

**Einfluss impliziter  
konventioneller  
Randbedingungen  
auf die Freigabe**

## **Einfluss impliziter konventioneller Randbedingungen auf die Freigabe**

Andreas Artmann  
André Filby

September 2025

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Eigenforschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) unter dem Förderkennzeichen 3623S52542 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMUKN übereinstimmen.

## **Deskriptoren**

Abwasser, Bundesbodenschutzgesetz, Deponie, Freigabe, Kreislaufwirtschaftsgesetz

## Kurzfassung

Im Rahmen des Eigenforschungsvorhabens 3623S52542 wurden die Auswirkungen von spezifischen im nationalen Recht verankerten Randbedingungen auf die Stoffströme aus der uneingeschränkten Freigabe untersucht. Bereits identifizierte Beispiele für solche Einflüsse aus dem konventionellen Regelbereich auf die Stoffströme freigegebenen Materials waren beispielsweise Auswirkungen von nationalem Recht (z. B. Bundesbodenschutz) auf den Umgang mit Bodenaushub im Vergleich zu den Szenarien der SR-44 oder Verbrennung nach uneingeschränkter Freigabe nach SR-44 (in Hinblick auf Stäube und Filterwechsel). In Bezug auf den Bodenaushub ergeben sich weder aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) und Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodschV), noch dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG) Restriktionen bei der uneingeschränkten Freigabe als Feststoff.

Weiterhin wurde ein Vergleich zwischen dem Szenario mit der höchsten resultierenden Exposition mit dem äquivalenten Szenario aus der Freigabe zur Beseitigung durch Verbrennung und dem Szenario WF (worker in foundry) der uneingeschränkten Freigabe durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass kein Widerspruch zu den Szenarien der Freigabe vorliegt.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe als Abfall, im Hinblick auf Abwasser und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe untersucht. In diesem Zusammenhang werden die Konzentrationswerte des Sickerwassers aus einer Deponie, in die Material eingebaut ist, mit den jeweiligen Freigabewerten der uneingeschränkten Freigabe verglichen. Die Daten der Anhänge 33, 47 und 51 der Abwasserverordnung (AbwV) wurden als Vergleichsmaßstab für die hier berechneten maximal möglichen Sickerwasserkonzentrationen verwendet. Im Ergebnis dieser Betrachtungen für die Elemente Nickel, Kupfer, Chrom, Zink, Blei, Cadmium und Quecksilber zeigt sich, dass der Sickerwasserpfad auch bei der mengenmäßig uneingeschränkten Freigabe von Material auf Deponien für die meisten der hier untersuchten Elemente durch die Anforderungen aus der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) / AbwV 22/ weiter begrenzt wird. Zu bedenken ist dabei allerdings, dass (geo)chemische Parameter wie pH-Wert, Redox-Potenzial usw. bedeutenden Einfluss auf die Löslichkeit der jeweiligen Elemente haben und die durchgeführten Betrachtungen daher eher exemplarischen (und überkonservativen) Charakter besitzen. Für realistischere Betrachtungen ist es notwendig, die Löslichkeit der jeweiligen Elemente in

Abhängigkeit der geochemischen Parameter vor Ort (Deponie) zu kennen/abzuschätzen und geochemische Modellrechnungen vorzunehmen, um den Einfluss des Radionuklidtransports zu berücksichtigen.

In einem weiteren Arbeitspaket wurde durch damit im Zusammenhang stehende Untersuchungen des TÜV Nord aufgezeigt, dass es in Bezug auf die realen Gegebenheiten am Standort von Deponien Abweichungen von den Annahmen, Festlegungen und Randbedingungen, die im radiologischen Modell zur Berechnung der Freigabewerte berücksichtigt werden, geben kann. Auch wenn es sich hier nur um eine Stichprobe von Deponien aus einem Bundesland handelt, zeigen die Deponien doch ein großes Spektrum in Bezug auf die reale Gegebenheit vor Ort auf. Die vorgefundenen Abweichungen bewegen sich im Rahmen der Annahmen und Überlegungen, die bei der Berechnung der Freigabewerte zur Beseitigung in /SSK 06/ gemacht wurden.

Es war weiter zu klären, inwieweit ausgewählte Verordnungen und Gesetze und weitere noch zu recherchierende Verordnungen zu Einschränkungen bei der uneingeschränkten Freigabe führen. In diesem Zusammenhang konnten keine Einschränkungen festgestellt werden.

## Abstract

As part of the in-house research project 3623S52542, the effects of specific conditions anchored in national legislation on material flows resulting from unconditional clearance were examined. Already identified examples of such influences from the conventional regulatory framework on the material flows of released material included, for instance, the impacts of national law (e.g. Federal Soil Protection legislation) on the handling of excavated soil compared to the scenarios of SR-44, or incineration after unconditional clearance according to SR-44 (with regard to dust and filter changes). With respect to excavated soil, neither the Federal Soil Protection Act (BBodschG) and the Federal Soil Protection Ordinance (BBodschV), nor the Circular Economy and Waste Act (KrWG) impose restrictions in cases of unconditional clearance as solid material.

Furthermore, a comparison was carried out between the scenario with the highest resulting exposure and the equivalent scenario from clearance for disposal by incineration, as well as the WF (worker in foundry) scenario of unconditional clearance. It was determined that there is no contradiction with the clearance scenarios.

In a further step, the effects of national legislation on the use of unconditionally released substances as waste were examined, with regard to wastewater and limit values for conventional pollutants. In this context, the concentration levels of leachate from a landfill in which material has been deposited were compared with the respective clearance values for unconditional release. The data from Annexes 33, 47, and 51 of the Wastewater Ordinance (AbwV) were used as a benchmark for the maximum possible leachate concentrations calculated here. As a result of these considerations for the elements nickel, copper, chromium, zinc, lead, cadmium, and mercury, it was found that even in the case of quantitatively unrestricted release of material to landfills, the leachate pathway for most of the elements studied here remains further limited by the requirements of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Wastewater into Waters (Wastewater Ordinance – AbwV) /AbwV 22/. However, it should be noted that (geo)chemical parameters such as pH value, redox potential, etc. have a significant influence on the solubility of the respective elements, and that the considerations therefore have a rather exemplary (and overly conservative) character. For more realistic assessments, it is necessary to know/estimate the solubility of the respective elements depending on the local geochemical parameters (landfill) and to carry out geochemical modeling in order to take into account the influence of radionuclide transport.

In another work package, related investigations by TÜV Nord demonstrated that, with regard to the actual conditions at landfill sites, deviations may occur from the assumptions, specifications, and boundary conditions considered in the radiological model used to calculate clearance values. Although this involved only a sample of landfills from one federal state, the sites nonetheless display a wide range of actual on-site conditions. The deviations observed remain within the scope of the assumptions and considerations made during the calculation of clearance values for disposal in /SSK 06/.

As part of another work package, it was to be clarified to what extent selected regulations and laws, as well as additional regulations still to be researched, lead to restrictions on unconditional clearance. In this context, no restrictions could be identified.

# Inhaltsverzeichnis

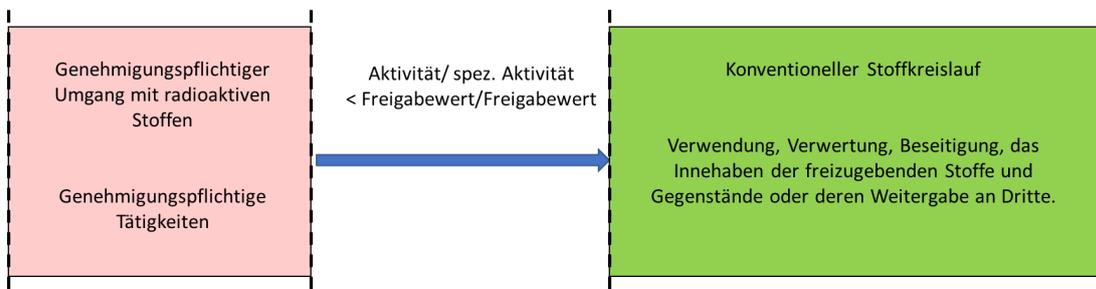
	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>I</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Untersuchungen zu Einflüssen aus dem konventionellen Regelbereich auf die Stoffströme freigegebenen Materials.....</b>	<b>5</b>
2.1	Auswirkungen von nationalem Recht (z.B. Bundes-Bodenschutz) auf den Umgang mit Bodenaushub im Vergleich zu den Szenarien der SR-44 .....	5
2.1.1	Bodenaushub in der Freigabe.....	5
2.1.2	Bodenaushub im nationalen Recht .....	8
2.1.3	Verwendung von Bodenaushub .....	11
2.1.4	Einhaltung der Annahmen des radiologischen Modells in SR-44 .....	15
2.2	Verbrennung nach uneingeschränkter Freigabe nach SR-44 (in Hinblick auf Stäube und Filterwechsel) .....	16
2.2.1	Beschreibung der Szenarien VE4b, M4 und WF .....	17
2.2.2	Parametervergleich der Szenarien VE4b, M4 und WF .....	19
2.3	Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe, insbesondere zur Verbrennung in Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe ...	21
2.3.1	Einführung .....	21
2.3.2	Elemente und Löslichkeiten .....	22
2.3.3	Nickel.....	24
2.3.4	Kupfer.....	24
2.3.5	Chrom.....	25
2.3.6	Zink.....	26
2.3.7	Blei .....	27
2.3.8	Cadmium .....	27
2.3.9	Quecksilber.....	28

2.3.10	Verdünnungs- und Partitionierungseffekte bei Feuerungsanlagen bzw. der Abgaswäsche .....	28
2.3.11	Zusammenfassung .....	32
2.4	Untersuchung der Randbedingungen zur Deponierung anhand der Studie des Bundeslandes Schleswig-Holstein zur Deponieeignung .....	32
2.4.1	Untersuchung Parameter .....	33
2.4.2	Zusätzliche Expositionsszenarien .....	34
2.4.3	Diskussion und Fazit .....	36
2.5	Überprüfung weiterer Gesetze und Verordnungen aus dem konventionellen Abfallrecht mit Auswirkungen auf die uneingeschränkte Freigabe .....	37
2.5.1	Ersatzbaustoffverordnung .....	39
2.5.2	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) .....	41
2.5.3	Deponieverordnung .....	43
2.5.4	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) .....	49
2.5.5	Abfallverzeichnisverordnung (AVV) .....	52
2.5.6	Gewerbeabfallverordnung .....	54
2.5.7	Klärschlammverordnung /AbfKlärV 20/ .....	55
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>59</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>65</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>66</b>

# 1 Einleitung

Mit der Neuregelung des Strahlenschutzrechtes im Jahr 2018 wurden die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe der internationalen Richtlinie SR-44 in die Strahlenschutzverordnung (Spalte 3, Tabelle 1, Anlage 4 StrlSchV) übernommen. Die Werte beruhen auf Berechnungen mittels der in der SR-44 auf internationaler Ebene festgelegten generischen Szenarien und Parameterwerte. Ziel ist die weltweite Harmonisierung uneingeschränkt freigegebener Stoffströme auf Basis weltweit einheitlicher Annahmen. Die freigegebenen Stoffe unterliegen auf nationaler Ebene jedoch auch weiteren konventionellen Regeln, die in den internationalen Freigabeszenarien nur überschlägig betrachtet werden konnten. Die Stoffströme könnten dadurch weiter fraktioniert werden, mit einer in der Regel unter das Dosiskriterium der Freigabe abgesenkten Exposition.

Wenn von einem Stoff die in Anlage 4 Tabelle 1 StrlSchV aufgelisteten Freigabewerte eingehalten werden, kann die Behörde davon ausgehen, dass das Dosiskriterium von  $10 \mu\text{Sv/a}$  eingehalten wird. Bei der uneingeschränkten Freigabe bedarf es keiner weiteren Festlegung, bei der spezifischen Freigabe bedarf es einschränkender Festlegungen zur künftigen Verwendung, Verwertung, Beseitigung, dem Innehaben der freizugebenden Stoffe und Gegenstände oder deren Weitergabe an Dritte (siehe dazu auch folgende Abb. 1.1).



**Abb. 1.1** Übergang freigegebener Stoffe in den konventionellen Stoffkreislauf

Bei der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage können eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien anfallen, die im weiteren Verlauf des Stilllegungsfortschritts mit oder ohne weitere Behandlungsschritte freigegeben werden können. Dies sind z. B.:

- Bodenaushub,
- Baumaterialien wie verschiedene Betonarten, Isoliermaterial, Asbesthaltige Baustoffe,

- Metalle wie Stahl, Schrotte, Ferrite, Aluminium, Kupfer, Blei, Buntmetalle, Austenite,
- Sonstige Materialien wie Elektroschrotte, Glas, Flüssigkeiten (Öle, Chemikalien, Harze).

Nach der Freigabe durch die zuständige Behörde geht der freigegebene Stoff in den konventionellen Stoffkreislauf über und unterliegt dann u. a. den Gesetzen und Verordnungen für konventionelle Abfälle, wie beispielsweise dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Im Folgenden sind einige dieser Verordnungen und Gesetze genannt:

- Am 24. Februar 2012 ist das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG) in Kraft getreten (zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden).
  - Ab dem 1. Januar 2015 sieht § 11 KrWG Getrennthaltungspflichten für Bioabfälle, § 14 KrWG für Papier-, Metall, Kunststoff- und Glasabfälle vor. Zur Förderung des Recyclings und der sonstigen stofflichen Verwertung führt § 14 KrWG Recyclingquoten ein, die spätestens seit 2020 einzuhalten sind.
- Mantelverordnung (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung) vom 9. Juli 2021 die am 1. August 2023 in Kraft getreten ist.
- Deponieverordnung (DepV) vom 27. April 2009 (zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden).
- EMAS-Privilegierungs-Verordnung (EMASPrivilegV) vom 24. Juni 2002 (zuletzt durch Artikel 3 Absatz 2 der Verordnung vom 6. Juli 2021 (BGBl. I S. 2514) geändert worden).
- Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfbV) vom 2. Dezember 2016 (zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden).
- Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) vom 18. April 2017 (zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden).

- Gewinnungsabfallverordnung (GewinnungsAbfV) vom 27. April 2009 (zuletzt durch Artikel 5 Absatz 29 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden).
- Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 20. Juni 2023 als Umsetzung der EU-Trinkwasserrichtlinie von 2020 (Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch).
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV-Tätigkeiten) vom 8. Juni 2020.

Je nach Eigenschaften oder Beschaffenheit des freigegebenen Materials können durch die vorgenannten Verordnungen die Stoffströme weiter fraktionieren werden. Bereits identifizierte Beispiele aus denen sich Einflüsse aus dem konventionellen Regelbereich auf die Stoffströme freigegebenen Materials ergeben könnten, sind:

- Auswirkungen von nationalem Recht (z.B. Bundes-Bodenschutz) auf den Umgang mit Bodenaushub im Vergleich zu den Szenarien der SR-44,
- Verbrennung nach uneingeschränkter Freigabe nach SR-44 (in Hinblick auf Stäube und Filterwechsel),
- Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe, insbesondere zur Verbrennung, in Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe und
- Untersuchung der Randbedingungen zur Deponierung anhand der Studie des Bundeslandes Schleswig-Holstein zur Deponieeignung.



## **2 Untersuchungen zu Einflüssen aus dem konventionellen Regelbereich auf die Stoffströme freigegebenen Materials**

### **2.1 Auswirkungen von nationalem Recht (z.B. Bundes-Bodenschutz) auf den Umgang mit Bodenaushub im Vergleich zu den Szenarien der SR-44**

#### **2.1.1 Bodenaushub in der Freigabe**

Beim Abriss von Gebäuden können neben dem anfallenden Bauschutt auch Mengen an Bodenaushub, der entweder am Bauschutt anhaftet oder bei der Freilegung von Gebäudefundamenten anfällt, entstehen. Im Vergleich zum anfallenden Bauschutt ist jedoch von deutlich geringeren Massen auszugehen. In der Anlage III der Fassung der Strahlenschutzverordnung von 2001 (StrlSchV<sub>alt</sub>) /SSV 01/ waren in Spalte 6 der Tabelle 1 Freigabewerte für „Bauschutt, Bodenaushub von mehr als 1.000 t/a“ aufgeführt. Diese Werte wurden im Forschungsvorhaben 3614R03520 von Brenk Systemplanung /BRE 18/ abgeleitet. In dem zugehörigen Forschungsbericht wird in Bezug auf Bodenaushub einschränkend ausgeführt: *„Die relevanten radioökologischen Pfade sind daher nur für große Mengen Bauschutt, nicht aber für große Mengen Bodenaushub (10.000-20.000 Mg) in vollem Umfang abgedeckt. Für Radionuklide, deren Freigabewerte durch Szenarien der Sekundäringestion (Grund- und Oberflächenwasserspfad, Anbau direkt im Erdreich) begrenzt sind, ist dagegen die Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 7 StrlSchV<sup>1</sup> notwendig.“*

In der Fassung der StrlSchV von 2018 /SSV 18/ wurde das Wort Bodenaushub aus der Überschrift der Spalte 6 gestrichen.

Da Bodenaushub als Feststoff angesehen werden kann, besteht nach StrlSchV die Möglichkeit, Bodenaushub uneingeschränkt als festen Stoff nach Spalte 3 der StrlSchV freizugeben. Da für die Freigabewerte der Spalte 3 keine Massenbegrenzung vorgegeben ist, könnten die Massen für Bodenaushub auch mehr als 1.000 Mg/a betragen. Für die Berechnung der Freigabewerte für die Spalte 3 und für die Spalte 6 wurden jedoch unterschiedliche radiologische Modelle verwendet. Es wäre daher zu prüfen, ob der

---

<sup>1</sup> Gemeint ist die hier als StrlSchV<sub>alt</sub> bezeichnete Strahlenschutzverordnung.

Hinweis im vorgenannten Forschungsbericht 3614R03520 auch auf die Werte der Spalte 3 zutrifft.

