



Bundesamt
für Strahlenschutz

Arbeitshilfe radioaktive Altlasten

**Empfehlung von BMUV, BfS und den zuständigen
Landesbehörden**

BfS-48/23

Impressum

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Referat S II 2

Postfach 12 06 29

53048 Bonn

Redaktion:

Bundesamt für Strahlenschutz

Achatz, Dilling, Fohlmeister

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2023032136857

Februar/2023

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Ziel und Anwendungsbereich	5
3	Rechtliche Rahmenbedingungen	6
3.1	Rechtsstellung radioaktiver Altlasten.....	6
3.2	Erfassung konventioneller Altlasten.....	7
3.3	Entlassene NORM-Rückstände.....	8
3.4	Ableitungen	8
3.5	Einwirkungsstelle	9
4	Grundsätze.....	9
4.1	Allgemeines	9
4.2	Mischaltlasten.....	9
4.2.1	Verhältnis zu bergrechtlichen Vorschriften (§ 150 Absatz 1 StrlSchG)	10
4.2.2	Verhältnis zu bodenschutzrechtlichen Vorschriften (§ 150 Absatz 2 StrlSchG)	10
4.3	Realistische Expositionspfade	11
4.4	Gestuftes Vorgehen.....	12
4.5	Bewertungsmaßstab	12
4.6	Hintergrundwerte	12
4.7	Behördliche Dokumentation.....	13
4.8	Grundwasserleiter.....	13
5	Expositionssituation	14
5.1	Expositionsszenarien und Expositionspfade	14
5.2	Vereinfachtes Verfahren für eine konservative Erstabschätzung.....	16
5.2.1	Direktstrahlung	17
5.2.2	Trinkwasserkonsum	18
5.2.3	Radon	19
5.2.4	Direktingestion	20

6	Grundsätze für die Behandlung radioaktiver Altlasten	21
7	Grundsätze zur Einhaltung von Prüfwerten und zur Ermittlung der Exposition	24
8	Anforderung an Probenahme	25
9	Anforderung an Messungen	25
9.1	Allgemeine Hinweise	25
9.2	Messanforderungen	26
9.3	Messanleitungen.....	29
10	Anforderungen an Sachverständige zur Erfüllung der Maßnahmen gemäß § 139 StrISchG	30
11	Anforderungen bei Sanierungen	31
12	Literatur.....	33
	Anhang 1.....	34
	Allgemeine Vorgehensweise für die Behandlung radioaktiver Altlasten	34
	Anhang 2.....	42
	I Allgemeine Werte der natürlichen Umweltradioaktivität (BglBb).....	42
	II Messanleitungen.....	45
	Anhang 3.....	47
	Anforderung an Sachverständige für radioaktive Altlasten.....	47
	Abkürzungsverzeichnis	48
	Abbildungsverzeichnis.....	50
	Tabellenverzeichnis.....	51

1 Einleitung

Am 5. Dezember 2013 hat der Rat der Europäischen Union die Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung erlassen. Mit Einführung des Strahlenschutzgesetzes vom 27. Juni 2017 und der Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 wurde diese Richtlinie national umgesetzt. Mit der Umsetzung der EURATOM-Richtlinie wurden erstmals Regelungen zu radioaktiven Altlasten in deutschem Recht etabliert.

Zur Vereinfachung des Verwaltungshandelns haben sich Bund und Länder bei Verabschiedung der neuen Strahlenschutzgesetzgebung darauf verständigt, eine Arbeitshilfe zu verfassen, die die praktische Anwendung des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung für das Themenfeld radioaktive Altlasten erleichtert. Die Regelungen für radioaktive Altlasten orientieren sich aus Gründen der Harmonisierung und Vergleichbarkeit wesentlich an der konzeptionellen Herangehensweise der Regelungen für nicht radioaktive Altlasten des Bundesbodenschutzrechts.

Auf Veranlassung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und unter Federführung des Bundesamtes für Strahlenschutz wurde 2019 ein Arbeitskreis radioaktive Altlasten gegründet, der zum Ziel die Erarbeitung einer Arbeitshilfe für radioaktive Altlasten hat. Der Arbeitskreis setzt sich aus Strahlenschutzexperten und -expertinnen des Bundes und der Länder sowie Vertreter und Vertreterinnen aus der bodenschutzrechtlichen Altlastenbearbeitung (nicht radioaktive Altlasten) zusammen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und das Bundesamt für Strahlenschutz empfehlen die Arbeitshilfe radioaktive Altlasten für den praktischen Strahlenschutzvollzug. Der Fachausschuss Strahlenschutz hat in seiner Sitzung am 16. November 2022 die Verwendung dieser Arbeitshilfe für den Vollzug gebilligt.

2 Ziel und Anwendungsbereich

Diese Arbeitshilfe zur Bewertung radioaktiver Altlasten dient als Hilfestellung zur Prüfung und Bewertung eines bestehenden Altlastenverdachts durch Kontamination mit Radionukliden und legt Grundsätze zur Anordnung von Maßnahmen dar. Es werden auch die Grundsätze und Vorgaben für die Sanierungsplanung dargestellt sowie das Verhältnis zu anderen Vorschriften inklusive der dafür zuständigen Behörden. Das Ziel dieser Arbeitshilfe ist die Konkretisierung des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) [1] und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036) [2] im Hinblick auf radioaktive Altlasten, insbesondere für praktische Fragestellungen beim Vollzug dieser gesetzlichen Regelungen. Dabei sollen Hilfestellungen zur Prüfung eines bestehenden Altlastenverdachts und zur Berechnung der resultierenden Dosis aus einem Verdachtsobjekt gegeben werden sowie eine weitgehend einheitliche Herangehensweise beim Vollzug des Strahlenschutzgesetzes und dessen Verordnungen gewährleistet werden. Diese Arbeitshilfe ist nicht heranzuziehen bei Kontaminationen mit ausschließlich anderen, nicht radioaktiven Schadstoffen.

Da es sich in vielen Fällen um Mischkontaminationen aus radioaktiven und nicht radioaktiven Stoffen handelt und eine Abstimmung zum Vorgehen zwischen den dafür jeweils zuständigen Behörden erfolgen muss (§ 150 StrlSchG), ist es zur Nutzung von Synergien sinnvoll, sich an das Vorgehen bei der konventionellen Altlastenbearbeitung anzulehnen und gleichzeitig die Abgrenzung dazu aufzuzeigen. Unabhängig von den Regelungen nach StrlSchG und der StrlSchV sind bei Mischaltlasten die Regelungen des Bodenschutzrechts zu beachten.

In den Anwendungsbereich dieser Arbeitshilfe fallen grundsätzlich alle radioaktiven Altlasten, wie sie im § 136 Absatz 1 StrlSchG definiert werden, also durch abgeschlossene menschliche Betätigung

kontaminierte Grundstücke, Teile von Grundstücken, Gebäude oder Gewässer, wenn von der Kontamination eine Exposition verursacht wird oder werden kann, durch die für Einzelpersonen der Bevölkerung der Referenzwert der effektiven Dosis von einem Millisievert (mSv) im Kalenderjahr überschritten wird und dementsprechend bestehende Verdachtsfälle. Bei der Berechnung der effektiven Dosis sind alle realistischen Expositionspfade (inkl. der Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten) zu berücksichtigen und die jeweiligen Teildosen aufzusummieren. Die Grundsätze bei der Anwendung der Arbeitshilfe werden dargelegt. Fälle, die wegen ihrer spezifischen Bedingungen und Fragestellungen nicht generisch zu entscheiden sind und die Einbeziehung eines Gutachters/Sachverständigen erfordern, können nicht von dieser Arbeitshilfe abgedeckt werden (zum Beispiel Kontamination von Gebäuden, Oberflächen, Superposition mehrerer Altlasten, kleinräumige Spezialfälle, Grubenbaue gemäß § 148 StrlSchG).

Radon tritt in der Natur als Gemisch von verschiedenen Radionukliden auf. In dieser Arbeitshilfe wird der Begriff Radon ausschließlich äquivalent für das Radionuklid Radon-222 verwendet.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1 Rechtsstellung radioaktiver Altlasten

Aus der Systematik des StrlSchG (Teil 4 „Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen“) geht hervor, dass radioaktive Altlasten den bestehenden Expositionssituationen zuzuordnen sind. Analog zu den infolge eines Notfalls kontaminierten Gebieten wurden Altlasten als radioaktiv kontaminierte Gebiete (§ 136 StrlSchG in Teil 4 Kapitel 4, „Radioaktiv kontaminierte Gebiete“ Abschnitt 1 „Radioaktive Altlasten“ StrlSchG) eingeordnet. In diesen Fällen kann nur nachträglich eine Verbesserung der Situation herbeigeführt werden. Eine Aussage zur Entstehung der Altlasten wurde nicht getroffen, so dass deren rechtliche Einordnung unabhängig von der Herkunft und Art der Radionuklide ist. Das bedeutet, ob rechtliche Vorschriften mit Blick auf den Strahlenschutz bei den ehemals ausgeübten Tätigkeiten einzuhalten waren, ist für die Feststellung des Vorliegens einer radioaktiven Altlast unerheblich. Einzig das Bestehen der Voraussetzungen nach § 136 Absatz 1 StrlSchG begründet die Einordnung als radioaktive Altlast. Demnach ist eine zwingende Voraussetzung, dass eine Kontamination durch eine abgeschlossene menschliche Betätigung hervorgerufen wurde, aufgrund derer eine Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung von 1 mSv im Kalenderjahr als Referenzwert für die effektive Dosis überschritten wird oder werden kann. Eine weitergehende Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Radionukliden wird ebenso wenig getroffen wie eine Unterscheidung, ob die menschliche Betätigung (heute) als genehmigungspflichtige Tätigkeit gelten würde. Daraus folgt, dass unabhängig von der Ursache für die Kontamination der Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr in allen Fallkonstellationen zur Entscheidung darüber, ob eine radioaktive Altlast vorliegt, heranzuziehen ist. Kontaminationen sind laut § 5 Absatz 21 StrlSchG Verunreinigungen mit Stoffen, die ein Radionuklid oder mehrere Radionuklide enthalten.

Aus der Festlegung dieses Referenzwertes von 1 mSv im Kalenderjahr ist ebenfalls abzuleiten, dass dieses Schutzniveau im Zuge der Altlastensanierung als geeigneter Bewertungsmaßstab heranzuziehen ist (siehe auch § 139 Absatz 1 Satz 1 Nummer 3 StrlSchG). Eine Optimierung der zu ergreifenden Maßnahmen hat gemäß § 139 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG zu erfolgen. Gemäß § 139 Absatz 3 StrlSchG darf während der Sanierung dieser Wert vorübergehend überschritten werden und bis zu 6 mSv im Kalenderjahr für Einzelpersonen der Bevölkerung betragen.

Gemäß der Begründung zum Strahlenschutzgesetz sind bei der Dosisabschätzung alle relevanten Expositionspfade einzubeziehen, die bei tatsächlicher oder künftig geplanter Nutzung zutreffen. Dabei sind auch mögliche Fernwirkungspfade, die von der Altlast ausgehen, in die Betrachtung einzubeziehen. Dies

umfasst auch die dosimetrische Betrachtung von Radon und Radonfolgeprodukten, die von der Verdachtsfläche freigesetzt werden können. Bei der Bewertung einer Exposition durch die Inhalation von Radon ist die Berücksichtigung des lokalen Hintergrundwerts am Standort sinnvoll. Generell ist Radon sowohl in Innenräumen als auch in der Freiluft zu bewerten.

Neben den Altlastenregelungen nach §§ 136 ff. stehen im StrlSchG Regelungen für Radon in Innenräumen oder an Arbeitsplätzen. Nach den Vorgaben von § 136 ist die Inhalation von Radon dosimetrisch mit Bezug auf den Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr zu bewerten. Rein rechnerisch würde unter Verwendung des derzeit gültigen Dosiskoeffizienten und bei einer Aufenthaltszeit von 7000 h in Innenräumen eine Radon-Aktivitätskonzentration von etwa 60 Bq/m³ zu einer effektiven Dosis von etwa 1 mSv führen. Auf der anderen Seite sehen die §§ 124 beziehungsweise 126 StrlSchG eine Referenzaktivitätskonzentration von 300 Bq/m³ in Innenräumen und an Arbeitsplätzen vor, oberhalb deren gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen sind.

Die Strahlenschutzkommission spricht sich in ihrer Empfehlung zur „Exposition der Bevölkerung durch Radon im Zusammenhang mit radioaktiven Altlasten“ für eine Vereinheitlichung in der Bewertung einer Radon-Exposition aus [3]. Gemäß der Empfehlung der Strahlenschutzkommission sollen zwei Richtwerte für die Radon-Aktivitätskonzentration eingeführt werden, 300 Bq/m³ für Aufenthaltsräume und 80 Bq/m³ in der Freiluft. Unabhängig von dieser Empfehlung behalten die Regelungen des StrlSchG und der StrlSchV weiterhin ihre Gültigkeit.

Die Feststellung zum Vorliegen einer Altlast muss nicht zwingend in einer Sanierungsanordnung der zuständigen Behörde münden. Da Radon bei der Altlastenbewertung dosimetrisch zu bewerten ist, kann eine nennenswerte Kontamination mit Ra-226 maßgeblich für die Ausweisung einer Altlast sein.

Nach der Feststellung zum Vorliegen einer (zum Beispiel durch Radon geprägten) radioaktiven Altlast sollte im Rahmen der Optimierung geprüft werden, ob und gegebenenfalls welche Maßnahmen angemessen und zu ergreifen sind (§ 163 StrlSchV).

In § 160 Absatz 4 StrlSchV wird explizit auf die Anwendung der Berechnungsgrundlagen - Bergbau (BglBb) [4] bei der Nutzung, Stilllegung, Sanierung und Folgenutzung bergbaulicher Anlagen, Einrichtungen und bergbaulich beeinflusster Grundstücke hingewiesen. Ergänzend werden in § 161 StrlSchV nutzungsabhängige Prüfwerte für natürliche Radionuklide zum Ausschluss einer Altlast beziehungsweise zur Feststellung eines hinreichenden Verdachts abseits von Bergbaualtlasten genannt. Dagegen wird beim Vorliegen künstlicher Radionuklide auf die Notwendigkeit einer Einzelfallprüfung verwiesen (§ 161 Absatz 4 Satz 2 StrlSchV).

Als Hilfestellung zur Erhebung von Altstandorten mit strahlenschutzrechtlicher Relevanz kann der Branchenkatalog des Fachverbands für Strahlenschutz dienen [5].

3.2 Erfassung konventioneller Altlasten

In § 2 Absatz 3 bis 6 BBodSchG werden schädliche Bodenveränderungen und Altlasten sowie die jeweiligen Verdachtsflächen definiert. Dies sind Flächen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen herbeizuführen (§ 2 Absatz 3 BBodSchG). Insbesondere auf Altlablagerungen oder Altstandorten (§ 2 Absatz 5 BBodSchG) kann es auch zu radioaktiven Belastungen kommen. Die Erfassung von Altlasten und altlastenverdächtigen Flächen liegt im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer (§ 11 BBodSchG). In den jeweiligen Landesbodenschutzgesetzen finden sich entsprechende Regelungen und weitergehende Ausführungen. In der Regel findet sich auch hier ein gestuftes Vorgehen mit steigender Intensität der Bearbeitungstiefe. Als erste Schritte haben sich die Erfassung relevanter Informationen (zum Beispiel Größe und Lage der Fläche, Nutzung, Umweltwirkungen) und die Aufnahme der erhobenen Daten

in Katastern etabliert. Durch diese Schritte sollen zunächst Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ermittelt werden. Die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) konkretisiert in § 3 Absatz 1 und 2 (ab 2023¹: § 10 Absatz 1 und 2 sowie § 3 Absatz 1) wann Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung vorliegen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn über längere Zeiträume oder mit erheblichen Mengen an Schadstoffen umgegangen wurde und der Umgang mit den Stoffen oder sonstige Einträge nicht unerhebliche Stoffeinträge in den Boden vermuten lassen. Auch liefern erhebliche Freisetzungen geogener Belastungen derartige Hinweise.

Liegen solche Anhaltspunkte vor, dann sollen durch die zuständige Behörde geeignete Maßnahmen zur Ermittlung des Sachverhaltes insbesondere mit dem Ziel ergriffen werden, das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast festzustellen (§ 9 Absatz 1 BBodSchG). In der Regel ist hierzu ein gestuftes Verfahren mit orientierender Untersuchung (§ 3 Absatz 3; ab 2023: § 10 Absatz 3 und § 12 BBodSchV) und Detailuntersuchung (§ 3 Absatz 4; ab 2023: § 10 Absatz 5 und § 13 BBodSchV) notwendig. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind nach den Maßgaben des § 4 (ab 2023: § 15) der BBodSchV zu bewerten, woraus sich gegebenenfalls die Erforderlichkeit weiterer Maßnahmen ergibt.

3.3 Entlassene NORM-Rückstände

Mit Blick auf die Regelungen zu radioaktiven Altlasten können entlassene Rückstände aufgrund des Überschreitens der Prüfwerte (§§ 161 StrlSchV) zunächst einen Anfangsverdacht zum Vorliegen einer radioaktiven Altlast auslösen. Sofern die Fläche keiner anderen Nutzung zugeführt wird und sich keine zum Entlassungsbescheid abweichende Verwertung oder Beseitigung für die entlassenen Rückstände ergeben, kann der Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr für die Entlassung von Rückständen weiterhin als eingehalten angesehen werden und es liegt keine radioaktive Altlast vor.

Ändert sich die Nutzung der Fläche oder werden entlassene Rückstände wieder aufgenommen oder einer anderen Verwertung zugeführt, ist eine Bewertung nach den Regelungen für radioaktive Altlasten durchzuführen. Es empfiehlt sich daher, Vorsorge für eine mögliche Änderung der Randbedingungen (zum Beispiel Nutzung der Fläche) zu treffen und dies festzuhalten, zum Beispiel durch eine geeignete Dokumentation.

Bei der Bewertung von Betriebsflächen, auf denen nach Anlage 1 StrlSchG überwachungsbedürftige NORM-Rückstände aus aktiven Betrieben lagern, handelt es sich nicht um einen Altlastenverdacht, da die Regelungen für Tätigkeiten mit Rückständen einschlägig (§§ 60 ff StrlSchG) sind.

3.4 Ableitungen

Bei Ableitungen handelt es sich um gezielte Emissionen aus einem aktiven Betrieb an definierten Abgabestellen. Gemäß § 1 Absatz 1 StrlSchV wird eine Ableitung definiert als Abgabe flüssiger, an Schwebstoffe gebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe auf hierfür vorgesehenen Wegen (zum Beispiel Schornsteine oder Abwasserkanäle).

