen für den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen zu treffen sind, damit bestimmte Konzentrationen radioaktiver Stoffe in Luft und Wasser nicht überschritten werden. Dabei kann insbesondere auch geregelt werden, welche Vorgaben zur Emissions- und Immissionsüberwachung einzuhalten sind. Die Ermächtigung fand in der StrlSchV [1], die für die Genehmigungsinhaber der Einrichtungen maßgeblich ist, Anwendung. Nach § 103 der StrlSchV [1] hat der Strahlenschutzverantwortliche einer Einrichtung dafür zu sorgen, dass die Ableitungen überwacht werden und der zuständigen Behörde mindestens jährlich mitgeteilt werden. Die zuständige Behörde kann von der Mitteilungspflicht ganz oder teilweise befreien, wenn sie auf andere Weise hinreichend abschätzen kann, dass die in der StrlSchV [1] festgelegten Grenzwerte der effektiven Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe nicht überschritten werden.

Dieser Gesetzeshierarchie folgend hat der Strahlenschutzverantwortliche einer Einrichtung die Emission zu überwachen. Diese Regelung steht nicht im Widerspruch mit den IAEA Safety Standards, General Safety Guide [25], nach dem die zuständigen Behörden sicherstellen sollen, dass Programme zur Umweltüberwachung vorhanden sind, die geeignet sind, Expositionen der Öffentlichkeit zu kontrollieren. Hierzu gehören unter anderem Vorkehrungen zur Aufzeichnung der Ableitungen radioaktiver Stoffe.

Die in § 103 der StrlSchV [1] ermöglichte Befreiung von der Mitteilungspflicht seitens der Behörde umfasst keine Befreiung der Emissionsüberwachung. Auf gesetzlicher Ebene ist jedoch nicht geregelt, auf welche Weise die Überwachung der Emission zu erfolgen hat.

### 6.2. Geltende Normen

Normen sind Dokumente, die Anforderungen an Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren festlegen. Ihre Anwendung ist grundsätzlich freiwillig, jedoch können sie als Nachweis für eine korrekte Vorgehensweise dienen. Ebenso kann in Genehmigungen ihre Einhaltung vorgeschrieben werden.

Für den genehmigungsbedürftigen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in Radionuklidlaboratorien oberhalb der Freigrenze nach StrlSchV [1] gibt es die DIN 25425-1 [17]. In dieser DIN-Norm werden Regelungen für die Auslegung von Radionuklidlaboratorien dargelegt. Diese Regelungen sind abgestuft nach Raumkategorien. Mit steigender Raumkategorie werden höhere Anforderungen an die technischen Schutzmaßnahmen gestellt. Die Raumkategorie ergibt sich aus einem Bewertungsfaktor ( $K$ ) entsprechend der Tabelle 17. Der Bewertungsfaktor ( $K$ ) berechnet sich aus dem Verhältnis der Aktivität der gleichzeitig in einem Raum gehandhabten Aktivität ( $A$ )

multipliziert mit dem relativen Anteil der Arbeitsplatzaktivität, der während des k-ten Arbeitsprozesses potenziell inkorporiert werden kann, (Inkorporationsfaktor  $a_k$ ) und dem Richtwert für die Jahresaktivitätszufuhr ( $RjAZ$ ). Bei mehreren in einem Raum gleichzeitig gehandhabten Radionukliden ist die Summe zu bilden; bei nicht gleichzeitiger Handhabung ist der ungünstigste Fall zu betrachten.

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{a_{k_i} * A_i}{RjAZ_i}$$

Der Inkorporationsfaktor ( $a_k$ ) ist von der Handhabungsart abhängig. Für Handhabungen mit geringer Freisetzungswahrscheinlichkeit, z. B. Handhabung von Lösungen zur Aufteilung, Umfüllung, Verdünnung, Messung, Bestimmung der Aktivität, Säulenchromatographie, Durchführung von radioimmunologischen Untersuchungen mit vorgefertigten Testsätzen, Lagerung außerhalb von geschlossenen Aufbewahrungseinrichtungen oder einfache chemische und physikalische Operationen, ist ein Inkorporationsfaktor von  $10^{-4}$  anzusetzen. Bei Handhabungen mit erhöhter Freisetzungswahrscheinlichkeit, Handhabung von pulverförmigen Substanzen, Sieben, Trocknen, Abrauchen, Erhitzen, Eindampfen, Veraschen, Durchführung komplexer chemischer Reaktionen, Handhabung von leicht flüchtigen radioaktiven Stoffen, Handhabung von Gasen oder Markierungen und Synthesen, sieht die DIN 25425-1 [17] einen Inkorporationsfaktor von  $10^{-3}$  vor. Dieser höhere Faktor ist auch bei unbekanntem Freisetzungsverhalten zu wählen.

Tabelle 17: Raumkategorie nach DIN 25425-1 in Abhängigkeit vom Bewertungsfaktor ( $K$ )

Bewertungsfaktor ( $K$ )	Raumkategorie
$K \leq 10^{-4}$	RK0
$10^{-4} < K \leq 10^{-2}$	RK1
$10^{-2} < K \leq 1$	RK2
$1 < K \leq 10^2$	RK3

Für Radionuklidlaboratorien der Raumkategorie RK3 kann gemäß der DIN 25425-1 [17] eine Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Abluft durch eine feste Installation von Einrichtungen zur Probenentnahme oder zur Messung erforderlich sein. Für die Raumkategorien RK2 und RK3 sind in den Abluftkanälen Probenentnahmeöffnungen vorzusehen, die eine isokinetische Probenentnahme ermöglichen, eine Überwachung ist aber nicht verbindlich vorgesehen. Für die Raumkategorien RK0 und RK1 ist in der DIN 25425-1 [17] keine messtechnische Überwachung bzw. Vorhalten von Probenentnahmeöffnungen vorgesehen.

Bezüglich der Abwasserabgabe ist gemäß der DIN 25425-1 [17] eine Abwassersammelanlage vorzusehen, wenn mehr als  $1 \text{ m}^3$  radioaktives Abwasser im Vierteljahr anfällt und zu erwarten ist, dass die zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach StrlSchV [1] überschritten werden. An die Abwassersammelanlage sind dann alle Entwässerungsinstallationen anzuschließen mit Ausnahme von Entwässerungsinstallationen, für die sichergestellt ist, dass 10 % der nach StrlSchV [1] zulässigen Ableitungen nicht überschritten werden. Dies können z. B. Toiletten, Duschen, Kühlwasser oder Handwaschbecken sein. Die Abwasserbehälter müssen eine Mischvorrichtung zur Entnahme einer repräsentativen Probe enthalten.

Für nuklearmedizinische Betriebe gibt es mit der DIN 6844-1 [26] und der DIN 6844-2 [11] Regeln für die Errichtung und Ausstattung getrennt nach Betrieben zur diagnostischen Anwendung und Betrieben zur therapeutischen Anwendung.

Für Betriebe zur diagnostischen Anwendung ist gemäß DIN 6844-1 [26] eine konventionelle Belüftung zulässig. Nur bei der Verwendung von radioaktiven Gasen ist eine künstliche Belüftung mit separater Entlüftung über Dach vorgesehen. Die Anforderung an eine Überwachung der Fortluft ist in der DIN 6844-1 [26] nicht enthalten. Eine Abwasserschutzanlage wird in der DIN 6844-1 [26] im Allgemeinen als nicht erforderlich angesehen.

Für Betriebe zur therapeutischen Anwendung ist gemäß DIN 6844-2 [11] die kontaminierte Abluft getrennt über Dach abzuleiten. Bei der Radioiodtherapie ist die Abluft aus den Patientenzimmern über Iodfilter zu leiten. Die Anforderung an eine messtechnische Überwachung der Fortluft ist in der DIN 6844-2 [11] nicht enthalten. Die Toiletten im Patientenbereich sind zwangsmäßig an eine Abwasserschutzanlage anzuschließen; die restlichen Abwässer müssen kontrollierbar sein und ggf. ebenfalls der Abwasserschutzanlage zugeführt werden. Die Behälter der Abwasserschutzanlage müssen eine Mischvorrichtung zur Entnahme einer repräsentativen Probe enthalten. Vor dem Verlassen der Abwässer aus den Betrieb muss eine Aktivitätskontrolle möglich sein. Es ist eine Messvorrichtung (Vielkanalspektrometer) zur quantitativen und qualitativen Aktivitätsbestimmung des zu kontrollierenden Abwassers vorzusehen.

Entsprechend der dargestellten Regelungen der DIN-Normen wird für die Umsetzung des § 103 der StrlSchV [1] nicht in allen Fällen eine messtechnische Erfassung der Emissionen als Stand der Technik angesehen.

### 6.3. Weiteres Regelwerk

Im Folgenden werden weitere Regelungen dargestellt. Diese sind für den Genehmigungsinhaber einer Einrichtung rechtlich nicht bindend. Aus unserer Sicht lassen sich aus den folgenden Regelungen jedoch für geeignete Vorgehensweisen Hinweise ableiten. Wir führen dabei nur die wesentlichsten Regelungen auf, sodass dies nicht als vollständige Liste verstanden werden darf.