Der Vergleich der Freigabewerte der Spalte 3 „uneingeschränkte Freigabe“ und der Spalte 7 „Freigabe von Bodenflächen“ der StrlSchV von 2018 /SSV 18/ zeigt, dass die Freigabewerte der Spalte 7 durchweg restriktiver sind als die Werte der Spalte 3. Das lässt die Vermutung zu, dass bei diesen Freigabewerten die begrenzenden Szenarien möglicherweise die Szenarien der Sekundäringestion (Grund- und Oberflächenwasserpfad, Anbau direkt im Erdreich) sind, wie im vorgenannten Forschungsbericht 3614R03520 bereits beschrieben.

### 2.1.1.1 Bodenaushub im radiologischen Modell von SR-44

Die Werte der uneingeschränkten Freigabe basieren für Radionuklide mit Halbwertszeiten > 20 d auf dem radiologischen Modell in „Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance“ der IAEA Safety Report Series Nr. 44 /IAEA 05/. Grundlage für die Berechnung der uneingeschränkten Freigabewerte in diesem Report sind zehn generische Expositionsszenarien, von denen drei Expositionsszenarien den Beschäftigten (=worker) als Referenzperson, die übrigen Szenarien den Erwachsenen (=adult) bzw. in 2 Fällen auch das einjährige Kind (=child) als Referenzperson betrachten. Nachfolgende Tab. 2.1 listet die generischen Szenarien auf.

**Tab. 2.1** Expositionsszenarien in SR-44 /IAEA 05/

Scenario	Description	Exposed individual	Relevant exposure pathway
WL	Worker on landfill or in other facility (other than foundry)	Worker	External exposure on landfill
			Inhalation on landfill
			Direct ingestion of contaminated material
WF	Worker in foundry	Worker	External exposure in foundry from equipment or scrap pile
			Inhalation in foundry
			Direct ingestion of contaminated material
WO	Other worker (e.g. truck driver)	Worker	External exposure from equipment or the load on the truck
RL-C	Resident near land or other facility	Child (1-2a)	Inhalation near landfill other facility
			Ingestion of contaminated foodstuffs grown in contaminated land

Scenario	Description	Exposed individual	Relevant exposure pathway
RL-A		Adult (> 17a)	Inhalation near landfill other facility
			Ingestion of contaminated foodstuffs grown in contaminated land
RF	Resident near foundry	Child (1-2a)	Inhalation near foundry
RH	Resident in house constructed of contaminated material	Adult (> 17a)	External exposure in home
RP	Resident near public place constructed of contaminated material	Child (1-2a)	External exposure
			Inhalation of contaminated dust
			Direct ingestion of contaminated material
RW-C	Resident using water from private well or consuming fish from contaminated river	Child (1-2a)	Ingestion of contaminated drinking water, fish and other foodstuffs
RW-A		Adult (> 17a)	

Im radiologischen Modell in SR-44 /IAEA 05/ wird in Bezug auf den Ingestionspfad nicht von Bodenaushub sondern von Boden, der kontaminiertes Material enthält, gesprochen. Die entsprechenden Szenarien sind die Szenarien RL-C, RL-A bzw. RW-C und RW-A. Als Expositionspfade werden in diesen Szenarien Inhalation und Ingestion betrachtet. Die Ingestionsdosis bezieht sich auf den Verzehr von angebauten Pflanzen auf Böden, die Material enthalten, das aus der behördlichen Kontrolle entlassen wurde. Laut SR-44 kann dies vorkommen, wenn freigegebene Bauschuttanteile in geringen Mengen im Boden vorhanden sind oder freigegebener Boden aus einem Kernkraftwerk als Garten oder zur Abdeckung einer Deponie verwendet wird, diese Deponie später als Erholungsgebiet genutzt wird oder ein ehemaliges Kernkraftwerksgelände für allgemeine Zwecke genutzt wird.

Für den Anbau der verzehrten Pflanzen wird in diesem Szenario eine Verdünnung von kontaminiertem Material zu nicht-kontaminiertem Material von 0,01 angewendet. Diese Verdünnung soll die Tatsache berücksichtigen, dass nur ein Teil des Bodens aus dem freigegebenen Material besteht. Des Weiteren wird in dem Szenario davon ausgegangen, dass die angebauten Pflanzen nur einen Teil der jährlichen Nahrungsaufnahme ausmachen.

In den Szenarien RW-C und RW-A wird die Ingestionsdosis betrachtet, die durch die Verwendung von Grundwasser zur Beregnung von Nahrungspflanzen im Garten oder als Trinkwasser aus einem Brunnen in der Nähe einer Deponie entnommen wurde, wobei das Trinkwasserszenario das restriktivere Szenario darstellt. Wird das Brunnenwasser in ein Oberflächengewässer abgeleitet, so könnte durch den Verzehr von Fisch noch

ein zusätzlicher Ingestionspfad auftreten. Auch diese Möglichkeit wird von den Szenarien RW-C und RW-A mit abgedeckt.

In der Beschreibung der Szenarien und in den Rechenvorschriften in SR-44 /IAEA 05/ werden explizit keine Massen angegeben. Dort heißt es: „This Safety Report deals with all bulk amounts of solid material, including commodities for which exemption may be applied.“ Dabei wird „bulk“ definiert als „Any amount of material that is greater than a moderate quantity. Moderate quantities are defined as being quantities that “are at the most of the order of a tonne” of material.“

Im Anhang von SR-44 /IAEA 05/ sind alle zugrunde liegenden Parameter angegeben, die bei den Rechnungen verwendet wurden. Für die Modellierung des Transportes von Radionukliden durch die Deponie wird dort eine Größe der Deponie angegeben. In der Tabelle 9 „Site Parameters for the water pathway modell“ werden für die „contaminated area“ 5.000 m<sup>2</sup> und für die Höhe „Thickness of the contaminated zone“ 5 m angegeben. Daraus ergibt sich ein Volumen von 25.000 m<sup>3</sup> für die Deponie. Berücksichtigt man die Dichte des Materials von 1,5 Mg/m<sup>3</sup> so ergibt sich eine Masse von 37.500 Mg freigegebenem Material, das in einer Aufschüttung oder auf einer Deponie uneingeschränkt abgelagert werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die Berechnung der Werte der uneingeschränkten Freigabe in Bezug auf das Material Bodenaushub bestimmte Annahmen zu beachten sind. Eine Annahme ist der Wert 0,01 des Vermischungsfaktors von freigegebenem (vernachlässigbar kontaminiertem) Material zu nicht kontaminiertem Material. Eine weitere Annahme ist die freigegebene Masse von 37.500 Mg/a. Darüber hinaus gehen die Szenarien im radiologischen Modell nicht von einer landwirtschaftlich genutzten Fläche zur Nahrungsmittelproduktion, sondern von einer Gartennutzung aus.

### **2.1.2 Bodenaushub im nationalen Recht**

Erdaushub (auch Bodenaushub, Bodenmaterial) bezeichnet die aus dem Untergrund bzw. Baugrund ausgehobene Erde, die aufgrund einer Baumaßnahme anfällt. Erdaushub oder Bodenaushub kann sich aus unterschiedlichsten Bodenarten zusammensetzen und zählt nicht zum Bauschutt. Eine Entsorgung ist daher separat vorzunehmen.

Unterschieden wird zwischen unbelastetem Erdaushub und kontaminiertem Boden. Erdaushub gilt als verunreinigt, sobald er mit Wurzeln, Ästen, oder weggeworfenem

Verpackungsmüll durchsetzt ist. Er gilt als schadstoffbelastet, wenn Schwermetalle oder Giftstoffe wie Säuren und Laugen enthalten sind.

Mutterboden gilt nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) als Sonderfall.

### **2.1.2.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG)**

Maßgebend für die Abfallentsorgung u. a. für Bodenmaterial ist das „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftungen von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG)“ von 2012, zuletzt geändert im März 2023 /BUN 24/.

Abfälle sind gemäß KrWG alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss (§ 3 Abs. 1). Eine Entledigung im Sinne des KrWG ist dann gegeben, wenn „der Besitzer Stoffe oder Gegenstände einer Verwertung oder einer Beseitigung zuführt oder die tatsächliche Sachherrschaft über sie unter Wegfall jeder weiteren Zweckbestimmung aufgibt“ (§ 3 Abs. 2) /BUN 24/.

Eine Entledigungspflicht besteht nur dann, wenn die Stoffe oder Gegenstände „nicht mehr entsprechend ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung verwendet werden“ und wenn „auf Grund ihres konkreten Zustandes“ die Stoffe und Gegenstände „gegenwärtig oder künftig das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die Umwelt,“ gefährden /BUN 24/.

Neben der Definition von Abfällen setzt das KrWG die 5-stufige Abfallhierarchie der EU-Abfallrahmenrichtlinie um:

- Vermeidung von Abfall
- Vorbereitung für die Wiederverwendung
- Recycling
- sonstige Verwertung
- Beseitigung von Abfällen

Das KrWG unterscheidet dabei zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung.

### **2.1.2.2 Bundes-Bodenschutzgesetz und Bundes-Bodenschutzverordnung**

Zweck des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist es, nachhaltig die Bodenfunktionen zu sichern oder wiederherzustellen. Gefahren für den Boden sollen abgewehrt werden, eingetretene schädliche Bodenveränderungen sind zu sanieren. Darüber hinaus sind auch vorsorgende Maßnahmen erforderlich.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 /BUN 98/ gilt grundsätzlich nur, soweit andere Gesetze – wie zum Beispiel das Düngemittelgesetz oder das Baurecht – Einwirkungen auf den Boden nicht regeln. Die entsprechenden Gesetze sind im § 3 BBodSchG aufgeführt. Allerdings müssen – so die Rechtsprechung – die materiellen Anforderungen des Bodenschutzes, die in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 /BUN 21/ insbesondere durch die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte bestimmt sind, beim Vollzug dieser anderen Gesetze berücksichtigt werden.

Der Schwerpunkt des BBodSchG liegt im nachsorgenden Bodenschutz. Die Prüfungsabfolge und Entscheidungsmaßstäbe sind im BBodSchG und in der BBodSchV präzise geregelt. BBodSchG und BBodSchV enthalten auch Pflichten des vorsorgenden Bodenschutzes. Von besonderer Bedeutung ist insoweit die Festlegung von Vorsorgewerten als auch von Anforderungen an das Ein- und Aufbringen von Materialien auf den Boden.

### **2.1.2.3 Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA 20)**

In den Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA 20) „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln“, Stand: 6. November 2003 /LAGA 03/, wird Bodenaushub (AS 314 11) definiert.

Bodenaushub ist hiernach natürlich anstehendes und umlagertes Locker- und Festgestein (DIN 18196), das bei Baumaßnahmen ausgehoben oder abgetragen wird. Nicht zum Bodenaushub gehört „Mutterboden“ (humoser Oberboden). Für diesen gelten im Hinblick auf den Verwendungszweck besondere Schutzbestimmungen. Bodenaushub mit mineralischen Fremdbestandteilen > 10 Vol. % gehört zu Bauschutt.

Bodenaushub wird unter dem Abfallschlüssel (AS 314 11) bzw. dem Reststoffschlüssel (RS 314 41) geführt. Gemäß den Technischen Regeln gehört Bodenaushub zu Boden. Boden im Sinne der Technischen Regel ist:

- Bodenaushub (AS 314 11),
- Ölverunreinigter Boden (AS 314 23),
- Boden mit sonstigen schädlichen Verunreinigungen (AS 314 24).

Darüber hinaus wird als Boden im Sinne der Technischen Regeln betrachtet:

- Boden mit mineralischen Fremdbestandteilen wie z. B. Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch bis zu 10 Vol. %,
- Boden, der in Bodenbehandlungsanlagen (z. B. Bodenwaschanlagen, Biobeeten) gereinigt worden ist.

Nicht dazu gehören Bankettschälgut und Bergematerial (z.B. Waschberge). Diese werden in gesonderten technischen Regeln behandelt.

### **2.1.3 Verwendung von Bodenaushub**

Bodenaushub, der uneingeschränkt freigegeben wurde, kann demnach aufgrund der obengenannten Gesetze und Verordnungen und wenn er die entsprechenden dort formulierten Anforderungen erfüllt in

- technischen Bauwerken,
- in durchwurzelbarer Bodenschicht,
- unterhalb-/außerhalb durchwurzelbarer Bodenschicht,
- bei Altlastensanierung und Flächenrecycling oder
- als Ablagerung auf Deponien / Verwertung im Deponiebau

wiederverwendet werden.

Die folgende Abb. 2.1 zeigt die Massenströme für Bau- und Abbruchabfälle, nicht gefährliche Abfälle und Bodenaushub.

## Abfallaufkommen und Anteile der Bau- und Abbruchabfälle



© BMU; Stand: 2021; Quelle: Statistisches Bundesamt / Abfallbilanz 2019

**Abb. 2.1** Bedeutung der Verwertung von Bodenmaterial aus /BMU 21/

Der Abb. 2.1 lässt sich entnehmen, dass von 2006 bis 2019 ca. ein Viertel der gesamten Bau- und Abbruchabfälle auf den Bodenaushub entfielen mit steigender Tendenz.

### 2.1.3.1 Bodenaufbereitung in Deutschland

In Bodenbehandlungsanlagen können Böden und Bauschutt so gereinigt werden, dass eine Rückführung in den Stoffkreislauf und somit eine Weiterverwertung möglich ist. Um die Böden einer Weiterverwertung zuführen zu können, müssen diese von den Stör- und Schadstoffen – befreit werden. Die Technische Regeln der LAGA 20 regeln die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen und mineralischen Abfällen und ermöglichen eine bundeseinheitliche Schadstoffbewertung für Behandlungsmaßnahmen.

Bei den Bodenbehandlungsanlagen werden vier Verfahrensklassen unterschieden: Waschverfahren (chemisch-physikalische Behandlung), mikrobiologische sowie thermische Behandlung und Immobilisierung (Verfestigung).

Bezüglich der Verfahren überwiegen im Jahr 2024 /FRA 24/ die Anlagen mit mikrobiologischer Behandlung mit 70 %. Es folgen mit 15 % die Waschverfahren und mit 11 %

die kombinierten Verfahren – Waschverfahren, mikrobiologische und thermische Behandlung mit Immobilisierung – und zuletzt die thermische Behandlung mit 4 %. Informationen über 20 mobile und Versuchsbodenbehandlungsanlagen liegen vor.

In der folgenden Tab. 2.2 werden die Bodenbehandlungsanlagen in Deutschland, aufgeteilt auf die verschiedenen Bundesländer und Verfahren, aufgeführt. Die Zahlen in Klammern hinter den Bundesländern stammen aus einer Erhebung der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg von 1996 /LFU 96/ und dienen als Vergleich. Diese Zahlen geben jedoch nur die Gesamtzahl der Bodenbehandlungsanlagen in dem jeweiligen Bundesland an. Im Vergleich zur Erhebung 1996 waren in 2024 13 Bodenbehandlungsanlagen weniger in Betrieb.

**Tab. 2.2** Bodenbehandlungsanlagen in Deutschland 2024 /FRA 24/ (in Klammern 1996 /LFU 96/)

Bundesland	Anzahl der Anlagen			
	2024			
	Therm.	Chem.phys.	Biolog.	Sonst.
Baden-Württemberg (7)		1	1	2
Bayern (7)		3	4	11
Berlin (4)		2		
Brandenburg (6)	1	4	7	
Bremen (1)			3	
Hamburg (4)		1	3	1
Hessen (2)			1	1
Mecklenburg-Vorpommern (4)		1	1	1
Niedersachsen (7)		2	5	2
Nordrhein-Westfalen (17)		1	5	2
Rheinland-Pfalz (6)			1	
Saarland (1)			1	
Sachsen (16)	2		5	
Sachsen-Anhalt (11)		2	4	4
Schleswig-Holstein (3)			1	
Thüringen (9)		1	1	4
<b>Gesamt (105)</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>43</b>	<b>28</b>

Im Jahr 2024 verfügte die Bundesrepublik Deutschland über stationäre Bodenbehandlungsanlagen mit einer genehmigten Anlagenkapazität von 7.479.700 t/a, davon 227.000 t/a thermisch, 3.590.000 t/a chemisch-physikalisch und 3.662.700 t/a bio-

logisch. Die verfügbare Anlagenkapazität könnte sogar noch höher liegen, weil auch hierfür nicht immer vollständige Angaben der Betreibenden vorliegen, gleichwohl aber Boden behandelt wurde. Insgesamt wurden in 2024 3 thermische Anlagen, 18 chemisch-physikalische Anlagen und 48 biologische Anlagen stationär zur Bodenbehandlung betrieben. Die Anlagen werden teilweise durch 28 mechanische Aufbereitungsanlagen und Zwischenläger (sonstige) ergänzt, die hinsichtlich Kapazität und Auslastung nicht dezi- diert ausgewertet wurden.

#### 2.1.4 Einhaltung der Annahmen des radiologischen Modells in SR-44

Im Kapitel 2.1.1.1 wurden die Annahmen aufgelistet, die für die Berechnung der Werte der uneingeschränkten Freigabe in Bezug auf das Material Bodenaushub zu berücksich- tigen sind. Eine Annahme war der Wert 0,01 des Vermischungsfaktors von freigegebenem (vernachlässigbar kontaminiertem) Material zu nicht kontaminiertem Material.

In der folgenden Tabelle wurde die mittlere Jahreskapazität [Mg/a] für die verschiedenen Verfahren der Bodenbehandlung abgeschätzt. Um das Vermischungsverhältnis freige- gebenes (kontaminiertes) Material zu nicht kontaminiertes Material von 0,01 aus IAEA Safety Report Series Nr. 44 /IAEA 05/ auf jeden Fall zu erreichen, müsste die freigege- bene Masse pro Jahr beschränkt werden.