Da bei radioaktiven Altlasten die Kontamination auf abgeschlossene menschliche Betätigungen zurückgeht, können keine gezielten Emissionen erfolgen. Somit sind Ableitungen in eine Bewertung des Altlastenverdachts nicht einzubeziehen. Ableitungen können gegebenenfalls während der Sanierung entstehen. Dies ist bei der Sanierungsplanung zu berücksichtigen.

¹ Mit Inkrafttreten der novellierten BBodSchV am 01. August 2023

Zu beachten ist, dass eine radioaktive Altlast durch Ableitungen aus einer schon abgeschlossenen Tätigkeit heraus entstehen kann.

3.5 Einwirkungsstelle

Einwirkungsstellen sind die Orte auf oder in der Umgebung von Altlastenverdachtsflächen, an denen sich Personen aufhalten können und somit mit belasteten Bereichen direkt in Kontakt kommen oder an denen Lebensmittel erzeugt werden können. Bei der Bewertung sind alle Einwirkungspfade zu berücksichtigen. Ausschlaggebend für die abschließende Bewertung ist die ungünstigste Stelle. Dabei ist darauf zu achten, dass realistische Nutzungen und Verhaltensweisen in die Expositionsbewertung einfließen. Die Einwirkungsstelle zur Bewertung eines Altlastenverdachts unterscheidet sich im Bodenschutzrecht gegenüber dem Strahlenschutzrecht. Das Bodenschutzrecht bezieht sich dabei vor allem auf die Bodenfunktionen, deren schädliche Veränderungen zu Gefahren oder erheblichen Beeinträchtigungen insbesondere für den Menschen führen können. Im Strahlenschutzrecht geht man derzeit von der Annahme aus, dass, wenn der Mensch geschützt ist, alle weiteren Umweltkompartimente ausreichend geschützt sind. Daraus ergeben sich unterschiedliche Einwirkungsstellen bei der Bewertung. Beispielsweise gilt im Bodenschutzrecht der Eintritt in den Grundwasserkörper als Ort der Beurteilung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser während im Strahlenschutzrecht eine Bewertung am Ort der Wasserentnahme erfolgt. In der BBodSchV sind für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser Prüfwerte für den Ort der Beurteilung im Sickerwasser festgelegt. Mit der Novellierung 2023 werden zusätzliche Prüfwerte für den Ort der Probenahme eingeführt.

4 Grundsätze

4.1 Allgemeines

Radioaktive Altlastenverdachtsflächen können sehr vielfältig sein. Dies betrifft sowohl die Ausdehnung (wenige Quadratmeter bis zu mehreren Hektar), die betroffenen Umweltmedien (zum Beispiel Grundwasser, Boden), die Lage (zum Beispiel Wohnbebauung, Industrieflächen, „unberührte“ Uferstreifen), in Gebäuden oder außerhalb (zum Beispiel Radon-Problematik, belastetes Baumaterial). Die vorliegende Arbeitshilfe kann aufgrund der Vielfalt der sich daraus ergebenden Expositionsszenarien keine Rechenverfahren für alle Verdachtsfälle abbilden. Daher werden allgemeine Handlungsempfehlungen für die Untersuchung und Bewertung einer radioaktiven Altlast dargelegt. Eine detaillierte Untersuchung und Bewertung einer Altlastenverdachtsfläche kann aber nur einzelfallbezogen erfolgen.

4.2 Mischaltlasten

Radioaktive Altlasten können als separater Sachverhalt, das heißt ohne andere nicht radioaktive Schadstoffe vorliegen, in vielen Fällen ist jedoch von einer Mischkontamination mit anderen Schadstoffen auszugehen. Zu beachten ist, dass sich radioaktive Kontaminationen bezüglich ihrer Eigenschaften und Wirkung von sonstigen Bodenkontaminationen unterscheiden. Die von radioaktiven Stoffen ausgehende ionisierende Strahlung wirkt als äußere Strahlung in Form von Direktstrahlung unmittelbar auf Personen ein. Radionuklide können entlang von Zerfallsketten in jeder Zwischenstufe jeweils in ein anderes Radionuklid mit geringerer Masse zerfallen und weisen gegebenenfalls unterschiedliche chemische Eigenschaften auf. Bei der Bewertung von Bodeningestion und Staubinhalation sind daher diese Gemische zu berücksichtigen. In den radioaktiven Zerfallsreihen entsteht das Edelgas Radon, das eine höhere Mobilität entwickelt.

Für die praktische Anwendung kann es zielführend sein, auf die Vorgehensweise bei der konventionellen Altlastenbearbeitung zurückzugreifen. Dies betrifft beispielsweise die Probenahmestrategie oder die Durchführung einer Sickerwasserprognose (siehe Kapitel 8). Ein wesentlicher Unterschied zwischen

strahlenschutzrechtlicher und konventioneller Altlastenbearbeitung ist die unterschiedliche Risikobewertung für die jeweiligen Kontaminanten.

Bei Mischaltlasten werden in der Regel sowohl bodenschutzrechtliche als auch strahlenschutzrechtliche Vorschriften zu beachten sein. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass auch das Berg-, Wasser- oder Abfallrecht oder auch Vorschriften des Immissionsschutzes von Belang sind. Das Zusammenspiel dieser Rechtsbereiche ist für den Einzelfall zu prüfen und hängt von der jeweiligen Betroffenheit ab.

Bei der Bewertung von Mischaltlasten sind alle zuständigen Behörden zu beteiligen. Daher empfiehlt es sich, dass sich die zuständigen Behörden eng während des gesamten Verfahrens austauschen. Im Falle einer Sanierungsanordnung ist eine einvernehmliche Lösung zwischen den beteiligten Behörden anzustreben.

4.2.1 Verhältnis zu bergrechtlichen Vorschriften (§ 150 Absatz 1 StrlSchG)

Sofern die Hinterlassenschaften den bergrechtlichen Vorschriften unterliegen, wird diesen der Vorrang eingeräumt. Das bedeutet, dass bei einer Hinterlassenschaft, die unter Bergaufsicht steht oder bei der das bergrechtliche Verfahren noch nicht abgeschlossen ist, die materiellen Anforderungen des Bundesbodenschutzrechts und des Strahlenschutzrechtes in das bergrechtliche Zulassungsverfahren (zum Beispiel bergrechtliches Abschlussbetriebsplanverfahren) eingebunden werden. Im Bundesberggesetz und den darauf beruhenden Rechtsverordnungen sind Regelungen aufgeführt, die das Vorgehen bei der Einstellung des Bergbaubetriebs regeln. In solchen Verfahren soll die Bergbehörde die anderen betroffenen Behörden beteiligen (§ 15 Bundesberggesetz).

Ausgenommen von diesem Beteiligungsgebot sind jedoch die Vorschriften zum beruflichen Strahlenschutz, da das Bergrecht hierzu keine eigenen Vorgaben enthält. Ausgenommen sind auch die Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaus nach § 149 StrlSchG.

4.2.2 Verhältnis zu bodenschutzrechtlichen Vorschriften (§ 150 Absatz 2 StrlSchG)

Häufig liegt jedoch der Fall vor, dass das Bergrecht nicht einschlägig ist. Soweit in diesen Fällen neben den radioaktiven Stoffen auch andere Schadstoffe eine Rolle spielen, findet das BBodSchG parallel zu den strahlenschutzrechtlichen Altlastenregelungen Anwendung, da die Ausnahmeregelung im § 3 Absatz 2 BBodSchG dann insoweit einschlägig ist. Die gemäß BBodSchG und strahlenschutzrechtlichen Altlastenregelungen zu treffenden Maßnahmen müssen deshalb zwischen den jeweilig zuständigen Behörden koordiniert und abgestimmt werden. Sofern weitere Rechtsbereiche betroffen sind, sind mit den jeweils zuständigen Behörden entsprechende Abstimmungen erforderlich.

Das BBodSchG sieht für verbindlich erklärte Sanierungsplanungen (§ 13 Absatz 6 BBodSchG) sowie ergänzende Anordnungen (§ 16 Absatz 1 und 2 BBodSchG) vor, dass andere behördliche Entscheidungen, die zur Durchführung der Sanierung erforderlich sind, in die bodenschutzrechtlichen Entscheidungen mit eingeschlossen werden können, soweit sie im Einvernehmen mit der jeweils zuständigen Behörde erlassen und in den Entscheidungen aufgeführt werden. In Betracht kommen dabei immissionsschutzrechtliche Genehmigungen für Bodenbehandlungsanlagen, abfallrechtliche Genehmigungen und wasserrechtliche Erlaubnisse oder Bewilligungen. Ausgenommen sind Zulassungsentscheidungen für Vorhaben, die nach § 1 in Verbindung mit Anlage 5 des UVPG oder Kraft Landesrecht einer UVP unterliegen.

Diese Konzentrationswirkung im BBodSchG bezieht sich jedoch nicht auf die strahlenschutzrechtlichen Altlastenregelungen. Da das Strahlenschutz- und das Bodenschutzrecht parallel zur Anwendung kommen,

müssen sich Strahlenschutz- und Bodenschutzbehörde einig werden. Deshalb ist in § 150 Absatz 2 Satz 3 StrlSchG vorgeschrieben, dass zwischen diesen Behörden Einvernehmen herzustellen ist.

In dem Fall, in dem das Bodenschutzrecht parallel neben dem Strahlenschutzrecht zur Anwendung kommt, werden Entscheidungen, die aus anderen Rechtsgebieten für die Altlast zu treffen sind (Ausnahme: Strahlenschutz), in der Sanierungsplanung oder Anordnung nach dem BBodSchG konzentriert. Soweit bestimmte Entscheidungen nicht nach dem BBodSchG konzentriert werden, kann die Konzentrationswirkung im Strahlenschutzrecht im Einvernehmen mit den beteiligten Behörden erfolgen und in den strahlenschutzrechtlichen Anordnungen die miteingeschlossenen Entscheidungen aufgeführt werden (§ 150 Absatz 2 Satz 1 und 2 StrlSchG).

In der Praxis sollten auf dieser Grundlage die in Abbildung 1 aufgeführten Schritte geprüft werden.

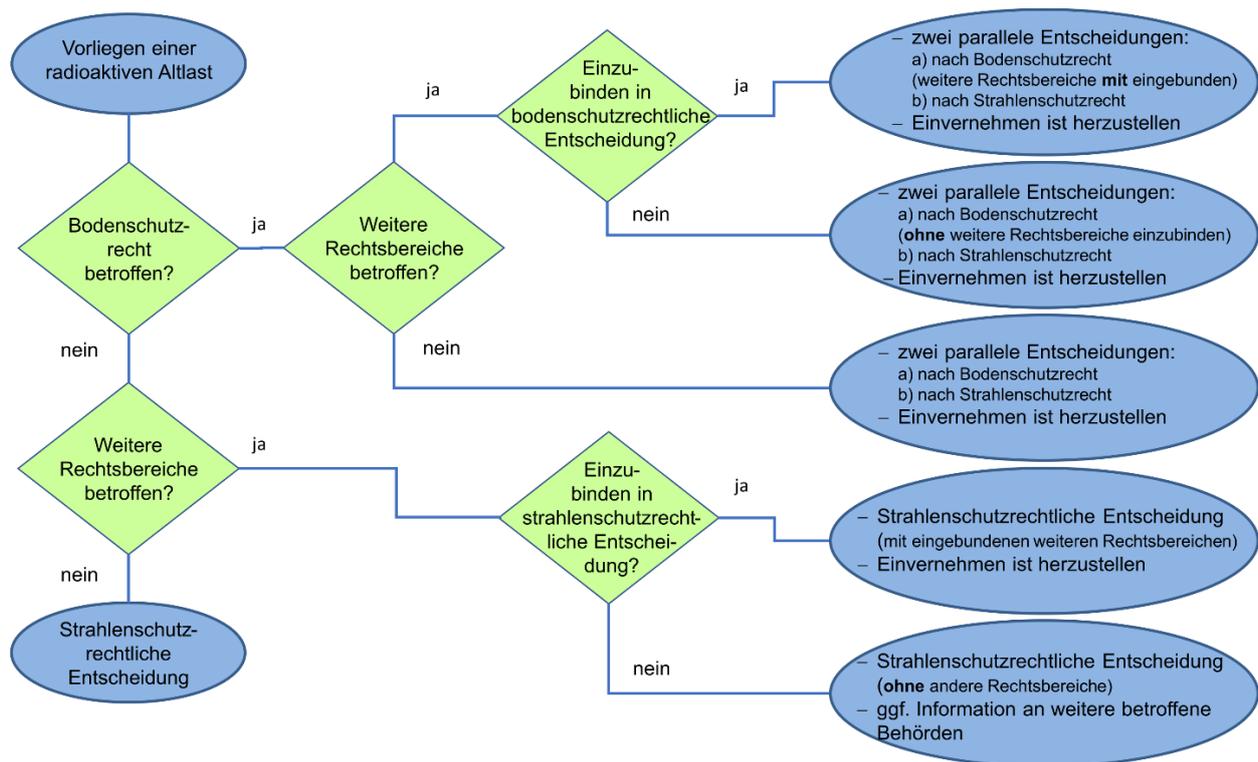


Abbildung 1: Prüfschritte zum Verhältnis der strahlenschutzrechtlichen Altlastenregelungen zu anderen Rechtsvorschriften

4.3 Realistische Expositionspfade

Bei der Bewertung der radioaktiven Altlastenverdachtsfläche ist neben der aktuellen Nutzung auch die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu betrachten. Die Nutzungsannahmen betreffen dabei nicht nur die Fläche selbst, sondern wegen der Fernwirkungspfade auch die nähere Umgebung. Falls keine planungsrechtliche Festlegung vorliegt, sind die Prägung des Gebiets und deren voraussichtliche Entwicklung bei der Altlastenbewertung zu berücksichtigen. Ergeben sich Änderungen in der planungsrechtlich zulässigen Nutzung, ist die Einstufung zum Vorliegen einer radioaktiven Altlast zu überprüfen. Dies muss der zuständigen Strahlenschutzbehörde durch denjenigen mitgeteilt werden, der die Nutzungsänderung herbeiführen möchte. In der Regel ist dies der Verantwortliche für die Fläche (§ 138 StrlSchG). Bei der Bewertung von Mischaltlasten sind auch weitere Kontaminationen zu betrachten, die

gegebenenfalls bestimmte Nutzungen ausschließen. Zu den potentiellen Expositionspfaden zählen (siehe auch Abschnitt „Expositionssituation“) die

- Äußere Exposition durch Gammastrahlung,
- Exposition durch Inhalation von Staub,
- Exposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten,
- Exposition durch Ingestion von Muttermilch, Trinkwasser und lokal erzeugten Lebensmitteln und
- Exposition durch Direktingestion von Bodenmaterial.

Für die Bewertung einer radioaktiven Altlastenverdachtsfläche sind nur die Expositionspfade heranzuziehen, die aufgrund der aktuellen oder planungsrechtlich zulässigen Nutzung als realistisch angesehen werden. Bei Verdachtsflächen im nicht-urbanen Raum, die über einen längeren Zeitraum brach liegen und bei denen sich eine geschlossene Vegetationsschicht gebildet hat, kann davon ausgegangen werden, dass es nicht zu einer Staubentwicklung kommen kann und der Expositionspfad „Inhalation von Staub“ in der Betrachtung vernachlässigt werden kann. Für den Expositionspfad „Ingestion von Lebensmitteln“ wäre in diesen Fällen nur der Transfer vom Boden zur Nutzpflanze/Lebensmittel zu bewerten. Eine Abschätzung der effektiven Dosis kann für diesen Teilpfad dann unter Anwendung der Berechnungsgrundlagen Bergbau erfolgen. Änderungen in der Nutzung könnten jedoch dazu führen, dass die geschlossene Pflanzendecke verschwindet und eine Staubbildung aus Quellen des belasteten Bodens möglich wäre. Die Behörde kann durch entsprechende Anordnungen die Nutzung der Fläche dahingehend einschränken, sodass beispielsweise eine geschlossene Pflanzendecke erhalten bleibt (siehe Anhang 1).

4.4 Gestuftes Vorgehen

Die Untersuchung einer radioaktiven Altlast ist so konzipiert, dass der analytische Aufwand mit der Untersuchungsintensität zunimmt (gestuftes Verfahren). Kann zu einem frühen Zeitpunkt der Untersuchung sicher nachgewiesen werden, dass der Referenzwert unterschritten ist, sind keine weitergehenden Untersuchungen notwendig. Im Rahmen des gestuften Verfahrens kann bei der Bewertung jeweils der lokale natürliche Hintergrundwert (siehe Abschnitt 4.6) in Abzug gebracht werden. Weist ein zur Trinkwasserversorgung genutzter Grundwasserleiter erhöhte Messwerte auf, kann im Rahmen einer hydrogeologischen Modellierung die Aktivitätskonzentration am Ort der Wasserentnahme abgeschätzt werden (Brunnenszenario).

4.5 Bewertungsmaßstab

Die Bewertung einer radioaktiven Altlast erfolgt auf Basis des Referenzwertes für die effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr (§ 136 Absatz 1 StrlSchG). Dabei ist zu beachten, dass ein Referenzwert kein Grenzwert ist. Eine Überschreitung des Referenzwertes muss daher nicht zwingend in einer Sanierung münden. Eine Entscheidung für oder gegen eine Sanierung oder andere Maßnahmen zur Minderung der Strahlenexposition (zum Beispiel Nutzungseinschränkungen) obliegt unter Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes im Rahmen ihrer pflichtgemäßen Ermessensausübung der zuständigen Behörde, gegebenenfalls unter Beteiligung weiterer Behörden (siehe Abbildung 1).

4.6 Hintergrundwerte

In der Begründung zu § 161 StrlSchV wird erläutert, dass es in der unberührten Natur in Ausnahmefällen vorkommen kann, dass der Wert für die spezifische Aktivität von 0,2 Bq/g jeweils für ein Radionuklid aus

der Uran-Radium- oder Thorium-Zerfallsreihe überschritten ist. Wenn eine anthropogene Überprägung ausgeschlossen werden kann, handelt es sich nicht um eine Verdachtsfläche im Sinne der Strahlenschutzverordnung.