#### 6.3.1. Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU

Mit den Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU [9] wird das Ziel verfolgt, bewährte Methoden und Verfahren zur Probenentnahme und Probenaufarbeitung sowie zur Messung der Radioaktivität und der äußeren Exposition im Rahmen der Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen detailliert zu beschreiben und allgemein zugänglich zu machen. Teile der Loseblattsammlung – insbesondere das Blatt 4.2 – behandeln jedoch auch die Überwachung von Ableitungen aus nicht-kerntechnischen Anlagen. Als Möglichkeiten der Überwachung werden dabei rechnerische Abschätzung der abgeleiteten Aktivität, Entnahme von Stichproben und Durchführung von Messungen und kontinuierliche Probenentnahmen oder Entnahmen repräsentativer Sammelproben angesehen. Im Blatt 4.2 werden unter anderem Empfehlungen für die Planung und Ausführung der Emissionsüberwachung sowie Entscheidungskriterien zur Auswahl der möglichen Überwachungen gegeben. Diese umfassen neben Messverfahren und Messmethoden auch die Dokumentation und Berichterstattung.

Die Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU [9], stellen kein verbindliches Regelwerk dar. Die Empfehlungen dienen jedoch Antragstellern, insbesondere Strahlenschutzverantwortlichen und Strahlenschutzbeauftragten, bei der Beantragung

von Genehmigungen, der Planung der Emissionsüberwachung und der dazu erforderlichen Maßnahmen beim Betrieb einer Einrichtung. [9]

### 6.3.2. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen

Die Ausführungen der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [6] stellen die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung genehmigungspflichtiger Anlagen und Tätigkeiten gemäß §§ 6, 7, 9 und 9b des Atomgesetzes [21] dar. Hinsichtlich der Emission im bestimmungsgemäßen Betrieb ist geregelt, dass die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser überwacht werden. Diese Überwachung stellt die Grundlage der Überwachung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben nach StrlSchV [1] dar. Ferner muss die Emissionsüberwachung eine Beurteilung erlauben, ob Dosisgrenzwerte eingehalten werden. Soweit dies für die Beurteilung der radiologischen Auswirkungen erforderlich ist, sind dabei auch für die Ausbreitung und Ablagerung relevante meteorologische und hydrologische Parameter zu erfassen. Die REI [6] gibt dabei auch vor, auf welche Weise die Messergebnisse in Berichten darzustellen sind und welche Informationen in diesen Berichten enthalten sein müssen. Abhängig von der Art der kerntechnischen Anlage werden für die jeweiligen Emissionspfade außerdem Art der Messung, Art und Häufigkeit der Probenentnahme und die erforderliche Nachweisgrenze festgelegt. Nach den Regelungen im Anhang D, der die Festlegung von Überwachungsmaßnahmen in Sonderfällen regelt, ist die Verhältnismäßigkeit bei den Einzelregelungen zu beachten.

Die REI [6] ist inhaltlich auf nicht-kerntechnische Anlagen nicht anwendbar. Allerdings lassen sich hieraus im Hinblick auf die Messtechnik und Messverfahren Informationen zu etablierten Verfahren ableiten. Viele dieser Verfahren werden auch bei der Emissionsüberwachung nicht-kerntechnischer Einrichtungen eingesetzt.

### 6.3.3. Messanleitungen für die Überwachung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen

Die Leitstelle für Fortluft aus kerntechnischen Anlagen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat mit den Messanleitungen für die Überwachung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen [27] Anleitungen herausgegeben, die inhaltlich die Emissionsüberwachung mit der Fortluft behandeln. Ähnlich wie die zuvor dargestellte REI [6] haben diese Messanleitungen den Fokus auf kerntechnische Anlagen im Sinne des Atomgesetzes [21]. Die etablierten Messverfahren werden in diesen Anleitungen [27] technisch detailliert beschrieben. Dabei werden auch Berechnungsvorschriften, Hinweise zur Kalibrierung und Rechenbeispiele aufgeführt. Auch hieraus lassen sich im Hinblick auf die Messtechnik und Messverfahren Informationen für die Emissionsüberwachung mit der Fortluft für nicht-kerntechnischer Einrichtungen ableiten.

## 7. Überblick über Messgeräte und Messverfahren

Wir haben anhand der Informationen auf den Webseiten einiger in Deutschland am Markt etablierten Hersteller eine Übersicht der verfügbaren messtechnischen Überwachungseinrichtungen zusammengestellt. In der Tabelle 18 sind diese Überwachungseinrichtungen für die Aktivitätsbestimmung mit den verwendeten Messverfahren, der Angabe ob eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Überwachung erfolgt und den messbaren Nukliden sowie dem Messbereich und/oder der erreichbaren Nachweisgrenze aufgeführt. Die dargestellte Liste hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei Geräten zur reinen Probenentnahme variieren die Messbereiche und die Nachweisgrenzen in Abhängigkeit von der jeweiligen Auswertung der entnommenen Probe. Bei einigen befragten Einrichtungen werden diese Probenauswertungen nicht vor Ort, sondern durch einen externen Dienstleister vorgenommen. In diesen Fällen sind die Messbereiche und Nachweisgrenzen dadurch von Dritten abhängig. Eine Angabe der Messbereiche und Nachweisgrenzen erfolgt daher in der Tabelle 17 für diese Messeinrichtungen nicht; man kann aber je nach verwendeter Messtechnik davon ausgehen, dass die Nachweisgrenze im Bereich von Bq/Probe liegt.

Tabelle 18: Übersicht von auf dem Markt verfügbaren Überwachungseinrichtungen

Hersteller	Gerätebezeichnung	Messmedium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Berthold Technologies	LB 110	Fortluft	Proportionalzählrohr mit Zählgas	kont.	H-3	500 Bq/m <sup>3</sup> - 20 MBq/m <sup>3</sup>	< 1 kBq/m <sup>3</sup>
	LB 671	Fortluft	Ionisationskammer	kont.	H-3		~300 kBq/m <sup>3</sup>
	LB 150 D-R	Fortluft	Durchflusszählrohr mit Festfilter und AERD-/ABPD-Messverfahren	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler		< 200 mBq/m <sup>3</sup> für Alphastrahler < 2 Bq/m <sup>3</sup> für Betastrahler (10 Min. Mittelungszeitraum)
	LB 9124-1/Nal	Fortluft	Nal-Detektor mit Festfilter	kont.	partikelgebundene Gammastrahler		< 150 mBq/m <sup>3</sup> für Co-60 (60 min. Mittelungszeitraum)
	LB 9128	Fortluft	Si-CAM-Detektor mit Filterband und AERD-/ABPD-Messverfahren	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler		6 mBq/m <sup>3</sup> für Alphastrahler 39 mBq/m <sup>3</sup> für Betastrahler (60 min. Mittelungszeitraum)
	LB 9100	Fortluft	Szintillationszähler mit Filterband und ABPD-Messverfahren	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler		1 mBq/m <sup>3</sup> für Alphastrahler 10 mBq/m <sup>3</sup> für Betastrahler (10 Min. Mittelungszeitraum)

Hersteller	Geräte- bezeichnung	Mess- medium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Berthold Technologies	LB 9140	Fortluft	Si-CAM-Detektor mit Filterband und AERD-/ ABPD-Messverfahren	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler		20 mBq/m <sup>3</sup> für Alphastrahler 80 mBq/m <sup>3</sup> für Betastrahler (60 min. Mittelungszeitraum)
	LB 9122/9123	Fortluft		kont.	I-125 / I-131		300 mBq/m <sup>3</sup> für I-125 2 Bq/m <sup>3</sup> für I-131 (60 Min. Mittelungszeitraum)
	LB 9103	Fortluft		kont.	I-131		1,2 Bq/m <sup>2</sup> für I-131 (60 min. Mittelungszeitraum)
	LB 9850	Fortluft		kont.	Edelgas/Iod		
	LB 6365	Fortluft		kont.	Positronen-/ Betastrahler		
	LB 6377	Fortluft	Großflächenzählrohr (1000 cm <sup>2</sup> )	kont.	Positronen-/ Betastrahler		80 Bq/m <sup>3</sup>
	BAI 9109-4	Fortluft	bis zu 4 Xenon Großflächenzählrohre	kont.	Radioaktive Gase (Kr-85, Ar-41, Xe-133, C-11, F-18)		~200 Bq/m <sup>3</sup> - 400 Bq/m <sup>3</sup> (60 min. Mittelungszeitraum)
	BAI 9100 D	Fortluft	Szintillationszähler mit Filterband und ABPD- Messverfahren	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler		1 mBq/m <sup>3</sup> für Alphastrahler 10 mBq/m <sup>3</sup> für Betastrahler (10 Min. Mittelungszeitraum)

Hersteller	Geräte- bezeichnung	Mess- medium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Canberra/Mirion	ABPM 201S	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	ABPM 205L	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	ABPM 205M	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	PM 205S	Fortluft	Plastikszintillationszähler	kont.	partikelgebundene Betastrahler	37 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 kBq/m <sup>3</sup>	
	IM 201L	Fortluft	NaI-Detektor	kont.	Iod	3,7 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	IM 201S	Fortluft	NaI-Detektor	kont.	Iod	3,7 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	NGM 202L	Fortluft	Ionisationskammer	kont.	Alpha-/Beta-/ Gammastrahler/ Edelgase	10 kBq/m <sup>3</sup> - 3,7 GBq/m <sup>3</sup>	
	NGM 203S	Fortluft	Ionisationskammer	kont.	Alpha-/Beta-/ Gammastrahler/ Edelgase	~MBq/m <sup>3</sup> - PBq/m <sup>3</sup>	