**Tab. 2.3** Zusammenhang Jahreskapazität, Verdünnungsfaktor und freigebare Masse

Verfahren	Jahreskapazität [Mg/a]	Anzahl	Mittlere Jahres- kapazität [Mg/a]	Freigebare Masse [Mg/a]
thermisch	227.000	3	75.667	757
chemisch-phy- sikalisch	3.590.000	18	199.444	1.994
biologisch	3.662.700	43	85.179	852

Je nach Bodenaufbereitungsverfahren wären zur Einhaltung des Vermischungsfaktors unterschiedliche Massen freizugeben, siehe Angaben in der letzten Spalte der Tab. 2.3.

Des Weiteren müsste sichergestellt sein, dass das freigegebene Material vor oder auch nach der Bodenwäsche nicht auf eine Bodenfläche aufgebracht wird, die zur

Nahrungsmittelproduktion verwendet wird, denn dies wird vom radiologischen Modell nicht berücksichtigt. Die Einhaltung der beschriebenen Annahmen ist nicht überprüfbar. Zudem widersprechen zu viele einzuhaltende Annahmen dem Gedanken einer uneingeschränkten Freigabe.

Dennoch könnte Bodenaushub uneingeschränkt freigegeben werden, wenn sichergestellt ist, dass er nicht in die durchwurzelbare Schicht eingebracht werden kann. Dies wäre z. B. der Fall, wenn er einen zu hohen mineralischen Anteil aufweist. Er könnte dann unterhalb/außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht eingebracht werden. Dies würde dem radiologischen Modell aus /IAEA 05/ nicht widersprechen, allerdings müsste die Menge auf die im radiologischen Modell zugrunde gelegte Masse von 37.500 Mg/a begrenzt werden.

## **2.2 Verbrennung nach uneingeschränkter Freigabe nach SR-44 (in Hinblick auf Stäube und Filterwechsel)**

Bei der Beseitigung von Abfällen, die durch einen radiologischen Notfall im Sinne §5 Absatz 26 (StrlSchG) radioaktiv kontaminiert sind, kann es für die Beschäftigten in einer Abfallbeseitigungsanlage zu einer zusätzlichen Strahlenexposition kommen. Eine Expertengruppe /GER 22/ identifizierte die entsprechenden Szenarien/Expositionssituationen bei den Abfallbehandlungsprozessen. Insgesamt wurden 35 Szenarien, unterteilt in 10 Gruppen, identifiziert. Später wurden für Beschäftigte in den Expositionssituationen die möglicherweise auftretenden Strahlenexpositionen modelliert und abgeschätzt. Die einzelnen Gruppen waren:

- Sammlung und Transport
- Lagerung, Zwischenlagerung (Bunker)
- Behandlung Sperrmüll
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlung: Rotte
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlung: Vergärung/Biogasanlagen
- Verbrennung (MVA)
- Deponierung
- Kompostierung

- Recycling/Wiederverwertung
- Überwachung

Die Abschätzungen/Modellierungen der Strahlenexposition in den verschiedenen Szenarien wurden für das Radionuklid Cs-137 vorgenommen.

In allen betrachteten Expositionsszenarien dominiert für die Beschäftigten die externe Exposition durch radioaktive Stoffe im Abfall. Die Strahlenexposition durch Inhalation ist gegenüber der externen Strahlenexposition deutlich geringer. Die Expositionsszenarien, für die die höchsten Strahlendosen abgeschätzt wurden, betreffen vor allem den Umgang mit den Schlacken und Aschen (Filterstäube und Flugasche), die bei der Verbrennung der radioaktiven Abfälle entstehen. Die Reduktion der Abfallmasse durch die Verbrennung führt dazu, dass die Aktivität pro Masseinheit erhöht wird. Bei der Expositionsabschätzung wird deswegen eine Aufkonzentration um einen Faktor 20 angenommen.

Im Folgenden wird das restriktivste Szenario aus der obengenannten Untersuchung der Expertengruppe, das Szenario VE4b, mit dem ähnlichen Szenario M4 aus dem radiologischen Modell zur Freigabe zur Beseitigung und mit dem generischen Szenario WF aus dem radiologischen Modell der uneingeschränkten Freigabe verglichen. Zuerst erfolgt eine Beschreibung der Szenarien und anschließend ein Vergleich der für die Expositionsrechnung angenommenen Parameter.

### **2.2.1 Beschreibung der Szenarien VE4b, M4 und WF**

Szenario 1: VE4b

Bei der Berechnung der Strahlenexposition des Personals im Szenario VE4b wird angenommen, dass das Personal ganzjährig radioaktiven Filterstaub transportiert. Weitere Annahmen sind: die Exposition wird nur durch Abfall im Silo-Fahrzeug verursacht, für die Abschirmung durch die Behälterwand werden 2 mm Stahl angenommen. Als Maße für den Silo-Auflieger werden 11 m Länge und 2,5 m Durchmesser angenommen. Die exponierte Person ist der Fahrer.

## Szenario 2: M4

Bei der Freigabe zur Beseitigung durch Verbrennung wird ein fast identisches Expositionsszenario zur Berechnung der Strahlenexposition betrachtet, das Szenario M4 „Staubbunker und Staubtransport“. Im laufenden Betrieb werden die Verbrennungsrückstände Schlacken und Stäube automatisch kontinuierlich aus dem Ofen abgezogen und fallen in einen Schlackebunker bzw. einen Staubbunker. In diesen befinden sich keine Dauerarbeitsplätze, jedoch werden die Schlacken und Stäube in regelmäßigen Abständen von LKWs abgeholt. In den verschiedenen Bunkern ist die exponierte Person bei ihrer Tätigkeit außerhalb der geschlossenen Fahrzeugkabine tätig. Die Schlacken oder Stäube werden zur Verwertung oder zur Beseitigung abtransportiert. Im Falle des Staubtransports sind die Expositionszeiten bei der Beladung/Beschickung des Transporters aufgrund der niedrigeren Massenströme entsprechend geringer. Die Fahrtzeit pro Strecke einer einzelnen Fracht ist jedoch aufgrund der als deutlich weiter anzusetzenden Distanz zu einer Sondermülldeponie bzw. Untertagedeponie länger.

Für die externe Bestrahlung wird daher eine Expositionszeit von 300 h (z. B. 100 Fahrten von je 3 h mit je 20 Mg) und für die Inhalation eine Expositionszeit von 50 h (z.B. 200 Lade bzw. Entladevorgängen mit je 15 Minuten) bei einer Staubkonzentration von  $1 \text{ mg/m}^3$  angesetzt. Es wurde ferner angenommen, dass eine Handhabung des Staubs erst einen Tag nach der thermischen Behandlung des freigegebenen Materials (d. h. mindestens einen Tag nach erfolgter Abgabe des Materials) erfolgt. Da die Stäube in der MVA homogenisiert werden, wurde keine Aufkonzentration der Nuklide im Staub angenommen.

Es werden allerdings die im Staub vorhandenen Radionuklidkonzentrationen, die von den ursprünglichen Konzentrationen im Abfall abweichen, zugrunde gelegt. Bzgl. des radioaktiven Zerfalls wurde angenommen, dass eine Handhabung der Stäube erst eine Woche nach der Freimessung erfolgt.

## Szenario 3: WF

Für die uneingeschränkte Freigabe wird ein ähnliches, wenn auch generisches Szenario betrachtet, das Szenario WF: Worker in foundry. In diesem Szenario wird angenommen, dass die exponierte Person, genauer der Beschäftigte, sich in einer Gießerei in der Nähe der Anlage, die freigegebenes Material verarbeitet, oder einem Schrotthaufen aus freigegebenem Material aufhält. Das Szenario schließt auch einen LKW-Fahrer ein, der

freigegebenes Material zu einer Gießerei bringt oder von dieser zu einer Mülldeponie transportiert.

### **2.2.2 Parametervergleich der Szenarien VE4b, M4 und WF**

Obwohl sich die Szenarien sehr ähneln, werden für das Szenario VE4b höhere Dosen berechnet als für die Szenarien M4 und WF. Im Folgenden werden die für die Berechnung zugrunde liegenden Parameter miteinander verglichen und die Ergebnisse der Dosisberechnungen erläutert.

Ein wichtiger Parameter ist die Expositionszeit. In Szenario VE4b wird davon ausgegangen, dass in der Abfallverbrennungsanlage ausschließlich radioaktiver Abfall verbrannt wird. Dies kann eine wichtige Maßnahme in einer Notfallsituation darstellen. Für den Mitarbeiter der Verbrennungsanlage bedeutet das, dass er ein Jahr jeden Arbeitstag mit dem radioaktiven Abfall umgehen wird. Daher wird in Szenario VE4b eine Expositionszeit von 1800 h/a angenommen. In den Szenarien M4 und WF wird hingegen davon ausgegangen, dass der freigegebene Abfall zusammen mit dem sonstigen Abfall mitverbrannt wird. Es ist davon auszugehen, dass der exponierte Mitarbeiter der Verbrennungsanlage nicht jeden Tag mit freigegebenem Abfall umgeht. Es werden daher nur 300 h/a als Expositionszeit angesetzt. Etwas konservativer ist der Ansatz bei der uneingeschränkten Freigabe, bei der 450 h/a als Expositionszeit angesetzt werden.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die sogenannte Vermischung von kontaminiertem mit nicht kontaminiertem Abfall. In Szenario VE4b wird davon ausgegangen, dass ausschließlich kontaminierter Abfall in der Verbrennungsanlage verarbeitet wird. Es findet keine Vermischung statt, so dass ein Vermischungsfaktor von 1 bei der Berechnung der Strahlenexposition angesetzt wird. Eine Annahme einer Jahreskapazität oder eine Masse des verbrannten Abfalls wird nicht zugrunde gelegt. Im radiologischen Modell der Freigabe zur Beseitigung zur Verbrennung wird von einer Jahreskapazität der Verbrennungsanlage von 240.000 Mg/a /SSK 06/ ausgegangen. Dementsprechend wird im Szenario M4 ein Vermischungsfaktor von 0,004 von kontaminiertem (1.000 Mg) mit nicht kontaminiertem Abfall (240.000 Mg) bei der Expositionsberechnung zugrunde gelegt. Im generischen Szenario WF werden für die verschiedenen Expositionspfade unterschiedliche Vermischungsfaktoren angenommen, für die äußere Strahlenexposition ein Faktor von 0,1, für die Inhalation 0,02 und für die Ingestion 0,1.

Für die Berechnung der Strahlenexposition wird in Szenario VE4b eine Aktivität von 10.000 Bq/kg des Radionuklids Cs-137 angenommen. Für die Szenarien M4 und WF werden die entsprechenden Freigabewerte aus Tabelle 1 Anlage 4 StrlSchV entnommen. Für M4 wird der Freigabewert aus der Spalte 11 „spezifische Freigabe von Stoffen bis zu 1000 Mg/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen in Bq/g“ angenommen. Der Freigabewert für Szenario M4 beträgt für das Radionuklid Cs-137 2000 Bq/kg und für das Szenario WF 100 Bq/kg.

Die Strahlenexposition der Szenarien wird nach folgender Formel berechnet:

$$Hr,eff = Cr \cdot gr,eff \cdot Kr \cdot MF \cdot ZF \cdot KF \cdot AF \quad (2.1)$$

In der folgenden Tab. 2.4 sind die relevanten Parameter der verschiedenen Szenarien gegenübergestellt. In der letzten Spalte werden die Faktoren aufgeführt zwischen den Annahmen in Szenario VE4b und den Szenarien M4 und WF. Die letzte Zeile der Tab. 2.4 fasst die Faktoren zusammen. Die Parameter  $gr,eff$  (=Gamma Dosis-Koeffizient für den Aufenthalt in der Nähe eines Fahrzeugs) und  $Kr$  (=Integrationsterm zur Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls) sind in allen drei Szenarien annähernd gleich.

Die letzte Zeile der Tab. 2.4 zeigt, dass zwischen der berechneten Strahlenexposition von 11,4 mSv/a im Szenario VE4b und den 10  $\mu$ Sv/a der Szenarien M4 und WF, die den Freigabewerten zugrunde liegen, ein Faktor von rund 1000 liegt. Aus dem Parametervergleich, ergeben sich Faktoren zwischen dem Szenario VE4b und den Szenarien M4 und WF von 1.500 bzw. 1.120. Die beiden Faktoren liegen über dem Faktor 1000 des Vergleiches der Strahlenexpositionen zwischen dem Szenario VE4b und den Szenarien M4 und WF. Dies bedeutet, dass die unterschiedlichen Strahlenexpositionen lediglich durch die unterschiedlichen Parameterannahmen verursacht werden.

Entscheidend für die vorgefundenen Unterschiede in den Parameterannahmen ist, dass im Szenario VE4b angenommen wird, das ganzjährig radioaktiver Abfall ohne Vermischung mit anderen konventionellen Abfällen verbrannt wird. Im Unterschied dazu geht man in der Freigabe von einem Normalbetrieb der Abfallverbrennungsanlage aus und einer Vermischung des freigegebenen Abfalls mit konventionellem Abfall. Daraus ergeben sich die kürzeren Expositionszeiten für das Personal und die geringeren Aktivitätskonzentrationen in Filterstäuben und Reaktionsprodukten. Es liegt somit kein Widerspruch zu den Szenarien der Freigabe vor.

**Tab. 2.4** Ergebnis des Parametervergleichs der Szenarien VE4b, M4 und WF

Name	Beschreibung	BfS	StrlSchV		Faktor	
			M4	WF	VE4b /M4	VE4b/WF
		VE4b	M4	WF	VE4b /M4	VE4b/WF
Cr	Aktivitätskonz.[Bq/kg]	10.000 Bq/kg	2.000 Bq/kg	100 Bq/kg	5	100
MF	Mischungsfaktor (kont. Abfall zur Gesamtmenge Abfall)	1	(0,004)	0,1 (ES) 0,02 (Inh) 0,1 (Ing)	(250)	(10)
ZF	Expositionszeit [h]	1800	300	450	6	4
KF	Aufkonzentration	20	0,4 (Faktor 100)	0,1-7 (1-70)	50	20-2,8
AF	Abschirmung	1	-	-	-	-
	Dosis [mSv/a]	11,4	0,01 (=10 µSv/a)	0,01 (=10 µSv/a)	1.500	1.120

## 2.3 Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe, insbesondere zur Verbrennung in Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe

### 2.3.1 Einführung

In der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung (AbwV)) von 2004, die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 17. April 2024 /AbwV 20/ geändert worden ist, werden die Anforderungen an die Abwässer, dessen Schadstofffracht im Wesentlichen aus der oberirdischen Ablagerung von Abfällen stammt, aufgeführt. Der Volumenstrom und die Schadstofffracht des Sickerwassers sind durch geeignete Maßnahmen bei der Errichtung und dem Betrieb von Depo- nien so gering zu halten, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

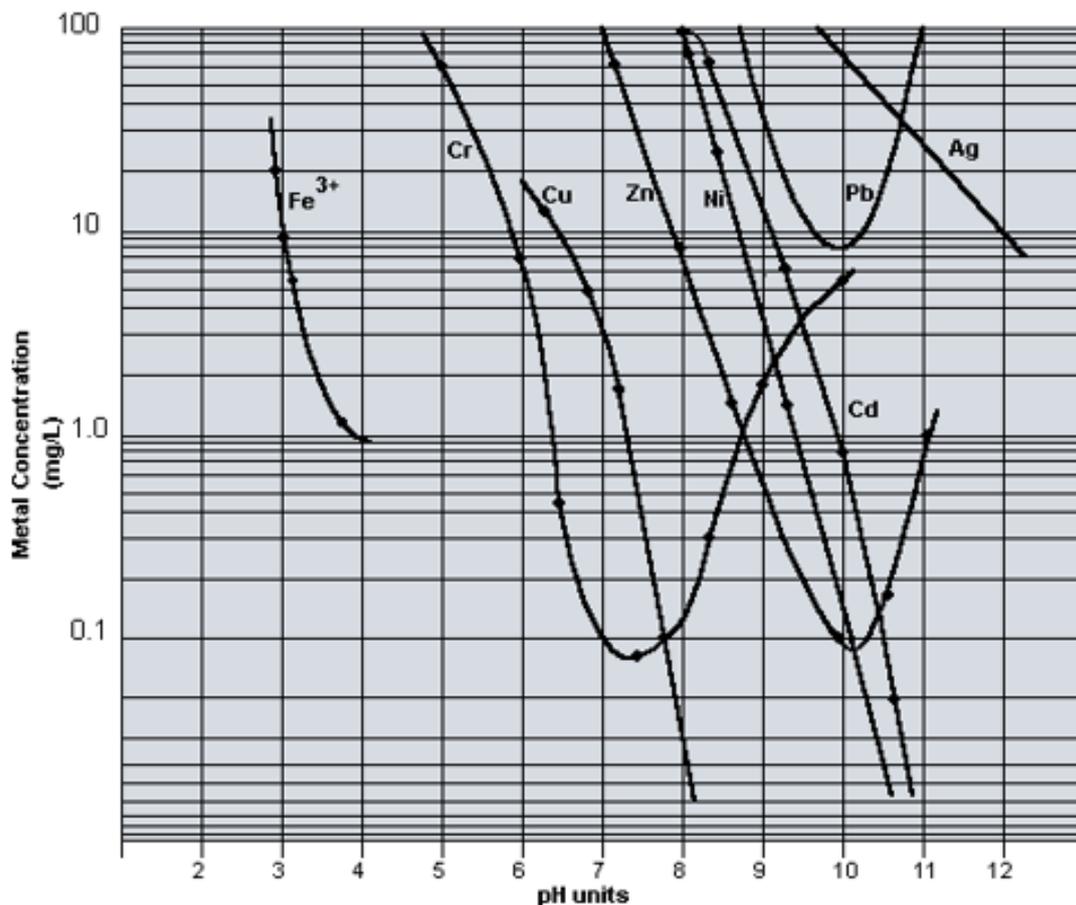
In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe als Abfall, im Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe untersucht. In diesem Zusammenhang werden die Konzentrationswerte des Sickerwassers aus einer Deponie, in die Material eingebaut ist, mit den jeweiligen Freigabewerten der uneingeschränkten Freigabe verglichen.