Zudem ist es statthaft, bei der Bewertung einer Altlastenverdachtsfläche den ortsüblichen Wert der unbeeinflussten Umweltradioaktivität als Hintergrundwert von dem Messwert abzuziehen. Bei unbekanntem ortsüblichen Untergrundwert können allgemeine Werte für natürliche Hintergrundgehalte dem Anhang 2 entnommen werden. Für die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration kann als Wert für die bodennahe Atmosphäre (Außenluft) ein Wert von 10 Bq/m^3 als Hintergrundwert verwendet werden. In Abhängigkeit zur Küstennähe und der Geologie existieren regional größere Unterschiede. Es empfiehlt sich daher, einen lokalen Wert für die Radonhintergrund-Aktivitätskonzentration an nachweislich unbelasteten Flächen zu ermitteln.

4.7 Behördliche Dokumentation

Sofern ein Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast besteht, hat die für die radioaktive Altlast verantwortliche Person diesen Verdacht der nach dem Strahlenschutzgesetz zuständigen Behörde unverzüglich zu melden (§ 138 Absatz 1 StrlSchG). Werden – gegebenenfalls auf Anordnung der zuständigen Behörde (§ 138 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG) – weitere Untersuchungen oder Messungen an der Verdachtsfläche durchgeführt und bewertet, empfiehlt es sich, die zuständige Strahlenschutzbehörde über die Untersuchungsergebnisse zu informieren, auch wenn der Altlastenverdacht ausgeräumt wurde. Eine Verpflichtung hierzu besteht nach dem StrlSchG jedoch nicht.

Durch die langfristige Dokumentation auch von Flächen mit einem ausgeräumten Altlastenverdacht soll vermieden werden, dass dieselbe Fläche mehrfach untersucht wird.

4.8 Grundwasserleiter

§ 136 Absatz 4 StrlSchG legt fest, dass bei Besorgnis, dass eine radioaktive Altlast einen Grundwasserleiter beeinflusst, abweichend von § 136 Absatz 3 StrlSchG grundsätzlich eine Nutzung des Grundwassers zu unterstellen ist.

Nach Artikel 2 der Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie) [6] ist ein Grundwasserleiter eine unter der Oberfläche liegende Schicht oder Schichten von Felsen oder anderen geologischen Formationen mit hinreichender Porosität und Permeabilität, so dass entweder ein nennenswerter Grundwasserstrom oder die Entnahme erheblicher Grundwassermengen möglich ist.

In Anlage 5 der StrlSchV wird im Zusammenhang mit den Überwachungsgrenzen ein nutzbarer Grundwasserleiter thematisiert. Das begrenzende Expositionsszenario ist dabei die Nutzung des Grundwassers auch zur privaten Trinkwasserversorgung durch einen privaten Hausbrunnen [4]. Hierfür sind u.a. ein hinreichendes Grundwasserdargebot und eine geeignete Grundwasserqualität hinsichtlich seiner chemischen und biologischen Eigenschaften erforderlich. Die verwendete Bezeichnung „nutzbares Grundwasserdargebot“ ist nach DIN 4049 Teil 3 [7] ausschließlich auf Boden- oder Gesteinsschichten mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k > 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ anwendbar.

Unabhängig von einer realen oder planungsrechtlich zulässigen Nutzung oder der Prägung des Gebiets soll grundsätzlich eine Nutzung des Grundwassers unterstellt werden, sodass Kontaminationen des Grundwassers von Vorneherein vermindert oder verhindert werden können. Dies gilt auch wenn zum Zeitpunkt der Bewertung keine Nutzung vorliegt oder anzunehmen ist und daher keine Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zu besorgen ist (vergleiche Begründung zu § 136 Absatz 4 StrlSchG).

5 Expositionssituation

Bei der Bewertung von Altlasten oder bei einem Altlastenverdacht sind gemäß § 160 Absatz 1 StrlSchV realistische Expositionspfade und -annahmen zugrunde zu legen. Diese orientieren sich insbesondere an der gegenwärtigen und der planungsrechtlich zulässigen Nutzung der Grundstücke und ihrer Umgebung (§ 136 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG). Dabei sind Art und Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide und das zu erwartende Maximum der Exposition bei Ausbreitung der Radionuklide in die Umwelt einzuschließen (siehe § 160 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV).

5.1 Expositionsszenarien und Expositionspfade

Gemäß § 160 Absatz 2 StrlSchV sollen sowohl die gegenwärtige Exposition bestimmt als auch die in Zukunft zu erwartende prognostiziert werden. Wenn der Zeitraum nicht abschätzbar ist, soll derjenige Zeitraum angenommen werden, der mit hinreichender Zuverlässigkeit eingeschätzt werden kann, längstens jedoch 1.000 Jahre. Um unangemessene Kosten zu vermeiden, ist hierbei nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu entscheiden. So kann zum Beispiel für den Fall einer bei zukünftiger Nutzungsänderung abzusehenden Überschreitung des Referenzwertes von 1 mSv im Kalenderjahr dennoch von einer Anordnung weiterführender Untersuchungen und / oder Sanierungsmaßnahmen abgesehen werden, wenn bei der gegenwärtigen Nutzung die von der Fläche ausgehende erhöhte Exposition auch mit einfachen Mitteln beseitigt werden kann. Dies setzt jedoch voraus, dass behördlicherseits im Rahmen der Prüfungen nach § 138 Absatz 3 beziehungsweise § 139 Absatz 1 StrlSchG eine Mitteilungspflicht für den Fall einer Nutzungsänderung festgelegt wird, um die dann erforderliche Neubewertung der Fläche absichern zu können. Zudem empfiehlt es sich der zuständigen Behörde einen Eigentümerwechsel anzuzeigen.

Allgemein sind folgende Expositionsszenarien zu berücksichtigen:

- Aufenthalt in Gebäuden (Aufenthaltsräume, Betriebsgebäude),
- Aufenthalt im Freien,
- Verzehr von lokal erzeugten, kontaminierten Lebensmitteln inkl. Trinkwasser.

Als potentielle zu berücksichtigende Expositionspfade sind diejenigen heranzuziehen, die im Kapitel „realistische Expositionspfade“ aufgeführt sind.

Bei der Expositionsabschätzung werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Bei den von der Aufenthaltsdauer abhängigen Pfaden ist von den in den BglBb angegebenen Aufenthaltszeiten auszugehen, sofern diese plausibel sind.
- Der Umrechnungsfaktor von der Umgebungsäquivalentdosis in effektive Dosis ist gemäß BglBb zu wählen.
- Die Dosiskoeffizienten für Ingestion und Inhalation der maßgeblichen natürlichen Radionuklide können den BglBb entnommen werden. Bei künstlichen Radionukliden sind die Dosiskoeffizienten gemäß Bundesanzeiger Nummer 160 a und b vom 28. August 2001 zugrunde zu legen (Einzelpersonen der Bevölkerung: Teil I und II, Arbeitskräfte: Teil I und III).
- Die Abschirmwirkung durch das Gebäude gemäß BglBb ist zu berücksichtigen.
- Die Atemraten gemäß StrlSchV Anlage 11, Tabelle 2 (m^3/a) sind zu verwenden.
- Generell ist nach allen sechs Altersklassen zu differenzieren.

- Es gelten die in den BglBb genannten pfadspezifischen Wirkungsbereiche im Abstand von der Quelle, zum Beispiel 20 m bei der Direktstrahlung (falls der Staubpfad von Bedeutung ist bis zu 100 m), Direktinhalation nur direkt auf der Quelle. Diese Beschränkungen erleichtern die Auswahl der tatsächlich realistischen Expositionspfade.
- Beim Ingestionspfad sind die in den BglBb veröffentlichten Transferfaktoren zu verwenden. Es gelten die Verzehrraten gemäß BglBb.

Generell gilt, dass im Interesse einer möglichst einheitlichen Vorgehensweise diese allgemein vorgegebenen Parameter angewendet werden sollten. Liegen jedoch genauere, standortspezifisch ermittelte Daten vor, so sind diese bevorzugt zu verwenden. Dies gilt insbesondere für lokale Hintergrundwerte.

Bei Anwendung der ausgewählten Expositionspfade gemäß Anlage 11 Teil A StrlSchV sind die Annahmen des Teils B dieser Anlage aus Tabelle 1 („Verzehrraten“) - allerdings im Hinblick auf die Vorgabe einer realistischen Betrachtungsweise ohne Berücksichtigung des Faktors aus Spalte 8 – und Tabelle 2 („Atemraten“) zu verwenden (§ 160 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV). Dabei ist die Differenzierung nach allen sechs Altersklassen zu beachten. Wesentlich ist auch die dort angegebene Einschränkung beim Ingestionspfad, wonach bei den meisten Lebensmitteln von einem 50-prozentigen Anteil der gesamten Verzehrrate, der durch die Altlast beeinflusst sein kann, auszugehen ist. Der übrige Anteil ist infolge der überregionalen Erzeugung und Verteilung von Lebensmitteln als nicht kontaminiert anzunehmen. Eine weitere Begrenzung der Verzehraten oder der zu berücksichtigenden Pfade kann sich aus den in den BglBb genannten Kriterien ergeben, wonach hinsichtlich der Staubablagerung Abstandsregelungen von 100 Metern und eine erforderliche Mindestfläche zur Produktion tierischer Produkte von 1 Hektar beziehungsweise zur Beregnung oder Viehtränke kontaminierte Wassermengen von 10 m³/h vorhanden sein müssen. Zu beachten ist zudem, dass die Ausdehnung der Altlast eine entsprechende Größe annehmen muss, damit Lebensmittel überhaupt in der erforderlichen Menge lokal produziert werden können. In § 160 Absatz 4 StrlSchV wird explizit auf die Anwendung der BglBb bei der Nutzung, Stilllegung, Sanierung und Folgenutzung bergbaulicher Anlagen, Einrichtungen und bergbaulich beeinflusster Grundstücke hingewiesen. Ergänzend werden in § 161 StrlSchV die für die Feststellung bergbaulicher und sonstiger Altlasten anzuwendenden Prüfwerte für natürliche Radionuklide in Abhängigkeit von der Nutzung genannt. Dagegen wird beim Vorliegen künstlicher Radionuklide auf die Notwendigkeit einer Einzelfallprüfung verwiesen (§ 161 Absatz 4 Satz 2 StrlSchV).

Kann aufgrund der planungsrechtlichen zulässigen Nutzung oder der Prägung des Gebiets (zum Beispiel Wald) eine Staubentwicklung ausgeschlossen werden, so kann der **Staubpfad** bei der Bewertung ausgenommen werden.

Wenn in Einzelfällen durch Eingriffe (zum Beispiel inoffizielle Crossstrecken) oder durch die Nutzung an sich der Staubpfad von Bedeutung sein sollte, so ist einzuschätzen, ob dies ausschließlich bei der Inhalation von Staub zutrifft oder ein dauerhafter und ausreichender Einfluss auf die in der Umgebung produzierten Lebens- oder Futtermittel besteht, der bei deren Ingestion zu berücksichtigen wäre. Weiterhin ist zu bewerten, wie die Staubfreisetzung über das Jahr verteilt erfolgt.

Für den Grundwasserpfad können keine allgemein gültigen Annahmen zur Ausbreitungsberechnung erfolgen. Wenn aufgrund der standortspezifischen Bedingungen einschließlich der konventionellen Wasserqualität die Möglichkeit zur Nutzung lokaler Brunnen für Trinkwasser- oder Beregnungszwecke oder als Viehtränke besteht, so ist dieses Brunnenszenario fallbezogen zu betrachten. Sofern eine

Grundwassernutzung durch eine behördliche Anordnung zum Beispiel aufgrund anderer anthropogener Belastungen untersagt ist, kann der Grundwasserpfad bei der Dosisabschätzung unberücksichtigt bleiben.

Zur Bewertung der Grundwasserkontamination ist gegebenenfalls eine Transportmodellierung für den Sickerwasserpfad und im Grundwasser erforderlich. Im Bereich der nicht radioaktiven Altlastenbewertung haben sich hierfür je nach Fragestellung unterschiedliche Modelle als geeignet erwiesen. Einige dieser Modelle sind auf die Bewertung von radioaktiven Altlasten übertragbar. Welches Modell im konkreten Fall zur Anwendung kommt, ist im Einzelfall zu prüfen.

Bei einer Grundwasserkontamination in abgelegenen Gebieten („Halde im Wald“) ist seitens der zuständigen Behörde zu prüfen, ob der Grundwasserpfad bei der Bewertung zu berücksichtigen ist. Sofern das Grundwasser nicht genutzt wird, entfällt der Dosisbeitrag über den Grundwasserpfad. Demgegenüber steht der Vorsorgegedanke zur Vermeidung einer Kontamination eines nutzbaren Grundwasserleiters (§ 136 Absatz 4 StrlSchG). In der Praxis ist daher zu prüfen, ob ein nutzbarer Grundwasserleiter vorliegt und wie stark dieser gegebenenfalls kontaminiert sein würde.

Sofern sichergestellt ist, dass die maximale Kontamination über das Sickerwasser bereits das Grundwasser erreicht hat, sollten bevorzugt Messwerte einer geeigneten Grundwassermessstelle im Abstrom der Verdachtsfläche zur Expositionsabschätzung zugrunde gelegt werden. Wie in den BglBb angegeben, sind die Pfade zur Beregnung und Viehtränke im Sinne einer realistischen Betrachtung nur beim Vorhandensein einer für den jeweiligen Zweck ausreichenden kontaminierten Wassermenge pro Zeiteinheit zu berücksichtigen.

Die Direktingestion von Boden kann nur bei Zugänglichkeit zum Gelände (Bevölkerung einschließlich von Kindern) und freiliegendem Material unterstellt werden. Dabei sind für diese Flächen in Abhängigkeit von ihrer Nutzung (Sport- oder Spielplatz, Brache) realistische Aufenthaltszeiten für die einzelnen Personenbeziehungsweise Altersgruppen in Anlehnung an die BglBb zu verwenden.

5.2 Vereinfachtes Verfahren für eine konservative Erstabschätzung

Sofern nur die Expositionspfade Grundwassernutzung, Direktstrahlung, die Inhalation von Radon und die Direktingestion zu bewerten sind, kann die Einhaltung des Referenzwertes von 1 mSv im Kalenderjahr hilfsweise durch Einhaltung bestimmter Vergleichswerte nachgewiesen werden. Für die Bewertung des Grundwasserpfades stehen bei einer Erstbewertung die Werte der Referenzaktivitätskonzentration der TrinkwV zur Verfügung². Es ist dabei zu beachten, dass die Kontaminationsfront gegebenenfalls noch nicht die Grundwasseroberfläche erreicht hat. In diesen Fällen ist die künftige Kontamination im Grundwasser zu bewerten (Sickerwasserprognose). Anhand der Ortsdosisleistung ist eine Bewertung der externen Exposition möglich. Eine Erstbewertung kann für die Expositionspfade Inhalation von Radon, direkte Gammastrahlung und Grundwasserpfade anhand folgender Formel erfolgen:

² Die Richtwerte der Trinkwasserverordnung basieren auf einem Wert für die effektive Dosis von 0,1 mSv im Kalenderjahr. Allerdings bezieht sich dieses Dosiskriterium, wie bei allen anderen Parametern der Trinkwasserverordnung, auf Erwachsene. Das Konzept zur Berücksichtigung verschiedener Altersklassen, wie es im Strahlenschutz üblich ist, ist in der Trinkwasserverordnung nicht hinterlegt. Bei Expositions-betrachtungen hat sich im Strahlenschutz gezeigt, dass in vielen Fällen die Altersgruppe der Säuglinge die kritische Altersgruppe ist. Um den Schutz dieser Altersgruppe in den Trinkwasserregelungen adäquat zu würdigen, hat man sich bei der Erstellung der Trinkwasserverordnung auf den Wert von 0,1 mSv im Kalenderjahr für Erwachsene verständigt. Diesem Ansatz wurde in dieser Arbeitshilfe gefolgt.

$$E_I = \frac{\dot{H}^*(10)_{MW} - \dot{H}^*(10)_{HW}}{\dot{H}^*(10)_{VW}} + \left(\sum_i^n \frac{GW(C_i)_{MW} - GW(C_i)_{HW}}{GW(C_i)_{VW}} \right) + \frac{C(T)_{MW} - C(T)_{HW}}{C(T)_{VW}} + \frac{C(Rn)_{MW} - C(Rn)_{HW}}{C(Rn)_{VW}} + \left(\sum_j^n \frac{Bo(C_j)_{MW} - Bo(C_j)_{HW}}{Bo(C_j)_{VW}} \right)$$

Formel 1

E_I : Expositionsindex [dimensionslos]

MW: jeweiliger Messwert

HW: jeweiliger Hintergrundwert

VW: jeweiliger Vergleichswert

$GW(C_i)$: Aktivitätskonzentration des Radionuklids i gemäß TrinkwV [Bq/l]

$\dot{H}^*(10)$: Umgebungsäquivalentdosis [nSv/h]

$C(Rn)$: Radon-222 Aktivitätskonzentration in Luft [Bq/m³]

$C(T)$: Tritium-Aktivitätskonzentration im Grundwasser [Bq/l]

$Bo(C_j)$: höchste spezifische Aktivität für ein Nuklid der U-238 beziehungsweise Th-232 Zerfallskette [Bq/g]

Ist E_I kleiner als 1, ist der Referenzwert für die effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr nicht überschritten. Multipliziert mit 100 entspricht dieser Wert dem Ausschöpfungsgrad in Prozent im Verhältnis zum Referenzwert für die effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr. Sind weitere Expositionspfade zu berücksichtigen (zum Beispiel Inhalation von Staub) ist deren Dosisbeitrag entsprechend zu berücksichtigen.

Der Vergleichswert beschreibt, bei welchem Messwert die Überschreitung des Richtwerts von 1 mSv im Kalenderjahr ausschließlich über den jeweiligen Expositionspfad bei gegebenem Szenario zu erwarten ist. Grundsätzlich sind dabei die Unsicherheiten von Messwerten bei der Beurteilung des Sachverhalts angemessen zu berücksichtigen. Weitere Informationen zu Genauigkeit von Messwerten sind in den aufgeführten Messanleitungen (siehe Kapitel 9.3) hinterlegt.

5.2.1 Direktstrahlung

Die Vergleichswerte für die Umgebungsäquivalentdosis können aus den Rechenvorschriften der BglBb ermittelt werden. Für das konservative Szenario „Aufenthalt einer Person < 1a“ ergeben sich mit dem Faktor 0,8 zur Umrechnung von Umgebungsäquivalentdosis in effektive Dosis und mit dem Abschirmfaktor für Gebäude von 0,3 (Leichtbauweise) die in Tabelle 1 dargestellten Vergleichswerte. Die Berechnung erfolgt gemäß der folgenden Formel:

$$VW = \frac{1}{t \cdot a \cdot f} \quad \text{Formel 2}$$

t : Aufenthaltszeit [h]

a : Abschirmfaktor [-]

f : Umrechnungsfaktor von Umgebungsäquivalentdosis in effektive Dosis [-]

Tabelle 1: Vergleichswerte für den Expositionspfad Direktstrahlung, Aufenthaltszeiten und Abschirmfaktoren sind den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4] entnommen.