Hersteller	Geräte- bezeichnung	Mess- medium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Canberra/Mirion	PIM 206S	Fortluft	Besteht aus ABPM 201+IM201	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler/ Iod		
	PING 206S	Fortluft	Besteht aus ABPM 201+IM201+NGM 204	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler/ Iod/Edelgase		
	LM 211S	Abwasser	NaI-Detektor	kont.	Gammastrahler in Flüssigkeiten	3,7 kBq/m <sup>3</sup> - 3,7 GBq/m <sup>3</sup>	
	LM 212S	Abwasser	NaI-Detektor	kont.	Gammastrahler in Flüssigkeiten	3,7 kBq/m <sup>3</sup> - 3,7 GBq/m <sup>3</sup>	
	IM 201M	Fortluft	NaI-Detektor	kont.	Iod	3,7 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	IM 203M	Fortluft	NaI-Detektor	kont.	Iod	3,7 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	NGM 204L	Fortluft	PIPS-Detektor	kont.	Edelgase	37 kBq/m <sup>3</sup> - ~10 TBq/m <sup>3</sup>	
	NGM 209M	Fortluft	PIPS-Detektor	kont.	Edelgase	1 kBq/m <sup>3</sup> - ~3,7 GBq/m <sup>3</sup>	
	ABPM 203M	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	ABPM 203P	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	

Hersteller	Geräte- bezeichnung	Mess- medium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Canberra/Mirion	ABPM 204M	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 10 mBq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 1 Bq/m <sup>3</sup> - 3,7 MBq/m <sup>3</sup>	
	ICAM	Fortluft	PIPS-Detektor mit Filterband oder Festfilter	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	500 kBq auf Filter	
	Alpha sentry CAM	Fortluft	PIPS-Detektor mit Festfilter	kont.	partikelgebundene Alphastrahler		3,5 DAC-hours
NUVIA Instruments	ISOMED 2151	Abwasser	NaI-Detektor	diskont.	Gammastrahler im Marinelli		< 5 Bq/l für I-131
Thermo Fischer Scientific	FHT 3511	Fortluft	Großflächenzählrohr	kont.	Positronen	< 1kBq/m <sup>3</sup>	
	FHT 59C	Fortluft	Proportionalzählrohr mit Filterband	kont.	partikelgebundene Betastrahler	2 Bq/m <sup>3</sup> - 500 kBq/m <sup>3</sup>	
	FHT 59 S	Fortluft	Plastikszintillationszähler	kont.	partikelgebundene Betastrahler	300 mBq/m <sup>3</sup> - 500 kBq/m <sup>3</sup>	
	FHT 63 E	Fortluft	Proportionalzählrohr mit Zählgas	kont.	H-3	700 Bq/m - 100 MBq/m <sup>3</sup>	
	FHT 1702	Fortluft	NaI-Detektor	kont.	Iod	100 Bq/m <sup>3</sup> - 100 kBq/m <sup>3</sup> (60 Min. Messdauer)	< 600 mBq/m <sup>3</sup> für I-125
	FHT 59 Si	Fortluft	PIPS-Detektor mit Schrittfilter	kont.	partikelgebundene Alpha-/Betastrahler	Alphastrahler: 50 mBq/m <sup>3</sup> - 500 kBq/m <sup>3</sup> Betastrahler: 300 mBq/m <sup>3</sup> - 500 kBq/m <sup>3</sup>	

Hersteller	Geräte- bezeichnung	Mess- medium	Messverfahren	kont./diskont. Überwachung	messbare Nuklide	Messbereich	NWG
Thermo Fischer Scientific	FHT 59 E	Fortluft	Proportionalzählrohr	kont.	Edelgase	~1 kBq/m <sup>3</sup> - 100 MBq/m <sup>3</sup> für Kr-85/Xe-133	
	FHT 59 N1	Fortluft	HPGe mit Schrittfiter	kont.	partikelgebundene Gammastrahler	10 mBq/m <sup>3</sup> - 100 mBq/m <sup>3</sup>	
Ingenieurbedarf Schöne & Schreiber	HCS 30-90	Fortluft	Probenentnahme	diskont.	H-3/C-14	je nach Auswertung	
	AS 1060/3	Fortluft	Aerosolsammlung auf Filter	diskont.	partikelgebundene Radionuklide	je nach Auswertung	
	JS 511	Fortluft	Iod-Sammlung	diskont.	Iod	je nach Auswertung	
Bonnenberg & Drescher		Fortluft	Probenentnahme	diskont.	H-3/C-14	je nach Auswertung	

## 8. Emissionsüberwachung potentieller Emittenten

In Abschnitt 4 wurden potentielle Emittenten radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser ermittelt. Im Folgenden betrachten wir die Emissionsüberwachung der potentiellen Emittenten. Wir stellen dabei die Umsetzung in den jeweiligen Genehmigungen samt der praktischen Durchführung der Emissionsüberwachung dar. Unsere Informationen basieren dabei auf Literaturrecherchen und stichprobenartiger Befragungen der Betreiber der Einrichtungen bzw. der zuständigen Genehmigung- und Aufsichtsbehörden sowie aus unserer eigenen Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden und Betreiber.

### 8.1. Medizin

#### 8.1.1. Radioiodtherapie

Informationen zur Emissionsüberwachung bei Radioiodtherapien haben wir im Wesentlichen aus unseren eigenen Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden und Betreiber, die wir mittels Befragungen von Aufsichtsbehörden und Betreibern stichprobenartig verifiziert haben. Bei Radioiodtherapien sind keine höheren Ableitungen als die nach Strahlenschutzverordnung zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) genehmigt.

In Abschnitt 5.1.1 wurden bereits übliche Größenordnungen der Ableitungen aus der Radioiodtherapie dargestellt.

Unsere Befragungen der zuständigen Aufsichtsbehörden sowie von Betreibern ergaben, dass bei der Abgabe der Abwässer aus den Abwasserschutzanlagen immer eine Aktivitätskontrolle in Form der Messung einer Probe aus den Abwässerbehältern erfolgt. Dies deckt sich mit unseren Kenntnissen aus unseren Tätigkeiten. Hierbei kommen in der Regel nuklidspezifische Gammamessplätze zum Einsatz. Mit solchen Messplätzen sind leicht Nachweisgrenzen von etwa 5 Bq/l möglich, siehe auch Abschnitt 7. Da die Gesamtabwassermengen oftmals unterhalb  $10^5 \text{ m}^3/\text{a}$  liegt, wären nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1] Ableitungen bis zu 50 Bq/l zulässig. Die realen Ableitungswerte liegen deutlich darunter. Da die Ableitung diskontinuierlich erfolgt und die Überwachung über Probenentnahme erfolgt, erfolgt auch die Überwachung diskontinuierlich.

Die Fortluft aus den Patientenzimmern dieser Einrichtungen soll gemäß der DIN 6844-2 [11] über Iod-Filter geführt werden. Die Befragung der zuständigen Aufsichtsbehörden ergab, dass zu einem großen Teil keine messtechnische Überwachung der Fortluft erfolgt. Im Rahmen der Beantragung der Genehmigungen wurde gezeigt, dass die Werte nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1] eingehalten werden. Sofern dies nur mittels Iod-Filtern erreicht werden kann, gibt es teilweise in den Genehmigungen die Nebenbestimmung, dass der Rückhaltegrad der Iod-Filter wiederkehrend überprüft wird.

#### 8.1.2. Diagnostik, ambulante Therapie und PET

In der Radiodiagnostik, der ambulanten Therapie und auch der PET ist üblicherweise keine messtechnische Überwachung der Fortluft und des Abwassers vorhanden. Dies deckt sich auch mit den Anforderungen in der DIN 6844-1 [26] und unseren eigenen Erfahrungen.

Sofern an einem Standort auch die Herstellung der Radiopharmaka erfolgt, dies kommt aufgrund der kurzen Halbwertszeiten im Bereich der PET vor, ist nach den Ergebnissen unserer Befragungen der

Betreiber eine messtechnische Überwachung der gemeinsamen Fortluft gegeben. Die Überwachung ist dann entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 8.3 ausgeführt.

### 8.1.3. Strahlentherapie

In der Strahlentherapie mit medizinischen Elektronenbeschleunigern ist keine messtechnische Überwachung der Fortluft vorhanden. Ableitungen mit dem Abwasser treten wie bereits in Abschnitt 5.1.3 dargestellt nicht auf.