Die Daten der Anhänge 33, 47 und 51 AbwV werden als Vergleichsmaßstab für die hier berechneten maximal möglichen Sickerwasserkonzentrationen verwendet. Dabei gelten die genannten Anhänge für folgende Situationen:

- AbwV Anhang 33: Wäsche von Abgasen aus der Verbrennung von Abfällen
- AbwV Anhang 47: Feuerungsanlagen
- AbwV Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen

### **2.3.2 Elemente und Löslichkeiten**

Für den Vergleich der Konzentrationswerte unterschiedlicher Elemente im Deponie-Sickerwasser mit den Freigabewerten der uneingeschränkten Freigabe müssen im ersten Schritt die Löslichkeiten (d. h. maximale Konzentrationswerte) der jeweiligen Elemente (Isotope) festgestellt werden. Folgende Abb. 2.2 zeigt die Löslichkeiten der unterschiedlichen und hier relevanten Elemente in Abhängigkeit des pH-Wertes. Wie ersichtlich ist, hat der pH-Wert einen großen Einfluss auf die Löslichkeit. Daher werden in diesem Bericht generische Betrachtungen angestellt. Für realistische Betrachtungen im Zusammenhang mit einer Deponie ist es notwendig, die (geo)chemischen Parameter vor Ort zu kennen, um eine bessere Einschätzung der Löslichkeiten vornehmen zu können.



**Abb. 2.2** Löslichkeit ausgewählter Elemente (**Hydroxide**) in Abhängigkeit des pH-Wertes /HEI 23/

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes (AP) werden die folgenden Elemente betrachtet: Ni, Cu, Cr, Zi, Pb, Cd, Tl, Hg. Die jeweiligen Werte der uneingeschränkten Freigabe werden aus der StrlSchV /SSV 20/ entnommen und mit den Löslichkeiten verglichen. So kann eruiert werden, ob die im Sickerwasser der Deponie maximal möglichen Konzentrationen die vorgeschriebenen Anforderungen der AbwV über- oder unterschreiten. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Betrachtungen für die jeweiligen chemischen Elemente näher beschrieben.

Über folgende Gleichung lässt sich die maximale Konzentration (in Bq/L) der jeweiligen Elemente (= Löslichkeit) im Sickerwasser berechnen:

$$\text{Löslichkeit Element [mg/L]} \cdot \text{Aktivität Festkörper [Bq/g]} = \text{Bq/L}$$

Die so berechneten Werte werden hier mit den Angaben in der AbwV /AbwV 20/ verglichen, um zu untersuchen, ob diese Angaben eingehalten werden.

### 2.3.3 Nickel

Laut Abb. 2.2 hat Ni eine **Löslichkeit von 70 mg/L** bei einem pH-Wert von 8.

In der StrlSchV /SSV 20/ ist Wert der uneingeschränkten Freigabe für Ni-59: **100 Bq/g**. (Deponie, in das Material **eingebaut** ist, das einen Ni-59 Gehalt in Höhe des Freigabewertes der uneingeschränkten Freigabe von 100 Bq/g hat).

#### Rechnung für Ni-59:

$0,07 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{7 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser)

Im Folgenden werden die Angaben für Ni in den Anhängen 33 D, 51 D und 47 D der AbwV in Bq/L umgerechnet:

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51 D:**  
 $1 \text{ mg/L} \rightarrow 0,001 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = 0,1 \text{ Bq/L}$
- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:**  
 $0,5 \text{ mg/L} \rightarrow 0,0005 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = 0,05 \text{ Bq/L}$
- **Anforderung in AbwV, Anhang 47 D:**  
 $0,05 \text{ mg/L} \rightarrow 0,00005 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = 0,005 \text{ Bq/L}$

Unter der Annahme der o. g. Löslichkeit von Ni bei einem pH-Wert von 8 sind die Anforderungen in der AbwV Anhang 51 D, 33 D, 47 D deutlich überschritten.

### 2.3.4 Kupfer

Laut Abb. 2.2 hat Cu eine **Löslichkeit von 0,05 mg/L** bei einem pH-Wert von 8 bzw. eine **Löslichkeit von 20 mg/L** bei einem pH-Wert von 6.

In der StrlSchV /SSV 20/ wird für beide Isotope (Cu-60/61) ein Wert von **10 Bq/g** als Wert der uneingeschränkten Freigabe aufgeführt.

#### Rechnung für Cu-60/Cu-61:

**pH 8:**  $0,00005 \text{ g/L} \cdot 10 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{0,0005 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser)

**pH 6:**  $0,02 \text{ g/L} \cdot 10 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{0,2 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser)

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51 D:**  
 $0,5 \text{ mg/L} = 0,0005 \text{ g/L} \cdot 10 \text{ Bq/g} = 0,005 \text{ Bq/L}$   
Bei pH 6 wird die Anforderung 51 deutlich überschritten.
- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:**  
 $0,5 \text{ mg/L} \rightarrow$  Siehe Anhang 51 D
- **Anforderung in AbwV, Anhang 47 D:**  
 $0,05 \text{ mg/L} = 0,00005 \text{ g/L} \cdot 10 \text{ Bq/g} = 0,0005 \text{ Bq/L}$

Bei einem pH-Wert von 8 werden die Anforderung der AbwV aus Anhang 51 D, 33 D, 47 D gerade noch eingehalten, bei einem pH-Wert von 6 werden sie überschritten.

### 2.3.5 Chrom

Laut Abb. 2.2 hat Chrom bei einem pH-Wert von 7 eine **Löslichkeit von 0,1 mg/L** (0,0001 g/L).

In der StrlSchV /SSV 20/ werden für folgenden Cr-Isotope folgende Werte für die uneingeschränkte Freigabe aufgeführt:

- Cr-48: 100 Bq/g
- Cr-49: 10 Bq/g
- Cr-51: 100 Bq/g

Im Folgenden wird der Wert von 100 Bq/g gewählt.

#### Rechnungen für Chrom:

$0,0001 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{0,01 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser)

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51 D:**  
 $0,5 \text{ mg/L (Chrom gesamt)} = 0,0005 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ Bq/g} = 0,05 \text{ Bq/L}$   
Bei pH 7 wird die Anforderung eingehalten, allerdings ist hier auch die Löslichkeit von Cr am geringsten.
- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:**  
 $0,5 \text{ mg/L (Chrom gesamt)} \rightarrow$  daher identisch mit Text direkt oberhalb.

- **Anforderung in AbwV, Anhang 47 D:**  
0,05 mg/L (Chrom gesamt) = 0,005 Bq/L → Anforderung wird nicht eingehalten:  
0,01 Bq/L überschreitet diese Anforderung.

### 2.3.6 Zink

Laut Abb. 2.2 hat Zink bei einem pH-Wert von 7 **eine Löslichkeit von 100 mg/L** (0,1 g/L).

In der StrlSchV /SSV 20/ werden für die folgenden Zn-Isotope folgende Werte für die uneingeschränkte Freigabe aufgeführt:

- Zn-62+: 100 Bq/g
- Zn-63: 10 Bq/g
- Zn-65: 0,1 Bq/g
- Zn-69: 1.000 Bq/g
- Zn-69m+: 10 Bq/g
- Zn-71m: 10 Bq/g
- Zn-72+: 100 Bq/g

Zn-65 hat die längste Halbwertszeit, daher wird nur dieses Isotop betrachtet.

#### Rechnungen für Zink (Zn-65):

0,1 g/L · 0,1 Bq/g = **0,01 Bq/L** (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser)

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51:**  
0,002 g/L \* 0,1 Bq/g = 0,0002 Bq/L  
Die Anforderung in AbwV wird überschritten.
- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:**  
1,0 mg/L = 0,001 g/L; 0,001 g/L \* 0,1 Bq/g = 0,0001 Bq/L  
Diese Anforderung wird überschritten.
- **Anforderung in AbwV, Anhang 47:**  
0,2 mg/L = 0,0002 g/L  
Diese Anforderung wird überschritten.

### 2.3.7 Blei

Nach Abb. 2.2 hat Pb bei einem pH-Wert von 9 eine **Löslichkeit von 30 mg/L** (0,03 g/L). Da von den Pb-Isotopen das Isotop Pb-210+ die größte Halbwertszeit hat, wird nur dieses hier betrachtet.

In der StrlSchV /SSV 20/ wird ein Wert von **0,1 Bq/g** für die uneingeschränkte Freigabe angegeben.

#### Rechnungen für Pb-210+:

$0,03 \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{0,003 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) von Pb-210+ im Sickerwasser bei pH 9)

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51 D:**

$$0,0005 \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ Bq/g} = 0,00005 \text{ Bq/L}$$

Die Anforderung in der AbwV ist überschritten.

- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:**

$$0,1 \text{ mg/L} = 0,0001 \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ Bq/g} = 0,00001 \text{ Bq/L}$$

Anforderung in AbwV ist überschritten.

- **Anforderung in AbwV, Anhang 47 D:**

$$0,02 \text{ mg/L} (0,00002 \text{ g/L}); 0,00002 \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ Bq/L} = 0,000002 \text{ Bq/L}$$

Die Anforderung in der AbwV ist überschritten.

### 2.3.8 Cadmium

Nach Abb. 2.2 hat Cd bei einem pH-Wert von 8 eine **Löslichkeit von 100 mg/L** (0,1 g/L). Da von den Cd-Isotopen das Isotop Cd-109+ die größte Halbwertszeit hat (452,6 d), wird nur dieses hier betrachtet.

In der StrlSchV /SSV 20/ wird ein Wert von **1 Bq/g** für die uneingeschränkte Freigabe angegeben.

#### Rechnungen für Cd-109+:

$0,1 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ Bq/g} = \underline{\underline{0,1 \text{ Bq/L}}}$  (max. Konzentration (Löslichkeit) im Sickerwasser bei pH 8)

- **Anforderung in AbwV, Anforderung Anhang 51:**  
 $0,0001 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ Bq/g} = 0,0001 \text{ Bq/L}$   
 Die Anforderung in AbwV ist überschritten.
- **Anforderung in AbwV, Anforderung Anhang 47 D:**  
 $0,005 \text{ mg/L} = 0,000005 \text{ g/L}$   
 Die Anforderung in AbwV ist überschritten.
- **Anforderung in AbwV, Anforderung in Anhang 33 D:**  
 $0,05 \text{ mg/L} = 0,00005 \text{ g/L}$   
 Die Anforderung in AbwV ist überschritten.

### 2.3.9 Quecksilber

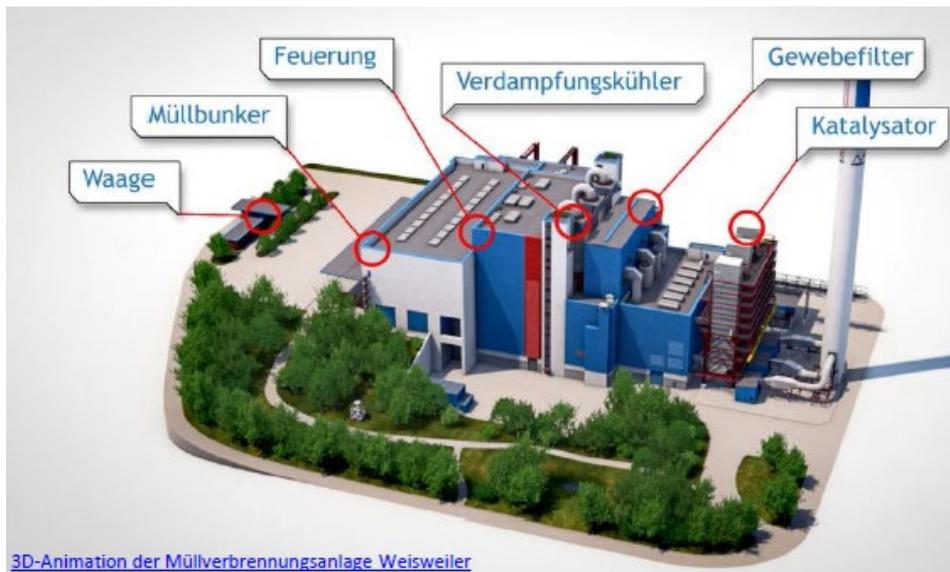
Nach /CLE 85/ beträgt die Löslichkeit von elementarem Quecksilber bei 25 °C  $3\text{E-}7$  mol/L. Dies entspricht einer Löslichkeit von **0,06 mg/L**.

- **Anforderung in AbwV, Anhang 51 D:** 0,05 mg/l
- **Anforderung in AbwV, Anhang 47 D:** 0,003 mg/l
- **Anforderung in AbwV, Anhang 33 D:** 0,03 mg/l

Die genannten Anforderungen werden von der theoretisch maximal möglichen Hg-Konzentration bei 25 °C überschritten.

### 2.3.10 Verdünnungs- und Partitionierungseffekte bei Feuerungsanlagen bzw. der Abgaswäsche

In **Feuerungsanlagen** findet eine Partitionierung der Elemente in Schlacke, Schrott, Stäube, Gips und Abluft statt /THI 04/. Folgende Abb. 2.3 zeigt beispielhaft den schematischen (typischen) Aufbau der Müllverbrennungsanlage Weisweiler.



**Abb. 2.3** Aufbau der Müllverbrennungsanlage Weisweiler /MVA 25/

In /THI 04/ werden zur Berechnung der Freigabewerte zur Entsorgung radiologische Szenarien für folgende Schritte erstellt:

- Eingangsbereich
- Müllbunker
- Verbrennungsofen
- Schlackebunker
- Abtransport der Schlacken (auch Aschen genannt)

Die Schlacken (Aschen) werden zur **Verwertung** oder Beseitigung abtransportiert. Die Stäube werden zur Sonderabfalldeponie oder Untertagedeponie verbracht.

Folgende Tab. 2.5 zeigt die Partitionierung der Elemente (aus /THI 04/). Für die Metalle der Eisengruppe und übliche Legierungsbestandteile von Stahl (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo, C) wurde in /THI 04/ eine vollständige Partitionierung in den Schrott angenommen. Für Elemente, die in teilweiser metallischer Form im Abfall zu erwarten sind, wurde eine Partitionierung von 1 % in den Schrott angenommen. Beispielsweise partitioniert Nickel zu 100 % in den Aschen (Schlacken) und 1 % in den Stäuben, was darauf schließen lässt, dass ein gewisser Anteil der Schlacke verwertet wird (und **nicht** auf eine Deponie gelangt, was die Betrachtungen in den Kapiteln 2.3.1 – 2.3.9 in anderem Licht erscheinen lässt). Nach /THI 04/ machen die Aschen den größten Teil bei der thermischen Behandlung von Hausmüllabfällen aus. Nach deren Aufbereitung werden ca. 90 % im Erd- und Straßenbau verwendet. Die REA-Gipse werden einer stofflichen Verwertung

zugeführt oder entsorgt, spielen aber aufgrund der geringen Partitionierung der Elemente in Gips keine signifikante Rolle.

**Tab. 2.5** Partitionierung der Elemente in Schlacke, Schrott, Stäube Gips und Abluft in [%] /THI 04/

Elementgruppe	Schlacke	Schrott	Stäube	Gips	Abgas
H	0	0	0	0	100
C	1	100	1	0,005	100
O	10	0	1	0,005	100
S	10	0	10	100	1
F, Na, P, Cl	100	0	10	0,05	0,05
Be, Ga, Ge, As, Se, Br, Te, I, Cs, At	100	0	100	0,5	0,5
Si, K, Ca, Rb, Sr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm	100	0	1	0,005	0,005
Sc, Cu, Y, Zr, Nb, Tc, Ru, Rh, Pd, W, Re, Os, Ir, Pt, Au	100	1	1	0,005	0,005
V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo	100	100	1	0,005	0,005
Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, Bi, Po	100	1	100	0,5	0,5
Ar, Kr, Xe, Rn	0	0	0	0	100

Im Folgenden werden Partitionierungs- bzw. Verdünnungseffekte bei der **Abgasreinigung** diskutiert. Bei der thermischen Behandlung von Hausmüllabfällen fallen bei der nachfolgenden Abgasreinigung (also nach den o. g. Schritten der Feuerung) Filterstäube, REA-Gips, beladene Aktivkohle und Salze an. Salze können in der Chlorherstellung durch Elektrolyse verwertet werden. Die REA-Gipse werden einer stofflichen Verwertung zugeführt /THI 04/. Folgende Abb. 2.4 zeigt einen Auszug aus /THI 04/, in der die durchschnittliche Zusammensetzung der Reststoffe aus nordrhein-westfälischen Hausmüllverbrennungsanlagen dargestellt wird.

Stoffgruppe	Anteil
Schlacken/Rostaschen	87,5 %
Filterstäube	4,6 %
Filterstäube mit RGR - Rückständen	3,8 %
REA-Gips	0,4 %
Salze	1,3 %
Aktivkohle	1,8 %
Hydroxidschlämme	0,6 %
Summe	100 %

**Abb. 2.4** Durchschnittliche Zusammensetzung der Reststoffe aus nordrhein-westfälischen Hausmüllverbrennungsanlagen /THI 04/

Eine nasse Rauchgaswäsche (auch Nasswäsche oder Gaswäsche genannt) ist ein Verfahren zur Reinigung von Abgasen, bei dem das Rauchgas mit einer Flüssigkeit, meist Wasser oder einer alkalischen Lösung, in Kontakt gebracht wird. Dadurch werden gasförmige Schadstoffe wie Schwefeldioxid sowie Partikel aus dem Rauchgas entfernt, indem sie in der Flüssigkeit gelöst oder neutralisiert werden.