Aufenthalt	t [h]	Abschirmfaktor [-]	Vergleichswert [nSv/h]
im Haus mit externer Quelle	7000	0,3	600
im Haus mit interner Quelle	7000	1	180
im Freien auf unkultivierter Fläche	1000	1	1250
im Freien gesamt	1760	1	710

5.2.2 Trinkwasserkonsum

Die in der Tabelle 2 aufgeführten Radionuklide entsprechen allen in der Trinkwasserverordnung aufgeführten Radionukliden (ausgenommen Radon). Diese Liste entspricht den am häufigsten natürlich und künstlich vorkommenden Radionukliden. Der angegebene Vergleichswert ergibt für das jeweilige Radionuklid bei einem jährlichen Trinkwasserkonsum von 730 Litern eine Dosis von 0,1 mSv für den Erwachsenen. Abweichend von den üblichen Regelungen im Strahlenschutz ist das Schutzniveau der Trinkwasserverordnung auf Erwachsene ausgelegt. Der Schutz anderer Altersklassen wird mit der Absenkung der Richtdosis auf 0,1 mSv im Kalenderjahr erreicht.

Bei der Anwendung von Formel 1 sind die Messwerte in Bq/l wie in Tabelle 2 anzugeben.

Tabelle 2: Vergleichswerte für die Bewertung einer Grundwasserkontamination (Daten aus TrinkwV 2016) [8].

Vergleichswerte für radioaktive Stoffe im Grundwasser	
Radionuklid	Vergleichswert [Bq/l]
Radionuklide natürlichen Ursprungs	
U-238	3,0
U-234	2,8
Ra-226	0,5
Ra-228	0,2
Pb-210	0,2
Po-210	0,1
Radionuklide künstlichen Ursprungs	
C-14	240
Sr-90	4,9
Pu-239/Pu-240	0,6
Am-241	0,7
Co-60	40
Cs-134	7,2
Cs-137	11
I-131	6,2

Der Vergleichswert für die Tritium-Aktivitätskonzentration beträgt 100 Bq/l und wurde der Trinkwasserverordnung entnommen.

5.2.3 Radon

Bei der Bewertung von Radon ist zu beachten, dass gemäß § 136 Absatz 1 StrlSchG die Exposition durch die Inhalation von Radon in den Bewertungsmaßstab von 1 mSv im Kalenderjahr mit einzubeziehen ist (siehe Kapitel 3.1). Die Vergleichswerte für die Radon-Aktivitätskonzentration können aus den Rechenvorschriften der BgI/Bb ermittelt werden. Die in der Tabelle 3 aufgeführten Vergleichswerte geben abhängig vom betrachteten Szenario an, bei welcher Radon-Aktivitätskonzentration der Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr überschritten ist. Die Berechnung erfolgt gemäß der Formel mit einem Gleichgewichtsfaktor von 0,4.

$$VW = \frac{1}{t \cdot F \cdot g_{EEC}}$$

Formel 3

t: Aufenthaltszeit [h]

F: Gleichgewichtsfaktor [-]

g_{EEC} : Dosiskonversionskoeffizient [$Sv \cdot m^3 / (Bq \cdot h)$]

Tabelle 3: Vergleichswerte für den Expositionspfad Inhalation von Radon, Aufenthaltszeiten und Dosiskonversionsfaktoren sind den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4] entnommen.

Aufenthalt	t [h]	g_{EEC} [$mSv \cdot m^3 / (Bq \cdot h)$]	Vergleichswert [Bq/m^3]
im Haus	7000	6,1 E-06	60
im Freien auf unkultivierter Fläche	1000	6,1 E-06	410
Arbeiten im Freien	1760	7,8 E-06	180

5.2.4 Direktingestion

Bei der Bewertung der Direktingestion bleibt gemäß den Vorgaben der Berechnungsgrundlagen Bergbau die Altersgruppe der Säuglinge (jünger als ein Jahr) ausgeklammert³. Ferner werden nur Vergleichswerte für die Direktingestion natürlicher Radionuklide der Zerfallskette von U-238 beziehungsweise Th-232 angegeben. Unter der konservativen Annahme, dass die Radionuklide der Zerfallsreihen im Gleichgewicht sind, kann unter Verwendung des höchsten Wertes der spezifischen Aktivität eines Radionuklids innerhalb der Zerfallsreihe ein Vergleichswert angegeben werden.

Es werden die Szenarien Aufenthalt auf einer unkultivierten Fläche und Aufenthalt im Garten, in einer Parkanlage beziehungsweise auf dem Spielplatz betrachtet. Die Werte zu Bodenaufnahmerate, Expositionszeiten, Anreicherungsfaktor und Ingestionsdosiskoeffizient sind den Berechnungsgrundlagen Bergbau entnommen. Die Berechnung des Vergleichswertes erfolgt gemäß der Formel:

$$VW = \frac{1}{U_{Bo} * t * C_{Bo} * AF * g_{ing}}$$

Formel 4

U_{Bo} : Bodenaufnahmerate [g/h]

t: Aufenthaltszeit [h]

C_{Bo} : Spezifische Aktivität des Bodens [Bq/g]

AF: Anreicherungsfaktor [-], der Wert zur Umrechnung des Feinkornanteils beträgt 2

g_{ing} : Ingestionsdosiskoeffizient [mSv/Bq]

Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass die Altersgruppe der ein- bis zweijährigen Kinder die kritische Altersgruppe darstellt. Die Bodenaufnahmerate beträgt für diese Altersklasse 0,05 g/h. Die weiteren Parameter sind in Tabelle 4 aufgeführt.

³ Da die Altersgruppe der Säuglinge beim Expositionspfad Direktingestion ausgenommen ist, tritt die Altersgruppe der ein- bis zweijährigen Kinder an die Stelle der kritischen Altersgruppe. Hierdurch kommt es aufgrund der Berücksichtigung unterschiedlicher Altersgruppen zu einer leichten Verzerrung bei der Anwendung des Expositionsindex. Diese Verzerrung wird aber im Rahmen eines vereinfachten Bewertungsverfahrens als tolerabel eingestuft.

Tabelle 4: Vergleichswerte für den Expositionspfad Direktiongestion. Aufenthaltszeiten und Ingestionsdosiskoeffizient sind für die kritische Altersgruppe der ein- bis zweijährigen Kinder dargestellt und stammen aus den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4].

Aufenthalt	t [h]	g_{ing} [mSv/Bq]	Vergleichswert [Bq/g]
<i>Uran-238 Zerfallskette</i>			
auf unkultivierter Fläche	100	7,20E-03	14
Garten, Spielplatz, Parkanlagen	1000	7,20E-03	1,4
<i>Thorium-232 Zerfallskette</i>			
auf unkultivierter Fläche	100	6,52E-03	15
Garten, Spielplatz, Parkanlagen	1000	6,52E-03	1,5

6 Grundsätze für die Behandlung radioaktiver Altlasten

Verantwortlich für eine radioaktive Altlast ist nach § 137 StrlSchG derjenige, der die Kontamination verursacht hat, der einer Person in Gesamtrechtsnachfolge folgt, Eigentümer der radioaktiven Altlast ist, die tatsächliche Gewalt über diese ausübt oder das Eigentum an der radioaktiven Altlast aufgibt. Verantwortlich ist auch, wer aus handelsrechtlichem oder gesellschaftsrechtlichem Rechtsgrund für eine juristische Person einzustehen hat, der eine radioaktive Altlast gehört. Ebenso ist auch der frühere Eigentümer verantwortlich, wenn er die Kontamination kannte oder kennen musste und wenn das Eigentum nach dem 31. Dezember 2019 übertragen wurde. Die Auswahl der heranzuziehenden Pflichtigen erfolgt nach Ermessensabwägung der zuständigen Behörde. Die Störerauswahl wird nach dem Grundsatz der effektiven Gefahrenabwehr getroffen.

Besteht ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast, so kann die zuständige Behörde den Verantwortlichen verpflichten, die erforderlichen Untersuchungen durchzuführen, insbesondere zu Art, Höhe und Ausdehnung der Kontamination und Exposition (§ 138 StrlSchG). Ein hinreichender Verdacht liegt in der Regel vor, wenn behördliche Untersuchungen eine Überschreitung der Prüfwerte ergeben haben oder erwarten lassen oder wenn es aufgrund sonstiger Erkenntnisse überwiegend wahrscheinlich ist, dass eine Altlast vorliegt. Die Prüfwerte sind in der Rechtsverordnung nach § 136 Absatz 2 StrlSchG festgelegt. Der Prüfwert für die spezifische Aktivität beträgt 0,2 Bq/g Trockenmasse (siehe § 161 Absatz 1 StrlSchV) für anthropogen überprägte Radionuklide der Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232. Insbesondere wenn bei einer Altlast ausschließlich natürlich vorkommende Radionuklide auftreten, kann die Behörde bei Unterschreitung des Prüfwertes davon ausgehen, dass kein Altlastenverdacht vorliegt (§ 161 Absatz 4 StrlSchV).

Bei der Heranziehung des Prüfwertes von 0,2 Bq/g zur Feststellung eines hinreichenden Altlastenverdachtess sollte die zuständige Behörde weitere Informationen oder Begebenheiten des individuellen Standortes mit in die Bewertung einfließen lassen, um gegebenenfalls die Unterschreitung des 1 mSv Kriteriums nachzuweisen und somit den Altlastenverdacht auszuräumen. Sollte sich der Altlastenverdacht aufgrund der Untersuchungen gemäß § 138 StrlSchG nicht bestätigen, sind dem zur Untersuchung Herangezogenen die Kosten zu erstatten (§ 146 StrlSchG).

Bei Mischaltlasten sind die unterschiedlichen Prüfwertkonzepte aus dem Strahlenschutzrecht und dem Bodenschutzrecht und deren Anwendung bei der Beurteilung eines Altlastenverdachts zu beachten.

Teil 4 Kapitel 4 Abschnitt 1 des StrlSchG enthält umfassend eigenständige strahlenschutzrechtliche Regelungen zur Bewältigung radioaktiver Altlasten. Das Verhältnis des Strahlenschutzgesetzes zu anderen Vorschriften, insbesondere zum Bundes-Bodenschutzgesetz ist in § 150 Absatz 2 StrlSchG geregelt (siehe Kapitel 4.2 Mischaltlasten). Die Regelungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes finden gemäß § 3 Absatz 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) keine Anwendung auf sonstige radioaktive Stoffe, soweit Rechtsvorschriften den Schutz vor der Wirkung ionisierender Strahlen regeln. Dennoch orientiert sich der Verfahrensablauf für radioaktive Altlasten (Abbildung 2) aus Gründen der Harmonisierung, der Vergleichbarkeit der zu regelnden Sachverhalte und potenzieller Überschneidungen bei Zuständigkeiten ganz wesentlich an den grundsätzlichen konzeptionellen Herangehensweisen des Bundes-Bodenschutzgesetzes, das Regelungen für Altlasten infolge konventioneller Schadstoffkontaminationen (toxische Stoffe und ähnliches) trifft. Die wesentlichen Grundsätze, die mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz übereinstimmen, sind die Handlungskette „Altlastenverdacht – Altlastenuntersuchung – Altlastenbewertung – (gegebenenfalls) Maßnahmen zur Einschränkung der Exposition - (gegebenenfalls) Sanierung – (gegebenenfalls) Erfolgskontrolle“ sowie die herangezogenen Bewertungs- und Entscheidungsgrundlagen. Bei der Entscheidungsfindung und Sanierungsplanung (siehe Anhang 1) sind die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Gebiets beziehungsweise die Prägung des Gebiets und dem sich daraus ergebenden Schutzbedürfnis Rechnung zu tragen sowie qualitative Maßstäbe für die Auswahl der zu treffenden Maßnahmen wie zum Beispiel Stand der Technik zu berücksichtigen.

Die einzelnen Verfahrensschritte, deren Zusammenspiel und die Einbeziehung der Bodenschutzbehörde sind im Regelablauf der Bearbeitung radioaktiver Altlasten (Abbildung 2) dargestellt. Dieser Regelablauf wird in Anhang 1 detailliert beschrieben.

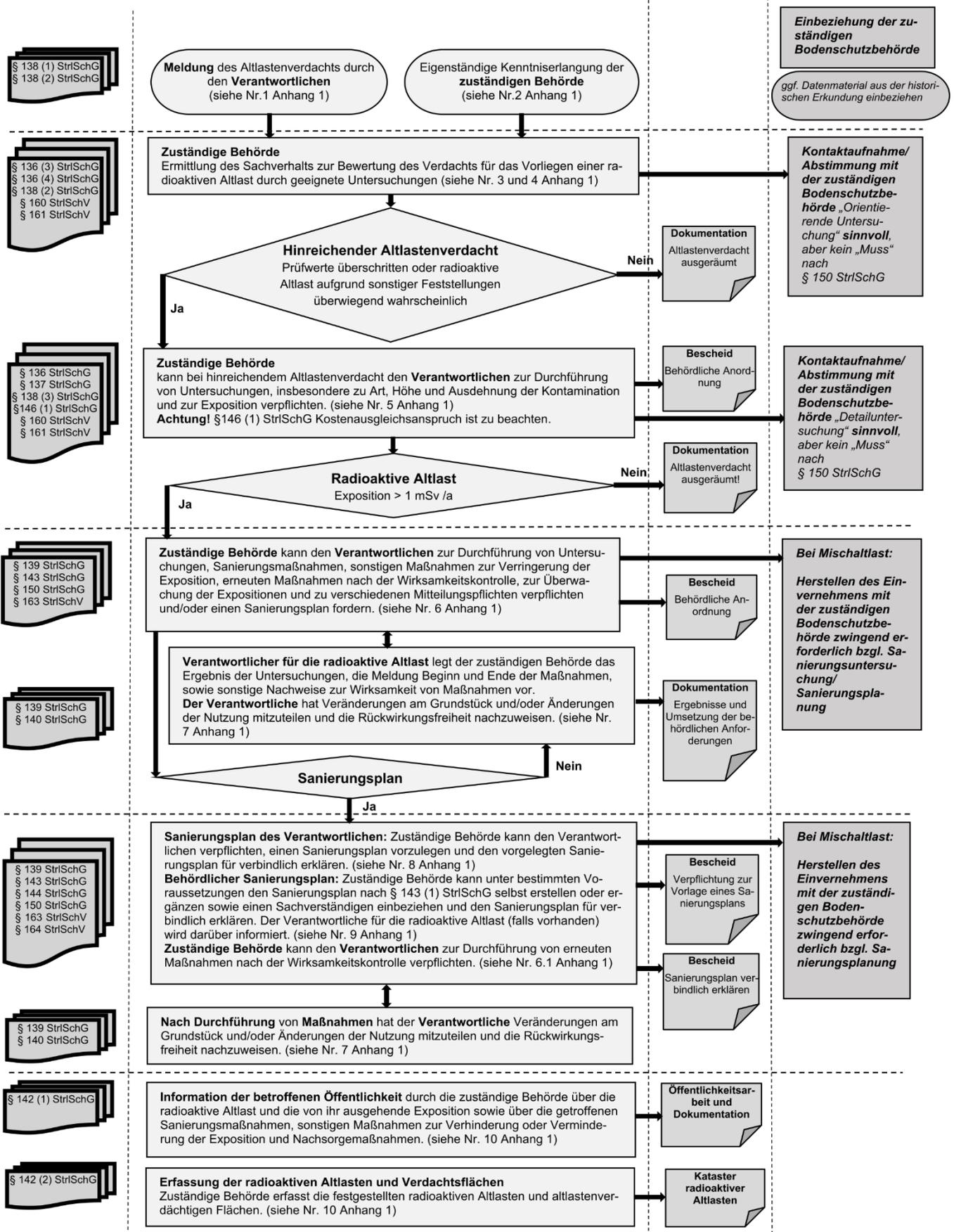


Abbildung 2: Regelablauf der Bearbeitung radioaktiver Altlasten

7 Grundsätze zur Einhaltung von Prüfwerten und zur Ermittlung der Exposition

Radionuklide liegen in strahlenschutzrechtlich relevanten Aktivitätskonzentrationen meist nicht in chemisch messbaren Konzentrationen vor, sondern können nur mittels radiometrischer Messmethoden wie zum Beispiel Gamma- oder Alphaspektrometrie ermittelt werden. Bei Ra-226 entspricht zum Beispiel die spezifische Aktivität von 1 Bq/g Ra-226 einem Massenanteil von nur 0,027 µg/kg [1]. Ausnahmen sind die beiden natürlich vorkommenden Radionuklide U-238 und Th-232, die im ppm-Bereich (mg/kg) vorkommen können und auch mittels chemischer Analysen detektiert werden können.

Ein Standardverfahren zur Prüfung radioaktiver Bodenkontamination in den oberen Bodenhorizonten ist eine Messung der Umgebungs-Äquivalenzdosisleistung (Ortsdosisleistung ODL). Derartige Messungen sind geeignet, um oberflächennahe Kontaminationen mit gammastrahlenden Radionukliden anzuzeigen. Sie sind nicht geeignet, Kontaminationen durch reine Beta- oder Alphastrahler zu erkennen. Bei einem Verdacht von Bodenkontaminationen, wie zum Beispiel Pb-210 als dominantes Radionuklid, sind Probenahmen und Laboruntersuchungen erforderlich. Sofern es sich bei der Verdachtsfläche um eine Radium-dominierte Altlast handelt, können Radon-Messungen in der Bodenluft als Screening-Methode eingesetzt werden.

Kontaminationen, die von mehr als 30 cm Boden überdeckt sind, können nur dann mit Messungen der ODL erkannt werden, wenn die spezifische Aktivität der gammastrahlenden Radionuklide hoch ist. Obwohl derartige Kontaminationen für den Pfad Boden-Mensch in der Regel nicht unmittelbar wirksam sind, können sie über den Grundwasserpfad zu erhöhten Expositionen führen. Uran ist als mobiler Schadstoff im Wasser besonders zu beachten. Bei entsprechendem Verdacht sind Bestimmungen der Urankonzentration im Grundwasser zum Beispiel mit ICP-MS dringend zu empfehlen. Soweit es sich um Standorte handelt, an denen mit künstlichen Radionukliden umgegangen wurde, sollten auch Tritium (H-3) und gegebenenfalls Radiokohlenstoff (C-14) in Hinblick auf Grundwasserkontamination geprüft werden.

Soweit im Rahmen von Standortuntersuchungen Bodenproben entnommen werden, können diese Proben durch Messungen mit Handmessgeräten auf erhöhte Radioaktivität geprüft und bei entsprechenden Befunden im Labor detailliert analysiert werden. Im Regelfall ist die Gammaskpektrometrie das geeignete Verfahren zur Erstuntersuchung radioaktiver Bodenkontaminationen. Bei allen Verdachtsflächen mit der Stoffspezifikation „Radium“ sind Messungen von Radon in der Bodenluft und, soweit Gebäude vorhanden sind, auch in Gebäuden, insbesondere Kellerräumen zu empfehlen.

Der Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr orientiert sich an der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition. Er bezieht sich zwar zunächst auf Expositionen, die durch die Kontamination der Umwelt mit natürlichen Radionukliden verursacht wird. Ursprünglich wurde dieser Referenzwert für die Bewertung von Hinterlassenschaften des Uran- und Altbergbaus eingeführt, kann aber, da sachlich kein Unterschied zwischen den radiologischen Auswirkungen des Altbergbaus und denen des Uranerzbergbaus besteht, auch zur Bewertung von radioaktiven Altlasten herangezogen werden. Gleiches gilt für die Kriterien, die bei der Entscheidung über Anordnungen zur Nutzung oder über Verwahrungen beachtet werden sollten. Messbare Größen, wie spezifische Aktivität im Boden oder ODL, orientieren sich am primären Referenzwert und an dem oberen Bereich der aus den Erhebungen zur geogenen Umweltradioaktivität bekannten Werte.

Werden diese Kriterien eingehalten und die zusätzlich genannten Bedingungen beachtet, kann gewährleistet werden, dass der primäre Referenzwert für die effektive Dosis unter realistischen Umständen eingehalten wird. Daher können diese Kriterien und Bedingungen auch für eine radiologische Bewertung und für die Klassifizierung aller Objekte verwendet werden.

8 Anforderung an Probenahme

Allgemein muss davon ausgegangen werden, dass Schadstoffe im Boden nicht gleichmäßig verteilt vorliegen. Da nicht davon auszugehen ist, dass radioaktive Schadstoffe grundsätzlich andere Verteilungsmuster aufweisen als nicht radioaktive Schadstoffe, sind die Anforderungen und Hinweise an qualifizierte Probenahmen und Probenaufbereitungen für die „konventionelle“ Altlastenbearbeitung auf die Bearbeitung radioaktiver Altlasten durchaus übertragbar.

Allgemeine Ziele der Probenahme sind die Klärung des Gefahrenverdachtes und der räumlichen Abgrenzung der Belastungen. Hierzu hat sich eine gestufte Herangehensweise als praktikabel erwiesen. Die Anforderungen an die Probenahme sollten daher abhängig von der Fragestellung und dem jeweiligen Bearbeitungsstand formuliert werden. Während beispielweise für eine Erfassung der Schadstoffverteilung und Abgrenzung einzelner Schadstoffherde eine Probenahme über ein regelmäßiges Raster sinnvoll sein kann, kann zur Ermittlung von spezifischen Belastungen die Beprobung von Belastungsschwerpunkten angebracht sein.

Abhängig von den spezifischen Rahmenbedingungen (v.a. Flächengröße, Flurabstand, Schadstoffinventar, Detaillierungsgrad) können Probenahmekampagnen mit einem erheblichen finanziellen und organisatorischen Aufwand verbunden sein. Daher sollten in jedem Fall Erkenntnisse aus Vorerkundungen (zum Beispiel historische Recherchen, Dokumentenauswertungen, Experteninterviews) in die Planung und Konzeption der Probenahme einbezogen werden. Hierüber lassen sich Kosten und Aufwand in der Regel signifikant reduzieren und gegebenenfalls notwendige Nachuntersuchungen verhindern.

Anhang 1 der BBodSchV definiert für die „konventionelle“ Altlastenbearbeitung wirkungspfad- und nutzungsspezifische Vorgaben, die als Anhaltspunkte bei der radioaktiven Altlastenbearbeitung herangezogen werden können.

Darüber hinaus bieten Arbeitshilfen und Leitfäden einzelner Bundesländer weitere spezifische Anhaltspunkte. In der Regel sind diese Dokumente frei auf den jeweiligen Internetseiten verfügbar. Die Anwendung dieser Vorgaben ist insbesondere dann empfehlenswert, wenn Mischaltlasten vorliegen, um Interpretationshindernisse und Mehraufwendungen zu vermeiden. Die Plattform ISQAB (Informationssystem zur Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung, www.isqab.de) bietet eine Übersicht über die verschiedenen Arbeitshilfen und Leitfäden.

Zur Entwicklung einer geeigneten Probenahmestrategie kann es hilfreich sein, auf die langjährigen Erfahrungen der konventionellen Altlastenbearbeitung zurückzugreifen. Besonderheiten, wie die Beprobung von Radon, sind dabei zu berücksichtigen. Zudem empfiehlt es sich, den Probenahmeplan zwischen den zuständigen Behörden abzustimmen.

9 Anforderung an Messungen

9.1 Allgemeine Hinweise

Generell gilt, dass die zur Entscheidungsfindung verwendeten Messergebnisse aufgrund anerkannter Verfahren nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erhoben worden sein müssen. Dazu sind entsprechende Qualifikationen für die spezifische Problematik, beginnend von der Probenahme über die Qualitätssicherung bei der Analytik bis zur Datenauswertung nachzuweisen, das heißt es sollte ein akkreditiertes Messlabor beauftragt werden.

9.2 Messanforderungen

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, vor dem Einsatz kostenintensiver technischer Leistungen (Aufschlüsse mit Probenahme und Analytik) anhand von rasterförmig angeordneten Screeningmessungen mit einem geeigneten Messraster (zum Beispiel 10 m mal 10 m) die in einem Meter Höhe zu bestimmende Ortsdosisleistung der Gammastrahlung (vergleiche Tabelle A5) oder die Zählrate mit Kontaminationsmessgeräten zu ermitteln. Mit diesen Untersuchungen sind bei flächenhaften Kontaminationen im Boden, in Bauwerken oder technologischen Einrichtungen die Verteilung oder lokale Vorkommen von Kontaminationen in den Grundzügen zu ermitteln. Der Radionuklidvektor von eventuell festgestellten Kontaminationen (erhöhte Zählraten, ODL-Werte) ist dann mindestens an wenigen Stichproben gammaspektrometrisch festzustellen. Erst nachdem diese Messungen ausgewertet sind, sollten Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen festgelegt werden. Für bereits abgedeckte oder überbaute Altablagerungen führt jedoch die Messung der ODL oder anderer Oberflächenmessungen zu keinen aussagefähigen Ergebnissen.

Bei Verdachtsflächen mit einer Altlast in der sich Uran oder Radium befinden sollen, können auch Radonmessungen in der Bodenluft nach DIN EN ISO 11665-11; VDE 0493-1-6661:2020-01 ein geeignetes und kostengünstiges Mittel sein, um Hinweise dazu zu erhalten, ob sich eine erhöhte Aktivitätskonzentration von Uran oder Radium im Boden befindet, da Radon sich in der Bodenluft in der Regel weiträumig verteilt [9].

Bei Untersuchung von Kontaminationen, die ausschließlich durch Alphastrahler wie Uran zum Beispiel in Kontaminationsfahnen mit Urankonzentrat aus Uranaufbereitungsanlagen oder mobilisiertem Uran bestimmt werden, ist zu berücksichtigen, dass diese durch ODL-Messungen nicht nachweisbar sind. Für die Erkundung von Verdachtsflächen mit derartigen Kontaminationen sind die Aufschlüsse, insbesondere auf Grundlage der historischen Erkundung und flächenhafter Stichproben, zu konzipieren. Problematisch ist die Erkundung zufällig verteilter verdeckter oder überdeckter Kontaminationen. Hierzu gehören überbaute oder tiefliegende Ablagerungen von Tailings, Erzen, kontaminiertem Bauschutt und Verfüllungen sowie Kontaminationen in Bauwerken, die durch Überputzen oder neue Fußböden abgeschirmt sind. Hier liefern Screeningmessungen meist keine befriedigenden Ergebnisse, sodass diese Kontaminationen bei der Erkundung oft nicht oder nur mit einem sehr hohen Aufwand festgestellt werden können und zumeist erst bei baulichen Eingriffen zu Tage treten. Die Feststellung der Art der Kontamination erfordert in jedem Fall analytische Untersuchungen, wobei die gammaspektrometrische Analyse der Proben aufgrund der Komplexität des zu erhaltenden Ergebnisses hierfür am besten geeignet ist. Eine Identifikation derartiger Kontaminationen ist nur dann möglich, wenn typische Materialien wie Erze, Urankonzentrat, Tailings, Ionenaustauscher oder typische Bergematerialien, die regional ansonsten nicht vorhanden sind, mit einiger Erfahrung als solche erkannt werden können. Die bei Baumaßnahmen üblichen oder prinzipiell anwendbaren Messverfahren sind im Wesentlichen Messungen der Ortsdosisleistung beziehungsweise Äquivalentdosisleistung: In-Situ-Gammaspektrometrie als Oberflächenmessungen, Messung der Gammastrahlung direkt in Bohrungen oder von Bohrproben mit der Gamma-sonde durch Gamma-Log-Messungen oder Spektral-Gamma-Log-Messungen, Abschätzung der Volumenaktivität durch „Schnellmessungen“ mit ODL- und Kontaminationsmessgeräten oder die komplette Gammaspektrometrie nach der Entnahme von Proben. Zur Bewertung von Eignung und Repräsentativität der genannten Messverfahren zur Bestimmung der spezifischen Aktivitäten wurden die wesentlichen Aspekte in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Eignung der Messmethoden für langlebige Radionuklide der Uran-Zerfallsreihe und Thorium-Zerfallsreihe zur Bewertung der Einhaltung der Überwachungsgrenzen [10]

Methode/Eigenschaft	Messung der Gamma-ODL	Schnellbestimmungen durch kombinierte ODL- und γ , β -Kontaminationsmessungen	Gamma-Log (GRL)	Spektral-Gamma-Log (SGRL)	In-Situ-Gammaspektrometrie	komplette Gamma-spektrometrie	konventionelle Bestimmung mit ICP-MS
Methodenart	Feld (in-situ)	Feld (Kalibrierung Labor)	Feld (in-situ im Bohrloch oder an den Bohrproben)	Feld (in-situ im Bohrloch oder an den Bohrproben)	Feld (in-situ)	Labor	Labor
erreichbare relative Messunsicherheit	10 - 30 %	Ca. 20 % bei Messzeiten von mindestens 60 s bei $a \geq 1,0$ Bq/g 120 s bei $a \leq 0,5$ Bq/g	keine Angabe	keine Angabe	15 - 25 % in Abhängigkeit von der Güte des Modells der Tiefenverteilung und Bodendichte	10 - 20 %	Messbereich 0,1 - 0,2 Bq/g: 20 - 30 % Messbereich 0,5 - 1,0 Bq/g: 10 - 20 %
Beeinflussung der Messergebnisse durch radioaktive Gleichgewichte	groß (nur Gamma-Strahler gemessen)	gering bei Anwendung der zutreffenden Anschlusskalibrierung (Ermittlung Leitnuklid durch Gammaspektrometrie)	groß, keine nuklid-spezifischen Aussagen	groß nur Bestimmung K-40, Ra-226 und Th-232	gering, simultane Bestimmung fast aller relevanten Radionuklide möglich	gering, Bestimmung der Alpha-Strahler durch Folgenuklide	nein (nur Bestimmung U_{nat} , Th_{nat})
Beeinflussung der Messergebnisse durch räumliche oder zeitliche Heterogenitäten im Untersuchungsgebiet oder Rückstandsstrom	gering	geringer Aufwand pro Probe, erlaubt hohe Probendichte, deshalb relativ geringe Beeinflussung	groß	groß	horizontal gering (Erfassung von Flächen mit bis zu 30 m Radius/Messung), vertikal entsprechend Modell der Tiefenverteilung	groß (bedingt durch Probenahme, Probenmenge)	groß (bedingt durch Probenahme, Probenmenge)
Aufwand für die Messung (Messausrüstung, Zeit, Kosten)	gering	gering (Messung), einmaliger Aufwand zur Herstellung der Kalibrierproben und Bestimmung der Kalibrierfaktoren	gering	gering	hoch (Messausrüstung)	hoch	relativ aufwändige Probenvorbereitung, kurze Messzeiten, Multi-Element-, Multi-Isotop-bestimmung (Labor-Standardmethode)
Eignung zur Ermittlung der spezifischen Aktivität	bedingt	gut	weniger	bedingt	bedingt	sehr gut	bedingt

Aufgrund der Möglichkeit, fast alle relevanten Radionuklide simultan zu erfassen und der erreichbaren Messgenauigkeiten ist die Gammaskpektrometrie als das am besten geeignete Verfahren hervorzuheben. Im Messbereich von 0,01 Bq/g bis 10 Bq/g werden bei „normalem“ Messaufwand nach dem Stand der Technik Standard-Messunsicherheiten von 10 bis 20 % erzielt.

Nur für die Bestimmung der spezifischen Aktivitäten der Radionuklide Po-210 oder Th-232 sind andere Messverfahren erforderlich, sofern die radioaktiven Gleichgewichte erheblich gestört sind (zum Beispiel Th-Gasglühstrumpfproduktion, Aschen). Die radioaktiven Gleichgewichte sind zum Beispiel dann gestört, wenn die Radionuklide nicht mehr im ursprünglichen (primären) Erz- beziehungsweise Gesteinsverband vorliegen. Dies ist bei natürlichen Materialien zum Beispiel bei Klufflächenbeschichtungen, also (sekundären) Mineralausfällungen an Gesteinsoberflächen der Fall. Dort ist zum Beispiel häufig Radium angereichert, das verstärkt Radon freisetzen kann. Bei Tailings wurde das radioaktive Gleichgewicht durch die anthropogene Entnahme von 90 % des Urans gestört.

Insbesondere für größere Flächen oder für Volumina mit relativ einheitlichen, bekannten Nuklidvektoren sind kombinierte Beta-Gamma-Kontaminationsmessungen mit Anschlusskalibrierung zur repräsentativen Ermittlung der spezifischen Aktivitäten gut geeignet. Diese Messungen sind sowohl im Labor als auch im Feld mit geringem Aufwand und dementsprechend hoher Anzahl durchzuführen. Voraussetzung für belastbare Ergebnisse sind allerdings die entsprechenden Vorarbeiten zur Ermittlung der Kalibrierfaktoren für die verschiedenen Arten der radioaktiven Stoffe, ihrer Leitnuklide und die eingesetzten ODL- und Beta-Gammastrahlungsmessgeräte.

Für jeden radioaktiven Stoff sind die Bestimmung der Leitnuklide durch gammaskpektrometrische Untersuchungen zur Auswahl der richtigen Kalibrierung und die Überprüfung der Konstanz des Nuklidvektors im Verlauf einer größeren Zahl von Messungen zur Charakterisierung von größeren Flächen und Volumina erforderlich. Die In-situ-Gammaskpektrometrie ist vorwiegend für Voruntersuchung beziehungsweise Messungen oberflächennaher Kontaminationen geeignet. Die Mittelung der Aktivitätskonzentration über relativ große, definierte Flächen gewährleistet kurze Messzeiten und eine bessere Repräsentativität der Messungen in der Fläche als probenbasierte Messmethoden. Die Methode kann aber die Tiefenverteilung der Aktivität nur bis zu wenigen Zentimetern Tiefe erfassen. Die richtige Wahl des Typs der Tiefenverteilung der Kontamination ist von entscheidender Bedeutung für Richtigkeit und Repräsentativität der Messergebnisse. Abweichungen und Inhomogenitäten der Tiefenverteilung der Aktivität vom angenommenen Modell können zu Unterschieden der gemessenen Aktivitäten von einer Größenordnung führen. In Voruntersuchungen und durch die Nutzung von Aufschlüssen zu geotechnischen Erkundungen und Altlastenerkundungen oder bei der Errichtung von Grundwassermessstellen können Gamma-Log- oder Spektral-Gamma-Log-Messungen Hinweise auf Bereiche mit Kontaminationen im radioaktiven Gleichgewicht (Bergematerial, Erze) oder Hinweise auf überwiegend durch Gammastrahler dominierte Kontaminationen (Tailings), insbesondere die Tiefenlage, liefern und so helfen, Bereiche für weitere Untersuchungen abzugrenzen. Aufgrund der maximal erreichbaren Tiefenauflösung von 0,3 - 0,5 m und der vielfältigen Einflussgrößen durch die Bohrung ist das Verfahren für die Ermittlung von belastbaren spezifischen Aktivitäten bei der Entscheidung über die Entlassung von Rückständen aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung nicht geeignet. Nuklidspezifische Aussagen sind durch Gamma-Log-Messungen nicht möglich. Durch Spektral-Gamma-Log-Messungen kann nur zwischen Aktivitäten der Uran-Zerfallsreihe und der Thorium-Zerfallsreihe unterschieden werden. Radioaktive Ungleichgewichtszustände, zum Beispiel Kontaminationen durch Urankonzentrate, werden nicht erfasst. Aus ODL - Messungen allein sind keine belastbaren spezifischen Aktivitäten zu erhalten. Das Verfahren ist geeignet, oberflächennahe kontaminierte Bereiche für weitere Untersuchungen und Probenahmen einzugrenzen oder bei Freigabemessungen den Zustand von sanierten Flächen zu dokumentieren. In Kombination mit Gamma-Beta-Messungen mit Kontaminationsmessgeräten (Schnellbestimmungen durch kombinierte ODL- und Gamma-Betakontaminationsmessungen) können repräsentative spezifische Aktivitäten erhalten werden. Von den konventionellen in Laboren routinemäßig durchgeführten

spektrometrischen Verfahren zur Bestimmung der Elemente Uran, Radium, Thorium und Blei sind im Wesentlichen die Röntgenfluoreszenzanalyse und die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) geeignet. In Bezug auf die Methode (Unterscheidung von Isotopen) und Analysengenauigkeit ist die ICP-MS prinzipiell besser geeignet für die Bestimmung der Konzentrationen/spezifischen Aktivitäten der genannten Elemente. Weil es aber bei der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung im Wesentlichen um die Untersuchung von Feststoffen geht, wirken sich Aufwand und Fehlerquellen durch die erforderliche Probenaufbereitung (Vollaufschlüsse) negativ auf Kosten, Zuverlässigkeit und Analysengenauigkeit aus. Deshalb werden konventionelle Uranbestimmungen im Feststoff überwiegend mit der Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt und so die Aktivitätskonzentration aller Uran-Isotope ermittelt.

Bei allen genannten probenbasierten Messverfahren sind die Auswahl von Anzahl und Erkundungsdichte der Probenorte, die Probenentnahme und Vorbehandlung von mindestens ebenso großer Bedeutung für die Repräsentativität der Messergebnisse wie das Messverfahren selbst. Die erforderliche Probenzahl und Erkundungsdichte wird im Wesentlichen von der Menge des zu beurteilenden Materials, dem Abstand seiner spezifischen Aktivität zu den Prüfwerten und dem Ausmaß seiner räumlichen Heterogenität bestimmt.

Zur Bestimmung von Radon in Innenräumen, in der Bodenluft und Außenluft gelten anerkannte Messverfahren, die im Folgenden erläutert werden.

Bei der Messung von Radon in Innenräumen sollte sich in der Vorgehensweise zum Einen an den Anforderungen bei der Messung an Arbeitsplätzen [11] orientiert werden und deren sinngemäße Umsetzung erfolgen, zum Anderen die Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden [12] berücksichtigt werden. Die Bewertung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre eines Gebäudes beruht auf einem schrittweisen Verfahren verschiedener Maßnahmenstufen. In Abhängigkeit vom Gebäudetyp können zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden, um die Radonquellen (Erdboden, Baumaterialien und Wasser) und seine Eintrittspfade und Ausbreitungswege im Gebäude zu identifizieren. Im Rahmen der Ermittlung von Radonquellen und Eintrittspfaden kann es sich als notwendig erweisen, zusätzlich Bodenluftmessungen nach ISO 11665 – 11: 2019 [9] durchzuführen, zum Beispiel wenn erhöhte Messwerte im Gebäude vorliegen beziehungsweise ein Altlastenverdacht besteht.

Die Außenluft stellt manchmal eine signifikante Radonquelle dar. Zur Messung der Radon-Aktivitätskonzentration im Freien wird empfohlen sich in der Vorgehensweise an der DIN ISO 11665 - 5 zu orientieren. Es soll ein Messgerät verwendet werden, dass sich für mehrere Stunden (mindestens 4 Stunden) im kontinuierlichen Betrieb befinden kann. Außerdem soll das Gerät witterungsgeschützt und in 1,5 m Höhe aufgestellt sein. Das Messverfahren ist anwendbar auf Luftproben mit Radon-Aktivitätskonzentrationen größer als 5 Bq/m³ [13].

9.3 Messanleitungen

Derzeit gibt es zahlreiche Messanleitungen zu den Kategorien Fortluft, Abwasser, Boden, Luft, Futtermittel, Lebensmittel pflanzlicher Herkunft, Bodenoberfläche, Oberflächenwasser, Sediment, Sickerwasser, Trink- und Grundwasser sowie Baustoffe und Normstoffe, die beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erhältlich sind [5]. Eine Übersicht dieser Messanleitungen, die relevant für den Bereich Altlasten sein können, findet sich in Anhang II, Tabelle A5.

10 Anforderungen an Sachverständige zur Erfüllung der Maßnahmen gemäß § 139 StrlSchG

Im Strahlenschutzgesetz werden im § 139 Absatz 1 umfangreiche Maßnahmen aufgeführt, zu denen die Behörde den für die Altlast Verantwortlichen verpflichten kann. Im Absatz 2 wird gefordert, dass diese Maßnahmen „auf wissenschaftlich begründeten, technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die in der praktischen Anwendung erprobt und bewährt sind oder die ihre praktische Eignung als gesichert erscheinen lassen.“ Dies erfordert fachliche, technische und rechtliche Kenntnisse, für die der Verantwortliche sich Unterstützung von auf die Thematik spezialisierten Fachleuten einholen sollte. Dabei sollte auf Personen mit einschlägigen Erfahrungen im Altlastenbereich zurückgegriffen werden.

Dies können Sachverständige für Altlasten sein, die bereits über eine Ausbildung für den konventionellen Bereich verfügen und die Voraussetzungen analog § 18 Satz 1 BBodSchG erfüllen. Sachverständige, die Aufgaben nach dem BBodSchG im Bereich konventioneller Altlasten wahrnehmen, müssen u.a. die für diese Aufgaben erforderliche Sachkunde und Zuverlässigkeit besitzen sowie über die erforderliche gerätetechnische Ausstattung verfügen.

Für den konventionellen Bereich wurde von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) am 16. August 2012 ein „Fachmodul Boden und Altlasten – Notifikation und Kompetenznachweis von Untersuchungsstellen im bodenschutzrechtlich geregelten Umweltbereich“⁴ verabschiedet, welches allgemein geltende Anforderungen aufführt und u.a. Verfahrensfragen zur Notifizierung von Sachverständigen regelt. Hierin wird modellhaft der Verfahrensverlauf dargelegt, während die eigentliche Verfahrensregelung gemäß § 18 Satz 2 BBodSchG in der Verantwortung der Länder liegt. In acht der 16 Bundesländer wurden – oft schon auf Grundlage der früheren Fassung des o.a. Fachmoduls aus dem Jahr 2000 - solche Verfahrensregelungen getroffen. Sie können im Detail konkrete Regelungen enthalten, basieren jedoch im Wesentlichen alle auf dem Fachmodul. Zur Zulassung beziehungsweise Anerkennung/Bekanntgabe und Prüfung der Sachverständigen sind die Anforderungen an Sachverständige nach § 18 BBodSchG einzuhalten. Weitergehende Informationen hierzu sind in ISQAB verfügbar. Ein guter Überblick ist auf der Seite „Recherchesystem Messstellen und Sachverständige“ (www.resymesa.de) für die einzelnen Bereiche vorhanden. Aus dem Fachmodul sind für den Strahlenschutz die folgenden Untersuchungsbereiche relevant: 1 – Feststoffe (anorganische Parameter), 4 – Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser und 5 - Bodenluft und Deponiegas. Sachverständige werden nach den unterschiedlichen Sachgebieten differenziert benannt.

Als wesentliche Voraussetzungen für die Anerkennung als Sachverständiger sind in der Regel zunächst fachliche Qualifikationen genannt, wie ein Studium in einer passenden Fachrichtung, mindestens fünf Jahre praktische Tätigkeit, ein weit gefächertes Spektrum natur- und ingenieurtechnischer Kenntnisse und Erfahrungen, interdisziplinäres Arbeiten sowie erfolgreiche Fortbildungen (stets aktuelle Sachkunde), allgemeine fachliche Kenntnisse (Arbeitsschutz, Datenanalyse und -verarbeitung, Statistik) und Kenntnisse in diversen fachlichen Regelwerken und über Aufbau und Zuständigkeiten der öffentlichen Verwaltung,

⁴ <https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Altlasten.html>

außerdem eine Qualifikation nach anerkannten technischen Richtlinien, insbesondere bei der Probenahme und Auswertung.

Weiterhin muss die für das Sachgebiet erforderliche gerätetechnische Ausstattung und eine entsprechende Qualitätssicherung nachgewiesen werden, die seitens der Behörden mithilfe eines Fachgremiums überprüft wurde. Unabdingbar sind ebenso persönliche Voraussetzungen wie Zuverlässigkeit, Neutralität, Unabhängigkeit vom Auftraggeber, Kenntnis der deutschen Sprache zur Abfassung von für Dritte verständlichen Berichten und das Vorliegen einer Haftpflichtversicherung für mögliche Schäden.

Insgesamt werden also sehr hohe Anforderungen an derartige Sachverständige im konventionellen Altlastenbereich gestellt. Es ist daher sinnvoll, darauf aufzubauen und diese Kenntnisse mit den Forderungen hinsichtlich des Strahlenschutzes anzupassen. Dies ist auch wegen der häufig vorkommenden Mischaltlasten mit Kontaminationen aus dem chemisch-toxischen und dem radioaktiven Bereich zweckmäßig, bei dem ohnehin eine Abstimmung zwischen den zuständigen Behörden erforderlich ist. Es wird daher eine Ausbildung für den Bereich der Radioaktivität im Umweltbereich, insbesondere der natürlichen Radioaktivität angeraten. Dies muss den physikalischen und messtechnischen Hintergrund beinhalten, ebenso wie die gesetzlichen Regelungen zu Altlasten und NORM.

Eine Ausbildung zum Erwerb der erforderlichen „Fachkunde-Anforderungen NORM und Altlasten“ (GMBl. 2019 S. 1321) [14] wird für die Bewertung von Arbeitsplätzen bei der Sanierung von radioaktiven Altlasten angeboten. Dieser Nachweis wird als Zusatzqualifikation dringend empfohlen. Eine Fachkunde zur Sanierungsplanung oder die Bewertung der Strahlenexposition für Personen der Bevölkerung existiert derzeit nicht. Sachverständige sollten jedoch über Kenntnisse verfügen, die in Anhang 3 aufgeführt sind.

11 Anforderungen bei Sanierungen

Aufgrund der großen Bandbreite möglicher Altlastensituationen kann diese Arbeitshilfe keine detaillierten Sanierungsmethoden oder -strategien aufzeigen. Es werden nur allgemeine Grundsätze zur Sanierung dargestellt.

Nach § 141 StrlSchG sind die Regelungen zu NORM-Rückständen (Teil 2 Abschnitt 8 Unterabschnitt 2 StrlSchG) entsprechend anwendbar, wenn derartige Rückstände oder sonstige Materialien von der Altlast oder altlastverdächtigen Fläche entfernt werden, es sei denn, die Rückstände oder Materialien werden bei der Sanierung anderer Altlasten verwendet.

Das vorrangige Ziel der Sanierung von radioaktiven Altlasten ist die dauerhafte, dem Grundsatz der Optimierung genügende, Unterschreitung des Referenzwertes nach § 136 Absatz 1 StrlSchG beziehungsweise die Exposition dauerhaft so gering wie möglich zu halten, wenn die dauerhafte Unterschreitung des Referenzwertes nicht möglich ist. Hierfür kommen verschiedene Handlungsoptionen und Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen in Frage. Die Wahl der Maßnahmen ist insbesondere abhängig von den betroffenen Expositionspfaden, der gegenwärtigen und zukünftigen Nutzung, den geowissenschaftlichen Standortgegebenheiten und den Schadstoffeigenschaften. Grundsätzlich kommen für eine Sanierung Dekontaminationsmaßnahmen, bei denen die Radionuklide beseitigt oder vermindert werden, aber auch Sicherungsmaßnahmen, die eine Ausbreitung der Radionuklide oder der von ihnen ausgehenden ionisierenden Strahlung langfristig verhindern oder vermindern, in Betracht. In Abstimmung mit der zuständigen Strahlenschutzbehörde kann statt einer Sanierung eine Festlegung von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (insbesondere Nutzungsbeschränkungen) erfolgen.

Die durchzuführenden Maßnahmen sollen nach § 139 Absatz 2 StrlSchG auf wissenschaftlich begründeten, technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die in der praktischen Anwendung erprobt und bewährt sind oder die ihre praktische Eignung als gesichert erscheinen lassen. Die möglichen Sanierungsoptionen sind in der Sanierungsplanung gegeneinander abzuwägen. Sie beinhaltet eine vergleichende Prüfung von möglichen Gefahrenabwehrmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen. Hierbei ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz zu beachten. Es empfiehlt sich hierfür geeignete Fachfirmen oder Sachverständige zur Unterstützung heranzuziehen. Die Festlegung, welche Sanierungsoption zum Tragen kommt, sollte zwischen dem Sanierungsverantwortlichen und der zuständigen Strahlenschutzbehörde abgestimmt werden. Die technischen und administrativen Maßnahmen sind grundsätzlich auf die jeweiligen Standortgegebenheiten, Schadstoffeigenschaften, Grundstücksnutzungen, betroffenen Schutzgüter und Wirkungspfade abzustimmen. Sie müssen geeignet, erforderlich und angemessen sein.

Bei der abschließenden Festlegung der Sanierungsvariante ist einerseits darauf zu achten, dass die Exposition für Personen der Bevölkerung nach erfolgter Sanierung den Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr unterschreitet. Zudem ist während der Sanierungsmaßnahmen Sorge zu tragen, dass die Exposition für Personen der Bevölkerung möglichst den Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr nicht überschreitet (siehe § 139 StrlSchG).

Während der Sanierungstätigkeit ist die Einhaltung der rechtlichen Vorgaben zum Arbeitsschutz der bei der Sanierung tätigen Arbeitskräfte zu gewährleisten. Bei Mischkontaminationen müssen die Belange aller Rechtsbereiche Berücksichtigung finden. Aus Sicht des Strahlenschutzes erfolgt die Einstufung der Arbeitskräfte aufgrund der vorherigen Dosisabschätzung gemäß § 145 StrlSchG entweder als beruflich exponierte Person oder als allgemeine Person der Bevölkerung.

Bei der Dosisabschätzung sind die im Kapitel „Realistische Expositionspfade“ aufgeführten Pfade ebenso zu beachten. Zu beachten sind allerdings die abweichenden Aufenthaltszeiten und anderen Dosiskoeffizienten.

12 Literatur

1. Deutscher Bundestag, Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), in Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42. 2017. p. 1966-2067.
2. Deutscher Bundestag, Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV-) als Artikel 1. Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz vom 20.07.2001. 2002. p. 1714-1846.
3. Strahlenschutzkommission, Exposition der Bevölkerung durch Radon im Zusammenhang mit radioaktiven Altlasten, https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2022/2022-03-28_Emp_Exposition_Radon.html?nn=2332186. 2022.
4. Bundesamt für Strahlenschutz, Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau). 2010.
5. Gellermann, R. and K. Flesch, Branchenkatolog zur Bewertung der radiologischen Altlastenrelevanz von gewerblichen und industriellen Standorten. 2014.
6. Europäisches Parlament und Rat, RICHTLINIE 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rats vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, E.P.u. Rat, Editor. 2000.
7. Deutsches Institut für Normung, DIN 4049-3: Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie 1994. p. 80.
8. Deutscher Bundestag, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV). 2016.
9. Deutsches Institut für Normung, Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222, Teil 11: Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft. 2019.
10. Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, Radioaktive Stoffe bei Baumaßnahmen, in Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 2013.
11. Feige, S., F. Friedrich-Kees, and U. Oeh, Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen : Leitfaden zu den §§ 126 - 132 des Strahlenschutzgesetzes. 2020, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).
12. Deutsches Institut für Normung, DIN ISO 11665-8, VDE 0493-1-6658:2020-08 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden. 2019.
13. Deutsches Institut für Normung, ISO 11665-5:2020-01 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt - Luft: Radon-222 - Teil 5: Kontinuierliche Messverfahren für die Aktivitätskonzentration. 2020.
14. Bundesministerium des Inneren, Anforderungen an den Erwerb und die Aktualisierung der Fachkunde für Tätigkeiten an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen und für die Sanierung von radioaktiven Altlasten (Fachkunde-Anforderungen NORM und Altlasten) 2019.

Anhang 1

Allgemeine Vorgehensweise für die Behandlung radioaktiver Altlasten

Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise für die Behandlung radioaktiver Altlasten ist eine allgemeine Darstellung, von der in den einzelnen Bundesländern abgewichen werden kann. Der zugehörige Ablaufplan ist als Abbildung 2 des Kapitels 6 der Arbeitshilfe radioaktiver Altlasten dargestellt. Die hier im folgenden verwendete Nummerierung entspricht derjenigen in Abbildung 2.

1. Meldung des Verdachts auf radioaktive Altlasten durch die verantwortliche Person

Liegen einer in § 137 StrlSchG als verantwortlich genannten Person Anhaltspunkte beziehungsweise Hinweise für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast (Altlastenverdacht) vor, so hat sie dies der zuständigen Behörde unverzüglich zu melden (siehe § 138 Absatz 1 StrlSchG).

2. Eigenständige Kenntniserlangung des Altlastenverdachts durch die zuständige Behörde

Die zuständige Behörde kann im Rahmen ihrer Aufgabenwahrnehmung im Bereich des Strahlenschutzes auch eigenständig Kenntnis über einen Altlastenverdacht erlangen.

Eine aktive eigenständige Kenntniserlangung schreibt weder das Strahlenschutzgesetz noch die Strahlenschutzverordnung vor. Es gibt zurzeit auch keine untergesetzliche Regelung dafür.

Bei der Erfassung von Flächen mit einem Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast sind zunächst noch keine Probenahmen und analytischen Untersuchungen erforderlich. Die zuständigen Behörden nach Strahlenschutzgesetz haben die Möglichkeit die Informationen aus dem konventionellen Altlastenkataster und aus vorhandenen Akten im Hinblick auf Anhaltspunkte für ein Vorliegen von radioaktiven Altlasten auszuwerten. Für potentiell radiologische Altlasten kann zur Orientierung der „Branchenkatalog zur radiologischen Altlastenrelevanz von gewerblichen und industriellen Standorten“ des Fachverbandes für Strahlenschutz hinzugezogen werden [5]. Zusätzlich könnten Recherchen zur Nutzung des Altstandortes und Besonderheiten während seines Betriebs, eine Auswertung von Akten und Kartenmaterial, Befragung von Zeitzeugen und eine Standortbegehung notwendig werden.

3. Ermittlung des Sachverhalts bei Anhaltspunkten für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast

Liegen der zuständigen Behörde Anhaltspunkte für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast vor (siehe Punkte 1 und 2), so soll sie zur Ermittlung des Sachverhalts die geeigneten Maßnahmen treffen (§ 138 Absatz 2 StrlSchG).

Die Ermittlung des Sachverhalts geschieht in der Regel schrittweise beginnend mit einer Überprüfung der dem Altlastenverdacht zu Grunde liegenden Hinweise und Informationen bis hin zu einer detaillierten Untersuchung und Bewertung der vorliegenden Kontaminations- und Expositionssituation wie nachfolgend unter Nummer 4 beschrieben.

Das Ziel ist es zu klären, ob ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast und unmittelbarer beziehungsweise langfristiger Handlungsbedarf zum Schutz der Bevölkerung besteht.

Hierbei sind die planungsrechtlich zulässigen Nutzungen der betroffenen Grundstücke beziehungsweise die Prägung des Gebiets heranzuziehen (siehe § 136 Absatz 3 StrlSchG). Außerdem ist zu prüfen, ob Kontaminationen des Grundwassers zu besorgen sind (siehe § 136 Absatz 4 StrlSchG).

4. Bewertung des Verdachts für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast

Ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast liegt gemäß § 138 Absatz 3 Satz 2 des Strahlenschutzgesetzes in der Regel vor, wenn

- Untersuchungen eine Überschreitung der in § 161 StrlSchV festgelegten Prüfwerte ergeben haben oder erwarten lassen oder
- wenn es auf Grund sonstiger Feststellungen überwiegend wahrscheinlich ist, dass eine radioaktive Altlast vorliegt.

Der Verdacht darf in diesen Fällen nicht auf Vermutungen oder allgemeinen Hinweisen basieren, sondern setzt nachprüfbar und belastbare Indizien voraus, die es überwiegend wahrscheinlich erscheinen lassen, dass eine radioaktive Altlast tatsächlich vorliegt und die fraglichen Personen für diese verantwortlich sind.

4.1. Prüfwerte und Vorgaben bei der Bestimmung radioaktiver Altlasten

- Ein hinreichender Verdacht liegt in der Regel vor, wenn eine Überschreitung der festgelegten Prüfwerte vorliegt oder zu erwarten ist. Bei der Bestimmung radioaktiver Altlasten gilt für anthropogen überprägte natürliche Radionuklide der Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 der Prüfwert 0,2 Becquerel je Gramm Trockenmasse (siehe § 161 Absatz 1 StrlSchV). Diese Prüfwerte gewährleisten in der Regel den Nachweis eines erhöhten Vorkommens an natürlichen Radionukliden oberhalb der in der Regel in der Natur auftretenden Vorkommen. Der Begriff „anthropogen überprägt“ stellt klar, dass die Prüfwerte nur dann für natürliche Bodenmaterialien und Gesteine Anwendung finden, wenn diese vom Menschen umgelagert wurden, wie zum Beispiel als Teil des Bergbaus.

Bei der Heranziehung des Prüfwertes von 0,2 Becquerel je Gramm zur Feststellung eines hinreichenden Altlastenverdachts sollte die zuständige Behörde weitere Informationen oder Begebenheiten des individuellen Standortes mit in die Bewertung einfließen lassen, um die Unterschreitung des ein Millisievert - Kriteriums zu prüfen und somit gegebenenfalls den Altlastenverdacht auszuräumen. Insbesondere wenn bei einem Altlastenverdacht ausschließlich natürlich vorkommende Radionuklide auftreten, kann die Behörde bei Unterschreitung des Prüfwertes davon ausgehen, dass keine radioaktive Altlast vorliegt (§ 161 Absatz 4 Satz 1 StrlSchV).

Sollte sich der Altlastenverdacht aufgrund der Untersuchungen gemäß § 138 StrlSchG nicht bestätigen, sind dem zur Untersuchung Herangezogenen die Kosten zu erstatten, wenn sie die den Altlastenverdacht begründenden Umstände nicht zu vertreten haben (§ 146 Absatz 1 Satz 2 StrlSchG).

- Außer für bergbauliche Altlasten und nur wenn die Nutzung oder Kontamination des Grundwassers, eine dauerhafte Nutzung der Altlastenfläche für Wohnzwecke oder andere mit einem dauerhaften Aufenthalt von Menschen verbundene Zwecke und der Verzehr von auf der Altlastenfläche landwirtschaftlich oder gärtnerisch erzeugten Produkten ausgeschlossen werden können, gilt jeweils ein Prüfwert von 1 Becquerel je Gramm Trockenmasse (siehe § 161 Absatz 2 Satz 1 StrlSchV).
- Für bergbauliche Altlasten gilt immer der Prüfwert 0,2 Becquerel je Gramm Trockenmasse (siehe § 161 Absatz 2 Satz 2 StrlSchV).
- Der Bestimmung radioaktiver Altlasten sind repräsentative Werte der größten spezifischen Aktivitäten innerhalb der Zerfallsketten von Uran-238 und Thorium 232 zugrunde zu legen (siehe § 161 Absatz 3 StrlSchV). Expositionen durch Radionuklide der U-235-Zerfallsreihe sind in dem Prüfwert der Uran-238-Zerfallsreihe berücksichtigt und müssen nicht gesondert betrachtet werden.

- Werden die oben genannten Prüfwerte für anthropogen überprägte natürliche Radionuklide der Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 in natürlichen Bodenmaterialien und Gesteinen nicht überschritten, kann die zuständige Behörde davon ausgehen, dass keine radioaktive Altlast vorliegt (siehe § 161 Absatz 4 Satz 1 StrlSchV). Damit ist in der Regel auch die Unterschreitung des Schutzziels von einem Millisievert pro Kalenderjahr für Einzelpersonen der Bevölkerung gewährleistet. Sollte es in Ausnahmefällen in der „unberührten Natur“ zu einer Überschreitung der Prüfwerte kommen, sind dennoch im Sinne des Begriffes der radioaktiven Altlast des Strahlenschutzgesetzes keine Sanierung oder andere Maßnahmen erforderlich.

Dies gilt nicht für künstliche Radionuklide. Hier ist das Vorliegen einer radioaktiven Altlast im Einzelfall zu prüfen (siehe § 161 Absatz 4 Satz 2 StrlSchV). Im Gegensatz zu natürlichen Radionukliden gibt es bei künstlichen Radionukliden keine Prüfwerte. Jeder Einzelfall ist danach zu untersuchen, ob konkrete Anhaltspunkte gegeben sind, die einen hinreichenden Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast begründen (siehe § 161 Absatz 4 Satz 2 StrlSchV).

4.2. Sonstige Feststellungen für das Vorliegen einer Altlast und zugehörige Vorgaben

- Ein hinreichender Verdacht liegt in der Regel vor, wenn es auf Grund sonstiger Feststellungen überwiegend wahrscheinlich ist, dass eine radioaktive Altlast vorliegt. Das heißt, die Kontamination der Fläche kann eine Exposition verursachen, durch die für Einzelpersonen der Bevölkerung der Referenzwert der effektiven Dosis von einem Millisievert im Kalenderjahr überschritten wird.
- Eine radioaktive Altlast liegt nicht nur dann vor, wenn die von ihr ausgehende Exposition den Referenzwert bereits überschreitet, sondern auch dann, wenn zu erwarten ist, dass dieser Zustand bei ungehindertem Ablauf in der Zukunft (Vorsorgegedanke) eintritt.
- Bei der Ermittlung der Exposition zur Bestimmung einer radioaktiven Altlast sind die Vorgaben in § 136 Absatz 3 und 4 StrlSchG und in § 160 Absatz 1, 2 und 3 StrlSchV zu beachten. Ausführungen dazu enthalten die Kapitel „Realistische Expositionspfade“, „Expositionsszenarien und Expositionspfade“ und „Grundwasserleiter“.

5. Hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast bestätigt

Besteht ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer radioaktiven Altlast, so kann die zuständige Behörde die gemäß § 137 StrlSchG in Betracht kommenden Personen zur Durchführung von Untersuchungen, insbesondere zu Art, Höhe und Ausdehnung der Kontamination und zur Exposition, verpflichten (siehe § 138 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG).

Auf Basis einer detaillierten Untersuchung der Art, Höhe und Ausdehnung der Kontamination wird die Bewertung der vorliegenden Kontaminations- und Expositionssituation, wie in der vorherigen Nummer 4 dargestellt, durchgeführt.

6. Behördliche Anordnungen, Optimierungsgrundsätze und Richtwerte für Sanierungsmaßnahmen

6.1. Behördliche Anordnungen

Liegt eine radioaktive Altlast vor (Überschreitung des Referenzwertes in Höhe von einem Millisievert im Kalenderjahr) kann die zuständige Behörde, soweit erforderlich und verhältnismäßig, Anordnungen zum weiteren Vorgehen treffen, um die Altlastensituation weiter aufzuklären und gegebenenfalls Maßnahmen zu ihrer Bewältigung zu ergreifen.

Im Falle einer identifizierten Altlastensituation obliegt es dem Ermessensspielraum der zuständigen Behörde, ob Sanierungsanordnungen zu treffen sind. Dies ist sachlich gerechtfertigt, da es sich bei der

Vorschrift um eine „kann“-Vorschrift handelt und zudem das Dosiskriterium als ein Referenzwert und nicht als ein Grenzwert ausgewiesen ist.

Bei einer Entscheidung für oder gegen eine Sanierung ist die Gesamtschau aller Sachverhalte zu berücksichtigen. Beispielsweise kann eine Überschreitung des Referenzwerts hingenommen und von einer Sanierung abgesehen werden, wenn eine Sanierung nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand (zum Beispiel Kosten) durchgeführt werden kann oder andere Nachteile (zum Beispiel Zusatzbelastungen bei der Sanierung) gegenüberstehen.

Gemäß § 139 Absatz 1 Satz 1 Nummer 1 bis 6 und Satz 2 StrlSchG kann die zuständige Behörde den für die radioaktive Altlast Verantwortlichen verpflichten:

1. Untersuchungen zu Art und Ausdehnung der radioaktiven Altlast sowie zur Exposition und zu möglichen Sanierungsmaßnahmen und sonstigen Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition durchzuführen,
2. der zuständigen Behörde das Ergebnis dieser Untersuchungen mitzuteilen,
3. durch bestimmte Sanierungsmaßnahmen, sonstige Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition oder Nachsorgemaßnahmen dafür zu sorgen, dass der Referenzwert von einem Millisievert im Kalenderjahr unterschritten wird,
4. die Exposition der Bevölkerung infolge der Sanierungsarbeiten zu überwachen,
5. auch nach Durchführung von Maßnahmen nach Nummer 3 weitere Maßnahmen durchzuführen, soweit dies zur Sicherung des Ziels von Sanierungs- oder sonstigen Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition notwendig ist, oder
6. die von der radioaktiven Altlast ausgehenden, Radionuklide enthaltenden Emissionen und Immissionen, einschließlich der Direktstrahlung, zu überwachen.
7. Gemäß § 139 Absatz 1 Satz 2 StrlSchG kann angeordnet werden, für die Ausführung der behördlichen Anordnung nach Nummer 1 bis 6 entsprechend den Vorgaben des § 13 Absatz 2 BBodSchG einen Sachverständigen hinzuzuziehen. Analog zu § 18 Satz 1 BBodSchG muss der Sachverständige mit Blick auf die zu sanierende radioaktive Altlast sachkundig sein, die erforderliche Zuverlässigkeit besitzen und auch über die erforderliche gerätetechnische Ausstattung verfügen. Der im Rahmen der radioaktiven Altlasten hinzuzuziehende Sachverständige ist nicht mit dem behördlich bestimmten Sachverständigen nach § 172 StrlSchG zu verwechseln.

6.2. Sonstige Maßnahmen

Bei den sonstigen Maßnahmen handelt es sich um Maßnahmen, die die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung verhindern oder vermindern, ohne Sanierungsmaßnahmen zu sein. Es handelt sich dabei insbesondere um Zutrittsverbote, Absperrungen und andere Nutzungseinschränkungen wie zum Beispiel das Verbot der gärtnerischen Nutzung bestimmter Flächen oder das Verbot einer Wohnbebauung im Zusammenhang mit einer radioaktiven Altlast oder ihrer Umgebung. Sie können auch Zugangsbeschränkungen sein, um vorgenommene Sanierungsmaßnahmen beziehungsweise installierte Sanierungsbauten gegen Beschädigung zu schützen und insoweit die nachhaltige Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung von Expositionen aufrecht zu erhalten.

6.3. Grundsätze für die Optimierung von Sanierungsmaßnahmen

Die nach § 139 Absatz 1 Satz 1 Nummer 3 und 5 StrlSchG durchzuführenden Maßnahmen sollen auf wissenschaftlich begründeten, technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die in der praktischen Anwendung erprobt und bewährt sind oder die ihre praktische Eignung als gesichert erscheinen lassen. Art, Umfang und Dauer der Maßnahmen sind zu optimieren (siehe §139 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG). Gemäß § 163 StrlSchV sind bei der Optimierung von Art, Umfang und Dauer der Sanierungs-

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen die Vor- und Nachteile der verschiedenen Maßnahmen abzuwägen. Bei der Abwägung sind insbesondere zu berücksichtigen:

1. die Eigenschaften der Altlast und des Standorts einschließlich der Nutzungs- und Expositionsverhältnisse,
2. die derzeitige Exposition durch die Altlast und die Prognose über die zukünftige Entwicklung der Exposition,
3. die durch die Maßnahmen zu erreichende Verminderung der Exposition,
4. die zusätzliche Exposition für Arbeitskräfte und die Bevölkerung durch die Maßnahmen,
5. die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen sowie für die Nachsorge,
6. die Veränderungen der Altlast, der geschaffenen Barrieren und der Ausbreitungsbedingungen, die die Wirksamkeit der Maßnahmen beeinträchtigen, sowie jeweils deren Konsequenzen für die Exposition und die Kosten; in Betracht zu ziehen sind hydrologische, geochemische und geomechanische Prozesse innerhalb der Altlast sowie externe geologische, klimatische und biologische Einflüsse,
7. die Stabilität der Maßnahmen gegenüber unzureichender oder unterbleibender Nachsorge und sich hieraus ergebende Konsequenzen für die Exposition und die Kosten,
8. die langfristigen negativen Auswirkungen der Maßnahmen auf die Umwelt und
9. die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Belange der Betroffenen.

Ziel ist es, den insgesamt aus den getroffenen Maßnahmen resultierenden Nutzen zu maximieren. Insoweit ist es grundsätzlich nicht ausreichend, allein eine „geringfügige“ Unterschreitung des Referenzwertes anzustreben, sondern es soll anhand eines Variantenvergleichs möglicher Sanierungsalternativen die bestmögliche Vorgehensweise Anwendung finden (Vorzugsvariante). Der durchzuführende Variantenvergleich schließt ein, dass nicht nur die erreichten Verbesserungen (zum Beispiel vollständige oder teilweise Entfernung der Kontamination, möglichst weitgehende Unterschreitung des Referenzwerts), sondern auch die mit den Maßnahmen verbundenen Nachteile (zum Beispiel Kosten, zusätzliche Expositionen sowie Lärm-, Verkehrs- und Staubbelastigungen während der Arbeiten, Nachsorgeaufwand) Berücksichtigung finden. Für die Abwägung der verschiedenartigen, jeweils relevanten Gesichtspunkte stehen Verfahren zur Verfügung, die in unterschiedlichem Maße auf qualitativen beziehungsweise quantitativen Ansätzen beruhen. Diese Verfahren verlangen zum Teil die Festlegung weiterführender Parameter (zum Beispiel Betrachtungszeiträume für kumulative Expositionen in den betroffenen Bevölkerungskreisen), die die vorgenannte Abwägung erheblich beeinflussen.

6.4. Richtwerte für Sanierungsmaßnahmen

Wird während der Sanierungsmaßnahmen vorübergehend die Exposition erhöht, so soll diese einen Richtwert für die effektive Dosis von sechs Millisievert im Kalenderjahr für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht überschreiten. Dabei soll infolge von Einleitungen in oberirdische Gewässer der Richtwert für die effektive Dosis von einem Millisievert im Kalenderjahr für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht überschritten werden (siehe § 139 Absatz 3 StrlSchG).

Während Sanierungsarbeiten treten in der Praxis häufig zusätzliche Expositionen auf, indem zum Beispiel bei der Umlagerung von Material Staub und Radon freigesetzt werden oder gefasste Sickerwässer abgeleitet werden müssen. Eine völlige Vermeidung solcher Zusatzexpositionen infolge der Durchführung der Sanierung ist oftmals nicht oder nur mit sehr hohem technischem und finanziellem Aufwand möglich. Die vorübergehend während der Sanierungsarbeiten hinzunehmenden zusätzlichen Expositionen können gegebenenfalls den Referenzwert in Höhe von einem Millisievert im Kalenderjahr überschreiten. Die oben genannten Richtwerte machen es in einem solchen Fall möglich zu sanieren. Solche zusätzlichen vorübergehenden Expositionen oberhalb des Referenzwertes sind akzeptabel, um der fortgesetzten und langfristigen Überschreitung des Referenzwertes zu begegnen.

7. Pflichten im Zusammenhang mit der Durchführung von Maßnahmen

Gemäß § 140 Absatz 1 StrlSchG hat der für die radioaktive Altlast Verantwortliche der zuständigen Behörde unverzüglich den Beginn und den Abschluss der Maßnahmen mitzuteilen und geeignete Nachweise über die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen vorzulegen.

Gemäß § 140 Absatz 2 StrlSchG hat derjenige, der nach Durchführung von Maßnahmen nach § 139 Absatz 1 Satz 1 Nummer 3 und 5 StrlSchG beabsichtigt, Veränderungen an dem betroffenen Grundstück vorzunehmen, insbesondere Änderungen der Nutzung sowie das Aufbringen oder Entfernen von Stoffen, dies vier Wochen vor dem beabsichtigten Beginn der zuständigen Behörde mitzuteilen und nachzuweisen, dass infolge der Veränderung die Exposition nicht erhöht wird.

8. Anordnung und Inhalt eines Sanierungsplans

8.1. Anordnung eines Sanierungsplans

§ 143 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG sieht vor, vergleichbar mit § 13 BBodSchG (Sanierungsuntersuchungen und Sanierungsplanung), dass die zuständige Behörde die für die radioaktive Altlast verantwortliche Person verpflichten kann, einen Sanierungsplan vorzulegen. Dies ist der Fall, wenn die Altlastensituation wegen der Art und Ausdehnung der Kontamination oder der von der radioaktiven Altlast ausgehenden besonderen Risiken für Einzelpersonen oder für die Allgemeinheit komplexe beziehungsweise mehrere verschiedenartige Sanierungsmaßnahmen und sonstige Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition erfordert. Diese Maßnahmen sind untereinander abzustimmen und zu koordinieren und gegebenenfalls aufeinander aufbauend, zeitlich gestaffelt nacheinander oder unter Beachtung gegenseitiger Abhängigkeiten auszuführen.

8.2. Inhalt eines Sanierungsplans

Der Sanierungsplan hat gemäß § 143 Absatz 1 Satz 2 StrlSchG insbesondere Folgendes zu enthalten:

- eine Darstellung der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen, von Art und Ausdehnung der radioaktiven Altlast und eine Zusammenfassung der Expositionsabschätzung,
- Angaben über die bisherige und künftige Nutzung der zu sanierenden Grundstücke und
- die Darstellung der vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen, sonstigen Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition und Nachsorgemaßnahmen.

Gemäß § 164 Absatz 1 StrlSchV soll der Sanierungsplan darüber hinaus insbesondere Angaben enthalten zu:

1. den Standortverhältnissen und Eigenschaften der Altlast,
2. der äußeren Abgrenzung des Sanierungsplans sowie dem Einwirkungsbereich, der durch die Altlast bereits betroffen ist oder der durch die vorgesehenen Maßnahmen zu prognostizieren ist,
3. der technischen Ausgestaltung von Sanierungsmaßnahmen, Art und Umfang sonstiger Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition, den Elementen und dem Ablauf der Sanierung,
4. fachspezifischen Berechnungen zu den einzelnen Maßnahmenkomponenten,
5. den Eigenkontrollmaßnahmen zur Überprüfung der sachgerechten Ausführung und Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen,
6. den zu behandelnden Mengen und den Transport-, Verwertungs- und Entsorgungswegen,
7. den getroffenen behördlichen Entscheidungen und den geschlossenen öffentlich-rechtlichen Verträgen, die sich auf die Erfüllung der Pflicht zur Sanierung der radioaktiven Altlast auswirken,
8. den für eine Verbindlichkeitserklärung nach § 143 Absatz 2 Satz 2 des Strahlenschutzgesetzes durch die zuständige Behörde geforderten Angaben und Unterlagen,
9. dem Zeitplan für die Sanierung und Nachsorge der Altlast,
10. der Verantwortlichkeit für die Nachsorge und den Kriterien für die Beendigung der Nachsorge,

11. den Kriterien für den Nachweis des Sanierungserfolgs sowie
12. den Gesichtspunkten, die bei der Optimierung nach § 139 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG in die Abwägung eingeflossen sind.

Gemäß § 164 Absatz 1 StrlSchV sind im Sanierungsplan die vorgesehenen Maßnahmen nach § 143 Absatz 1 Satz 2 Nummer 3 StrlSchG textlich und zeichnerisch vollständig darzustellen.

Es ist darzulegen, dass diese Maßnahmen geeignet sind, dass der Referenzwert nach § 136 Absatz 1 StrlSchG dauerhaft unterschritten wird oder, wenn eine dauerhafte Unterschreitung nicht möglich ist, die vorgesehenen Maßnahmen geeignet sind, unter Berücksichtigung der Optimierungsgrundsätze nach § 163 StrlSchV die Exposition dauerhaft so gering wie möglich zu halten.

Darzustellen sind insbesondere auch die voraussichtlichen Kosten sowie die Genehmigungs-, Anzeige- und Anmeldeerfordernisse, auch wenn ein verbindlicher Sanierungsplan nach § 143 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG die Genehmigungs-, Anzeige- und Anmeldeerfordernisse nicht einschließen kann.

8.3. Weitere Vorgaben für Sanierungsplanung nach § 143 Absatz 2 StrlSchG

Im Rahmen der Sanierungsplanung sind bei der Ermittlung der Exposition die planungsrechtlich zulässigen Nutzungen der betroffenen Grundstücke beziehungsweise die Prägung des Gebiets heranzuziehen (siehe § 136 Absatz 3 StrlSchG). Außerdem ist zu prüfen, ob Kontaminationen des Grundwassers zu besorgen sind (siehe § 136 Absatz 4 StrlSchG).

Hier gilt auch § 139 Absatz 2 StrlSchG. Demnach sollen die durchzuführenden Maßnahmen auf wissenschaftlich begründeten, technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die in der praktischen Anwendung erprobt und bewährt sind oder die ihre praktische Eignung als gesichert erscheinen lassen. Art, Umfang und Dauer der Maßnahmen sind zu optimieren.

Gemäß § 143 Absatz 2 StrlSchG gilt § 13 Absatz 2 BBodSchG entsprechend. Demnach kann die zuständige Behörde verlangen, dass die Sanierungsuntersuchungen sowie der Sanierungsplan von einem Sachverständigen entsprechend § 18 Satz 1 BBodSchG erstellt werden. Die entsprechende Anwendung des § 18 Satz 1 BBodSchG bedeutet, dass der zugezogene Sachverständige über eine Sachkunde mit Bezug auf radioaktive Altlasten und über die erforderliche gerätetechnische Ausstattung verfügen sowie zuverlässig sein muss.

Gemäß § 143 Absatz 2 StrlSchG gilt § 13 Absatz 4 BBodSchG entsprechend. Demnach kann mit dem Sanierungsplan der Entwurf eines Sanierungsvertrages über die Ausführung des Plans vorgelegt werden, der die Einbeziehung Dritter vorsehen kann.

Wie auch in § 13 Absatz 6 Satz 1 BBodSchG vorgesehen, kann gemäß § 143 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG die zuständige Behörde den Sanierungsplan, auch unter Abänderungen oder mit Nebenbestimmungen, für verbindlich erklären. Inhalt der Nebenbestimmungen können die Punkte sein, die auch Gegenstand der behördlichen Anordnungsbefugnis bei Altlasten sein können, für die kein Sanierungsplan erstellt wird.

9. Behördliche Sanierungsplanung

In Anlehnung an § 14 BBodSchG kann gemäß § 144 Absatz 1 StrlSchG die zuständige Behörde den Sanierungsplan nach § 143 Absatz 1 StrlSchG selbst erstellen oder ergänzen oder durch einen Sachverständigen erstellen oder ergänzen lassen, wenn

- der Plan nicht, nicht innerhalb der von der Behörde gesetzten Frist oder fachlich unzureichend erstellt worden ist,

- ein für die radioaktive Altlast Verantwortlicher nicht oder nicht rechtzeitig herangezogen werden kann oder
- auf Grund der Komplexität der Altlastensituation, insbesondere auf Grund der großflächigen Ausdehnung der Kontamination oder der Anzahl der betroffenen Verpflichteten, ein koordiniertes Vorgehen erforderlich ist.

Für den Sachverständigen gilt wiederum § 18 Satz 1 BBodSchG bezüglich Sachkunde, Zuverlässigkeit und gerätetechnische Ausstattung entsprechend.

Gemäß § 144 Absatz 2 StrlSchG kann die zuständige Behörde den Sanierungsplan, auch mit Abänderungen oder mit Nebenbestimmungen, für verbindlich erklären.

Mit diesem Sanierungsplan kann gemäß § 144 Absatz 3 StrlSchG (analog zu § 13 Absatz 4 BBodSchG) der Entwurf eines Sanierungsvertrages über die Ausführung des Plans vorgelegt werden. Der Sanierungsplan kann die Einbeziehung Dritter vorsehen.

10. Information der Öffentlichkeit und Erfassung der radioaktiven Altlasten und Verdachtsflächen

Gemäß § 142 Absatz 1 StrlSchG informiert die zuständige Behörde die betroffene Öffentlichkeit über die radioaktive Altlast und die von ihr ausgehende Exposition sowie über die getroffenen Sanierungsmaßnahmen, sonstigen Maßnahmen zur Verhinderung oder Verminderung der Exposition und Nachsorgemaßnahmen.

Gemäß § 142 Absatz 2 StrlSchG erfasst die zuständige Behörde die festgestellten radioaktiven Altlasten und altlastenverdächtigen Flächen. Diese Regelung entspricht vom Grundsatz her § 11 BBodSchG, wobei hier die Erfassung jedoch in der Entscheidung der Länder liegt.

Anhang 2

I Allgemeine Werte der natürlichen Umweltradioaktivität (BglBb)

In Gegenden erhöhter natürlicher Radioaktivität gilt ein mittlerer Wert der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe von 120 nSv/h. Dieser Wert schließt den Beitrag der kosmischen Strahlung mit ein.

Tabelle A1: Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund-Aktivitätskonzentration für ein an Staub gebundenes Radionuklid r in der Freiluft

Radionuklid r	Aktivitätskonzentration [Bq/m ³]
Uranreihe	
U-238	$1 \cdot 10^{-5}$
U-234	$1 \cdot 10^{-5}$
Th-230	$1 \cdot 10^{-5}$
Ra-226	$1 \cdot 10^{-5}$
Pb-210	$3,1 \cdot 10^{-4}$
Po-210	$4 \cdot 10^{-5}$
Actiniumreihe	
U-235	$5 \cdot 10^{-7}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-7}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-7}$
Thoriumreihe	
Th-232	$8 \cdot 10^{-6}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-6}$

Hinweise:

Die Werte der Aktivitätskonzentrationen für Tabelle A1 wurden aus den in Tabelle A3 angegebenen Werten der spezifischen Aktivität in der oberen Bodenschicht und einer Staubkonzentration von 50 µg/m³ berechnet. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls von Rn-222 in der Atmosphäre wurde eine natürliche Aktivitätskonzentration von 300 µBq/m³ für das Radionuklid Pb-210 und von 30 µBq/m³ für das Radionuklid Po-210 zusätzlich berücksichtigt.

Der natürliche Untergrundwert für die langlebige Alphaaktivität ist die Summe der natürlichen Untergrundaktivitätskonzentrationen der Radionuklide U-238, U-234, Th-230, Ra-226 und Po-210.

Tabelle A2: Radon-222-Aktivitätskonzentration des natürlichen Untergrundes in der Freiluft

Größe	Wert
Radon-222-Aktivitätskonzentration	10 Bq/m ³

Tabelle A3: Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund-Aktivität $C_{Bo,r}^U$ des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht (0 – 10 cm für Weideboden, 0 – 30 cm für Acker- und Gartenboden, 0 – 30 cm für die Berechnung der äußeren Strahlenexposition) sowie der spezifischen Aktivitäten $C_{Bo}^U(0,02),r$ in der Staubfraktion und $C_{Bo}^U(0,5),r$ in der Feinkornfraktion des Bodens (Trockenmasse)

Radionuklid r			
Uranreihe			
U-238	50	200	100
U-234	50	200	100
Th-230	50	200	100
Ra-226	50	200	100
Pb-210	50	200	100
Po-210	50	200	100
Actiniumreihe			
U-235	2	8	4
Pa-231	2	8	4
Ac-227	2	8	4
Thoriumreihe			
Th-232	40	160	80
Ra-228	40	160	80
Th-228	40	160	80

Hinweise:

Der Wert $C_{Bo,r}^U$ für das Radionuklid Ra-226 wurde durch Messungen bestimmt. Für alle anderen Radionuklide der Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe wurden die Werte für $C_{Bo,r}^U$ aus $C_{Bo,Ra-226}^U$ berechnet. Dabei wurde angenommen, dass sich beide Zerfallsreihen im radioaktiven Gleichgewicht befinden und zwischen U-238 und U-235 das natürliche Aktivitätsverhältnis vorliegt.

Der Wert für das Radionuklid Th-232 wurde durch Messungen bestimmt. Für die anderen Radionuklide der Thorium-Reihe wurden die Werte für $C_{Bo,r}^U$ aus $C_{Bo,Th-232}^U$ unter Annahme des radioaktiven Gleichgewichtes berechnet.

Die Werte $C_{Bo(0,02),r}^U$ und $C_{Bo(0,5),r}^U$ wurden für alle Radionuklide aus $C_{Bo,r}^U$ unter Verwendung der Aufkonzentrierungsfaktoren $AF_{0,02,r}=4$ und $AF_{0,5,r}=2$ berechnet.

Tabelle A4: Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund-Bodenkontaminationsrate des Radionuklids r durch trockene Staubablagerung

Radionuklid r	Depositionsgeschwindigkeit [Bq/ (m ² s ¹)]
Uranreihe	
U-238	$1 \cdot 10^{-7}$
U-234	$1 \cdot 10^{-7}$
Th-230	$1 \cdot 10^{-7}$
Ra-226	$1 \cdot 10^{-7}$
Pb-210	$3 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$4 \cdot 10^{-7}$
Actiniumreihe	
U-235	$5 \cdot 10^{-9}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-9}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-9}$
Thoriumreihe	
Th-232	$8 \cdot 10^{-8}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-8}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-8}$

II Messanleitungen

Tabelle A5: Für die Altlastenbearbeitung relevante Messanleitungen

Kategorie	Titel	Kürzel	Link, Stand vom 30.08.2022
Boden	Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung der spezifischen Aktivität von Radionukliden in Bodenproben	K-γ-SPEKT-BODEN-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-gamma-spekt-boden-01.pdf
Luft	Verfahren zur Bestimmung der mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Kernspurdetektoren	K-Rn-222-LUFT-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-rn-222-luft-01.pdf
	Verfahren zur Bestimmung der mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Elektretdetektoren	K-Rn-222-LUFT-02	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-rn-222-luft-02.pdf
	Verfahren zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Radon-Monitoren	K-Rn-222-LUFT-03	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-rn-folge-luft-01.pdf
	Verfahren zur Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration von aerosolpartikelgetragenen natürlichen Radionukliden	K-α-GESAMT-AEROS-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-alpha-gesamt-aeros-01.pdf
	Verfahren zur alphaspektrometrischen Bestimmung der Aktivitätskonzentration von aerosolpartikelgetragenen Uranisotopen	K-α-SPEKT-AEROS-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-alpha-spekt-aeros-01.pdf
	Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von aerosolpartikelgetragendem Blei-210	K-Pb-210-AEROS-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-pb-210-aeros-01.pdf
	Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von aerosolpartikelgetragendem Radium-226	K-Ra-226-AEROS-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-ra-226-aeros-01.pdf

	Verfahren zur Bestimmung der Ortsdosisleistung durch Gammastrahlung (Gamma-Ortsdosisleistung)	B- γ -DOSIL-01)	https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/13_Umweltueberwachung/02_Dokumente/Loseblattsammlung/Loseblattsammlung/LB3_1_1_2.pdf
Boden- oberfläche	Verfahren zur Bestimmung der auf der Bodenoberfläche abgelagerten Blei-210-Aktivität	K-Pb-210-BODOB-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-pb-210-bodob-01_bf.pdf
	Verfahren zur alphaspektrometrischen Bestimmung der auf der Bodenoberfläche abgelagerten Aktivitäten von Uranisotopen	K- α -SPEKT-BODOB-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_k-alpha-spekt-bodob-01.pdf
Baustoffe	Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung der spezifischen Aktivität von Radionukliden in Baumaterialien	K- γ -SPEKT-BAUST-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/strlsch_messungen_k02.pdf
	Verfahren zur Schnellbestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Strahler in NORM-Stoffen	K- β / γ -IS-NORM-01	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/strlsch_messungen_k01.pdf

Anhang 3

Anforderung an Sachverständige für radioaktive Altlasten

- Kenntnisse und Erfahrung in der Bearbeitung nicht radioaktiver Altlasten
- Kenntnisse und Erfahrung zur sach- und fachgerechten Probenahme in unterschiedlichen Medien (Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase)
- Kenntnisse zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des radioaktiven Zerfalls und den Strahlungsarten
- Kenntnisse über natürliche Radionuklide und zum Entstehen von NORM
- Kenntnisse zum physikalischen Hintergrund und Erfahrungen in der Messtechnik zur Bestimmung von Radionukliden an festen Stoffen, wässrigen Lösungen und in der Gasphase
- Kenntnisse und Erfahrungen zur Qualitätssicherung von der Auswahl der Beprobungsstandorte, der Probenahme, des Transports, der Messung und der Auswertung der Messergebnisse
- Kenntnisse und Erfahrungen zur Dosisberechnung
- Kenntnisse zu gesetzlichen Regelungen zu radioaktiven Altlasten, NORM und allgemeinem Strahlenschutz sowie die Abgrenzung zu anderen Rechtsbereichen

Abkürzungsverzeichnis

β	Beta
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BglBb	Berechnungsgrundlagen Bergbau
Bq	Becquerel (Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Sekunde)
Bq/g	Becquerel pro Gramm
Bq/kg	Becquerel pro Kilogramm
Bq/l	Becquerel pro Liter
Bq/m ³	Becquerel pro Kubikmeter
μ Bq	Mikrobecquerel
DIN	Deutsches Institut für Normung
E _i	Expositionsindex
γ	Gamma
g_{EEC}	Dosiskonversionskoeffizient
g_{ing}	Ingestionsdosiskoeffizient
GMBI	Gemeines Ministerialblatt
GRL	Gamma-log
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
kg	Kilogramm
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
μ g	Mikrogramm
m	Meter
m ³ /a	Kubikmeter pro Jahr
m ³ /h	Kubikmeter pro Stunde
m/s	Meter pro Sekunde
mSv	Millisievert (Einheit der Äquivalentdosis. Die Äquivalentdosis gibt an, wie viel Energie ein Organismus durch radioaktive Zerfälle aufnimmt.)
NORM	natürlich vorkommendes radioaktives Material (n aturally o ccurring r adioactive m aterial)
ppm	Teile pro Million (p arts p er m illion)
nSv	Nanosievert
nSv/h	Nanosievert pro Stunde
ODL	Ortsdosisleistung
s	Sekunde
SGRL	Spektral-Gamma-Log

StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
VW	Vergleichswert

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prüfschritte zum Verhältnis der strahlenschutzrechtlichen Altlastenregelungen zu anderen Rechtsvorschriften.....	11
Abbildung 2: Regelablauf der Bearbeitung radioaktiver Altlasten.....	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleichswerte für den Expositionspfad Direktstrahlung, Aufenthaltszeiten und Abschirmfaktoren sind den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4] entnommen.....	18
Tabelle 2: Vergleichswerte für die Bewertung einer Grundwasserkontamination (Daten aus TrinkwV 2016) [8].....	19
Tabelle 3: Vergleichswerte für den Expositionspfad Inhalation von Radon, Aufenthaltszeiten und Dosiskonversionsfaktoren sind den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4] entnommen.....	20
Tabelle 4: Vergleichswerte für den Expositionspfad Direkt ingestion. Aufenthaltszeiten und Ingestionsdosiskoeffizient sind für die kritische Altersgruppe der ein- bis zweijährigen Kinder dargestellt und stammen aus den Berechnungsgrundlagen Bergbau [4].....	21
Tabelle 5: Eignung der Messmethoden für langlebige Radionuklide der Uran-Zerfallsreihe und Thorium-Zerfallsreihe zur Bewertung der Einhaltung der Überwachungsgrenzen [10]	27
Tabelle A1: Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund-Aktivitätskonzentration für ein an Staub gebundenes Radionuklid r in der Freiluft	42
Tabelle A2: Radon-222-Aktivitätskonzentration des natürlichen Untergrundes in der Freiluft	43
Tabelle A3: Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund-Aktivität $C_{Bo,r}^U$ des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht (0 – 10 cm für Weideboden, 0 – 30 cm für Acker- und Gartenboden, 0 – 30 cm für die Berechnung der äußeren Strahlenexposition) sowie der spezifischen Aktivitäten $C_{Bo}^U(0,02),r$ in der Staubfraktion und $C_{Bo}^U(0,5),r$ in der Feinkornfraktion des Bodens (Trockenmasse)	43
Tabelle A4: Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund-Bodenkontaminationsrate des Radionuklids r durch trockene Staubablagerung	44
Tabelle A5: Für die Altlastenbearbeitung relevante Messanleitungen.....	45