## 8.2. Forschung/Labore

### 8.2.1. Großforschungseinrichtungen

Bei allen von uns im Detail betrachteten Großforschungseinrichtungen (beispielsweise das Forschungszentrum Jülich, das Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf oder die Physikalisch Technische Bundesanstalt in Braunschweig) gestaltet sich die Genehmigungslage sehr individuell. Üblicherweise teilen sich Großforschungseinrichtungen in mehrere Einrichtungen (je nach baulicher Ausführung in verschiedenen Gebäuden oder auch Gebäudeteile) auf, die jeweils unterschiedlich gehandhabt werden. Hinsichtlich der Fortluft sind bei entsprechend geringem radiologischen Potential bei allen betrachteten Einrichtungen für einzelne Einrichtungen die in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) einzuhalten. Häufig zählen zu diesen Einrichtungen auch Radionuklidlabore und Lagerbereiche. In den Einrichtungen, in denen sich Zyklotrons, Synchrotrons, Linearbeschleuniger, heiße Zellen, Anlagen zur Kernfusion o. ä. befinden, werden hingegen in der Regel in den Genehmigungen explizit einzuhaltende Ableitungswerte für die Fortluft festgelegt. Die Abwässer fließen hingegen je nach Aufbau der Großforschungseinrichtung häufig aus mehreren Einrichtungen in eine Abwasseranlage. Bei der Ableitung der in den Abwasseranlagen gesammelten Abwässer sind nach den Ergebnissen unserer Befragungen stets die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) einzuhalten.

Als Besonderheit der Emissionsüberwachung für Ableitungen aus Großforschungseinrichtungen ist anzumerken, dass sich in einzelnen Einrichtungen der Großforschungseinrichtung oder in der Nähe der Großforschungseinrichtung mitunter kerntechnische Anlagen im Sinne des Atomgesetzes [21] befinden. Erfolgen Ableitungen aus den von uns betrachteten Einrichtungen über die kerntechnischen Anlagen und somit über die Genehmigung der kerntechnischen Anlage, fallen diese Ableitungen nicht mehr unter die Ableitungen aus nicht-kerntechnischen Einrichtungen und werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht betrachtet.

Zur Überwachung der Fortluft kommen aufgrund der sehr individuellen Anwendungsbereiche mit diversen Nuklidvektoren und Aktivitätshöhen die unterschiedlichsten in Abschnitt 7 beschriebenen Messeinrichtungen zum Einsatz. Dabei kommt eine kontinuierliche Überwachung zum Einsatz. Sammelfilter werden diskontinuierlich ausgewertet. Die üblichen Nachweisgrenzen dieser Messeinrichtungen sind ebenfalls in Abschnitt 7 dargestellt. Die Überwachung des Abwassers erfolgt üblicherweise nach Sammlung in Abwassertanks durch Probenentnahme und Auswertung der Probe vor der Abwasserabgabe.

Die Ausschöpfungsgrade der einzuhaltenden Ableitungswerte sind nach den Ergebnissen unserer Befragungen sehr gering. Für die meisten Radionuklide werden die Ableitungswerte höchstens im

Prozentbereich ausgeschöpft. Für einzelne Radionuklide (flüchtige Gase und H-3) können die Ausschöpfungsgrade in Einzelfällen höher, maximal jedoch bei bis zu einigen 10 % liegen.

### 8.2.2. Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern

Informationen zur Emissionsüberwachung beim Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern haben wir im Wesentlichen aus Befragungen der Genehmigungsinhaber und der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie aufgrund unserer Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden und Betreiber. Ausgenommen der Einrichtungen, die aufgrund anderer Tätigkeiten eine messtechnische Emissionsüberwachung betreiben, ist in keinem von uns betrachteten Fall eine messtechnische Emissionsüberwachung behördlicherseits gefordert. Standardmäßig wird betreiberseitig auch keine messtechnische Emissionsüberwachung vorgenommen. Nach unseren Betrachtungen kommt es aber zu keinen Emissionen, die in einem relevanten Verhältnis zu den maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 der StrlSchV [1] stehen.

### 8.2.3. Sonstige Labore

Wie bereits in Abschnitt 5.2.3 dargelegt, sind die Einsatzgebiete von Radionukliden in den sonstigen Laboren vielfältig. Wir haben deshalb bei unseren stichprobenartigen Befragungen der Betreiber und zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden auf eine breite Auswahl an Anwendungsbereichen geachtet. Nach den Ergebnissen unserer Befragung sind nur in Einzelfällen in der jeweiligen Genehmigung messtechnische Überwachung der Emissionen gefordert. Dies betrifft sowohl die Emission mit der Fortluft aus auch die Emission mit dem Abwasser. In den meisten Fällen sind die in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) einzuhalten. Je nach Anwendungsbereich sind jedoch auch in den Genehmigungen explizit einzuhaltende Ableitungswerte angegeben, dies betrifft beispielsweise ein von uns betrachtetes Labor, in dem C-14 als Tracer eingesetzt wird.

Die Auslegungen der Radionuklidlaboratorien hinsichtlich der Überwachungseinrichtungen aber auch hinsichtlich der Barrieren und Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Emissionen orientieren sich dabei stets an den Anforderungen der DIN 25425-1 [17] für die jeweiligen Raumkategorien. Soweit inhaltlich anwendbar werden nach unserer Befragung die Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU [9], umgesetzt. Aufgrund der sehr individuellen Anwendungsbereiche mit diversen Nuklidvektoren und Aktivitätshöhen kommen die unterschiedlichsten in Abschnitt 7 beschriebenen Messeinrichtungen zum Einsatz. Die üblichen Nachweisgrenzen dieser Messeinrichtungen sind ebenfalls in Abschnitt 7 dargestellt.

Die Ausschöpfungsgrade der einzuhaltenden Ableitungswerte lässt sich ebenfalls aufgrund der individuellen Anwendungsbereiche nicht pauschalisieren. Als Gemeinsamkeit aller detailliert betrachteten Einrichtungen lässt sich jedoch feststellen, dass die realen Ableitungen stets deutlich unterhalb der einzuhaltenden Ableitungswerte lagen (maximale Ausschöpfung nach Betreiberaussagen: ca. 50 % bei flüchtigen Gasen, sonst deutlich geringer).

## 8.3. Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

In Abschnitt 5.3 wurden bereits übliche Größenordnungen genehmigter Ableitungswerte für Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe dargestellt. Bei unseren Befragungen verschiedener

Hersteller/Lieferanten und der jeweils zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden haben wir keine Anhaltspunkte für wesentlich höhere Genehmigungswerte feststellen können. Bei einem von uns betrachteten Hersteller liegen die genehmigten Ableitungswerte hingegen aufgrund eines entsprechend geringeren Aktivitätsdurchsatzes deutlich unter den in Abschnitt 5.3 angegebenen Größenordnungen.

Nach den Befragungen der zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden ist bei allen von uns exemplarisch betrachteten Herstellern/Lieferanten eine messtechnische Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe sowohl mit der Fortluft als auch mit dem Abwasser in der Genehmigung vorgesehen. Die Einrichtungen waren dabei jeweils nicht von der Mitteilungspflicht im Sinne des § 103 der StrlSchV [1] befreit. Die Überwachung der Fortluft erfolgt dabei abhängig vom jeweiligen Nuklidvektor. Die Überwachung der Edelgase in der Fortluft wird dabei jeweils mit einem Edelgasmonitor vorgenommen. Daneben kommen Aerosolmonitore bzw. Iodmonitore zum Einsatz. Die Fortluftüberwachung erfolgt bei allen betrachteten Einrichtung durch kontinuierliche bzw. im Falle von H-3 und C-14 durch „quasi-kontinuierliche“ Probenentnahme aus dem Fortluftstrom. Die Abwässer werden hingegen gesammelt und beprobt. Die Auswertung der Proben erfolgt dabei wiederum abhängig vom jeweils zu unterstellenden Nuklidvektor, beispielsweise durch LSC-Messungen.

Übliche Nachweisgrenzen derartiger Messtechnik sind in Abschnitt 7 dargestellt. Wie bereits in Abschnitt 4.3 dargestellt, liegen reale Ableitungswerte in der Größenordnung von 10 % der genehmigten Ableitungswerte. Insbesondere bei Edelgasen liegt die Ausschöpfung der genehmigten Ableitungswerte jedoch in Einzelfällen etwas höher. Bei einem Hersteller umschlossener radioaktiver Stoffe lag beispielsweise die Ausschöpfung der Kr-85-Aktivität in der Fortluft bei ca. 50 %. In diesem Fall lag der genehmigte Ableitungswert jedoch mit einigen 100 GBq auch zwei Größenordnungen unter den in Abschnitt 5.3 angegebenen üblichen Größenordnungen genehmigter Ableitungswerte. Höhere Ausschöpfungen der genehmigten Ableitungswerte sind nach unseren Befragungen und Recherchen bei Herstellern/Lieferanten radioaktiver Stoffe nicht aufgetreten.

Bei den Herstellern von Radiopharmaka gibt es sowohl den Fall, dass Ableitungen explizit in der Genehmigung aufgeführt werden, als auch den Fall, dass keine Ableitungen in der Genehmigung aufgeführt werden und die in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) Verwendung finden.

Hersteller von Radiopharmaka zählen ebenfalls zu den Herstellern radioaktiver Stoffe. Bei der Herstellung von Radiopharmaka für den Bereich der PET mit einem Zyklotron samt angeschlossenen Labor ergab unsere Befragung der Aufsichtsbehörden und der Hersteller von Messgeräten, dass die Fortluft üblicherweise mit Großflächenzählrohren überwacht wird. Die erreichbaren Nachweisgrenzen für die relevanten Radionuklide (C-11, O-15 und F-18) liegen hierbei je nach Ausführung zwischen etwa 100 Bq/m<sup>3</sup> und 1 kBq/m<sup>3</sup> (siehe auch Abschnitt 7). Es kommt auch die Überwachung mit NaI-Detektoren vor; hierbei wird eine Nachweisgrenze von etwa 5 kBq/m<sup>3</sup> erreicht.