Bei der Flockung in einer nassen Rauchgaswäsche werden Chemikalien (Flockungsmittel) zugegeben, um kleine Schwebeteilchen im Waschwasser zu größeren, leichter absetzbaren Flocken zusammenzuführen. Zuerst destabilisieren Koagulantien die negativ geladenen Partikel, damit diese koagulieren. Anschließend fördern Flockungsmittel die Bildung großer, schwerer Flocken, die dann durch Sedimentation oder Filtration entfernt werden können, um das Rauchgas von Verunreinigungen zu befreien.

Man beachte, dass die Hydroxidschlämme bei der Flockung entstehen und diese (evtl. radioaktive) Schwermetalle binden. Diese werden üblicherweise auf eine Sonderabfalldeponie (SAD) verbracht.

Alle **Hausmüllverbrennungsanlagen** sind mit Abgasreinigungsanlagen ausgestattet, die Komponenten zur Entstaubung, Entschwefelung und Quecksilberabscheidung umfassen. Dadurch werden laut /THI 04/ die in der Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 17. BImSchV) festgeschriebenen Grenzwerte nicht nur eingehalten, sondern z. T. auch erheblich unterschritten.

Nach /THI 04/ werden die Abgase aus einer **Sonderabfallverbrennungsanlage** einer mehrstufigen Abgasbehandlung unterzogen, sodass sichergestellt ist, dass die in der 17.

BlmSchV genannten Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Auch hier gibt es die Komponenten zur Entstaubung, Entstickung, Wäscher und Adsorptionsverfahren.

### **2.3.11 Zusammenfassung**

In diesem Abschnitt wurden die Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe als Abfall im Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe untersucht. Dabei wurden berechnete Löslichkeiten (= maximale Konzentrationen) ausgewählter Elemente mit den Anforderungen in der AbwV verglichen.

Im Ergebnis dieser Betrachtungen für die Elemente Nickel, Kupfer, Chrom, Zink, Blei, Cadmium und Quecksilber zeigt sich, dass der Sickerwasserpfad auch bei der mengenmäßig uneingeschränkten Freigabe von Material auf Deponien für die meisten der hier untersuchten Elemente durch die Anforderungen aus der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) /AbwV 22/ weiter begrenzt werden könnte.

Zu bedenken ist dabei allerdings, dass (geo)chemische Parameter wie pH-Wert, Redox-Potenzial usw. bedeutenden Einfluss auf die Löslichkeit der jeweiligen Elemente haben und die Betrachtungen in diesem AP daher eher exemplarischen (und überkonservativen) Charakter besitzen. Für realistischere Betrachtungen ist es notwendig, die Löslichkeit der jeweiligen Elemente in Abhängigkeit der geochemischen Parameter vor Ort (Deponie) zu kennen/abzuschätzen und geochemische Modellrechnungen vorzunehmen, um den Einfluss des Radionuklidtransports zu berücksichtigen.

## **2.4 Untersuchung der Randbedingungen zur Deponierung anhand der Studie des Bundeslandes Schleswig-Holstein zur Deponieeignung**

Der TÜV Nord wurde am 11. Oktober 2018 vom Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Natur und Digitalisierung (MELUND) beauftragt, die Einhaltung des 10-Mikrosievert-Konzeptes gemäß § 31 StrlSchV am Standort von Deponieanlagen im Zusammenhang mit der zulässigen spezifischen Freigabe von festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien zu prüfen /TÜV 19/.

Insgesamt wurden 7 Standorte in Schleswig-Holstein bewertet. Als Bewertungsmaßstab wurde die StrlSchV und ihre Anlagen 4 und 8 herangezogen. Zusätzlich wurde die

Grundlage für die in Anlage 4 StrlSchV aufgeführten Freigabewerte, die Empfehlung der SSK /SSK 06/ zur Freigabe von Stoffen zur Beseitigung, berücksichtigt.

In dem Bericht werden Annahmen, Randbedingungen und Expositionsszenarien auf Abweichungen zu den vorgenannten Dokumenten des Bewertungsmaßstabes untersucht.

Zuerst wurden die realen Gegebenheiten vor Ort mit den Modellannahmen verglichen. Alle Deponien erfüllen die Bedingungen zu der in Anlage 8 StrlSchV geforderten Deponieklasse.

#### **2.4.1 Untersuchung Parameter**

Die untersuchten Parameter wurden den verschiedenen Teilen des radiologischen Modells zur Freigabe zur Beseitigung zugeordnet. Folgende Modellteile wurden unterschieden:

1. Deponie – Arbeitsabläufe
2. Nuklidausbreitung über den Oberflächenwasserpfad
3. Nuklidausbreitung über den Grundwasserpfad

##### **2.4.1.1 Zu 1. Deponie – Arbeitsabläufe**

Gegenstand der Untersuchung des TÜV Nord zu den Arbeitsabläufen waren Expositionszeiten des Personals (LKW-Fahrer, Deponiemitarbeiter) und Feinstaubkonzentrationen an den Expositionsorten. Es wurden nur vereinzelt geringe Abweichungen zu den im Berechnungsmodell eingesetzten Parametern /SSK 06/ festgestellt.

##### **2.4.1.2 Zu 2. Nuklidausbreitung über den Oberflächenwasserpfad**

Bei dieser Untersuchung wurden alle Modellparameter mit den Gegebenheiten vor Ort verglichen, die die Nuklidausbreitung über den Oberflächenwasserpfad beeinflussen können. In die Untersuchung wurden folgende Parameter einbezogen: Höhe und Fläche der Deponie, Sickerwassermenge, Durchsatz der Kläranlage, Abfluss des Vorfluters, anfallende Menge Klärschlamm und Aufbringung Klärschlamm. Bei drei Deponien traten größere Mengen Sickerwasser aus der Deponie aus, als im Modell zugrunde gelegt wurde. In zwei Fällen war der Jahresdurchsatz der Kläranlage kleiner als die

Modellannahme und ebenfalls in zwei Fällen war der Abfluss durch den Vorfluter geringer als in der Modellannahme. Auch beim Anfall von Klärschlamm gab es Abweichungen vom Berechnungsmodell, die jedoch aufgrund der Revision der Klärschlammverordnung /AbfKlärV 20/ keine Rolle mehr spielen.

#### **2.4.1.3 Zu 3. Nuklidausbreitung über den Grundwasserpfad**

Bei dieser Untersuchung wurden alle Modellparameter mit den Gegebenheiten vor Ort verglichen, die die Nuklidausbreitung über den Grundwasserpfad beeinflussen können. In die Untersuchung wurden folgende Parameter einbezogen: Sickerwasserneubildungsrate, Dicke der Abdichtung, Dicke des Grundwasserleiters und Abstand zum nächsten Entnahmebrunnen. Bei zwei Deponien war die Dicke des Grundwasserleiters abweichend zur Modellannahme und bei weiteren zwei Deponien war der Abstand zum nächsten Entnahmebrunnen kleiner als die Entfernung im Rechenmodell.

#### **2.4.2 Zusätzliche Expositionsszenarien**

Ein weiterer Teil der Untersuchungen des TÜV Nord waren zusätzliche Expositionsszenarien, die im radiologischen Modell der SSK /SSK 06/ nicht berücksichtigt wurden:

- Szenario Ausgasung aus dem Deponiekörper
- Deponiemitarbeiter im Fall eines beschädigten „BigBags“<sup>2</sup>
- Szenario Verwendung von Sickerwasser zur Wegebewässerung

##### **2.4.2.1 Szenario Ausgasung aus dem Deponiekörper**

In diesem Szenario wird die Strahlenexposition eines Deponiearbeiters durch Ausgasung aus einem Deponiekörper betrachtet. Dieses Szenario wird betrachtet, weil durch andere, nicht nach StrlSchV freigegebene Abfälle, biologische Abbauprozesse in der Deponie stattfinden können, die zu einer Gasbildung führen können. Zur Abschätzung wird eine vollständige Freisetzung des Radionuklids H-3 in verschiedenen Verbindungen wie Wasserstoffgas, Methan oder Wasser betrachtet. Zusätzlich wird ebenfalls die

---

<sup>2</sup> Ein „BigBag“ ist ein flexibler Behälter zum Transport von Schüttgut.

Freisetzung von Gasen aus den Gär- und Faulprozessen betrachtet, die C-14 enthalten. Hierbei wird eine Freisetzung von 10 % angenommen.

In dem radiologischen Modell zur Freigabe zur Beseitigung /THI 04/ und /SSK 06/ wird das Szenario D2 (Deponie MBV) betrachtet. In diesem Szenario wird die Strahlenexposition eines Arbeiters berechnet, die durch die mechanisch-biologische Behandlung von freigegebenen Abfällen entstehen kann. Dabei wird auch berücksichtigt, dass durch Verrottungsprozesse in der sogenannten Rotte Gase entstehen, die eine Exposition hervorrufen können. Es wird konservativ angenommen, dass die mechanisch-biologische Behandlung in einer geschlossenen Halle stattfindet. Für die in der Hallenluft vorliegende Staubkonzentration wurde analog zur Deponierung 1 mg/m<sup>3</sup> angenommen. Der Aufkonzentrationsfaktor beträgt hier 3, da dieser Effekt bei zu verrottendem Material geringer ist als bei mineralischen Stoffen. Für H-3 und C-14 wird die vollständige gasförmige Freisetzung in MBV angenommen. Nach den vorliegenden Informationen deckt das Szenario D2 das Szenario Ausgasung aus dem Deponiekörper bereits ab.

#### **2.4.2.2 Szenario Verwendung von Sickerwasser zur Wegebewässerung**

In diesem Szenario wird eine in der Praxis genutzte Verwertungsmöglichkeit von Sickerwasser betrachtet. Die Sickerwässer einer Deponie werden zur Wegebewässerung des Deponiegeländes zur Reduzierung von Staubbildung bei trockenem Untergrund verwendet. Betrachtet werden die Inhalation bzw. die äußere Strahlenexposition des Deponiemitarbeiters, der das Deponiegelände begeht oder befährt.

Staubentwicklung bei sehr trockener Oberfläche und starkem Wind wird in /THI 04/ diskutiert. Dort heißt es, dass im Einbaubereich eine deutlich stärkere Staubentwicklung, verursacht durch Anlieferfahrzeuge und Deponiemaschinen, stattfindet. Die Exposition von Deponiearbeitern durch diese Stäube beschränkt sich allerdings auf relativ kurze Zeiträume, ebenso wie die von Fahrer bzw. Beifahrer der Anlieferfahrzeuge.

#### **2.4.2.3 Deponiemitarbeiter im Fall eines beschädigten „BigBags“**

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass freigegebene Reststoffe in BigBags auf den Deponien angeliefert werden. Im Falle eines defekten BigBags könnte es zu einer zusätzlichen Strahlenexposition eines Deponiemitarbeiters kommen. Als Expositionspfade kommen Inhalation und Ingestion von freigesetzten Stäuben in Frage. Während der Handhabung der BigBags (Reparatur der Beschädigung, z. B. durch

Verschließen mit Dichtband oder Dichtfolien, oder Einbringen des defekten BigBags in einen intakten BigBag) kann durch den längeren Aufenthalt eine zusätzliche Strahlenexposition beim Deponiemitarbeiter hervorgerufen werden.

In /SSK 06/ wurde beschrieben, dass bei der Berechnung der Freigabewerte zur Freigabe zur Beseitigung der Gesamtprozess der Schritte von der Anlieferung des Abfalls an der Deponie bis zum Einbau entsprechend der in 2006 üblichen Arbeitsabläufe modelliert wurden. Hierzu gehört insbesondere die Berücksichtigung der Tatsache, dass der Einbau heutzutage weitgehend automatisiert bzw. mit Deponiefahrzeugen erfolgt und es keine Personengruppen mehr gibt, die den überwiegenden Teil der Arbeitszeit auf dem unabgedeckten Müllkörper verbringen, wie es bisher konservativ angenommen worden war. Auch in /THI 04/ wird im Szenario D3 davon ausgegangen dass der freigegebene Abfall auf LKWs an den Ort des Einbaus in den Deponiekörper gefahren, dort abgekippt und z. B. mit Radladern oder mit Raupen verteilt und verdichtet wird. Als abdeckender Ansatz wird hier die Aufteilung von 75 % der Arbeitszeit in der Fahrzeugkabine und von 25 % auf dem Deponiekörper gewählt. Dabei decken die 25 % der Arbeitszeit auf dem Deponiekörper auch die Arbeitszeit in offenen Fahrzeugen, mit geöffneten Fenstern o .ä. ab. Nach den vorliegenden Informationen deckt das Szenario D3 das Szenario Deponiemitarbeiter im Fall eines beschädigten BigBags mit ab.

### **2.4.3 Diskussion und Fazit**

Die Untersuchung des TÜV Nord zeigt, dass es in Bezug auf die realen Gegebenheiten am Standort von Deponien Abweichungen von den Annahmen, Festlegungen und Randbedingungen, die im radiologischen Modell zur Berechnung der Freigabewerte berücksichtigt werden, geben kann. Auch wenn es sich hier nur um eine Stichprobe von Deponien aus einem Bundesland handelt, zeigen die Deponien doch ein großes Spektrum in Bezug auf die reale Gegebenheit vor Ort auf.

Die Möglichkeit von Abweichungen der realen Gegebenheiten von den Annahmen im Berechnungsmodell z. B. in Bezug auf die Größe der Referenzdeponie war den Autoren von /SSK 06/ durchaus bewusst. So heißt es dort: *„Aufgrund des Modellansatzes für das Massenaufkommen auf der Referenzdeponie sind kleine Deponien mit einem Massenaufkommen von weniger als 10.000 Mg/a ausgeschlossen. Bei diesen seltenen Deponien ist die Variabilität der Parameter (z. B. Anzahl und Arbeitszeit der Beschäftigten) durch das hier verwendete generische Modell nicht mehr abbildbar. Freigaben auf solche Deponien unterliegen einer Einzelfallbetrachtung [...]. Für die Referenzdeponie ist*

*ein jährliches Massenaufkommen von 60.000 Mg Hausmüll zugrunde gelegt. Dieser Wert stellt den Mittelwert der nach 2005 zu erwartenden Kapazitätsverteilungen der Deponien in Deutschland [UBA 00] dar, extrem kleine Deponien mit Kapazitäten unter 10.000 Mg/a sind aus der Betrachtung herausgenommen worden.“*

Ähnlich hierzu ist die Annahme des jährlichen Volumendurchsatzes der Referenzkläranlage. In /SSK 06/ heißt es: „Der jährliche Volumendurchsatz der Referenzkläranlage wird konservativ mit 2.000.000 m<sup>3</sup> Wasser und 1.000 Mg Klärschlamm pro Kalenderjahr angenommen, was der Kläranlage einer Kleinstadt entspricht [ESC 00, THI 04]. Die meisten Kläranlagen in Deutschland weisen größere Kapazitäten auf. In der Regel weisen kleinere Kläranlagen nicht die notwendigen Voraussetzungen auf, um mit konventionellen Schadstoffen hochbelastetes Deponiesickerwasser annehmen zu können.“

In seiner Stellungnahme kommt der TÜV Nord zu dem Schluss, dass für die Abweichungen von den Modellannahmen keine Verletzung des Dosiskriteriums zu besorgen ist. Auch in Bezug auf die zusätzlichen Szenarien kommt der TÜV Nord zu dem Ergebnis, dass unter Zugrundelegung konservativer Annahmen, kraftwerkstypischer Radionuklidzusammensetzungen sowie der vollständigen Ausschöpfung der Freigabewerte für diese Szenarien das Dosiskriterium eingehalten wird.

Die vorgefundenen Abweichungen bewegen sich im Rahmen der Annahmen und Überlegungen, die bei der Berechnung der Freigabewerte zur Beseitigung in /SSK 06/ gemacht wurden.

## **2.5 Überprüfung weiterer Gesetze und Verordnungen aus dem konventionellen Abfallrecht mit Auswirkungen auf die uneingeschränkte Freigabe**

Nach der Freigabe geht der freigegebene Stoff in den konventionellen Stoffkreislauf über und unterliegt dann u. a. den Gesetzen und Verordnungen für konventionelle Abfälle wie dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) oder der Mantelverordnung (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung des Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung).

Im Folgenden sind einige dieser Verordnungen und Gesetze genannt. Das wichtigste Gesetz in diesem Zusammenhang ist das:

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist.

Die mineralischen Stoffströme, die auch bei der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen anfallen und später freigegeben werden können wie z. B. Bodenmaterial, Recycling-Baustoffe aus Bau- und Abbruchabfällen, bestimmte Schlacken aus der Metallerzeugung und Aschen aus thermischen Prozessen, werden durch das Bundes-Bodenschutzgesetz und der Bundes-Bodenschutzverordnung, dem vorgenannten Kreislaufwirtschaftsgesetz, der Ersatzbaustoffverordnung, der Abfallverzeichnis-Verordnung, der Gewerbeabfallverordnung, der Deponieverordnung und einer Reihe weiterer Vorschriften in Deutschland geregelt. Im Einzelnen sind dies:

- Mantelverordnung (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung des Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung) vom 9. Juli 2021.
- Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) von 1999, zuletzt geändert am 25. Februar 2021.
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021.
- Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001, zuletzt am 30. Juni 2020 geändert.
- Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV), Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), zuletzt am 28. April 2022 geändert.
- Deponieverordnung (DepV) vom 27. April 2009, zuletzt am 3. Juli 2024 geändert.

Weitere Verordnungen und Gesetze sind:

- EMAS-Privilegierungs-Verordnung (EMASPrivilegV) vom 24. Juni 2002, zuletzt am 6. Juli 2021 geändert.
- Entsorgungsfachbetriebeverordnung (EfbV) vom 2. Dezember 2016, zuletzt am 8. Dezember 2022 geändert.
- Gewinnungsabfallverordnung (GewinnungsAbfV) vom 27. April 2009, zuletzt am 24. Februar 2012 geändert.

- Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 20. Juni 2023, Umsetzung der Richtlinie EU 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Es war im Rahmen dieses Arbeitspaketes zu klären, inwieweit die vorgenannten Verordnungen und Gesetze und weitere noch zu recherchierende Verordnungen **zu Einschränkungen bei der uneingeschränkten Freigabe** führen.