## 8.4. Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe

### 8.4.1. Umgang in verpackter Form (Lagerung)

Nach den Ergebnissen in Abschnitt 5.4.1 ist aus Einrichtungen, in denen radioaktive Reststoffe in verpackter Form gelagert werden, eine Emission mit dem Abwasser nicht zu unterstellen. Zur Betrachtung der Emissionsüberwachung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft haben wir

stichprobenartig Betreiber verschiedener Landessammelstellen und Zwischenlager für radioaktive Reststoffe sowie die jeweils zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden befragt. Bei fast allen in unserer Stichprobe enthaltenen Einrichtung ist in der Genehmigung keine messtechnische Überwachung der Emissionen gefordert. Die genehmigten Ableitungswerte richten sich nach den in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]).

Bei einigen von uns detailliert betrachteten Einrichtungen werden Überwachungseinrichtungen für die Fortluft eingesetzt. Häufiger wird zumindest die Raumluft messtechnisch überwacht. In Einzelfällen lassen die Überwachungseinrichtungen für die Raumluft aufgrund der spezifischen Luftführung gleichzeitig einen Schluss auf die Emissionen mit der Fortluft zu. In den anderen Fällen lassen sich die Messergebnisse der Raumluftüberwachung nur bedingt auf die Fortluft übertragen. Bei der Annahme, dass die in der Einrichtung gelagerten Gebinde unversehrt weitestgehend geringe und konstante Aktivitätskonzentrationen freisetzen, lassen sich diese Überwachungseinrichtungen aber dennoch als Indikator für etwaig erhöhte Freisetzungen heranziehen. Als Messeinrichtungen kommen Luftprobensammler für H-3 und C-14 sowie Aerosolsammler zum Einsatz.

Übliche Nachweisgrenzen derartiger Messtechnik sind in Abschnitt 7 dargestellt. Den uns bekannten Messergebnissen zufolge liegen typische Raumluftaktivitäten für flüchtige Gase Größenordnungen unter den in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]).

#### 8.4.2. Umgang in offener Form (Konditionierung)

Bei den von uns im Detail betrachteten Einrichtungen zur Konditionierung von radioaktiven Reststoffen wurden in den Genehmigungen stets explizit einzuhaltende Ableitungswerte für das Abwasser und die Fortluft festgelegt. Die Größenordnungen dieser einzuhaltenden Ableitungswerte haben wir bereits in Abschnitt 5.4.2 angegeben.

Zur messtechnischen Überwachung der Fortluft kommen aufgrund der sehr individuellen Anwendungsbereiche mit diversen Nuklidvektoren und Aktivitätshöhen die unterschiedlichsten in Abschnitt 7 beschriebenen Messeinrichtungen/-methoden zum Einsatz. Die üblichen Nachweisgrenzen dieser Messeinrichtungen sind ebenfalls in Abschnitt 7 dargestellt. Die Überwachung des Abwassers erfolgt nach unseren Befragungen nach Sammlung in Abwassertanks durch Probenentnahme und Auswertung der Probe vor der Abwasserabgabe.

Die Ausschöpfungsgrade der einzuhaltenden Ableitungswerte sind nach unseren Befragungen situationsabhängig aber üblicherweise gering. Für die meisten Radionuklide werden die Ableitungswerte im Jahresmittel im Prozentbereich ausgeschöpft. Für einzelne Radionuklide (flüchtige Gase und H-3 im Abwasser) können die Ausschöpfungsgrade in einer Höhe von bis zu einigen 10 % liegen

### 8.5. Sonstige Industrie

#### 8.5.1. Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Die Betrachtung der Einrichtungen der Industrie, in denen der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen betrieben wird, erfolgte aufgrund der vielfältigen Anwendungsbereiche exemplarisch. Wir

haben bei unseren Befragungen Informationen von Einrichtungen der Chemieindustrie und Einrichtungen, in denen in Motorenprüfständen aktivierte Bauteile zum Einsatz kommen, sowie von einer Wäscherei für Kontrollbereichswäsche erhalten. Nach den Ergebnissen unserer Befragung sind nur in den seltensten Fällen in der jeweiligen Genehmigung messtechnische Überwachung der Emissionen gefordert. Dies betrifft sowohl die Emission mit der Fortluft aus auch die Emission mit dem Abwasser. Bei allen von uns exemplarisch betrachteten Einrichtungen sind nach den jeweiligen Genehmigungen keine von den in der Strahlenschutzverordnung genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen (nach Anlage VII der Strahlenschutzverordnung von 2001 [8] bzw. nach Anlage 11 der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung [1]) abweichenden einzuhaltenden Grenzwerte festgelegt.

Die inhaltlich anwendbaren Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU [9], werden nach den Ergebnissen unserer Befragungen umgesetzt. In den wenigen von uns vorgefundenen Fällen, in denen die Emissionen messtechnisch erfasst werden, wird die Fortluft mit Probenentnahmeeinrichtungen beprobt und Wasserproben aus gesammelten Abwässern entnommen und anschließend ausgewertet. Die üblichen Nachweisgrenzen dieser Messverfahren sind in Abschnitt 7 dargestellt.

Hinsichtlich der Ausschöpfungsgrade der einzuhaltenden Ableitungswerte lässt sich als Gemeinsamkeit aller detailliert betrachteten Einrichtungen feststellen, dass die realen Ableitungen stets deutlich (maximale Ausschöpfung nach Betreiberaussage im Bereich einiger Prozent) unterhalb der einzuhaltenden Ableitungswerte lagen.

### 8.5.2. Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung

Zu Betrachtung der Einrichtungen, die Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung im industriellen Bereich verwenden, wurden sichtprobenartig Betreiber derartiger Anlagen sowie die jeweils zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden befragt. Nach den Ergebnissen dieser Befragung werden in den betrachteten Fällen keine Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung mit einer Photonenenergie über 10 MeV betrieben. Eine messtechnische Emissionsüberwachung ist in keiner detailliert betrachteten Einrichtung behördlicherseits gefordert. Standardmäßig wird betreiberseitig auch keine messtechnische Emissionsüberwachung vorgenommen.

## 9. Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen der Bilanzierung und Ermittlung von Expositionen

### 9.1. Gesetzliche Grundlagen

Wie bereits in Abschnitt 6.1 dargestellt, regelt § 103 der StrlSchV [1], dass Ableitungen von Einrichtungen zu überwachen sind und diese der zuständigen Behörde mindestens nach Art und Aktivität spezifiziert jährlich mitzuteilen sind. Die Mitteilung der Ableitungen erfordert somit eine Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe. Von der Mitteilungspflicht kann die zuständige Behörde ganz oder teilweise befreien, wenn sie auf andere Weise hinreichend abschätzen kann, dass die in der StrlSchV [1] festgelegten Grenzwerte der effektiven Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe nicht überschritten werden. Sofern eine Einrichtung von der zuständigen Behörde nicht gänzlich von der Mitteilungspflicht befreit wurde, ergibt sich aus § 103 der StrlSchV [1] eine Verpflichtung zur Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe.

Eine Ermittlung der für die Einzelpersonen der Bevölkerung zu erwartenden Expositionen hat nach § 100 der StrlSchV [1] einmalig im Rahmen des Genehmigungsverfahrens durch den Strahlenschutzverantwortlichen zu erfolgen. Nach § 100 (2) ist eine Ermittlung allerdings nicht erforderlich

- a) für anzeigepflichtige Tätigkeiten beim Betrieb von Plasmaanlage und Ionenbeschleunigern, bei deren Betrieb die Ortsdosisleistung von 10  $\mu\text{Sv/h}$  in 0,1 m Abstand nicht überschritten wird,
- b) für Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Anwendung am Menschen oder der Anwendung am Tier in der Tierheilkunde ausgeübt werden,
- c) für den anzeigepflichtigen Betrieb von Röntgeneinrichtungen,
- d) für Tätigkeiten, bei denen keine Anhaltspunkte vorliegen, dass der Grenzwert für Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung von 0,3 mSv im Kalenderjahr oder die Grenzwerte nach § 80 StrlSchG [5] überschritten werden können, und,
- e) wenn die zuständige Behörde von der Festlegung von Aktivitätsmengen und Aktivitätskonzentrationen absieht.

Eine Ermittlung der von der Einzelperson der Bevölkerung im Kalenderjahr erhaltenen Exposition einer repräsentativen Person hat die zuständige Behörde hingegen nach § 101 StrlSchV [1] jährlich vorzunehmen. Eine Ermittlung ist jedoch nicht notwendig

- a) bei Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Anwendung am Menschen zu nichtmedizinischen Zwecken stehen,
- b) bei Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Anwendung am Tier in der Tierheilkunde,
- c) bei Tätigkeiten beim Betrieb von Plasmaanlage und Ionenbeschleunigern, bei deren Betrieb die Ortsdosisleistung von 10  $\mu\text{Sv/h}$  in 0,1 m Abstand nicht überschritten wird, und
- d) bei Tätigkeiten, bei denen die effektive Dosis 0,1 mSv im Kalenderjahr nicht überschreitet.

Eine Anforderung, dass der Betreiber einer Einrichtung jährlich eine erhaltene Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung ermitteln muss, ergibt sich hingegen nicht aus den Regelungen der StrlSchV [1].

## 9.2. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (2001): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen und Einrichtungen

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28] dient der Ermittlung der Strahlenexposition nach § 47 Absatz 2 der StrlSchV von 2001 [8]. Die Ergebnisse der ermittelten Strahlenexpositionen dienen der Feststellung im Genehmigungsverfahren nach der StrlSchV von 2001 [8], inwiefern die Strahlenschutzverantwortlichen die technische Auslegung und den Betrieb ihrer Anlagen oder Einrichtungen so geplant haben, dass die durch eine Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Luft oder mit Wasser bedingte Strahlenexposition die Dosisgrenzwerte des § 47 Absatz 1 der StrlSchV von 2001 [8] nicht überschreitet.

Nach den Vorgaben dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ist für Ausbreitungsrechnungen ein Gauß-Modell anzunehmen. Nach der Übergangsvorschrift in § 193 StrlSchV [1] ist in Genehmigungsverfahren, für die ein Genehmigungsantrag vor dem ersten Tag des 13. Kalendermonats nach Inkrafttreten der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 100 (siehe Abschnitt 9.3) gestellt wird, der § 47 der StrlSchV von 2001 [8] weiter anzuwenden. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28] ist somit bis zu diesem Stichtag in entsprechenden Genehmigungsverfahren noch anzuwenden.

## 9.3. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)

Nach § 100 und § 101 der StrlSchV [1] ist für die in diesen Paragraphen festgelegten Tätigkeiten die zu erwartende bzw. die im Kalenderjahr erhaltene Exposition einer Einzelperson der Bevölkerung zu ermitteln (siehe auch Abschnitt 9.1). In diesen Paragraphen ist ebenfalls geregelt, dass die Bundesregierung für die Berechnung der Exposition eine Verwaltungsvorschrift erlässt, in der auch Vorgaben über zugrunde zu legende Annahmen enthalten sind.

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) [29] stellt die in den §§ 100 und 101 der StrlSchV [1] genannte Verwaltungsvorschrift dar.

Der AVV Tätigkeiten [29] ist auch ein Kriterium zu entnehmen, wie eine mögliche Superposition bei Ableitungen mit der Fortluft mit Emittenten, die als abgeleitete Aktivitätskonzentrationen die Werte nach Anlage 11 StrlSchV [1] einzuhalten haben, zu bewerten ist. Demnach können diese unberücksichtigt bleiben, sofern höchstens zehn dieser Emittenten und keine weiteren Quellen zusammenwirken. Bei einer Ableitung mit der Fortluft muss das gesamte in der AVV Tätigkeiten festgelegte Rechengebiet berücksichtigt werden. Dieses umfasst das kreisförmige Gebiet um den Ort des Emittenten, dessen Radius das 50-fache der baulichen Emissionshöhe, mindestens aber 5 km beträgt.

Nach den Vorgaben der AVV Tätigkeiten [29] ist als Stand von Wissenschaft und Technik das Lagrange-Partikelmodell für Ausbreitungsrechnungen zu nutzen. Nach Ablauf der Übergangsvorschrift in § 193 StrlSchV [1] (siehe Abschnitt 9.2) ist in Genehmigungsverfahren die AVV Tätigkeiten [29] anzuwenden.

Am 14.02.2020 hat der Bundesrat der AVV Tätigkeiten [29] zugestimmt. [30]

## 10. Bilanzierung der Ableitungen radioaktiver Stoffe

In diesem Abschnitt betrachten wir die Bilanzierung der in den vorherigen Abschnitten dargestellten Emissionsüberwachung. Dabei gehen wir jeweils auch darauf ein, ob und wie eine Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung vorgenommen wird. Unsere Informationen basieren dabei auf Literaturrecherchen und stichprobenartiger Befragungen der Betreiber der Einrichtungen bzw. der zuständigen Genehmigung- und Aufsichtsbehörden sowie auf unseren eigenen Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden und Betreiber. Bei Einrichtungen, bei denen messtechnisch erfasste Ableitungswerte ermittelt werden, aber üblicherweise keine Berechnungen der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung vorgenommen wird, haben wir anhand der Ausschöpfungsgrade der in der Anlage 11 StrlSchV [1] genannten Aktivitätskonzentrationen Abschätzungen der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung vorgenommen. Für Einrichtungen, bei denen üblicherweise keine messtechnische Überwachung der Emission vorgenommen wird, haben wir anhand unserer abgeschätzten Ableitungen unter Berücksichtigung der in der Anlage 11 StrlSchV [1] genannten Aktivitätskonzentration Abschätzungen zu Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung vorgenommen.

Nach § 102 (2) der StrlSchV [1] kann die zuständige Behörde bei einer Unterschreitung der in Anlage 11 StrlSchV [1] aufgeführten Aktivitätskonzentrationen davon ausgehen, dass die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser den Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Kalenderjahr jeweils nicht überschreitet. In der Begründung [31] zu § 100 (2) StrlSchV [1] wird hierzu spezifiziert: „Für Kleinemittenten nach § 102 Absatz 2 Satz 1 kann entsprechend der Stellungnahme der Strahlenschutzkommission „Neuberechnung der zulässigen Aktivitätskonzentration in der Fortluft und im Abwasser [...] davon ausgegangen werden, dass in der Regel eine effektive Dosis von 30 Mikrosievert pro Pfad selbst unter unrealistisch ungünstigen Bedingungen eingehalten wird. Aus Gründen der Geringfügigkeit und der Verhältnismäßigkeit wird daher auf eine Dosisermittlung verzichtet [...]. Die Einhaltung von Dosisgrenzwerten bei mehreren gemeinsam zu betrachtenden Kleinemittenten ist durch § 102 Absatz 2 Satz 4 sichergestellt.“. Die Expositionen für die effektive Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Einrichtungen, deren Emissionen unterhalb der in Anlage 11 StrlSchV [1] aufgeführten Aktivitätskonzentrationen liegen, schätzen wir daher im Folgenden in einem Bereich von sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  ab. Da es sich hierbei in der Regel um eine sehr konservative Abschätzung handelt, stellt die Relation zu den Strahlenbelastungen aus kerntechnischen Anlagen keine genaue Aussage dar. In diesen Fällen verzichten wir daher auf einen Abgleich mit den kerntechnischen Anlagen.

In den anderen Fällen geben wir im Folgenden an, in welcher Relation die ermittelten oder abgeschätzten Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung zu denen aus kerntechnischen Anlagen stehen. Hierfür ziehen wir die Jahresberichte zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] heran. Die hier angegebenen Expositionen für die effektive Dosis liegen für kerntechnische Anlagen in der Stilllegung im Bereich von 0,1  $\mu\text{Sv}$  für Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser und für kerntechnische Anlagen im Betrieb im Bereich von 0,1  $\mu\text{Sv}$  bis 6  $\mu\text{Sv}$  für Ableitungen mit der Fortluft bzw. von 0,1  $\mu\text{Sv}$  bis 2  $\mu\text{Sv}$  für Ableitungen mit dem Abwasser. [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39]

## 10.1. Medizin

Wie in den Abschnitten 5.1 und 8.1 dargestellt, ist für Ableitungen von einzelnen medizinischen Einrichtungen davon auszugehen, dass die zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] eingehalten werden. Aus unseren eigenen Erfahrungen in dem Tätigkeitsfeld für Behörden im Zuge von Prüftätigkeiten im Rahmen von Genehmigungsverfahren sind uns konservative Abschätzungen für die Superposition von mehreren Einrichtungen (Radioiodtherapie, Radiodiagnostik, PET, Zyklotron zur Herstellung von Radiopharmaka für die PET und medizinische Forschung in Laboren) auf einem Krankenhaugelände bekannt. Die Berechnungen wurden dabei nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28] durchgeführt. Mit konservativen Annahmen, wie z. B. der vollständigen Ausschöpfung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage VII StrlSchV [8] für das jeweils radiologisch wirksamste Nuklid einer Einrichtung, ergab sich eine effektive Dosis von etwa 30  $\mu\text{Sv}$  für die Ableitungen mit der Fortluft und ebenfalls etwa 30  $\mu\text{Sv}$  für die Ableitungen mit dem Abwasser. Bei diesen Werten handelt es sich um konservative Abschätzungen im Zuge der Genehmigungsverfahren, so dass ein Vergleich mit den Expositionen aus den tatsächlichen Ableitungen von kerntechnischen Anlagen nicht sinnvoll ist.

### 10.1.1. Radioiodtherapie

Es kann für die Radioiodtherapie davon ausgegangen werden, dass die Ableitungen unterhalb der zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] liegen, siehe auch unsere Ausführungen in Abschnitt 5.1.1. Entsprechend kann für die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung ein Wert im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  für die effektive Dosis als abdeckend abgeschätzt werden. Eine Bilanzierung der Ableitungen findet üblicherweise nicht statt.

### 10.1.2. Diagnostik, ambulante Therapie und PET

Wie in Abschnitt 8.1.2 dargestellt, findet im Bereich der Radiodiagnostik, der ambulanten Therapie und auch der PET üblicherweise keine messtechnische Überwachung der Ableitungen und damit auch keine Bilanzierung statt. Da die Ableitungen mit den maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] abgeschätzt werden können (s. Abschnitt 5.1.2), kann auch die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung abdeckend mit einem Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  für die effektive Dosis abgeschätzt werden. Wie in Abschnitt 5.1.2 dargestellt, liegt nach unseren Erfahrungen die reale Ausschöpfung der Werte nach Anlage 11 StrlSchV [4] im Bereich von 5 % und somit folglich die effektive Dosis im Bereich von 1  $\mu\text{Sv}$ .