### 2.5.1 Ersatzbaustoffverordnung

Die Vorschriften der Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV) vom 9. Juli 2021, zuletzt geändert am 13. Juli 2023 regeln im Hinblick auf mineralische Ersatzbaustoffe im Sinne des § 2 Nummer 1 die

1. Anforderungen an die Herstellung dieser mineralischen Ersatzbaustoffe in mobilen und stationären Anlagen und an das Inverkehrbringen von mineralischen Ersatzbaustoffen,
2. Anforderungen an die Probenahme und Untersuchung von nicht aufbereitetem Bodenmaterial und nicht aufbereitetem Baggergut, das ausgehoben oder abgeschoben werden soll,
3. Anforderungen an den Einbau dieser mineralischen Ersatzbaustoffe in technische Bauwerke sowie
4. Anforderungen an die getrennte Sammlung von mineralischen Abfällen aus technischen Bauwerken.

Im Rahmen der ErsatzbaustoffV gilt, dass ein mineralischer Ersatzbaustoff, ein mineralischer Baustoff ist, der

- a) Als Abfall oder Nebenprodukt
  - a. in Aufbereitungsanlagen hergestellt wird oder
  - b. bei Baumaßnahmen, beispielsweise Rückbau, Abriss, Umbau, Ausbau, Neubau und Erhaltung anfällt,
- b) unmittelbar oder nach der Aufbereitung für den Einbau in technische Bauwerke geeignet und bestimmt ist und
- c) unmittelbar oder nach Aufbereitung unter die in den Nummern 18 bis 33 bezeichneten Stoffe fällt.

**In der ErsatzbaustoffV wird kein direkter Zusammenhang zu den freigegebenen Stoffen hergestellt.** Allerdings werden Materialwerte für verschiedene Baustoffe/Materialklassen festgesetzt. Diese Materialien können freigegeben worden sein (z. B. Boden, Schlacken, etc.) und werden durch die in dieser Verordnung genannten Materialwerte ebenfalls (elementspezifisch) begrenzt. Laut ErsatzbaustoffV sind Materialwerte **Grenzwerte und Orientierungswerte** eines mineralischen Ersatzbaustoffs oder einer Materialklasse eines mineralischen Ersatzbaustoffes. In Anlage 1 der ErsatzbaustoffV werden Materialwerte für folgende Materialien angegeben:

- Geregelte Ersatzbaustoffe ohne Gleisschotter, Bodenmaterial und Baggergut
- Gleisschotter
- Bodenmaterial und Baggergut

Materialwerte werden für organische und anorganische Stoffe angegeben. Folgende anorganische Stoffe (Elemente bzw. Isotope), werden **durch Freibabewerte in der StrISchV und durch Materialwerte der ErsatzbaustoffV gleichzeitig begrenzt** (allerdings mit unterschiedlichen Einheiten):

- Chlorid (bzw. Chlor in der StrISchV)
- Sulfat (bzw. Schwefel in der StrISchV)
- Fluorid (bzw. Fluor in der StrISchV)
- Antimon
- Arsen
- Blei
- Cadmium
- Chrom
- Kupfer
- Molybdän
- Nickel
- Vanadium
- Zink
- Quecksilber
- Thallium

Weiterhin werden in der Ersatzbaustoffverordnung

- Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (z. B. Unterbau unter Bodenplatten, Verfüllung von Baugruben usw.)
- Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen in spezifischen Bahnbauweisen (z. B. Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm, Planumsschutzschicht)

in den Anlagen 2 bzw. 3 aufgezählt.

Als Fazit ist festzustellen, dass ein nach StrlSchV freigegebener Stoff, der im Sinne der ErsatzbaustoffV eingesetzt werden soll, auch die Materialwerte dieser Verordnung einhalten sollte.

## **2.5.2 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)**

Die neue BBodSchV ist am 1. August 2023 in Kraft getreten (BBodSchV neue Fassung (n. F.)). Sie bestimmt die näheren Anforderungen an die nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung der Funktionen des Bodens unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnisse.

Die BBodSchV n.F. fasst die Regelung zum Auf- und Einbringen von Materialien neu und erweitert den Anwendungsbereich um den Bereich unterhalb und außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht. Sie enthält zudem Regelungen zum physikalischen Bodenschutz, zur bodenkundlichen Baubegleitung und zur Gefahrenabwehr bei Erosion durch Wind.

### **2.5.2.1 Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien**

Mineralische Abfälle stellen mit etwa 240 Millionen Tonnen pro Jahr den mit Abstand größten Abfallstrom in Deutschland dar. Neben dem Recycling ist der zweite wesentliche Verwertungsweg die stoffliche Verwertung in Form der Verfüllung von Abgrabungen und Tagebauten.

Die hierbei zu beachtenden Anforderungen an den Schutz des Menschen sowie des Bodens und des Grundwassers waren bislang in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV alte Fassung (a.F.)) nur in sehr allgemeiner Form geregelt. Lediglich das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in eine

durchwurzelbare Bodenschicht oder zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht war normiert.

Die §§ 6 bis 8 BBodSchV n.F. schreiben die Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien nun rechtsverbindlich fest. Typische Anwendungsbereiche der Regelungen sind zum Beispiel der Garten- und Landschaftsbau, die Bodenverbesserung auf landwirtschaftlichen Flächen und die Rekultivierung von Aufschüttungen und Abgrabungen.

- § 6 BBodSchV n.F. fasst die Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien zusammen, die sowohl für die durchwurzelbare Bodenschicht als auch unterhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht gelten.
- § 7 BBodSchV n.F. regelt die spezifischen Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien in die durchwurzelbare Bodenschicht.
- Die maßgebliche Neuerung enthält § 8 BBodSchV n.F., der nun erstmals die zusätzlichen Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht regelt.

### **Physikalischer Bodenschutz**

Um Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen treffen zu können, stellt die BBodSchV n.F. eine Regelvermutung auf wann eine schädliche Bodenveränderung zu besorgen ist.

Die bisherige Regelung des § 9 BBodSchV a.F. stellte dabei die stofflichen Einträge in den Boden und die Anreicherung von Schadstoffen in den Fokus. Diese Regelung wird nun in § 3 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BBodSchV aufgegriffen.

Neben stofflichen Einträgen können auch physikalische Einwirkungen zu schädlichen Bodenveränderungen führen. So werden z. B. im Rahmen von Baumaßnahmen die Böden im Umfeld des eigentlichen Baukörpers regelmäßig erheblichen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Übersteigt die Belastung die eigentliche Belastbarkeit des Bodens, kann es in der Folge zu Verdichtungen kommen. Dies wiederum kann zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen führen. Vor diesem Hintergrund enthält die neue BBodSchV eine Erweiterung des Regelkatalogs und erfasst mit § 3 Abs. 1 Nr. 3 BBodSchV erstmals auch Aspekte des physikalischen Bodenschutzes. § 4 Abs. 3 BBodSchV n.F. regelt flankierend dazu die zu beachtenden Vorsorgeanforderungen zur Vermeidung und Verminderung von physikalischen Einwirkungen.

## **Bodenkundliche Baubegleitung**

Bei Baumaßnahmen kommt es stets zu einer flächenhaften Inanspruchnahme von Böden. Bei unsachgemäßem Umgang können die natürlichen Bodenfunktionen dabei langfristig oder sogar irreversibel beeinträchtigt werden. Um solche Schäden zu minimieren, wurden mit der Novellierung der BBodSchV daher nun erstmals auch rechtsverbindliche Vorgaben zur Durchführung einer bodenkundlichen Baubegleitung bei größeren Bauvorhaben eingeführt. Damit soll der Bodenschutz bereits in der Planungs-, Ausschreibungs- und Ausführungsphase sichergestellt werden.

Bei Maßnahmen, die die durchwurzelbare Bodenschicht auf mehr als 3.000 m<sup>2</sup> beanspruchen, kann die jeweilige Genehmigungsbehörde nun nach § 4 Abs. 5 BBodSchV n.F. im Benehmen mit der zuständigen Bodenschutzbehörde eine bodenkundliche Baubegleitung verlangen.

## **Aktualisierung und Erweiterung der Werte**

Die in den Anhängen der BBodSchV a.F. festgeschriebenen Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte wurden an die aktuellen Erkenntnisse angepasst und erweitert. Dabei wurden nun auch die seit Jahren erprobten Maßstäbe zur Bewertung von Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit berücksichtigt. Bereits im Jahr 2004 hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Methoden zur Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) und Grundsätze für deren Anwendung veröffentlicht und 2006 fortgeschrieben. Die GFS stellen eine geeignete Grundlage für die Ableitung von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser dar und wurden daher im Rahmen der Aktualisierung der Werte entsprechend berücksichtigt. So wurden ergänzend zu den bisher geregelten organischen Schadstoffen Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser für Chlorbenzole, Chlorethen (Vinylchlorid), Chlorphenole, Pentachlorphenol, Methyl-Tert-Butyl-Ether (MTBE), sechs Einzelstoffe aus der Gruppe der sprengstofftypischen Verbindungen und sieben Einzelstoffe aus der Gruppe der per- und polyfluorierten Chemikalien (PFAS) abgeleitet.

### **2.5.3 Deponieverordnung**

Freigegebene radioaktive Stoffe sind konventioneller Abfall und müssen entsprechend den Regelungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes entsorgt werden. Eine Freigabe kann uneingeschränkt oder spezifisch erfolgen.

Pro rückgebautem Kernkraftwerk werden mehrere 1.000 Mg an Abfällen, überwiegend Bauschutt, erwartet, die aufgrund der Höhe ihres Gehalts an künstlichen Radionukliden keiner uneingeschränkten Freigabe, d. h. keiner freien Verwertung zugeführt werden können, wohl aber die Freigabewerte für die Beseitigung auf einer Deponie unterschreiten /ÖKO 16/.

Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, in deren Entsorgungsgebiet sich der Abfallverursacher befindet, sind nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz gesetzlich verpflichtet, solche Abfälle auf ihren Deponien anzunehmen und entsprechend den Regelungen der Deponieverordnung abzulagern /ÖKO 16/.

Um die Belastungen für die Umwelt zu minimieren, besitzen moderne Deponien eine „Multibarriere“. Mehrere Barrieren sind unabhängig voneinander redundant vorhanden, um Schäden für Mensch und Umwelt auch dann noch zu verhindern, wenn eine Barriere versagt.

Die Abdichtungssysteme der Bauschuttdeponien, auf denen die freigemessenen Reststoffe entsorgt werden, haben laut Deponieverordnung die Funktionserfüllung der jeweiligen Komponenten sowie des Gesamtsystems für mindestens 100 Jahre nachzuweisen. Um dies sicherzustellen, sind regelmäßige Messungen und Kontrollen nach dem Verschluss der Deponie und bis zum Ende der Nachsorgephase vorgesehen – unabhängig davon, ob auf der Deponie freigegebenes Material aus einem Kernkraftwerk eingelagert wurde oder nicht. Die Einhaltung mehrerer Kriterien vor der Entlassung der Deponie aus der Nachsorge garantiert, dass das Oberflächenabdichtungssystem auch bei Nachnutzung in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand bleibt.

Um nachzuweisen, dass die radiologischen Anforderungen (10  $\mu$ Sv/a-Richtwert) in Zukunft eingehalten werden, werden Nachweise mit strenggefassten Randbedingungen von unabhängigen Institutionen durchgeführt. Hierbei werden Rechnungen 1.) für das unversehrte Oberflächenabdichtungssystem und für 2.) das Versagen des Oberflächenabdichtungssystems ab 100 Jahren durchgeführt.

Die Einlagerung von nach § 29 StrlSchV zur Beseitigung auf einer Deponie freigegebenen Abfällen auf einer Deponie der Klasse 0 ist nicht zulässig. Sofern keine Deponieklasse genannt wird, gilt die entsprechende Anforderung für die drei Klassen (I, II, III) gleichermaßen /ÖKO 16/.

### 2.5.3.1 Rechtliche Anforderungen für die Nachsorgephase

Unter „**Nachsorgephase**“ wird hier folgendes verstanden: der Zeitraum nach der endgültigen Stilllegung einer Deponie oder eines Deponieabschnittes bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die zuständige Behörde nach § 40 Abs. 5 KrWG den Abschluss der Nachsorge der Deponie festgestellt hat (entsprechend der Begriffsbestimmung in § 2 Nr. 27 DepV).

Zur Stilllegung einer Deponie fordert § 10 Abs. 2 DepV, dass der Deponiebetreiber die endgültige Stilllegung der Deponie oder eines Deponieabschnittes nach § 40 Abs. 3 KrWG bei der zuständigen Behörde beantragt und unverzüglich alle erforderlichen Maßnahmen zur Errichtung des Oberflächenabdichtungssystems nach Anhang 1 Nummer 2 DepV durchführt (§ 10 Abs. 1 DepV) /ÖKO 16/.

Gemäß § 11 DepV hat der Deponiebetreiber in der Nachsorgephase alle Maßnahmen, insbesondere die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, nach § 12 DepV durchzuführen, die zur Verhinderung von Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit erforderlich sind /ÖKO 16/.

In § 12 DepV werden die Maßnahmen zur Kontrolle, Verminderung und Vermeidung von Emissionen, Immissionen, Belästigungen und Gefährdungen festgeschrieben. Zur Feststellung, ob von einer Deponie die Besorgnis einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften ausgeht, legt die zuständige Behörde vor Beginn der Ablagerungsphase unter Berücksichtigung der jeweiligen hydrologischen Gegebenheiten am Standort der Deponie und der Grundwasserqualität entsprechende Auslöseschwellen und geeignete Grundwasser-Messstellen zur Kontrolle dieser Schwellen fest /ÖKO 16/.

Der Deponiebetreiber hat bis zum Ende der Nachsorgephase Messungen und Kontrollen nach Anhang 5 Nr. 3.2 DepV durchzuführen. Für die Nachsorgephase bedeutet dies insbesondere

- vierteljährliche Prüfungen des Dichtungskontrollsystems (soweit vorhanden),
- halbjährliche Kontrollen der Sickerwassermenge und Sickerwasserzusammensetzung,
- halbjährliche Kontrollen der Grundwasserstände und Grundwasserbeschaffenheit im Hinblick auf die Unterschreitung der Auslöseschwellen,
- jährliche Setzungsmessungen und Stabilitätsuntersuchungen,

- jährliche Untersuchungen der Verformung des Basisabdichtungssystems,
- jährliche Prüfungen der Entwässerungsleitungen,
- jährliche Prüfung der Funktionsfähigkeit und Verformung des Oberflächenabdichtungssystems.

Bis zum Ende der Nachsorgephase hat der Deponiebetreiber laut DepV noch weitere Pflichten, bspw. bezüglich der Minimierung von Belästigungen und Gefährdungen oder dem Anfall von Sickerwasser /ÖKO 16/.

Der Deponiebetreiber hat die Maßnahmen, die bei Überschreiten der Auslöseschwellen durchgeführt werden, in Maßnahmenplänen zu beschreiben und der zuständigen Behörde zur Zustimmung vorzulegen. Werden die Auslöseschwellen überschritten, hat der Deponiebetreiber die zuständige Behörde unverzüglich zu informieren und nach den Maßnahmenplänen zu verfahren /ÖKO 16/.

### **2.5.3.2 Voraussetzungen für die Entlassung aus der Nachsorge**

Für die Entlassung aus der Nachsorge hat die zuständige Behörde gemäß § 40 Abs. 5 KrWG auf Antrag den Abschluss der Nachsorgephase festzustellen. Die Vorgehensweise und Vorgaben hierfür sind in § 11 Abs. 2 DepV geregelt /ÖKO 16/.

Kommt demnach die zuständige Behörde unter Berücksichtigung der Prüfkriterien nach Anhang 5 Nr. 10 DepV zu dem Schluss, dass aus dem Verhalten einer Deponie der Klasse 0, I, II oder III zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit zu erwarten sind, kann sie auf Antrag des Deponiebetreibers die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen nach § 12 DepV aufheben und nach § 40 Abs. 5 KrWG den Abschluss der Nachsorgephase feststellen /ÖKO 16/.

Die Prüfkriterien nach Anhang 5 Nr. 10 DepV umfassen insbesondere /ÖKO 16/:

1. Umsetzungs- oder Reaktionsvorgänge sowie biologische Abbauprozesse sind weitgehend abgeklungen.
2. Eine Gasbildung findet nicht statt oder ist so weit zum Erliegen gekommen, dass keine aktive Entgasung erforderlich ist, austretende Restgase ausreichend oxidiert werden und schädliche Einwirkungen auf die Umgebung durch Gasmigration ausgeschlossen werden können.

3. Setzungen sind so weit abgeklungen, dass setzungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems für die Zukunft ausgeschlossen werden können. Hierzu ist die Setzungsentwicklung der letzten zehn Jahre zu bewerten.
4. Das Oberflächenabdichtungssystem ist in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand, der durch die derzeitige und geplante Nutzung nicht beeinträchtigt werden kann. Es ist sicherzustellen, dass dies auch bei Nutzungsänderungen gewährleistet ist.
5. Die Deponie ist insgesamt dauerhaft standsicher.
6. Die Unterhaltung baulicher und technischer Einrichtungen ist nicht mehr erforderlich; ein Rückbau ist gegebenenfalls erfolgt.
7. Das in ein oberirdisches Gewässer eingeleitete Sickerwasser hält ohne Behandlung die Konzentrationswerte des Anhangs 51 Abschnitt C Abs. 1 und Abschnitt D Abs. 1 der **Abwasserverordnung** ein.
8. Das Sickerwasser, das in den Untergrund versickert, verursacht keine Überschreitung der Auslöseschwellen<sup>3</sup> in den Grundwasser-Messstellen, und eine Überschreitung ist auch für die Zukunft nicht zu besorgen.
9. Wurden auf der Deponie asbesthaltige Abfälle oder Abfälle, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten, abgelagert, müssen geeignete Maßnahmen getroffen worden sein, um zu vermeiden, dass Menschen in Kontakt mit diesem Abfall geraten können.

Mit dem Bescheid über den Abschluss der Nachsorgephase regelt die zuständige Behörde auch die Umsetzung und Festschreibung der zukünftig einzuhaltenden Bedingungen. Es erfolgt außerdem ein Eintrag in das Bodenschutz- und Altlastenkataster, der nicht gelöscht wird.

### **2.5.3.3 Rechtliche Anforderungen in der Zeit nach der Entlassung aus der Nachsorge**

Die oben genannten Kriterien für die Feststellung des Abschlusses der Nachsorgephase nach Anhang 5 Nr. 10 DepV enthalten Bedingungen, die auch für die Zukunft nach Abschluss der Nachsorgephase eingehalten werden müssen. Hierzu gehört insbesondere,

---

<sup>3</sup>Auslöseschwellen sind gemäß der Begriffsbestimmung in § 2 Nr. 4 DepV Grundwasserüberwachungswerte, bei deren Überschreitung Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers eingeleitet werden müssen.

dass das Oberflächenabdichtungssystem bei derzeitiger Nutzung, geplanter Nutzung und bei künftigen Nutzungsänderungen in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand bleibt /ÖKO 16/.

Die auch für die Zeit nach Abschluss der Nachsorgephase einzuhaltenden Bedingungen werden in einem behördlichen Bescheid festgelegt. Dies dient dazu, dass der Deponiekörper dauerhaft unberührt bleibt.

Geplante Eingriffe in den Deponiekörper, wie z. B. eine Deponiesanierung, bedürfen einer behördlichen Zustimmung, in deren Rahmen die notwendigen Schutz- und Vorsorgemaßnahmen sichergestellt werden, und werden hier nicht näher betrachtet.

Anforderungen an die geologische Barriere und das Basisabdichtungssystem sind in Anhang 1 Nr.2.1 und 2.2 DepV festgelegt und werden hier nicht weiter erläutert. Spezifische Anforderungen an das Oberflächenabdichtungssystem sind in Anhang 1 Nr. 2.3 DepV festgelegt /ÖKO 16/.

#### **2.5.3.4 Randbedingungen während und nach der Entlassung aus der Nachsorgephase sowie Szenarien der Nachnutzung**

In den Szenarien, die bei der Herleitung der Freigabewerte der StrlSchV zugrunde gelegt wurden, wurden unter anderem der Sickerwasserpfad (während des Betriebs der Deponie) sowie der Brunnenpfad (nach Ende der Einlagerung) modelliert.

Es wurde unterstellt, dass die Systeme zur Oberflächen- und Basisabdichtung nach 100 Jahren zu versagen beginnen und nach 200 Jahren keinerlei rückhaltende Wirkung mehr aufweisen. Die DepV fordert für die Abdichtungssysteme, wie oben dargelegt, dass die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen sein muss. Es ist daher mit Blick auf die Zulassungsvoraussetzungen für Materialien, Komponenten oder Systeme für die Verbesserung der geologischen Barriere sowie auf die technischen Maßnahmen als Ersatz für die geologische Barriere und die Abdichtungssysteme sicher davon auszugehen, dass sich in dieser Hinsicht keine ungünstigeren Verhältnisse ergeben können als in der Herleitung der Freigabewerte angenommen.

## **2.5.4 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)**

Das deutsche Abfallrecht ist schwerpunktmäßig im KrWG und flankierenden Rechtsverordnungen geregelt. Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten nicht für Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe im Sinne des Atomgesetzes oder des Strahlenschutzgesetzes (allerdings für freigegebene Stoffe).

### **2.5.4.1 Grundsätze und Grundpflichten in Bezug auf sämtliche Abfälle**

Die Erzeuger und Besitzer sämtlicher Abfälle sind dazu verpflichtet, Abfälle zu vermeiden, zur Wiederverwendung vorzubereiten, zu recyceln, einer sonstigen Verwertung (insbesondere einer energetischen Verwertung und Verfüllung) zuzuführen oder in letzter Konsequenz zu beseitigen – und zwar in dieser Rangfolge, § 6 Abs. 1 KrWG (fünfstufige Abfallhierarchie). Vor diesem Hintergrund kommt der Differenzierung zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung wegen der daran anknüpfenden verschiedenen Rechtsfolgen eine entscheidende Bedeutung zu.

Nach der gesetzgeberischen Begriffsbestimmung sind Abfälle zur Verwertung „Abfälle, die verwertet werden“, und „Abfälle, die nicht verwertet werden, Abfälle zur Beseitigung“, § 3 Abs. 1 Satz 2 KrWG. Abfälle sind so lange Abfälle zur Verwertung, wie die begründete Annahme besteht, dass die Abfälle für eine Verwertung geeignet sind und der Besitzer willens und in der Lage ist, die Abfälle einer ordnungsgemäßen Verwertung zuzuführen.

Abfälle zur Beseitigung unterliegen einem strengeren Regime als Abfälle zur Verwertung. Die wohl wichtigste Rechtsfolge, die das Gesetz an Abfälle zur Beseitigung anknüpft, ist die Überlassungspflicht: Abfallverursacher müssen gemäß § 17 Abs. 1 Satz 2 KrWG Abfälle zur Beseitigung, die ihrer Herkunft nach nicht aus privaten Haushaltungen stammen, den „öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern“, d.h. den nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen (§ 17 Abs. 1 Satz 1 KrWG), überlassen. Damit misst die gesetzgeberische Konzeption der öffentlichen Hand eine zentrale Rolle bei Abfallentsorgung zu: Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger haben nach § 20 Abs. 1 Satz 1 KrWG die in ihrem Gebiet angefallenen und überlassenen Abfälle zur Beseitigung entgegenzunehmen und nach Maßgabe der §§ 6 bis 11 KrWG zu verwerten oder nach Maßgabe der §§ 15, 16 KrWG zu beseitigen.

Die Entsorgungszuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger bezieht sich grundsätzlich auch auf gefährliche Abfälle. Diese Andienungs- und Überlassungspflicht besteht bei Abfällen zur Beseitigung dann nicht, soweit die Abfälle in eigenen Anlagen beseitigt werden, § 17 Abs. 1 Satz 2 KrWG a.E. Für Abfälle zur Verwertung, die ihrer Herkunft nach nicht aus privaten Haushalten stammen, besteht hingegen keine Pflicht zur Überlassung an öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger.

Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, in deren Entsorgungsgebiet sich der Standort der rückzubauenden kerntechnischen Anlage befindet, sind nach § 20 KrWG gesetzlich verpflichtet, nach § 29 StrlSchV<sub>alt</sub> zur Beseitigung auf einer Deponie freigegebene Abfälle als Abfall zur Beseitigung aus anderen Herkunftsbereichen zu beseitigen und demgemäß auf ihren Deponien anzunehmen und entsprechend den Regelungen der DepV abzulagern. Stehen eigene Deponien nicht zur Verfügung, sind im Rahmen der interkommunalen Zusammenarbeit Deponiekapazitäten anderer öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger zu nutzen, mit denen hierzu eine Vereinbarung über die Zusammenarbeit bei der Abfallbeseitigung geschlossen wurde /ÖKO 16/.

#### **2.5.4.2 Anforderungen an Abfallentsorgungsanlagen und Deponien**

Für Abfälle zur Beseitigung gilt nach Maßgabe des § 28 Abs. 1 KrWG ein an die Erzeuger und Besitzer von Abfällen gerichteter Anlagenbenutzungszwang. Anlagen für die Abfallentsorgung – also sowohl für Abfälle zur Verwertung als auch Abfälle zur Beseitigung (§ 3 Abs. 22 KrWG) – unterliegen den besonderen Anforderungen der §§ 34 ff. KrWG. Deponiebetreiber haben gemäß § 40 Abs. 1 Satz 1 KrWG die beabsichtigte Stilllegung einer Deponie der zuständigen Behörde unverzüglich anzuzeigen. Sofern nicht bereits in anderen Regelungen oder Auflagen enthalten, hat die zuständige Behörde den Deponiebetreiber insbesondere zu verpflichten, auf seine Kosten das Deponiegelände zu rekultivieren und alle erforderlichen Vorkehrungen zur ordnungsgemäßen Stilllegung und Nachsorge zu treffen (§ 40 Abs. 2 Satz 1 Nr. 1 und 2 KrWG).

#### **Anforderungen an Abfallentsorgungsanlagen und Deponien für gefährliche Abfälle**

Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen, in denen eine Entsorgung von Abfällen durchgeführt wird, sowie die wesentliche Änderung einer solchen Anlage oder ihres Betriebes bedürfen nach § 35 Abs. 1 KrWG der Genehmigung nach den Vorschriften des BImSchG.

Errichtung und Betrieb einer **Deponie für gefährliche Abfälle** bedürfen gemäß § 35 Abs. 2 KrWG eines Planfeststellungsbeschlusses. § 35 Abs. 3 Satz 1 Nr. 1-3 KrWG sieht die Möglichkeit vor, Deponien unter bestimmten Voraussetzungen auf Grundlage einer Plangenehmigung zu errichten und zu betreiben bzw. zu ändern. Dies gilt für Deponien zur Ablagerung von gefährlichen Stoffen jedoch nur stark eingeschränkt: So ist eine Plangenehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer unbedeutenden Deponie nach § 35 Abs. 3 Satz 1 Nr. 1 KrWG gemäß § 35 Abs. 3 Satz 3 Nr. 1 KrWG für Deponien zur Ablagerung von gefährlichen Abfällen ausgeschlossen. Zudem ist eine Plangenehmigung für eine Deponie unter Entwicklung und Erprobung neuer Verfahren gemäß § 35 Abs. 3 Satz 1 Nr. 3 KrWG a.E. auf einen Genehmigungszeitraum von höchstens einem Jahr – statt zwei Jahren bei nicht gefährlichen Abfällen – beschränkt.

Nach § 43 KrWG i. V. m den Vorschriften der DeponieV unterliegen Errichtung, Beschaffenheit, Betrieb, Zustand nach Stilllegung sowie die betreibereigene Überwachung von Deponien bestimmten Anforderungen. Dabei sehen die §§ 2 Nr. 6-10, 3 Abs. 1 und 2 DeponieV unterschiedliche Deponietypen vor, die für verschiedene Abfälle gedacht sind und daher entsprechenden bau- und sicherheitstechnischen bzw. geologischen Anforderungen genügen müssen. Die differenzierte Zuordnung der Abfälle zu den verschiedenen Deponietypen nach den §§ 6 f. DeponieV soll eine sichere und geordnete Lagerung und Entsorgung von Abfällen in Abhängigkeit von ihrem Gefährdungsgrad gewährleisten. Gemäß § 6 Abs. 3 Satz 1 DeponieV dürfen gefährliche Abfälle nur in Deponien der Deponieklassen III und IV abgelagert werden; sie können nach Satz 2 unter bestimmten Voraussetzungen auch niederen Deponieklassen abgelagert werden. Nach Maßgabe des § 7 Abs. 1 DeponieV dürfen bestimmte, insbesondere als besonders gefährlich eingestufte Abfälle nicht auf Deponien der Klassen 0, I, II oder III abgelagert werden. Diesen besonderen Anforderungen unterfallen insbesondere sogenannte persistente organische Schadstoffe (§ 7 Abs. 1 Nr. 7 DeponieV) wie PCBs. Besonders strenge Anforderungen gelten auch etwa für **quecksilberhaltige** Abfälle, die dauerhaft in geeigneter Form von der Umwelt ferngehalten und in tauglichen Behältern sowie primär in unterirdischen Deponien abgelagert werden müssen. Diese unterschiedlichen Entsorgungs- bzw. Ablagerungsanforderungen insbesondere für bestimmte, als besonders gefährlich eingestufte Abfälle, wirken sich auch auf die dafür anfallenden Kosten bzw. die dafür zu entrichtenden Entgelte aus.

## Vergleichbarkeit mit Verursachern radioaktiver Abfälle

Die rechtlichen Verpflichtungen konventioneller Abfallverursacher nach dem KrWG sowie den Landesabfallgesetzen sind dem Grunde nach mit den Verpflichtungen der Verursacher radioaktiver Abfälle nach AtG und StrlSchV zu vergleichen. Sie weisen jedoch auch grundlegende Unterschiede auf. Zum einen liegt die Letztverantwortung für radioaktive Abfälle immer beim Staat, bei konventionellen – auch gefährlichen – Abfällen nicht. Zum anderen sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zum Umgang mit konventionellen gefährlichen Abfällen kaum mit den Umgangspflichten in Bezug auf radioaktive Abfälle vergleichbar; letztere sind sehr viel restriktiver.

Probleme bei der Abfallentsorgung von freigegebenen Abfällen ergeben sich in der Vollzugspraxis auf Ebene der konventionellen Abfallentsorgung. So scheitert beispielsweise die Deponierung ordnungsgemäß freigemessener Rückbauabfälle an politischen und rechtlichen Hürden beim Vollzug des konventionellen Abfallrechts und das, obwohl die Entsorgung freigemessener Abfälle aus dem Kernkraftwerksrückbau einem vom Gesetzgeber klar strukturierten und inhaltlich detailliert ausgestalteten Regelungskonzept unterliegt und das für die Freigabe maßgebende Dosiskriterium auf international anerkannten Standards basiert.

### 2.5.5 Abfallverzeichnisverordnung (AVV)

Die Abfallverzeichnisverordnung (AVV) liefert die Grundlage für die Bezeichnung von Abfällen und deren Einstufung nach ihrer Gefährlichkeit.

Die AVV legt die Bezeichnungen von Abfällen fest, wenn dieses in anderen Rechtsvorschriften gefordert ist. Dies ist z. B. für die Register- und Nachweispflichten nach §§ 49 und 50 des **Kreislaufwirtschaftsgesetzes** erforderlich. Gleichzeitig regelt diese Verordnung, welche Abfälle als gefährlich gelten. Die Bezeichnung von Abfällen findet sich in der Anlage der Verordnung, dem „Abfallverzeichnis“.

Um den Zusammenhang herzustellen zwischen dem hier geschriebenen und der Freigabe, sei folgendes Beispiel erläutert.

## **Ablauf einer Freigabekampagne**

Ziel der Freigabe ist es, Reststoffe, die im Geltungsbereich des AtG bzw. des StrlSchG anfallen, einer weiteren Nutzung zuzuführen und in den Regelungsbereich des **Kreislaufwirtschaftsgesetzes** zu überführen und ggf. als konventionellen Abfall zu entsorgen. Geeignete Reststoffe werden dazu einer Freigabekampagne zugeführt. Es wird ein Freigabeplan erstellt, in dem die wesentlichen Maßnahmen und Messungen zur Qualifizierung der Materialien als nicht radioaktive Stoffe beschrieben sind.

Der Freigabeplan wird rechtzeitig vor Beginn der Freigabekampagne bei der Aufsichtsbehörde eingereicht. Hierdurch wird die Aufsichtsbehörde bzw. deren hinzugezogener Sachverständiger frühzeitig in die vorgesehenen Maßnahmen zur Qualifizierung der Reststoffe eingebunden. Dies entspricht dem Antrag des Genehmigungsinhabers zur Erteilung eines Freigabebescheides gemäß § 29 StrlSchV. Nach positiver Verfahrensbeurteilung erteilt die Aufsichtsbehörde schriftlich die Freigabe (Freigabebescheid).

Stoffe, für die durch den Strahlenschutzbeauftragten die Übereinstimmung mit den Anforderungen im Freigabebescheid festgestellt wurde (wirksame Feststellung), sind nicht mehr als radioaktiv im Sinne des Atomgesetzes zu betrachten, sondern unterliegen dann den einschlägigen konventionellen Regelungssystemen (**Kreislaufwirtschaftsgesetz**).

Wie oben erwähnt, fordert das Kreislaufwirtschaftsgesetz, die Anwendung der AVV zur Abfalldeklaration.

Der Nachweis der Einhaltung der jeweiligen radionuklidbezogenen Freigabewerte wird anhand von Entscheidungsmessungen (Freimessungen) erbracht. Der Abschluss einer Freigabekampagne wird der Behörde durch Vorlage des abgezeichneten Freigabeplans, einschließlich der darin geforderten Nachweise, angezeigt.

Demzufolge greifen die Gesetze bzw. Verordnungen (StrlSchV, KrWG, AVV) „ineinander“ und es ist keine Einschränkung bei der uneingeschränkten Freigabe zu erwarten. Es kann in der Praxis jedoch vorkommen, dass Abfälle „nachdeklariert“ werden müssen (für eine andere Abfallschlüsselnummer), wenn bestimmte Entsorgungswege (z. B. Deponierung) nicht bedient werden können.

## 2.5.6 Gewerbeabfallverordnung

Diese Verordnung gilt für die Bewirtschaftung, insbesondere die Erfassung, die Vorbehandlung, die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und die sonstige Verwertung,

1. von gewerblichen Siedlungsabfällen und
2. von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz bildet die Rechtsgrundlage der Gewerbeabfallverordnung. Daher sind alle Materialien, die vom Geltungsbereich des KrWG in § 2 Abs. 2 ausgeschlossen sind, auch von der GewAbfV nicht erfasst, auch wenn sie als Abfall anfallen sollten. Dies gilt beispielsweise für radioaktive Materialien, Bergbauabfälle oder nicht in Behälter gefasste gasförmige Stoffe. Unter bestimmten Umständen fallen auch Lebens- und Futtermittel hierunter, wenn diese nach dem Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch zu entsorgen sind.

Aus „Die Verordnungen zum Kreislaufwirtschaftsgesetz“ /VOR 24a/:

*„Nach § 10 KrWG kann die Bundesregierung Anforderungen an die getrennte Sammlung von Abfällen per Kreislaufwirtschaftsgesetz Verordnung festlegen. Davon hat sie mit der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) Gebrauch gemacht – ein wichtiger Schritt hin zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Die Richtlinie gilt u.a. für Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen sowie von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn diese nicht unter eine Verordnung nach §§ 24 und 25 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes – Produktverantwortung /VOR 24b/ – fallen und die dort genannten Regelungen Anwendung finden. Gewerbliche Siedlungsabfälle sind Siedlungsabfälle i. S. Kap. 20 AVV, die nicht aus privaten Haushaltungen stammen, und weitere gewerbliche und industrielle Abfälle, die in Beschaffenheit sowie Zusammensetzung ähnlich den Abfällen aus privaten Haushalten sind. Bau- und Abbruchabfälle fallen bei Bau- und Abbrucharbeiten an, i. S. Kap. 17 AVV mit Ausnahme der Abfallgruppe 17 05.“*

Fallen nur geringe Mengen an gewerblichen Siedlungsabfällen an, können diese gemeinsam mit den auf dem Grundstück anfallenden Abfällen aus privaten Haushaltungen

entsorgt werden (§ 5 GewAbfV). Ansonsten gilt: **Sofern es technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist**, müssen

- Papier, Pappe und Karton mit Ausnahme von Hygienepapier,
- Glas,
- Kunststoffe,
- Holz,
- Textilien,
- Bioabfälle i.S. § 3 Abs. (7) KrWG,
- weitere Abfallfraktionen, die in den nicht in Kap. 20 AVV genannten Fraktionen enthalten sind,

laut Kreislaufwirtschaftsgesetz getrennt gesammelt und vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zugeführt werden. Es ist nötig, die Erfüllung der Pflichten zu dokumentieren, z.B. durch Lagepläne, Fotos, Liefer- und Wiegescheine o.ä. sowie durch eine Erklärung des Entsorgers über die Zuführung von Abfällen zur Vorbereitung zur Verwertung oder zum Recycling.

Wie beschrieben, steht die Gewerbeabfallverordnung in engem Zusammenhang mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (das wiederum für nicht radioaktive (= freigegebene) Abfälle gilt). Auf Basis des oben gesagten ist keine Einschränkung bei der uneingeschränkten Freigabe durch die Anwendung der Gewerbeabfallverordnung zu erwarten.

### **2.5.7 Klärschlammverordnung**

Mit der Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 137 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist /AbfKlärV 20/ wird die Verwertung von Klärschlamm geregelt. Dabei soll der Eintrag von anorganischen und organischen Schadstoffen auf ein unbedenkliches Maß beschränkt werden. Dies geschieht durch das Festlegen von Einsatzgrenzen und Grenzwerten, bei deren Überschreitung Klärschlämme nicht mehr landbaulich verwendet werden dürfen. Die Verordnung setzt auch regelmäßige Boden- und Klärschlammuntersuchungen in dafür zugelassenen und überwachten Labors fest.

Die Klärschlammverordnung regelt u. a.:

- das Auf- oder Einbringen von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost zur Verwertung als Stoff, auf oder in einen Boden
  - a. mit landwirtschaftlicher Nutzung,
  - b. bei Maßnahmen des Landschaftsbaus,
  - c. mit einer Nutzung zu forstwirtschaftlichen Zwecken und
  - d. mit einer Nutzung als Haus-, Nutz- oder Kleingarten;
- die Abgabe von Klärschlamm zur Herstellung eines Klärschlammgemischs oder eines Klärschlammkomposts;
- die Abgabe von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost zu den in Punkt 1 genannten Zwecken;
- die Behandlung und Untersuchung solchen Klärschlamm, Klärschlammgemischs und Klärschlammkomposts sowie
- die Untersuchung des Bodens, auf oder in den Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost auf- oder eingebracht werden sollen.

In §15 AbfKlärV werden Beschränkungen der Klärschlammverwertung aufgeführt. So ist das Auf- oder Einbringen eines Klärschlamm, eines Klärschlammgemischs oder eines Klärschlammkomposts u.a. nicht zulässig auf Böden auf denen Ackerfutter oder Gemüse, Obst oder Hopfen angebaut wird. Dies gilt auch für Haus-, Nutz- oder Kleingartenflächen.

Diese Einschränkung hätte Auswirkung auf die Freigabe zur Beseitigung zur Verbrennung oder Deponierung. Im Szenario O2: „Verwertung von Klärschlamm“ wird die Strahlenexposition berechnet, die sich durch die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzter Fläche für die Bevölkerung ergibt. In dem Szenario wird eine jährliche Ausbringung einer bestimmten Masse von Klärschlamm über einen Zeitraum von 50 a unterstellt. Bei der Verwertung wird von einer Aufbringung von Klärschlamm lediglich auf solche Felder, auf denen Getreide und Kartoffeln angebaut werden, betrachtet. Die Ausbringung auf Weiden sowie auf Anbauflächen für Gemüse war nach der zum Zeitpunkt der Berechnung der Freigabewerte zur Beseitigung gültigen Klärschlammverordnung von 1992 nicht zulässig. Daher wurden die Expositionspfade Verzehr von Obst und Gemüse, von Milch sowie von Fleisch nicht betrachtet.

Mit der Klärschlammverordnung /AbfKlärV 20/ wird die Verwertung von Klärschlamm geregelt. Demnach dürfen große Kläranlagen, die das Abwasser von mehr als 100.000 bzw. 50.000 Einwohnern behandeln, Klärschlamm nur noch bis 2029 bzw. 2032 bodenbezogen verwerten, also zum Beispiel als Dünger. Im radiologischen Modell wurde der jährliche Volumendurchsatz der Referenzkläranlage konservativ mit 2.000.000 m<sup>3</sup> Wasser und 1.000 Mg Klärschlamm pro Kalenderjahr angenommen, was der Kläranlage einer Kleinstadt entspricht /SSK 06/.

Die Freigabewerte der Radionuklide S-35, Sr-90+, Nb-93m, Ag-108m+, Cd-109+, Te-125m, Te-127m+ und Tl-204, deren restriktivstes Szenario das Szenario O2 „Verwertung von Klärschlamm aus der Freigabe zur Beseitigung durch Verbrennung“ /SSK 06/ ist, könnten möglicherweise angehoben werden, vorausgesetzt, der Freigabewert des Szenarios, das nunmehr das restriktivste geworden ist, unterscheidet sich signifikant vom Szenario O2. Eine Anhebung der Freigabewerte könnte zukünftig ab ca. 2029 bzw. 2032 zu größeren freigegebenen Massen führen, wenn diese durch die Freigabewerte der oben genannten Radionuklide begrenzt sind.



### 3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Eigenforschungsvorhabens 3623S52542 wurden die Auswirkungen von spezifischen, im nationalen Recht verankerten Randbedingungen auf die Stoffströme aus der uneingeschränkten Freigabe untersucht. In einem ersten Arbeitspaket wurden bereits bekannte Hinweise auf Einflüsse aus dem konventionellen Regelbereich auf die mögliche Auswirkungen auf solche Stoffströme untersucht:

- Auswirkungen von nationalem Recht (z. B. Bundesbodenschutz) auf den Umgang mit Bodenaushub im Vergleich zu den Szenarien der SR-44
- Verbrennung nach uneingeschränkter Freigabe nach SR-44 (in Hinblick auf Stäube und Filterwechsel)
- Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe, insbesondere zur Verbrennung in Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe
- Untersuchung der Randbedingungen zur Deponierung anhand der Studie des Bundeslandes Schleswig-Holstein zur Deponieeignung

In Bezug auf den Bodenaushub ergeben sich weder aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) und Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodschV), noch dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG) Restriktionen bei der uneingeschränkten Freigabe als Feststoff. Allerdings ergeben sich aus dem radiologischen Modell, dass den Berechnungen der Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe zugrunde liegt, Annahmen, die einzuhalten sind. Diese wurden vom Gesetzgeber in der Revision der StrlSchV von 2018 bereits berücksichtigt.

Es wurde ein Vergleich zwischen dem Szenario mit der höchsten resultierenden Exposition, Szenario VE4b „Transport der Filterstäube und Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung“ mit dem äquivalenten Szenario M4 aus der Freigabe zur Beseitigung durch Verbrennung (Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 11, StrlSchV) und dem Szenario WF (worker in foundry) der uneingeschränkten Freigabe durchgeführt. Entscheidend für die vorgefundenen Unterschiede in den Parameterannahmen ist, dass im Szenario VE4b angenommen wird, dass ganzjährig radioaktiver Abfall ohne Vermischung mit anderen konventionellen Abfällen verbrannt wird. Im Unterschied dazu geht man in der Freigabe von einem Normalbetrieb der Abfallverbrennungsanlage aus und einer Vermischung des freigegebenen Abfalls mit konventionellem Abfall. Daraus ergeben sich die kürzeren

Expositionszeiten für das Personal und die geringeren Aktivitätskonzentrationen in Filterstäuben und Reaktionsprodukten. Es liegt somit kein Widerspruch zu den Szenarien der Freigabe vor.

Weiterhin wurden die Auswirkungen von nationalem Recht auf Verwendungen uneingeschränkt freigegebener Stoffe als Abfall im Hinblick auf Abwässer und Grenzwerte konventioneller Schadstoffe untersucht. Dabei wurden berechnete Löslichkeiten (= maximale Konzentrationen) ausgewählter Elemente mit den Anforderungen in der AbwV verglichen.

Im Ergebnis dieser Betrachtungen für die Elemente Nickel, Kupfer, Chrom, Zink, Blei, Cadmium und Quecksilber zeigt sich, dass der Sickerwasserpfad auch bei der mengenmäßig uneingeschränkten Freigabe von Material auf Deponien für die meisten der hier untersuchten Elemente durch die Anforderungen aus der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) weiter begrenzt wird.

Die Untersuchung des TÜV Nord zeigt, dass es in Bezug auf die realen Gegebenheiten am Standort von Deponien Abweichungen von den Annahmen, Festlegungen und Randbedingungen, die im radiologischen Modell zur Berechnung der Freigabewerte berücksichtigt werden, geben kann. Auch wenn es sich hier nur um eine Stichprobe von Deponien aus einem Bundesland handelt, zeigen die Deponien doch ein großes Spektrum in Bezug auf die reale Gegebenheit vor Ort auf. Die vorgefundenen Abweichungen bewegen sich im Rahmen der Annahmen und Überlegungen, die bei der Berechnung der Freigabewerte zur Beseitigung in /SSK 06/ gemacht wurden.

Es war im Rahmen eines weiteren Arbeitspaketes zu klären, inwieweit ausgewählte Verordnungen und Gesetze zu Einschränkungen bei der uneingeschränkten Freigabe führen. In diesem Zusammenhang konnten keine Einschränkungen festgestellt werden.

Änderungen der Klärschlammverordnung könnte zukünftig ab ca. 2029 bzw. 2032 zu größeren freigebaren Massen führen, wenn die Freigabewerte von Radionukliden durch das Szenario O2 „Verwertung von Klärschlamm“ begrenzt sind.

## Literaturverzeichnis

- /AbfKlärV 20/ Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung - AbfKlärV) (AbfKlärV) in der Fassung von 2020.
- /AbwV 20/ Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (AbwV) in der Fassung von 17.07.2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), zuletzt geändert 16. Juni 2020 (BGBl. I S. 1287).
- /AbwV 22/ Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (AbwV) in der Fassung von 17.07.2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), zuletzt geändert 20. Januar 2022 (BGBl. I S. 87).
- /BMU 21/ BMUKN: Abfallaufkommen und Anteile der Bau- und Abbruchabfälle, Statistiken. Erreichbar unter , Stand von 2021.
- /BRE 18/ Brenk Systemplanung GmbH (BS), Dr. S. Thierfeldt, Dipl.-Phys. G. Hoppe, Dr. R. Kunz, Dr. O. Nitzsche: Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz, Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht – Konzept zur Umsetzung - Vorhaben 3614R03520; Band 3: Bericht zu AP2. Hrsg.: Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), Mai 2018.
- /BUN 98/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) in der Fassung vom 17. März 1998 (BGBl. I 1998, S. 502).
- /BUN 21/ Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 43, ausgegeben zu Bonn am 16. Juli 2021 Das Bundesgesetzblatt im Internet: [www.bundesgesetzblatt.de](http://www.bundesgesetzblatt.de) | Ein Service des Bundesanzeiger Verlag [www.bundesanzeiger-verlag.de](http://www.bundesanzeiger-verlag.de) , zuletzt geändert 16. Juli 2021 (Bundesgesetzblatt Teil I (BGBl. I) 2021, S. 2716–2752).

- /BUN 24/ Bundesministerium für Verteidigung: Baufachliche Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz, Arbeitshilfen zur Planung und Ausführung der Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen. Dezember 2024.
- /FRA 24/ Jörg Frauenstein: Stationäre Bodenbehandlungsanlagen, 2024 - Steigende Kapazitäten, kleinere Anlagen stellen Betrieb ein! altlasten spektrum, Bd. 4/2024, Nr. 11.11.2024, S. 132–156, 2024.
- /GER 22/ Gering F.: Verbrennung nach Notfallsituationen (keine Freigabe) - Berechnungen des BfS zu Cs-137 im Rahmen der Notfallplanungen. Präsentation, BfS, FAVE-FAS-AK Freigabe: Sitzung des FAVE-FAS-AK, Online, Februar 2022.
- /IAEA 05/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance (SR 44). Safety Reports Series, Bd. 44, 61 S., ISBN 9201131046: Vienna.
- /LAGA 03/ Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen -Technische Regeln- (LAGA 20) zuletzt geändert 6. November 2003.
- /LFU 96/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU): Bodenbehandlungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Erhebung, Stand November/Dezember 1996. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung.
- /MVA 25/ MVA Weisweiler: Aufbau der MVA Weisweiler, Screenshot aus einem Video. Erreichbar unter <https://mva-weisweiler.de/>, abgerufen am 2. Oktober 2025.
- /ÖKO 16/ Küppers, C., Claus, M., Ustohalova, V.: Mögliche radiologische Folgen der Freigabe zur Beseitigung nach § 29 StrlSchV bei der Nachnutzung einer Deponie in der Nachsorgephase und in der Zeit nach der Entlassung aus der Nachsorge, Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. Öko-Institut e.V., 54 S.: Darmstadt, 15. November 2016.

- /SSK 06/ Strahlenschutzkommission (SSK): Freigabe von Stoffen zur Beseitigung, Verabschiedet in der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006, Veröffentlicht im BAnz Nr. 113a vom 22.06.2007, auch erschienen als Heft 54: Freigabe von Stoffen zur Beseitigung (ISBN: 978-3-87344-135-4). Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 1. Dezember 2006.
- /SSV 01/ BMU: Strahlenschutzverordnung Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen, StrlSchV 2001. Stand vom 19. Mai 2021, erreichbar unter [https://www.umwelt-online.de/recht/energie/strahlen/ssv\\_ges.htm](https://www.umwelt-online.de/recht/energie/strahlen/ssv_ges.htm), abgerufen am 12. August 2021.
- /SSV 18/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung vom 29. November 2018 (BGBl. I 2018, Nr. 41, S. 2034, 2036).
- /SSV 20/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung vom 29. November 2018 (BGBl. I 2018, Nr. 41, S. 2034, 2036), zuletzt geändert 27. März 2020 (BGBl. I 2020, S. 748).
- /THI 04/ Thierfeldt, S., Wörlen, S.: Spezifische Fragestellungen für die Fortentwicklung von Datensätzen für die Freigrenzen, Freigabe von Oberflächenkontaminationen. Fortentwicklung des radiologischen Modells für die Berechnung von Freigabewerten für die Freigabe zur Beseitigung, Ergänzungen und Durchsicht: 17. Dezember 2004, Endbericht zu AP2/AP3 des BMU Vorhabens StSch 4279 - BS-Nr. 0107-01. Brenk Systemplanung (BS), 233 S.: Aachen, 31. Juli 2004.
- /TÜV 19/ TÜV Nord EnSys: Qualifizierung Deponien Schleswig-Holstein. Erreichbar unter <https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/Fachinhalte/Strahlenschutz/gutachtenDeponien.pdf>, abgerufen am 16. September 2025.

/VOR 24a/ VOREST AG: Die Verordnungen zum Kreislaufwirtschaftsgesetz. Erreichbar unter <https://www.vorest-ag.com/Umweltmanagement-ISO-14001/Wissen/kreislaufwirtschaftsgesetz-verordnungen>  
#:~:text=Was%20steht%20in%20der%20Abfallverzeichnisverordnung,und%2050%20des%20Kreislaufwirtschaftsgesetzes%20erforderlich., Stand von 2024.

/VOR 24b/ VOREST AG: Die Vorschriften zur Produktverantwortung im KrWG. Erreichbar unter , Stand von 2024.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Übergang freigegebener Stoffe in den konventionellen Stoffkreislauf .....	1
Abb. 2.1	Bedeutung der Verwertung von Bodenmaterial aus /BMU 21/ .....	12
Abb. 2.2	Löslichkeit ausgewählter Elemente (Hydroxide) in Abhängigkeit des pH-Wertes /HEI 23/.....	23
Abb. 2.3	Aufbau der Müllverbrennungsanlage Weisweiler .....	29
Abb. 2.4	Durchschnittliche Zusammensetzung der Reststoffe aus nordrhein- westfälischen Hausmüllverbrennungsanlagen /THI 04/.....	31

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Expositionsszenarien in SR-44 /IAEA 05/ .....	6
Tab. 2.2	Bodenbehandlungsanlagen in Deutschland 2024 /FRA 24/ (in Klammern 1996 /LFU 96/ ).....	14
Tab. 2.3	Zusammenhang Jahreskapazität, Verdünnungsfaktor und freigebare Masse.....	15
Tab. 2.4	Ergebnis des Parametervergleichs der Szenarien VE4b, M4 und WF.....	21
Tab. 2.5	Partitionierung der Elemente in Schlacke, Schrott, Stäube Gips und Abluft in [%] /THI 04/ .....	30

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)