### 10.1.3. Strahlentherapie

Entsprechend unserer Ausführungen in Abschnitt 8.1.3 kommt es im Bereich der Strahlentherapie zu keiner messtechnischen Überwachung der Ableitung und damit auch zu keiner Bilanzierung. Da, wie in Abschnitt 5.1.3 dargelegt, keine Ableitungswerte Teil der Genehmigung sind, können die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] herangezogen werden, so dass die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung abdeckend mit maximal im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  für die effektive Dosis abgeschätzt werden können. Die Ausschöpfung der maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] für einen typischen Elektronenbeschleuniger für die Strahlentherapie liegt im Bereich von 5 % [20] und somit folglich die effektive Dosis im Bereich von 1  $\mu\text{Sv}$ .

## 10.2. Forschung/Labore

### 10.2.1. Großforschungseinrichtungen

Wie bereits in den Abschnitten 5.2.1 und 8.2.1 dargestellt, gestaltet sich die Genehmigungslage von Großforschungseinrichtungen sehr individuell. Üblicherweise teilen sich Großforschungseinrichtungen in mehrere Einrichtungen (je nach baulicher Ausführung in verschiedenen Gebäuden oder auch Gebäudeteile) auf, die häufig unterschiedlich gehandhabt werden.

Hinsichtlich der Fortluft sind bei entsprechend geringem radiologischen Potential bei allen betrachteten Einrichtungen für einzelne Einrichtungen die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 der StrlSchV [1] einzuhalten. Häufig zählen zu diesen Einrichtungen auch Radionuklidlabore und Lagerbereiche. In diesem Fall können die Expositionen für die effektive Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

In den Einrichtungen, in denen sich Zyklotrons, Synchrotrons, Linearbeschleuniger, heiße Zellen, Anlagen zur Kernfusion o. ä. befinden, werden hingegen in der Regel in den Genehmigungen explizit einzuhaltende Ableitungswerte für die Fortluft festgelegt. Bei einigen der von uns befragten Forschungseinrichtungen werden die Ableitungen bilanziert und die Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung infolge der bilanzierten Ableitungen ermittelt. Die Ermittlung der Exposition erfolgt bei den von uns befragten Einrichtungen noch nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28] entweder mit Ausbreitungsrechnungen mit einem Gauß-Modell oder ohne Ausbreitungsrechnungen und einer Bestimmung der Exposition direkt am Luftauslass. Die Bestimmung der Exposition direkt am Luftauslass stellt eine sehr konservative Herangehensweise dar, da die Vermischung der radioaktiven Stoffe bei einer Ausbreitung durch die Atmosphäre nicht berücksichtigt wird. Das Gauß-Modell für Ausbreitungsrechnungen heranzuziehen entspricht noch dem aktuellen Stand des Regelwerkes (siehe Abschnitte 9.2 und 9.3). Die ermittelten Expositionen für die effektive Dosis aus den Ableitungen mit der Abluft der von uns befragten Einrichtungen erstrecken sich über einen Bereich von 0,48  $\mu\text{Sv}$  bis 20  $\mu\text{Sv}$ , wobei die meisten Einrichtungen Expositionen unter 5  $\mu\text{Sv}$  ermitteln. Die ermittelten Expositionen der betrachteten Einrichtungen infolge von Ableitungen mit der Fortluft liegen somit in der gleichen Größenordnung wie die für die kerntechnischen Anlagen in den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] angegebenen Expositionen.

Wie in den Abschnitten 5.2.1 und 8.2.1 aufgeführt, werden bei der Ableitung der in den Abwasseranlagen der Großforschungseinrichtungen gesammelten Abwässer nach den Ergebnissen unserer Befragungen stets die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] eingehalten. Die zugehörigen Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis infolge von Ableitungen mit dem Abwasser können somit mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

### 10.2.2. Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern

Entsprechend unseren Ausführungen in Abschnitt 8.2.2 kommt es bei Einrichtungen mit Einsatz von Elektroneneinfangdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern zu keinen Emissionen, die in einem relevanten Verhältnis zu den maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 der StrlSchV [1] stehen. Die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis können somit mit deutlich unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  abgeschätzt werden.

### 10.2.3. Sonstige Labore

Nach den Ergebnissen unserer Befragung sind nur in Einzelfällen in der jeweiligen Genehmigung sonstiger Labore messtechnische Überwachungen der Emissionen gefordert. Eine Bilanzierung wird daher nur in seltenen Fällen vorgenommen. Dies betrifft sowohl die Emission mit der Fortluft als auch die Emission mit dem Abwasser. In den meisten Fällen sind die in der StrlSchV [1] genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 einzuhalten. Die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung können somit mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

In Einzelfällen sind jedoch auch in den Genehmigungen explizit einzuhaltende Ableitungswerte angegeben. Wie in Abschnitt 8.2.3 dargestellt, betrifft dies beispielsweise ein von uns befragtes Labor, in dem C-14 als Tracer eingesetzt wird. Bei diesem beispielhaft betrachteten Labor wird eine Berechnung der Exposition infolge der tatsächlich erfolgten Ableitungen mit der Fortluft mit einem Lagrange-Partikelmodell vorgenommen. Die Exposition für die effektive Dosis infolge der Ableitungen mit der Fortluft gab der Betreiber mit 0,1  $\mu\text{Sv}$  an. Die ermittelte Exposition liegt für diesen exemplarischen Fall an der Untergrenze der für kerntechnische Anlagen in den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] angegebenen Expositionen.

### 10.3. Hersteller/Lieferanten radioaktiver Stoffe

Bei den von uns exemplarisch betrachteten Einrichtungen von Herstellern/Lieferanten radioaktiver Stoffe erfolgt eine jährliche Berechnung der Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung infolge der bilanzierten tatsächlich abgeleiteten radioaktiven Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser. Zu den Berechnungsverfahren, die der Ermittlung der Expositionen zugrunde liegen, bekamen wir für die exemplarisch betrachteten Einrichtungen keine Informationen.

Die ermittelten Expositionen für die effektive Dosis infolge der abgeleiteten Fortluft der betrachteten Einrichtungen belaufen sich für den uns vorliegenden Zeitraum auf Werte zwischen 0,1  $\mu\text{Sv}$  und 10  $\mu\text{Sv}$ . Der Wert von 10  $\mu\text{Sv}$  stellt hierbei einen deutlichen Ausreißer eines Jahres dar. In allen anderen Fällen liegen die ermittelten Expositionen unter 5  $\mu\text{Sv}$ . Die ermittelten Expositionen infolge von Ableitungen mit der Fortluft liegen zuletzt im Bereich der für kerntechnischen Anlagen in den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] angegebenen Expositionen.

Die Expositionen für die effektive Dosis infolge der Ableitungen mit dem Abwasser belaufen sich auf Werte zwischen 2  $\mu\text{Sv}$  und 32  $\mu\text{Sv}$ , wobei die Werte seit dem Jahr 2006 im niedrigen Bereich von etwa 3  $\mu\text{Sv}$  liegen. Die hohen Werte traten nur in den Jahren davor auf. Die ermittelten Expositionen infolge von Ableitungen mit dem Abwasser liegen im Schnitt leicht über den für kerntechnischen Anlagen in den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] angegebenen Expositionen.

Bei den von uns exemplarisch betrachteten Herstellern von Radiopharmaka, bei denen z. B. aufgrund der Ansiedlung auf dem Gelände eines Forschungszentrums eine Bilanzierung der Ableitungen erfolgt, erfolgt auch eine jährliche Berechnung der Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung infolge der tatsächlich abgeleiteten radioaktiven Stoffe mit der Fortluft. Bei den Einrichtungen, bei denen die Informationen vorliegen, erfolgt die Ermittlung anhand der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28] mit dem Gauß-Modell. Die berechneten Expositionen für die effektive Dosis lagen bei maximal 10  $\mu\text{Sv}$ . Hierbei war aber jeweils auch die Superposition mit weiteren Einrichtungen am selben Standort inkludiert. Die ermittelten Expositionen infolge von Ableitungen mit der Fortluft liegen im

Schnitt eher leicht über den für kerntechnischen Anlagen in den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] angegebenen Expositionen. Bei der Ableitung mit dem Abwasser werden nach den Ergebnissen unserer Befragungen stets die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 StrlSchV [1] eingehalten. Die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis können somit mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

## 10.4. Entsorgung und Konditionierung radioaktiver Reststoffe

### 10.4.1. Umgang in verpackter Form (Lagerung)

Aus Einrichtungen, in denen radioaktive Reststoffe in verpackter Form gelagert werden, ist eine relevante Emission mit dem Abwasser nicht zu unterstellen (siehe Abschnitt 8.4.1). Eine Exposition infolge von Ableitungen mit dem Abwasser ist damit nicht zu erwarten. Ferner ergab unsere Befragung, dass in den meisten Einrichtungen, in denen radioaktive Reststoffe in verpackter Form gelagert werden, keine messtechnische Überwachung der Emissionen gefordert ist. Üblicherweise wird in diesen Fällen nicht bilanziert. Die genehmigten Ableitungswerte richten sich nach den in der Anlage 11 der StrlSchV [1] genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen. Die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis können somit mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

Bei einigen von uns detailliert betrachteten Einrichtungen, bei denen Überwachungseinrichtungen für die Fortluft eingesetzt werden oder zumindest die Raumluft messtechnisch überwacht wird, liegen nach den uns bekannten Messergebnissen die typischen Raumluftaktivitäten für flüchtige Gase Größenordnungen unter den in der Anlage 11 der StrlSchV [1] genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen. Dies bestätigt die Konservativität dieser Abschätzung.

### 10.4.2. Umgang in offener Form (Konditionierung)

Einrichtungen zur Konditionierung von radioaktiven Reststoffen haben nach unseren Befragungen (siehe Abschnitt 8.4.2) stets explizit festgelegte Ableitungswerte in den Genehmigungen für das Abwasser und die Fortluft einzuhalten. Die Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser werden bilanziert, um die Einhaltung der genehmigten Ableitungswerte nachzuweisen. Da uns keine genaue Nuklidauflösung der Ableitungen sowie keine Angaben zu den Fortluftvolumenströmen und den abgegebenen Abwassermengen zu von uns befragten Einrichtungen genannt wurden, ist die Bestimmung eines anteiligen Ausschöpfungsgrad der in Anlage 11 StrlSchV [1] genannten Werte zur groben Ersteinschätzung einer möglichen Relevanz des Dosisbeitrages nicht ohne weiteres möglich, da sich die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen nach Anlage 11 der StrlSchV [1] für verschiedene Nuklide um mehrere Größenordnungen unterscheiden.

Für die von uns näher untersuchte exemplarische Einrichtung mit den deutlich höheren beantragten Ableitungswerten liegt uns jedoch ein Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte nach § 47 Abs. 1 der StrlSchV von 2001 [8] vor. Hier wurde die potentielle Exposition infolge von Ableitungen in Höhe der vollständig ausgeschöpften beantragten Ableitungswerte der Einrichtung sowohl für die Ableitung mit der Fortluft als auch dem Abwasser ermittelt. Der Nachweis erfolgt nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 [28]. Für die Berechnung der Exposition infolge von Ableitungen mit der Fortluft wird ein Gauß-Modell für die Ausbreitungsrechnung verwendet. Ohne Berücksichtigung der Vorbelastung weiterer Anlagen oder Einrichtungen wurde für die exemplarisch betrachtete Einrichtung eine Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis von ca. 15  $\mu\text{Sv}$

infolge von Ableitungen mit der Fortluft berechnet. Für die Exposition infolge von Ableitungen mit dem Abwasser wurde ebenfalls ohne Berücksichtigung der Vorbelastung ein Wert von ca. 45  $\mu\text{Sv}$  für die effektive Dosis ermittelt. Die ermittelten Expositionen liegen deutlich über den Strahlenbelastungen aus kerntechnischen Anlagen der Jahre 2009 bis 2016 [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39]. Es ist jedoch zu beachten, dass hierbei konservativ eine vollständige Ausschöpfung der für die Einrichtung beantragten Ableitungswerte bei den Berechnungen unterstellt wurde. Die berechnete Exposition nimmt bei geringerer Ausschöpfung linear zu dem Ausschöpfungsgrad ab. Es ergeben sich also schon bei einer angenommenen Ausschöpfung von 10 % der Ableitungswerte zu erwartenden Expositionen im Bereich der für kerntechnische Anlagen zu erwartenden Expositionen.

## 10.5. Sonstige Industrie

### 10.5.1. Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Nach den Ergebnissen unserer Befragungen werden in Einrichtungen der Industrie, die Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen haben, nur in den seltensten Fällen in der jeweiligen Genehmigung messtechnische Überwachung der Emissionen gefordert (siehe Abschnitt 8.5.1). Dies betrifft sowohl die Emission mit der Fortluft aus auch die Emission mit dem Abwasser. Bei allen von uns exemplarisch betrachteten Einrichtungen sind nach den jeweiligen Genehmigungen keine von den in der Anlage 11 der StrlSchV [1] genannten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen abweichenden einzuhaltenden Grenzwerte festgelegt. Reale Ausschöpfungsgrade der zulässigen Aktivitätskonzentrationen liegen uns nicht vor, da üblicherweise keine Bilanzierung vorgenommen wird. Die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung für die effektive Dosis können mit sicher unter einigen 10  $\mu\text{Sv}$  liegend abgeschätzt werden.

### 10.5.2. Einsatz von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung

Nach den Ergebnissen dieser Befragung werden in der Industrie in der Regel keine Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung mit einer Photonenenergie über 10 MeV betrieben, wodurch keine relevante Aktivierung der Luft auftritt und somit keine Emission mit der Fortluft zu berücksichtigen ist. Emissionen mit dem Abwasser treten ebenfalls nicht auf. Daher tritt über diese Pfade keine Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung auf. Eine Überwachung erfolgt gemäß Abschnitt 8.5.2 nicht. Somit erfolgt auch keine Bilanzierung.

## Literaturverzeichnis

- [1] Amtsblatt der Europäischen Union, *Konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft*, (2012/C 327/01).
- [2] *Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*, 24.07.1998, aktualisiert 09.05.2002, 07.02.2005 und 18.05.2006.
- [3] *Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG)*, 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966).
- [4] *Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV)*, 29.11.2018 (BGBl. I S.2034, 2036).
- [5] Bekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen*, (GMBL. 2006 Nr. 14-17, S. 254), 07.12.2005.
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2016*, redaktioneller Stand 2017 - 2018.
- [7] *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)*, 20.07.2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459).
- [8] Fachverband für Strahlenschutz (FS), *Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU, Emissionsüberwachung nicht-kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen*, Hilfestellung für Planung, Ausrüstung und Betrieb, 09.2013.
- [9] T. Kuwert, F. Grünwald, U. Haberkorn und T. Krause, *Nuklearmedizin*, Thieme, 2008.
- [10] DIN 6844-2, *Nuklearmedizinische Betriebe – Teil 2: Regeln für die Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur therapeutischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen*, 01.2005.
- [11] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen*, 25.09.2012.
- [12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Reststoffe und radioaktiver Abfälle*, 19.11.2008.
- [13] K. Schomäcker et al., *Exhalation of <sup>131</sup>I after radioiodine therapy: Measurements in exhaled air*, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*; 38:2165-2172, 2001.
- [14] Strahlenschutzkommission (SSK), *Ermittlung der Vorbelastung durch Radionuklid - Ausscheidungen von Patienten der Nuklearmedizin*, 17.12.2004.

- [15] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: "Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV)*, 12.01.2007.
- [16] DIN 25425-1, *Radionuklidlaboratorien – Teil 1: Regeln für die Auslegung*, 10.2016.
- [17] H.-G. Vogt und H. Schultz, *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*, 6. Auflage, 2011.
- [18] K. Ewen, *Die Radioaktivität der Luft in Umgebung medizinischer Linearbeschleuniger*, Zeitschrift für Radioonkologie, Strahlenbiologie, Strahlenphysik, 1989.
- [19] F. Horst, G. Fehrenbacher und K. Zink, *On the neutron radiation field and air activation around a medical electron linac*, Radiation Protection Dosimetry; Vol. 174, 22.12.2015.
- [20] *Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)*, in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1122, 1124) geändert worden ist.
- [21] Eckert & Ziegler Strahlen- und Medizintechnik AG, *Umweltbericht 2012*.
- [22] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, *Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Februar 2017), Endlager Konrad*, 10.02.2017.
- [23] Dr.-Ing. F. Dröscher, *Gesellschaft für nukleares Reststoffrecycling mbH, Errichtung und Betrieb des Reststoffbearbeitungszentrums Philippsburg (RBZ-P), Vorprüfung des Einzelfalls nach § 3c UVPG Umwelterheblichkeitsstudie UES*, 31.10.2014.
- [24] Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates, *zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom*, 05.12.2013.
- [25] International Atomic Energy Agency (IAEA), *IAEA Safety Standards, Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment*, General Safety Guide No. GSG-9, 10.2018.
- [26] DIN 6844-1, *Nuklearmedizinische Betriebe – Teil 1: Regeln für die Errichtung und Ausstattung von Betrieben zur diagnostischen Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen*, 01.2005.
- [27] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Messanleitungen für die Überwachung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen*, Leitstelle J, Leitstelle für Fortluft aus kerntechnischen Anlagen.
- [28] Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen*, 2001.

- [29] Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)*, Drucksache: 644/19, 2020.
- [30] Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland, *Beschluss des Bundesrates vom 14.02.2020 zur Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)*, Drucksache: 644/19, 2020.
- [31] Verordnung der Bundesregierung, *Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts mit Begründung und Vorblatt*, Deutsche Drucksache 423/18, 05.09.2018.
- [32] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2009*, Dezember 2010.
- [33] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2010*, April 2012, Korrigierte Fassung Juli 2012.
- [34] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2011*, September 2013.
- [35] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2012*, August 2014.
- [36] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2013*, Juli 2015.
- [37] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2014*, Oktober 2016.
- [38] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2015*, Juli 2017.
- [39] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2016*, November 2018.

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz