

Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser bei der Umsetzung der Trinkwasserverordnung

**Empfehlung von BMUB, BMG, BfS, UBA und den
zuständigen Landesbehörden sowie DVGW und BDEW**

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
Referate RS II 2 und RS II 1 (N)
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Dr. Beyermann, Dr. Hofmann, Dr. Wittwer
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Stand: Januar 2017

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung.....	5
2 Rechtliche Grundlagen	6
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	7
3.1 Aktivität	7
3.2 Dosis (Strahlendosis).....	7
3.3 Effektive Dosis	7
3.4 Ingestionsdosis.....	7
3.5 Ionisierende Strahlung	7
3.6 Parameterwert.....	7
3.7 Radioaktivität	8
3.8 Radionuklide	8
3.9 Richtdosis	8
3.10 Screening-Messung, Screening-Verfahren	8
3.11 Strahlenexposition	8
4 Radioaktivität im Trinkwasser und Strahlenexposition	8
4.1 Künstliche Radioaktivität im Trinkwasser	8
4.2 Natürliche Radioaktivität im Trinkwasser	9
5 Anforderungen an Trinkwasser in Bezug auf radioaktive Stoffe	11
5.1 Vorbemerkung	11
5.2 Radon-222	11
5.3 Tritium.....	12
5.4 Richtdosis	12
6 Grundzüge des Untersuchungskonzeptes nach Trinkwasserverordnung	13
6.1 Untersuchung künstlicher Radionuklide und Tritium	13
6.2 Umfang und Häufigkeit der Untersuchungen natürlicher Radionuklide sowie Information	13
6.3 Durchführung der Untersuchungen.....	15
6.4 Berücksichtigung von Schwankungen des Radionuklidgehaltes	17
7 Praktische Anwendung des Untersuchungskonzeptes	17
7.1 Übersicht über die zu bestimmenden Parameter und Messgrößen	17
7.2 Richtdosis	18
7.2.1 Gesamt-Alpha-Aktivität	19
7.2.2 Einfaches Screening-Verfahren.....	19
7.2.3 Erweitertes Screening-Verfahren.....	20
7.2.4 Bestimmung der Einzelnuklide	21
7.2.5 Vereinfachung der nuklidspezifischen Messungen	21
7.3 Radon-222	23

7.4	Verfahrensweise bei Überschreitung der Parameterwerte für die Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration	23
8	Analytische Bestimmung der radioaktivitätsbezogenen Parameter	25
8.1	Anforderungen an die Probennahme und Untersuchungslabore	25
8.2	Probennahmestellen in der Wasserversorgungsanlage	26
8.3	Untersuchungsverfahren und Verfahrenskennwerte	26
8.4	Anforderungen an die analytischen Verfahren	28
8.4.1	Probennahme und Probenbehandlung	28
8.4.2	Messanleitungen der Leitstellen	28
8.4.3	Sonstige Messverfahren	29
8.4.4	Einzuhaltende Nachweisgrenzen	29
8.4.5	Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenzen sowie der Messunsicherheiten	29
8.5	Prüfbericht.....	31
8.6	Qualitätssicherung.....	33
	Literaturhinweise.....	34
	Anhang A-1: Ablaufschema für die empfohlenen Prüfungen auf Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis.....	37
	Anhang A-2: Liste der geltenden Standards (Messanleitungen des BMUB, ISO, DIN) und aktuell bearbeitete Standards (Stand: Januar, 2016).....	39
	Anhang A-3: Formblätter zur Prüfung auf Einhaltung der radioaktivitätsbezogenen Parameter	47

1 Einleitung

Am 22. Oktober 2013 hat der Rat der Europäischen Union die Richtlinie 2013/51/Euratom des Rates zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch [Euratom 2013] erlassen. Mit der Dritten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung, die am 26. November 2015 in Kraft getreten ist, wurde diese Richtlinie national umgesetzt [BMG 2015a]. Zwar enthielt die Trinkwasserverordnung ebenso wie die EG-Trinkwasserrichtlinie bereits Vorgaben hinsichtlich radioaktiver Stoffe (für Tritium eine Aktivitätskonzentration von 100 Becquerel pro Liter und für alle anderen Radionuklide – mit Ausnahme von Tritium, Kalium-40, Radon und Radonzerfallsprodukten – eine Gesamtrichtdosis von 0,1 Millisievert pro Jahr), allerdings fehlten bislang die zu deren Ermittlung notwendigen Konkretisierungen.

Trinkwasser kann je nach Geologie des Untergrunds erhöhte Gehalte an natürlichen radioaktiven Stoffen enthalten. Anthropogene Radionuklide (künstliche Radionuklide) im Trinkwasser sind allenfalls durch unkontrollierte Freisetzungen aus dem Umgang mit solchen Radionukliden denkbar, z. B. beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in Medizin, Forschung und Technik wie bei der Nutzung von Kernenergie.

Im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) von 2003 bis 2008 in einem umfangreichen Untersuchungsprogramm Daten über den Gehalt an natürlichen Radionukliden in Trinkwässern und die resultierende Strahlenexposition ermittelt [BfS 2009]. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass es in bestimmten Regionen Deutschlands, insbesondere im mittel- und süddeutschen Raum, ein nennenswertes natürliches Vorkommen von Radioaktivität im Trinkwasser gibt. Die Strahlenbelastung durch Radionuklide im Trinkwasser ist im Durchschnitt als sehr gering einzuschätzen und Gesundheitsgefährdungen können grundsätzlich ausgeschlossen werden. Gleichwohl hat das BfS-Untersuchungsprogramm gezeigt, dass die Schwankungsbreite der Konzentrationen natürlicher Radionuklide im Trinkwasser sehr groß ist und in Einzelfällen aus Vorsorgegründen Maßnahmen zu deren Reduzierung angezeigt sind.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde 2012 auf Veranlassung des BMUB unter der Federführung des BfS in Zusammenarbeit mit Experten von Ländern und Verbänden ein Leitfaden [BMU 2012] erarbeitet, der die fehlenden Anforderungen und Kriterien zur Untersuchung und Bewertung der Qualität des Trinkwassers hinsichtlich radioaktiver Inhaltsstoffe formulierte und Wege zur praktischen Anwendung aufzeigte. Dieser Leitfaden bildete den Stand einer fachgerechten und angemessenen Gesundheitsvorsorge im Trinkwasserbereich ab. Grundlage waren die hierfür vorgezeichneten Ansätze in den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation WHO [WHO 1993, 2004, 2011], in der EG-Trinkwasserrichtlinie (einschließlich der Entwürfe zu den diesbezüglichen Ausführungsbestimmungen) [EG 1998], in den Empfehlungen der Europäischen Kommission und der Strahlenschutzkommission (SSK) zu Radon-222 und seinen Folgeprodukten im Trinkwasser [EG 2001, SSK 2004] sowie die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem Trinkwassermessprogramm des BfS [2009].

Die oben genannten Empfehlungen [WHO 2011, EG 1998, SSK 2004] und die Erkenntnisse aus dem Trinkwassermessprogramm [BfS 2009] waren Grundlage der im November 2013 vom EU-Ministerrat verabschiedeten Richtlinie 2013/51/Euratom [Euratom 2013] und ihrer nationalen Umsetzung im Rahmen der geänderten Trinkwasserverordnung vom 18. November 2015 (in Kraft getreten am 26. November 2015) (BMG 2015a). Aufgrund der nunmehr rechtlich verbindlichen Vorgaben bedurfte der Leitfaden von 2012 der Überarbeitung und wird durch die hiermit vorliegende Fassung ersetzt. Mit diesem neuen Leitfaden soll ein Beitrag zu einem einheitlichen Verständnis und zur Erleichterung des Vollzugs der Neuregelungen zur Überwachung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser in der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] geleistet werden.

In ihrer Sitzung am 28. September 2016 begrüßten die für die Trinkwasserüberwachung zuständigen Landesbehörden in der Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) den überarbeiteten Entwurf und empfahlen – nach inzwischen erfolgter Übernahme einzelner Änderungen – die Anwendung im Vollzug. Der Fachausschuss Strahlenschutz (FAS) hat in seiner Sitzung am 08./09. November 2016 die Überarbeitung des Leitfadens zustimmend zur Kenntnis genommen und begrüßt ebenfalls dessen Anwendung zur harmonisierten Umsetzung der Regelungen zu radioaktiven Stoffen in der Trinkwasserverordnung.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das Bundesministerium für Gesundheit (BMG), das Umweltbundesamt (UBA), die zuständigen Landesbehörden sowie der DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. und der BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. empfehlen somit die Anwendung des Leitfadens im Rahmen der Untersuchung und Bewertung der Trinkwasserbeschaffenheit in der vorliegenden, dem aktuellen wissenschaftlichen Stand entsprechenden Form.

2 Rechtliche Grundlagen

Mit der Dritten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung [BMG 2015a] werden Anforderungen an die Messung und Überwachung der Trinkwasserqualität im Hinblick auf künstliche und natürliche radioaktive Stoffe festgelegt. Vorgegeben werden Parameterwerte für Radon-222 (Rn-222), für Tritium (H-3) und für die Richtdosis. Im Hinblick auf die Ermittlung der Richtdosis werden für den praktischen Vollzug messbare Referenzkonzentrationen der dosisrelevanten natürlichen Radionuklide (Uran-238 (U-238), Uran-234 (U-234), Radium-226 (Ra-226), Radium-228 (Ra-228), Blei-210 (Pb-210), Polonium-210 (Po-210)) sowie der künstlichen radioaktiven Nuklide (Kohlenstoff-14 (C-14), Strontium-90 (Sr-90), Plutonium-239/240 (Pu-239/240), Americium-241 (Am-241), Cobalt-60 (Co-60), Caesium-134 (Cs-134), Caesium-137 (Cs-137), Iod-131 (I-131)) im Trinkwasser angegeben. Für die Prüfung und Überwachung der Einhaltung der Parameterwerte werden Anforderungen an die Probennahme, Untersuchungsstrategie, Untersuchungsstellen und Untersuchungsverfahren sowie Vorgaben für die Untersuchungshäufigkeiten und Bewertung der Untersuchungsergebnisse formuliert. Zusätzliche Erläuterungen dazu sind auch im Besonderen Teil (B) der Begründung zur Trinkwasserverordnung [BMG 2015b] zu finden. Diese Regelungen sind die Grundlage, um in Einzelfällen Maßnahmen zur Reduzierung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser ergreifen zu können und die Qualität des Trinkwassers im Hinblick auf den Gehalt an radioaktiven Stoffen sicherzustellen.

Die Unternehmer und sonstigen Inhaber einer Wasserversorgungsanlage sind grundsätzlich verpflichtet, Untersuchungen des Trinkwassers im Hinblick auf Radionuklide natürlichen Ursprungs durchzuführen. Da in Deutschland eine regelmäßige behördliche Überwachung der künstlichen Radioaktivität in der Umwelt bereits stattfindet [BMU 1986, 2006a], sind weitergehende Untersuchungen des Trinkwassers auf „künstliche Radionuklide“ in der Regel nicht erforderlich.

Die Untersuchungspflicht gilt grundsätzlich nur für „zentrale Wasserwerke“ (sogenannte a-Anlagen) nach § 3 Nummer 2 Buchstabe a Trinkwasserverordnung [BMG 2016], um unverhältnismäßig großen Aufwand für kleine Betriebe zu vermeiden. Untersuchungen in „dezentralen kleinen Wasserwerken“ (sogenannten b-Anlagen § 3 Nummer 2 Buchstabe b TrinkwV) können ggf. entsprechend angeordnet werden, wenn erhöhte Konzentrationen radioaktiver Stoffe zu erwarten sind. Eine Untersuchungspflicht von Eigenversorgungsanlagen (c-Anlagen nach § 3 Nummer 2 Buchstabe c TrinkwV) ist nicht vorgegeben, aber eine Pflicht für die zuständige Behörde, die Betreiber solcher Anlagen gegebenenfalls umfassend zu informieren [BMG 2015b].

Bei Überschreitung von Parameterwerten für radioaktive Stoffe prüft die zuständige Behörde, ob unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes ein Risiko für die menschliche Gesundheit gegeben ist und ob Maßnahmen zur Reduzierung des Radionuklidgehaltes anzuordnen sind [BMG 2016].

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

Die folgenden Begriffe werden in Anlehnung an das Glossar zu den „Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“ des BMUB definiert [siehe Anlage A-2, RADIZ 2009].

3.1 Aktivität

Unter Aktivität versteht man die Anzahl der in einem Zeitintervall auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids oder Radionuklidgemisches dividiert durch die Länge des Zeitintervalls. Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq) entsprechend einer Kernumwandlung pro Sekunde bzw. Millibecquerel (mBq, $1 \text{ mBq} = 10^{-3} \text{ Bq}$).

3.2 Dosis (Strahlendosis)

Maß für die biologische Wirkung der absorbierten ionisierenden Strahlung, wobei eine Dosis pro Zeiteinheit als Dosisleistung bezeichnet wird. Die Einheit der Dosis ist das Gray (Gy) bzw. Milligray (mGy, $1 \text{ mGy} = 10^{-3} \text{ Gy}$).

3.3 Effektive Dosis

Die effektive Dosis ist die Summe der mit den zugehörigen Gewebewichtungsfaktoren multiplizierten Organdosen in relevanten Organen und Geweben. Die Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv) bzw. Millisievert (mSv, $1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv}$). Die effektive Dosis ist ein Maß für das gesundheitliche Risiko infolge einer Strahlenexposition.

3.4 Ingestionsdosis

Als Ingestionsdosis bezeichnet man die Organdosis oder effektive Dosis infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser (Ingestion). Die effektive Dosis durch Ingestion von Trinkwasser ergibt sich als Summe der Produkte der nuklidspezifischen Aktivitätskonzentrationen mit den jeweiligen nuklidspezifischen Ingestions-Folgedosiskoeffizienten [BMU 2001a] und dem jährlichen Trinkwasserkonsum.

3.5 Ionisierende Strahlung

Bezeichnung für jede Teilchen- oder elektromagnetische Strahlung, die aus Atomen oder Molekülen Elektronen entfernen kann, so dass positiv geladene Ionen oder Molekülreste zurückbleiben (Ionisation), die ihrerseits weitere Ionisations- oder Radikalbildungsprozesse auslösen können.

- Alphastrahlung: Teilchenstrahlung, die aus Alphateilchen (Heliumatomkerne) besteht
- Betastrahlung: Teilchenstrahlung, die aus Betateilchen (Elektronen) besteht
- Gammastrahlung: hochenergetische elektromagnetische Strahlung (Photonenstrahlung).

3.6 Parameterwert

Im Sinne der Trinkwasserverordnung (§ 3 Nummer 9a) ist „Parameterwert“ ein Wert (*Anmerkung: Aktivitätskonzentration oder Richtdosis*) für radioaktive Stoffe im Trinkwasser, bei dessen Überschreitung die zuständige Behörde prüft, ob das Vorhandensein radioaktiver Stoffe im Trinkwasser ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt, das ein Handeln erfordert [BMG 2016]. Parameterwerte sind als Aktivitätskonzentrationen in der Maßeinheit Bq/l und als Richtdosis im Kalenderjahr in der Maßeinheit mSv/a vorgegeben.

3.7 Radioaktivität

Eigenschaft von Atomen (genauer: Atomkernen), sich von selbst ohne äußere Einwirkung umzuwandeln (zu zerfallen) und dabei eine charakteristische, ionisierende Strahlung auszusenden.

3.8 Radionuklide

Instabile Atomkerne, die unter Aussendung ionisierender Strahlung spontan zerfallen, werden als Radionuklide oder radioaktive Nuklide bezeichnet.

3.9 Richtdosis

Bei der Richtdosis handelt es sich um eine effektive Ingestionsdosis, die eine für den Trinkwasserbereich spezifische Konvention darstellt. Sie ist in § 3 Nummer 9b Trinkwasserverordnung definiert und zu verstehen als die effektive Ingestionsfolgedosis, die sich für eine erwachsene Referenzperson (> 17 Jahre) infolge der Aufnahme aller im Trinkwasser nachgewiesenen Radionuklide sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs, mit Ausnahme von Tritium, Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten sowie Kalium-40 (K-40), während eines Jahres ergibt [BMG 2016]. Für die erwachsene Referenzperson ist für die Berechnung der Richtdosis ein Trinkwasserverzehr von 730 l pro Jahr anzunehmen (siehe Kap. 5.4).

3.10 Screening-Messung, Screening-Verfahren

Unter Screening versteht man allgemein die Durchführung eines stufenweisen Selektionsprozesses. Im Sinne der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] beinhalten Screening-Verfahren die Bestimmung von Summenparametern in Form von Gesamtaktivitäten Alpha- oder Betastrahlung emittierender Radionuklide, um die Einhaltung der Richtdosis abschätzen zu können.

3.11 Strahlenexposition

Als Strahlenexposition bezeichnet man allgemein die Einwirkung von Strahlung auf den menschlichen Körper.

4 Radioaktivität im Trinkwasser und Strahlenexposition

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Grundlagen zur Radioaktivität im Trinkwasser und der daraus resultierenden Strahlenexposition dargestellt. Zu einer ausführlicheren Darstellung u. a. zum Vorkommen radioaktiver Stoffe im Wasserkreislauf sei auf die Technische Mitteilung DVGW W 253 [DVGW 2008a] hingewiesen.

4.1 Künstliche Radioaktivität im Trinkwasser

Künstliche Radionuklide stammen vor allem aus dem globalen Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche in den Jahren von 1950 bis 1980 und aus Kontaminationen in Folge der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im Jahr 1986. Die Reaktorkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 hat dagegen keine nachweisbaren Auswirkungen auf das Trinkwasser in Deutschland gehabt. Künstliche Radionuklide werden zurzeit im Trinkwasser in Deutschland nicht nachgewiesen oder sind nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden.

Die Emission radioaktiver Stoffe, z. B. aus Kernkraftwerken oder nuklearmedizinischen Einrichtungen, unterliegt nach §§ 47 und 48 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [BMU 2001b] strengen Auflagen und Kontrollen, um deren Ableitung in die Umwelt und damit in das Trinkwasser so weit wie möglich zu vermeiden.

Künstliche Radionuklide können aufgrund der Begrenzungen der Ableitung radioaktiver Stoffe über das Abwasser aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb praktisch nicht in das Trinkwasser gelangen. Der Beitrag der Radionuklide künstlichen Ursprungs zur Strahlenexposition des Menschen durch den Konsum von Trinkwasser ist sehr gering [BMUB 2015].

Bereits seit den 1950er Jahren wird in der Bundesrepublik gemäß dem Euratom-Vertrag (Artikel 35 und 36) eine regelmäßige behördliche Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (unter anderem in den hier relevanten Umweltbereichen Oberflächenwasser, Grundwasser, Trinkwasser, Abwasser) vorgenommen. Die Ergebnisse werden regelmäßig veröffentlicht (z. B. in jährlich veröffentlichten Berichten des Bundesumweltministeriums „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ [BMUB 2015]).

Die Überwachung erfolgt zum einen im Rahmen der allgemeinen Umweltradioaktivitätsüberwachung auf der Grundlage des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) [BMU 1986, BMU 2006a] durch die amtlichen Messstellen der Länder und zum anderen auf der Grundlage von § 48 der StrlSchV – anlagenbezogen – nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [BMU 2006b] durch die Betreiber selbst und durch beauftragte unabhängige Sachverständige.

Aufgrund dieser Rechtsgrundlagen werden an etwa 400 Probennahmestellen regelmäßig Grundwasser-, Rohwasser- und Trinkwasserproben entnommen und auf künstliche Radionuklide wie z. B. Cs-137, Tritium und Sr-90 untersucht. Die Auswahl der Probennahmestellen erfolgt mit dem Ziel, frühzeitig das Auftreten künstlicher Radionuklide im Trinkwasser zu erfassen und ggf. Maßnahmen zu ergreifen.

Liegen Anhaltspunkte vor, dass die in Anlage 3a Teil I der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] festgelegten Parameterwerte überschritten werden können, z. B. weil durch einen kerntechnischen Unfall oder ein sonstiges Ereignis radioaktive Stoffe freigesetzt wurden, kann die zuständige Behörde Untersuchungen im Hinblick auf künstliche Radionuklide anordnen.

Im Fall eines Ereignisses mit nicht unerheblichen Auswirkungen auf die Strahlenexposition der Bevölkerung und die Kontamination der Umwelt werden die Überwachungen auf der Grundlage des StrVG intensiviert. Gegebenenfalls werden durch das BMUB Dosis- und Kontaminationswerte, die nicht überschritten werden dürfen, festgelegt und bei Bedarf entsprechende Maßnahmen durch die zuständigen Behörden der Länder empfohlen.

4.2 Natürliche Radioaktivität im Trinkwasser

In Abhängigkeit von den jeweiligen geologischen Verhältnissen enthalten alle Gesteine und Böden natürliche Radionuklide, vor allem diejenigen der drei Zerfallsreihen, die vom Uran-238 (U-238), Uran-235 (U-235) und Thorium-232 (Th-232) ausgehen, sowie das Radionuklid K-40. Durch komplexe Lösungs- und Transportvorgänge können diese Radionuklide in unterschiedlichem Umfang in Oberflächen- und Grundwässern (einschließlich Uferfiltrat, Kluft- und Stollenwässern) gelangen. Die Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in diesen Wässern und die relativen Aktivitätsanteile der Einzelnuklide können in weiten Grenzen variieren und sind unter anderem abhängig von:

- den (hydro)geologischen Verhältnissen vor Ort,
- dem Uran- und Thorium-Gehalt der Gesteine des Aquifers (Grundwasserleiter),
- der Halbwertszeit des Radionuklids,
- den elementspezifischen chemisch-physikalischen Eigenschaften (z. B. Löslichkeits-, Sorptions-, Komplexbildungsverhalten, Oxidationsstufen) des Radionuklids.

Im Mittel ist in Deutschland die Strahlenexposition durch Trinkwasser, verglichen mit der gesamten natürlichen wie auch mit der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung, gering. Die mittlere effektive Dosis aus dem Trinkwasserkonsum beträgt für die Altersgruppe der Erwachsenen etwa 0,01 mSv/a [BfS 2009]. Die gesamte natürliche Strahlenexposition beträgt demgegenüber im Mittel 2,1 mSv/a (siehe Tabelle 1). Sie schwankt örtlich bedingt von 1 mSv/a bis 6 mSv/a; die große Spannweite wird vor allem durch die Inhalation von Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten bestimmt.

Tabelle 1 – Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung im Jahr 2014 gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands und aufgeschlüsselt nach Strahlenursprung, nach BMUB [2016]

		Mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1.	Natürliche Strahlenexposition		
1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag) ¹ bei Aufenthalt in Gebäuden (19 Std./Tag)	ca. 0,4	ca. 0,1 ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag) bei Aufenthalt in Gebäuden (19 Std./Tag)	ca. 1,1	ca. 0,2 ca. 0,9
1.4	Durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		ca. 2,1	
2.	Zivilisatorische Strahlenexposition		
2.1	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01	
2.2	Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl	< 0,011	
2.3	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin* (ohne Therapie) davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen	ca. 1,9	ca. 0,1
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,9	

* Daten von 2012, Auswertungen von 2014; Abschätzung mit Bevölkerungszahl auf Basis des neuen Zensus 2011

Die Schwankungsbreite der Konzentrationen natürlicher Radionuklide im Trinkwasser kann, in Abhängigkeit von lokalen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, so groß sein, dass der Verzehr von aus Grundwasserleitern gewonnenem Trinkwasser im Einzelfall zu Strahlenexpositionen führen kann, die aus gesundheitlichen Vorsorgegründen nicht hingenommen werden sollten (vgl. Kap. 7.4). Solche nennenswert erhöhten Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide finden sich häufiger in Wässern der deutschen Mittelgebirge, wie z. B. im Erzgebirge, Vogtland, Fichtelgebirge, Bayerischen Wald, Oberpfälzer Wald, im Harz und im Schwarzwald.

¹ Bei den angegebenen Aufenthaltszeiten handelt es sich um für Strahlenschutz Zwecke festgelegte, plausible Werte.

Eine Sonderstellung nimmt das Radionuklid K-40 ein. Es ist mit einer Halbwertszeit von ca. 1,3 Milliarden Jahren ähnlich langlebig wie die Ausgangsnuklide der drei oben genannten natürlichen Zerfallsreihen und mit einem Massenanteil von ca. 0,012 % im natürlichen Kalium enthalten. Ebenso wie die stabilen Kalium-Isotope gelangt es mit der Nahrung in den menschlichen Körper und trägt etwa zur Hälfte zu der gesamten mittleren Strahlenexposition des Menschen durch den Verzehr von Nahrungsmitteln bei. Der für die Lebensfunktionen notwendige Kaliumgehalt des Körpers ist konstant und entzieht sich dem menschlichen Einfluss. Deshalb werden die K-40-Gehalte im Trinkwasser aus der regulatorischen Überwachung grundsätzlich ausgeklammert. Der in der Zeile 1.4 der Tabelle 1 genannte Wert von 0,3 mSv/a enthält allerdings auch den Beitrag von K-40.

5 Anforderungen an Trinkwasser in Bezug auf radioaktive Stoffe

Die Anforderungen an Trinkwasser in Bezug auf radioaktive Stoffe sind in der Trinkwasserverordnung Anlage 3a Teil I [BMG 2016] aufgelistet. Die fachlichen Grundlagen zu den einzelnen Parametern sind in diesem Kapitel zusammenfassend dargestellt.

5.1 Vorbemerkung

Die in Tabelle 2 genannten Parameterwerte für Rn-222, Tritium und die Richtdosis entsprechen Anlage 3a Teil I der Trinkwasserverordnung [BMG 2016]. Für Rn-222 wurde der in der Richtlinie 2013/51/Euratom [Euratom 2013] vorgesehene Wert übernommen. Die nach oben genannter Richtlinie [Euratom 2013] vorgesehene Möglichkeit, einen höheren Wert als Parameter festzusetzen, wurde jedoch nicht in Anspruch genommen. Diese Entscheidung basiert hauptsächlich auf entsprechenden Empfehlungen der SSK in Deutschland [SSK 2004] sowie auf der Auswertung wissenschaftlicher Untersuchungen zum Gehalt von Rn-222 in Trinkwasser in Deutschland [BfS 2009].

Tabelle 2 – Parameterwerte für Rn-222, Tritium und Richtdosis nach der Trinkwasserverordnung [BMG 2016]

Laufende Nummer	Parameter	Parameterwert	Einheit
1	Radon-222	100	Bq/l
2	Tritium	100	Bq/l
3	Richtdosis*	0,10	mSv/a

* Erläuterung: pro Kalenderjahr

5.2 Radon-222

Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, welches gut in Wasser löslich ist. Erhöhte Rn-222-Konzentrationen im Grundwasser werden vorrangig im kristallinen Grundgebirge, insbesondere im Granit angetroffen. Die in Kapitel 4.2 vorgestellte Studie des BfS [2009] hat gezeigt, dass Rn-222 im Trinkwasser einen relevanten Beitrag zur Strahlenbelastung liefern kann.

Die SSK hat in ihrem Bericht „Strahlenexposition durch Radon-222, Blei-210 und Polonium-210 im Trinkwasser“ [SSK 2004] im Jahr 2004 empfohlen, für Trinkwasser in Deutschland einen Referenzwert der Rn-222-Aktivitätskonzentration von 100 Bq/l festzulegen. Sie hat dargelegt, dass bei dieser Rn-222-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser für alle Altersgruppen der Bevölkerung mit einer mittleren Strahlenexposition von ca. 0,4 mSv/a zu rechnen ist, die sich aus ca. 0,05 mSv/a infolge der Ingestion von Trinkwasser sowie aus ca. 0,35 mSv/a infolge der Inhalation kurzlebiger Rn-222-Folgeprodukte durch die Freisetzung von Rn-222 in die

Luft bei typischer häuslicher Nutzung (z. B. während des Duschens) zusammensetzt. Angesichts dessen ist nach Auffassung der SSK die Festlegung eines Referenzwertes oberhalb von 100 Bq/l nicht gerechtfertigt.

5.3 Tritium

Tritium, ein energiearmer Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren, zählt zu den Radionukliden, die in der Atmosphäre aufgrund der Einwirkung der kosmischen Strahlung ständig nachgebildet werden (kosmogene Radionuklide) und mit dem Niederschlag in den Wasserkreislauf gelangen. Tritium entsteht aber auch in größeren Mengen beim Betrieb von Kernreaktoren und wird von kerntechnischen Anlagen unter behördlicher Kontrolle mit dem Abwasser abgeleitet. Chemisch liegt Tritium als Wasser (HTO) vor und besitzt damit in der Umwelt und im aquatischen System eine sehr hohe Mobilität. Erhöhte Tritium-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächen- oder Grundwässern werden daher als Indikator für eine Beeinflussung durch anthropogene Quellen betrachtet.

Der Tritium-Gehalt im Wasser wird auf der Grundlage der genannten Rechtsregelungen [BMU 1986, 2006a, b] in Deutschland kontinuierlich überwacht. Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen unterschreiten den Parameterwert für Tritium in Höhe von 100 Bq/l in der Regel deutlich [BMUB 2015].

5.4 Richtdosis

Die als Richtdosis definierte effektive Folgedosis (E) pro Jahr kann, im Gegensatz zu den Gehalten der Radionuklide im Wasser, nicht gemessen werden, sondern sie ist eine Rechengröße und stellt ein Maß für das gesundheitliche Risiko durch eine Exposition mit ionisierender Strahlung dar. Sie ergibt sich als Summe der Produkte der nuklidspezifischen Aktivitätskonzentration der nach Trinkwasserverordnung [BMG 2016] zu berücksichtigenden Radionuklide mit dem jeweiligen Dosiskoeffizienten und dem übereinstimmend mit der WHO [WHO 1993, 2004, 2011] und der EU [EG 1998] durchschnittlichen jährlich angenommenen Trinkwasserkonsum von 730 l für die erwachsene Referenzperson. Die Berechnung daraus ergibt sich wie folgt:

$$E = \sum_r E_r$$

$$E_r = C_r \cdot g_r \cdot U$$

mit den Größen

E_r = Effektive Folgedosis für das Radionuklid r

C_r = Aktivitätskonzentration des Radionuklides r im Trinkwasser in Bq/l

g_r = Ingestions-Folgedosiskoeffizienten für das Radionuklid r in Sv/Bq entsprechend der Altersgruppe > 17 Jahre

U = konsumierte Trinkwassermenge von 730 l für die Altersgruppe > 17 Jahre

Die Dosiskoeffizienten beschreiben die in Abhängigkeit von der aufgenommenen Aktivität (Becquerel) im Körper entstehende Dosis. Sie sind nuklid- und altersspezifisch im Bundesanzeiger Nummer 160a und b, Teil II vom 28. August 2001 [BMU 2001a] festgelegt. Für die relevanten natürlichen Radionuklide sind die Ingestions-Folgedosiskoeffizienten g_r für die Altersgruppe > 17 Jahre in Tabelle 3 angegeben. Änderungen von Dosiskoeffizienten aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse werden ebenfalls amtlich bekannt gegeben.

Tabelle 3 – Dosiskoeffizienten für die Berechnung der effektiven Dosis bei Radionuklidaufnahme durch Ingestion in mSv/Bq für die Altersgruppe > 17 Jahre nach BMU [2001a]

Ra-226	Ra-228	U-238	U-234	Pb-210	Po-210
2,8E-4	6,9E-4	4,5E-5	4,9E-5	6,9E-4	1,2E-3

Der auch in der Richtlinie 2013/51/Euratom [Euratom 2013] gewählte Bewertungsansatz, den Erwachsenen als Referenzperson zu betrachten, geht davon aus, dass die gesamte Bevölkerung, auch Kleinkinder und Säuglinge, angemessen geschützt ist. Hierbei wird berücksichtigt, dass es sich bei der Richtdosis lediglich um einen Parameterwert (mit Indikatorfunktion) handelt, dessen Überschreitung zunächst Prüfungs- und Entscheidungsprozesse im Hinblick auf die Durchführung einer fortgesetzten Trinkwasserüberwachung und ggf. die Aufbereitung des Trinkwassers auslöst. Im Rahmen der Entscheidung muss insbesondere auch die Angemessenheit ggf. erforderlicher Maßnahmen abgewogen werden. Das heißt, auch das Hinnehmen von Überschreitungen ist vom Schutzkonzept grundsätzlich vorgesehen. Vorsorglich wurde die Richtdosis mit 0,1 mSv/a niedrig gewählt. Sie stellt nur einen Bruchteil der Gesamtexposition der Bevölkerung dar, und der jährliche Trinkwasserverzehr ist mit einem Volumen von 730 l ebenfalls sehr konservativ angesetzt.

Anstelle der oben angegebenen Berechnungsmethode kann der Nachweis darüber, dass der Parameterwert der Richtdosis nicht überschritten wird, auch mit anderen Verfahrensweisen erbracht werden. Die Verfahren sowie die jeweiligen Prüfbedingungen und -werte, die zur Beurteilung der Einhaltung der Richtdosis im Sinne der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] erforderlich sind, werden in Kapitel 7.2 vorgestellt.

6 Grundzüge des Untersuchungskonzeptes nach Trinkwasserverordnung

6.1 Untersuchung künstlicher Radionuklide und Tritium

Untersuchungen des Trinkwassers im Hinblick auf Radionuklide künstlichen Ursprungs sind grundsätzlich nicht erforderlich. In Bezug auf Tritium und andere künstliche Radionuklide findet in Deutschland – wie in Kapitel 4.1 bereits beschrieben – eine regelmäßige behördliche Überwachung auf der Grundlage des StrVG bzw. anlagenbezogen auf der Grundlage von § 48 der StrlSchV nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlage (REI) [BMU 2006b] durch die Betreiber dieser Anlagen selbst statt.

Nur bei konkreten Anhaltspunkten dafür, dass künstliche Radionuklide (einschließlich Tritium) z. B. durch unkontrollierte Freisetzungen im Einzugsgebiet einer Wasserversorgungsanlage in einem für das Trinkwasser relevanten Maß auftreten könnten, sind Untersuchungen erforderlich. Wenn entsprechende Anhaltspunkte für erhöhte diesbezügliche Aktivitätskonzentrationen vorliegen, kann die zuständige Behörde Untersuchungen anordnen. Bei Überschreitung des Parameterwertes für Tritium ist eine Untersuchung des Trinkwassers auf andere künstliche Radionuklide erforderlich, da Tritium als Indikator nuklid für das Vorhandensein künstlicher radioaktiver Stoffe anzusehen ist [BMG 2016].

Die Methoden zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration künstlicher radioaktiver Stoffe im Trinkwasser sind u. a. in den vom BMUB veröffentlichten Messanleitungen des Bundes zur Ermittlung der Umweltradioaktivität dargestellt (siehe Anhang A-2), auf die an dieser Stelle verwiesen wird.

6.2 Umfang und Häufigkeit der Untersuchungen natürlicher Radionuklide sowie Information

Nach § 14a Absatz 1 Trinkwasserverordnung [BMG 2016] besteht grundsätzlich die Pflicht zur Untersuchung des Trinkwassers auf Radionuklide natürlichen Ursprungs. § 14a Absatz 4 [BMG 2016] nennt jedoch Fälle, in

denen die zuständige Behörde den Wasserversorger für einen bestimmten Zeitraum von der Pflicht zur Untersuchung einzelner oder sämtlicher Parameter entbinden kann.

Hintergrund dafür ist die Einschätzung, dass in der überwiegenden Zahl der Wasserversorgungsgebiete in Deutschland eine signifikante Strahlenexposition durch Radioaktivität im Trinkwasser nicht gegeben sein wird und ein unnötiger Aufwand für die Wasserversorgungsunternehmen vermieden werden soll.

Das Untersuchungskonzept unterscheidet zwischen Erstuntersuchung und regelmäßigen Untersuchungen.

Erstuntersuchungen sind für Bestandsanlagen, das heißt Wasserversorgungsanlagen, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Änderungsverordnung (26.11.2015) bereits betrieben wurden, innerhalb eines Zeitraumes von vier Jahren nach Inkrafttreten der Änderungsverordnung abzuschließen, wobei die vorgeschriebenen Untersuchungen über den gesamten Übergangszeitraum verteilt werden können [BMG 2015b]. Wird eine neue Wasserversorgungsanlage in Betrieb genommen, sind Erstuntersuchungen innerhalb eines Zeitraumes von zwölf Monaten durchzuführen, sofern keine der im letzten Abschnitt ausgeführten Ausnahmeregelungen nach § 14a Absatz 4 [BMG 2016] greift. Gleichmaßen müssen zukünftig Erstuntersuchungen innerhalb von zwölf Monaten durchgeführt werden, wenn sich bei einer Wasserversorgungsanlage wesentliche Änderungen bei der Wassergewinnung oder Wasseraufbereitung ergeben, die sich auf den Gehalt von Radionukliden nachteilig auswirken können [BMG 2015b, 2016]. Dies gilt beispielsweise, wenn die örtlichen (hydro)geologischen Gegebenheiten vermuten lassen, dass Änderungen der hydraulischen und/oder hydrochemischen Bedingungen z. B. durch die Inbetriebnahme neuer Brunnen (auch innerhalb von Brunnengalerien) oder Modifikationen in der Fördercharakteristik von Brunnen mit höheren Gehalten an Radionukliden einhergehen können.

Im Rahmen der Erstuntersuchung sind mindestens vier Untersuchungen in unterschiedlichen Quartalen vorzunehmen, um mögliche jahreszeitliche oder auch betriebsbedingte Schwankungen der Radionuklidgehalte zu berücksichtigen. Diese sind z. B. auf witterungsbedingte Einflüsse, wechselnde Mischungsverhältnisse von Wässern unterschiedlicher Herkunft oder auf sonstige unterschiedliche Betriebszustände der Wassergewinnungs-, -aufbereitungs- und -verteilungsanlagen zurückzuführen. Werden für die Trinkwasserversorgung häufig Wässer aus unterschiedlichen Gewinnungsgebieten in wechselnden Mischungsverhältnissen eingesetzt, bei denen aufgrund der (hydro)geologischen Verhältnisse erhöhte Aktivitätskonzentrationen von natürlichen Radionukliden nicht auszuschließen sind, ist es empfehlenswert, die entsprechend genutzten Rohwässer in die Untersuchungen einzubeziehen.

Nach dem Abschluss der Erstuntersuchung sind die Verbraucher im Rahmen der jährlichen Informationspflicht nach § 21 Absatz 1 Trinkwasserverordnung [BMG 2016] über die Ergebnisse der Erstuntersuchung zu informieren.

Eine Erstuntersuchung ist nicht erforderlich, wenn die zuständige Behörde eine Feststellung nach § 14a Absatz 4 Satz 2 Nummer 1 [BMG 2016] getroffen hat. Mit dieser Ausnahmeregelung wird dem Wasserversorgungsunternehmen die Möglichkeit eingeräumt, durch bereits vorhandene repräsentative Daten (gewonnen aus Erhebungs- und Überwachungsmessungen oder sonstigen zuverlässigen Informationen) die Einhaltung der Radioaktivitätsparameter nachzuweisen. Inwiefern Ergebnisse früherer Untersuchungen als zuverlässige Informationen dienen, dass die festgelegten Parameterwerte für radioaktive Stoffe nicht überschritten werden und insofern eine Erstuntersuchung nicht erforderlich ist, entscheidet die zuständige Behörde auf Antrag des Unternehmers oder sonstigen Inhabers einer Wasserversorgungsanlage im konkreten Einzelfall. Als zuverlässige Analysenwerte können Messergebnisse dann betrachtet werden, wenn die Untersuchungen gemäß den Empfehlungen des „Leitfadens zur Untersuchung und Bewertung von Radioaktivität im Trinkwasser“ aus dem Jahr 2012 [BMU 2012] und den dort aufgeführten Anforderungen an Untersuchungslabore (Arbeit nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik, System der Qualitätssicherung, erfolgreiche Teilnahme an externen Qualitätssicherungsprogrammen, hinreichend qualifiziertes Personal) durchgeführt wurden.

Regelmäßige Untersuchungen sind im Anschluss an die Erstuntersuchung durchzuführen, wenn diese im Ergebnis eine Überschreitung von Parameterwerten gezeigt haben (vgl. Kap. 7.4). Die Anzahl der Proben pro Jahr bestimmt sich grundsätzlich nach der Tabelle „Mindesthäufigkeiten der Untersuchungen“ in Anlage 3a Teil III [BMG 2016].

Im Fall von natürlich vorkommenden Radionukliden, für die vorherige Untersuchungen eine stabile Aktivitätskonzentration (Abweichung der Einzelwerte aus Quartalsmessungen vom Jahresmittelwert des einzeln zu betrachtenden Nuklides um nicht mehr als 20 %) anzeigen, kann die zuständige Behörde abhängig von den örtlichen Gegebenheiten geringere Häufigkeiten der Untersuchungen festlegen und den Untersuchungsumfang anpassen.

Regelmäßige Untersuchungen sind nicht erforderlich, wenn durch die Erstuntersuchung die Einhaltung der Parameterwerte oder nur eine geringfügige, unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes zu vernachlässigende Überschreitung (vgl. Kap. 7.4) nachgewiesen wurde. Die zuständige Behörde stellt dies gemäß § 14a Absatz 4 Satz 2 Nummer 2 [BMG 2016] auf Antrag des Unternehmers oder sonstigen Inhabers einer Wasserversorgungsanlage fest.

Ordnet die zuständige Behörde nach § 9 Absatz 5a [BMG 2016] Maßnahmen zur Aufbereitung an, um den Gehalt an Radionukliden im Trinkwasser zu reduzieren, so sind regelmäßige Untersuchungen durchzuführen, um die anhaltende Wirksamkeit der Aufbereitung zu überprüfen.

6.3 Durchführung der Untersuchungen

Im Unterschied zu den Parametern Radon-222 und Tritium, die durch Aktivitätsmessungen direkt bestimmt werden, ist der Parameter Richtdosis – wie in Kapitel 5.4 beschrieben – keine direkt messbare Größe.

Für Untersuchungen zur Überprüfung der Einhaltung der Richtdosis ist nach der Trinkwasserverordnung in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der WHO [1993, 2004, 2011] und mit der Euratom-Richtlinie [Euratom 2013] ein gestuftes Vorgehen möglich, welches auf die Einsparung von Analysenaufwand abzielt. Diesem Vorgehen folgend beginnen die Untersuchungen im ersten Schritt mit Screening-Messungen (Bestimmung von Summenparametern), für deren Auswertung in Anlage 3a Teil III der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] Prüfbedingungen und Prüfwerte angegeben sind. Die Bestimmung einer Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration entfällt, da – wie oben ausgeführt – auf die Ermittlung künstlicher Radionuklide in der Regel verzichtet werden kann.

Die Prüfbedingungen der Screening-Verfahren sind dabei konservativ ausgelegt, so dass bei den Erstuntersuchungen eine Unterschätzung der tatsächlich auftretenden Richtdosis (falsch negatives Ergebnis) weitgehend vermieden wird. Im Umkehrschluss bedeutet dies jedoch nicht, dass bei Überschreitung der Prüfbedingungen auch von der Überschreitung des Parameterwertes der Richtdosis auszugehen ist. Zur Klärung dieses Sachverhaltes sind weitere Untersuchungen durchzuführen.

In einem zweiten Schritt (in der Regel bei Überschreitung der Prüfwerte der Screening-Verfahren) sind Einzelnuclidbestimmungen durchzuführen. Für die relevanten Radionuklide gibt Anlage 3a Teil II der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] Referenz-Aktivitätskonzentrationen an, die im Vergleich mit den gemessenen Aktivitätskonzentrationen zur Überprüfung der Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis heranzuziehen sind.

Auf ein gestuftes Vorgehen kann verzichtet werden, wenn z. B. aufgrund früherer Untersuchungsergebnisse erhöhte Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide und damit die Notwendigkeit nuklidspezifischer Messungen zu erwarten sind oder aus anderen Gründen nuklidspezifische Angaben wünschenswert bzw.

notwendig erscheinen. In solchen Fällen wird auf Screening-Verfahren verzichtet und die Untersuchung mit der Bestimmung der Einzelnuclide begonnen (vgl. Anhang A-1).

Sind aufgrund der Ergebnisse der Erstuntersuchungen im Hinblick auf die Richtdosis regelmäßige Untersuchungen des Trinkwassers durchzuführen, kann die zuständige Behörde entscheiden, wie diese Untersuchungen erfolgen sollen (Festlegung der zu bestimmenden Radionuklide, die im konkreten Fall wesentlich zur Dosis beitragen sowie Festlegung des Umfangs und der Häufigkeit der durchzuführenden Untersuchungen). Ohne gesonderte Festlegungen gelten die Mindesthäufigkeiten nach Trinkwasserverordnung Anlage 3a Teil III Tabelle „Mindesthäufigkeiten der Untersuchungen“.

In Tabelle 4 sind die in der Trinkwasserverordnung aufgeführten Referenz-Aktivitätskonzentrationen wiedergegeben [BMG 2016].

Tabelle 4 – Referenz-Aktivitätskonzentrationen für radioaktive Stoffe im Trinkwasser [BMG 2016]

Laufende Nummer	Radionuklid	Referenz-Aktivitätskonzentration
Radionuklide natürlichen Ursprungs		
1	U-238	3,0 Bq/l
2	U-234	2,8 Bq/l
3	Ra-226	0,5 Bq/l
4	Ra-228	0,2 Bq/l
5	Pb-210	0,2 Bq/l
6	Po-210	0,1 Bq/l
Radionuklide künstlichen Ursprungs		
7	C-14	240 Bq/l
8	Sr-90	4,9 Bq/l
9	Pu-239/Pu-240	0,6 Bq/l
10	Am-241	0,7 Bq/l
11	Co-60	40 Bq/l
12	Cs-134	7,2 Bq/l
13	Cs-137	11 Bq/l
14	I-131	6,2 Bq/l

Die angegebenen Referenz-Aktivitätskonzentrationen stellen Werte dar, die für eine Dosis von 0,1 mSv/a unter Berücksichtigung der Ingestion-Dosiskoeffizienten für Erwachsene sowie einer Verzehr rate von 730 Litern Trinkwasser pro Jahr berechnet wurden.

Für die Uranisotope U-238 und U-234 berücksichtigen die in Tabelle 4 aufgeführten Referenz-Aktivitätskonzentrationen nur die radiotoxischen Eigenschaften von Uran. Uran nimmt eine Sonderstellung ein, da die Trinkwasserverordnung hierfür seit 2011 in Anlage 2 Teil I (laufende Nummer 15) aufgrund seiner *chemischen* Toxizität einen Grenzwert für die Massenkonzentration in Höhe von 10 Mikrogramm pro Liter (µg/l) enthält [BMG 2011]. Diese Massenkonzentration von Uran, die praktisch ausschließlich durch das Isotop U-238 verursacht wird, entspricht einer U-238-Aktivitätskonzentration, die nur einen Bruchteil (1/24) der nuklidspezifi-

schen Referenz-Aktivitätskonzentration ausmacht (10 µg/l Uran entsprechen einer U-238-Aktivitätskonzentration von 0,124 Bq/l). Die Einhaltung des Grenzwertes für den chemischen Parameter Uran bedeutet jedoch nicht, dass gleichzeitig auch die U-234-Aktivitätskonzentration im Hinblick auf die Richtdosis vernachlässigbar gering ist. Im Trinkwassermessprogramm des BfS [2009] wurden U-234/U-238-Aktivitätsverhältnisse bis zu einem Wert von 10 ermittelt. Bei diesem Wert und einer Urankonzentration von 10 µg/l ergibt sich eine U-234-Aktivitätskonzentration von 1,24 Bq/l, die bereits 45 % der nuklidspezifischen Referenz-Aktivitätskonzentration entspricht.

Ausführungen zur praktischen Umsetzung des Untersuchungskonzeptes sind in Kapitel 7 und in den Erläuterungen zum Ablaufschema im Anhang A-1 enthalten.

6.4 Berücksichtigung von Schwankungen des Radionuklidgehaltes

Die Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide im Trinkwasser können erheblichen Schwankungen unterliegen, die z. B. auf witterungsbedingte Einflüsse oder auf unterschiedliche Betriebszustände der Wassergewinnungs-, -aufbereitungs- und -verteilungsanlagen zurückzuführen sind. Untersuchungsergebnisse zu Einflussfaktoren auf die Rn-222-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser sind z. B. in dem Bericht „Radon und Radonfolgeprodukte im Trinkwasser in Bayern“ [LfU 2011] enthalten.

Für die gesundheitliche Bewertung sind jedoch nicht Einzelwerte, sondern Mittelwerte über längere Zeiträume von Interesse. Ausführungen zur Berechnung von Mittelwerten enthält Kapitel 7.1.

Bei den Erstuntersuchungen radioaktivitätsbezogener Parameter sind vier Messungen in unterschiedlichen Quartalen vorzusehen. Bei der Planung der vier Quartalsmessungen sollten mögliche jahreszeitliche Schwankungen der Radionuklidgehalte und wechselnde Betriebszustände in den Wasserversorgungsanlagen berücksichtigt werden, um einen arithmetischen Mittelwert zu erhalten, der repräsentativ für das zu betrachtende System ist. Der Umfang und die Häufigkeit der Untersuchungen sind dabei unabhängig von der gewählten Verfahrensweise (vgl. Anhang A-1) zur Überprüfung der Einhaltung der Richtdosis.

7 Praktische Anwendung des Untersuchungskonzeptes

In diesem Kapitel wird die praktische Durchführung der Untersuchung zur Bestimmung der Parameter Radon-222 und insbesondere der Richtdosis sowie die Bewertung der Messgrößen erläutert. Ergänzend zu den Screening-Verfahren der Trinkwasserverordnung für die Ermittlung der Richtdosis [BMG 2016] wird in Kapitel 7.2.5 eine Vorgehensweise empfohlen, die eine weitere Vereinfachung der nuklidspezifischen Messungen ermöglicht und so den analytischen Aufwand auf das notwendige Maß begrenzt. Diese Vorgehensweise stellt keinen Widerspruch zu den Vorgaben der Trinkwasserverordnung dar: für die Beurteilung der Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis sind auch in diesem Fall Plausibilitätsbetrachtungen nicht ausgeschlossen. Eine Berechnung der Richtdosis in der Maßeinheit mSv/a als Ergebnis von Einzelnuklidbestimmungen ist nicht gefordert.

7.1 Übersicht über die zu bestimmenden Parameter und Messgrößen

In der Tabelle 5 sind die in den nachfolgenden Kapiteln erläuterten Parameter für die Untersuchung der natürlichen Radioaktivität im Trinkwasser mit den jeweiligen Prüfwerten der Anlage 3a Trinkwasserverordnung [BMG 2016] zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 5 – Untersuchungen von Trinkwasser

Laufende Nummer	Parameter/ Messgröße	Einheit	Prüfwerte/ Anforderungen	Bemerkungen
1	Richtdosis*	mSv/Jahr	0,1	Ra-228, Ra-226, U-238, U-234, Pb-210 und Po-210
1a	Gesamt-Alpha-Aktivität	Bq/l	0,05	Screening-Messung zur Prüfung der Einhaltung der Richtdosis
1b	Gesamt-Alpha-Aktivität und Pb-210, Ra-228	Bq/l	0,1 je 0,2	Erweiterte Screening-Messung zur Prüfung der Einhaltung der Richtdosis
1c	Aktivitätskonzentrationen der in Zeile 1 genannten Radionuklide	Bq/l	siehe Tabelle 4	Bestimmung der Einzelnuklide und Anwendung der Summenformel (Kap. 7.2.4)
2	Radon-222	Bq/l	100	

* Erläuterung: pro Kalenderjahr

Bei der Berechnung von Jahresmittelwerten wird ein einheitliches Vorgehen hinsichtlich der Berücksichtigung von Messwerten unterhalb von Nachweisgrenzen (NWG) empfohlen. Der Mittelwert $C_{r, \text{mess}}$ wird folgendermaßen berechnet: Sind nur Messwerte unterhalb der Nachweisgrenzen vorhanden, dann wird die größte Nachweisgrenze in Form ihres Absolutwertes als Mittelwert ausgewiesen. In allen anderen Fällen werden die jeweiligen Messwerte (oberhalb von NWG) und die Absolutwerte der erzielten Nachweisgrenzen für die Mittelwertbildung herangezogen.

7.2 Richtdosis

Nach dem Untersuchungskonzept der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] sind hinsichtlich der Prüfung auf Einhaltung der Richtdosis grundsätzlich drei unterschiedlich aufwändige und auch unterschiedlich aussagefähige Verfahren anwendbar:

- ein einfaches Screening-Verfahren (TrinkwV Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe bb),
- ein erweitertes Screening-Verfahren (TrinkwV Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe aa) und
- die Bestimmung von Einzelnukliden (TrinkwV Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe cc).

Die Anwendung von Screening-Verfahren und die Einführung des Summenparameters der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration als Prüfwert zielen auf eine Vereinfachung der Untersuchungen und gleichzeitig auf eine Reduzierung des Untersuchungsumfangs ab. Die hier im Leitfaden vorgenommene begriffliche Unterscheidung zwischen „einfachem“ und „erweitertem“ Screening entspricht den in der Trinkwasserverordnung genannten Verfahren, die durch die Zusätze „mit Prüfwert $C_{\alpha\text{-ges}} \leq 0,05$ Becquerel pro Liter“ bzw. „mit Prüfwert $C_{\alpha\text{-ges}} \leq 0,1$ Becquerel pro Liter“ charakterisiert sind (Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe bb bzw. aa [BMG 2016]). Neben den unterschiedlichen Prüfwerten der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration gelten auch verschiedene Prüfbedingungen und voneinander abweichende Verfahrenskennwerte (Nachweisgrenzen) für die Methoden zur Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration (Tabellen 5 und 8).

Jedes der drei o. g. Verfahren ist geeignet, anhand der Messergebnisse eine Aussage darüber zu treffen, ob die Anforderungen der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] in Bezug auf die Richtdosis erfüllt sind oder die

Notwendigkeit weiterer Untersuchungen besteht. Eine Berechnung der Richtdosis auf der Grundlage der gemessenen Aktivitätskonzentrationen und damit auch der quantitative Vergleich mit dem Parameterwert in Höhe von 0,1 mSv/a (Tabelle 5) sind dagegen nur beim letztgenannten Verfahren möglich. Die drei Verfahren werden im Folgenden näher erläutert.

Eine Übersicht über Maßnahmen zur Prüfung auf Einhaltung der Anforderungen bezüglich der Richtdosis gibt das Ablaufschema in Anhang A-1. Der Anhang A-3 enthält Formblätter, deren Anwendung die Bewertung der Messergebnisse in jedem einzelnen Untersuchungsschritt erleichtert.

Das in Anhang A-1 schematisch dargestellte Vorgehen spiegelt zum großen Teil die in der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] vorgezeichnete Überwachungsstrategie in Bezug auf die Richtdosis wider. Darüber hinaus werden aus strahlenschutzfachlicher Sicht geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Analysenaufwands empfohlen.

Die in Anhang A-3 ausgewiesenen Formblätter sind unter Nutzung des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft® Excel anwendbar. Eine Anleitung zur Nutzung der Formblätter ist ebenfalls in Anhang A-3 enthalten.

7.2.1 Gesamt-Alpha-Aktivität

Ziel der Messung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration ist die summarische Erfassung der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Alphastrahler U-238, U-234, Ra-226 und Po-210. Beiträge anderer natürlicher, ebenfalls alphastrahlender Radionuklide, insbesondere Rn-222 und Ra-224, sollen dagegen weitgehend ausgeschlossen werden, da diese bei der Dosisermittlung nicht berücksichtigt werden¹.

Im Unterschied zu den oben genannten dosisrelevanten Alphastrahlern werden die ebenfalls relevanten, Betastrahlung emittierenden Radionuklide Pb-210 und Ra-228 bei der Messung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nicht erfasst.

7.2.2 Einfaches Screening-Verfahren

Die Trinkwasserverordnung gibt für das hier im Leitfaden als „Einfaches Screening“ bezeichnete Verfahren einen Prüfwert der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration in Höhe von 0,05 Bq/l an [BMG 2016].

Der im Vergleich zur Euratom-Richtlinie [Euratom 2013] um einen Faktor 2 niedrigere Wert wird mit den Ergebnissen des umfangreichen Messprogramms des BfS [2009] begründet. Unter Berücksichtigung der ermittelten Aktivitätskonzentrationen und der variierenden Aktivitätsverhältnisse der natürlichen alpha- und betastrahlenden Radionuklide kann die Überprüfung zur Einhaltung der Richtdosis anhand eines sehr einfachen Verfahrens erfolgen, bei dem nur der Wert für die Gesamt-Alpha-Aktivität gemessen wird und auf das Vorhandensein der ebenfalls dosisrelevanten natürlichen Betastrahler Ra-228 und Pb-210 geschlossen wird. Um insbesondere Po-210, für das die geringste Referenz-Aktivitätskonzentration abgeleitet wurde, und die genannten natürlichen Betastrahler ohne nuklidspezifische Bestimmung bei der Abschätzung der Richtdosis zu berücksichtigen, wurde in diesem Fall der Prüfwert von 0,05 Bq/l für die Gesamt-Alpha-Aktivität festgelegt.

¹ Durch spezielle analytische Bedingungen kann erreicht werden, dass Rn-222 und Ra-224 nur in einem vernachlässigbaren Ausmaß zum Messeffekt bei der Ermittlung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration beitragen. In entsprechenden Messanleitungen (siehe Anhang A-2) sind diese Bedingungen dokumentiert.

Die statistische Auswertung der Messdaten aus der Studie [BfS 2009] ergab, dass bei Einhaltung dieses Prüfwertes auch die Einhaltung der Richtdosis von 0,1 mSv/Jahr nachgewiesen werden kann.

Weitere nuklidspezifische Untersuchungen des Trinkwassers sind demnach nicht erforderlich, wenn die in der folgenden Gleichung dargestellte Prüfbedingung erfüllt ist:

$$C_{\alpha\text{-ges}} \leq 0,05 \text{ Bq/l.}$$

$C_{\alpha\text{-ges}}$ symbolisiert dabei den aus vier Quartalsmessungen zusammengefassten arithmetischen Mittelwert. Für die Anwendung dieses einfachen Screening-Verfahrens ist eine Analysenmethode zu wählen, die den Nachweis einer summarischen Alpha-Aktivität von 0,025 Bq/l [BMG 2016] gestattet.

Überschreitet der aus vier Quartalsmessungen ermittelte arithmetische Mittelwert der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration den Wert 0,05 Bq/l, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich (vgl. Kap. 7.2.4, 7.2.5 und Anhang A-1). Eine Überschreitung des o. g. Prüfwertes für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration ist aber nur in den wenigsten Fällen gleichbedeutend mit einer Überschreitung des Parameterwertes der Richtdosis von 0,1 mSv/a, da die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration häufig durch die radiologisch vergleichsweise weniger bedeutsamen Uran-Nuklide dominiert wird¹.

7.2.3 Erweitertes Screening-Verfahren

Bei dem erweiterten Screening-Verfahren wird als eine von drei Messgrößen die in Kapitel 7.2.1 beschriebene Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration ebenfalls bestimmt. Jedoch können hier Untersuchungsmethoden mit Verfahrenskennwerten, die vergleichsweise höhere Nachweisgrenzen beinhalten, angewandt werden. Für diese Bestimmungsmethoden ist eine zu erreichende Nachweisgrenze von 0,04 Bq/l (Tabelle 8) gefordert.

Zusätzlich zur Gesamt-Alpha-Aktivität sind hier jedoch auch die betastrahlenden Radionuklide Pb-210 und Ra-228 messtechnisch zu ermitteln. Die Prüfbedingung ist in der untenstehenden Gleichung dargestellt. Sie beinhaltet den Vergleich der Summe der Quotienten von den wiederum aus vier Quartalsmessungen zusammengefassten arithmetischen Mittelwerten der drei Messgrößen und den jeweiligen Prüf- bzw. Referenzwerten mit dem Wert 1.

$$\frac{\overline{C}_{\alpha\text{-ges(mess)}}}{0,1 \text{ Bq/l}} + \frac{\overline{C}_{\text{Ra-228(mess)}}}{0,2 \text{ Bq/l}} + \frac{\overline{C}_{\text{Pb-210(mess)}}}{0,2 \text{ Bq/l}} \leq 1$$

Bei Erfüllung der Prüfbedingung sind keine weiteren Untersuchungen hinsichtlich der Richtdosis erforderlich; der Parameterwert von 0,1 mSv/a gilt damit als eingehalten. Bei Überschreitung der Prüfbedingung sind weitere Analysen erforderlich; diese können unter bestimmten Voraussetzungen zunächst auf die Bestimmung des Radionuklids Ra-226 beschränkt werden (siehe Kap. 7.2.5 und Anhang A-1).

¹ Einen Anhaltspunkt dafür liefert die Umrechnung der bekannten Urankonzentration des Trinkwassers in die U-238-Aktivitätskonzentration, die Multiplikation dieses Wertes mit dem Faktor 2 (für ein angenommenes U-234/U-238-Aktivitätsverhältnis von 1) und der Vergleich des resultierenden Produktes mit dem Messwert der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration.

7.2.4 Bestimmung der Einzelnuklide

Bei Überschreitung der Prüfbedingungen für die Screening-Verfahren sind nuklidspezifische Untersuchungen gemäß Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe cc [BMG 2016] durchzuführen.

Für die nuklidspezifischen Untersuchungen sind vier Messungen in unterschiedlichen Quartalen vorzusehen. Der Bewertung werden die arithmetischen Mittelwerte $\bar{C}_{r,\text{mess}}$ aus den jeweils vier Messergebnissen zugrunde gelegt. Der Unternehmer und sonstige Inhaber einer Bestandsanlage muss berücksichtigen, dass die vorgeschriebenen Untersuchungen (ggf. Screening Verfahren und Einzelnuklidbestimmung) bis zum 26. November 2019 durchzuführen sind.

Die Berechnung der Richtdosis kann nach der in Kapitel 3.4 angegebenen Beziehung für die Ermittlung der effektiven Dosis durch Ingestion von Radionukliden erfolgen. Aus praktischen Gründen wird jedoch empfohlen, die Prüfung der Einhaltung des Parameters Richtdosis vorzugsweise über die nachfolgende abgeleitete Prüfbedingung, in die die jeweiligen mittleren Aktivitätskonzentrationen $\bar{C}_{r,\text{mess}}$ aus den Ergebnissen der Quartalsmessungen der Radionuklide eingesetzt werden, durchzuführen:

$$\sum_r \frac{\bar{C}_{r,\text{mess}}}{C_{r,\text{ref}}} \leq 1$$

$C_{r,\text{ref}}$ steht für die Referenz-Aktivitätskonzentrationen der einzelnen hier zu berücksichtigenden Radionuklide, die in der Tabelle 6 angegeben sind.

Tabelle 6 – Referenz-Aktivitätskonzentrationen $C_{r,\text{ref}}$ der natürlichen Radionuklide [BMG 2016]

Nuklid	U-238	U-234	Ra-226	Ra-228	Pb-210	Po-210
Bq/l	3,0	2,8	0,5	0,2	0,2	0,1

Bei ausschließlicher Betrachtung der relevanten Radionuklide natürlichen Ursprungs gemäß dieser Empfehlung lautet die oben genannte Beziehung vollständig:

$$\frac{\bar{C}_{\text{U-238}}}{C_{\text{U-238ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{U-234}}}{C_{\text{U-234ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Ra-226}}}{C_{\text{Ra-226ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Ra-228}}}{C_{\text{Ra-228ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Pb-210}}}{C_{\text{Pb-210ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Po-210}}}{C_{\text{Po-210ref}}} \leq 1$$

Ist die Ungleichung erfüllt, sind keine weiteren Untersuchungen erforderlich; der Parameterwert der Richtdosis (0,1 mSv/a) ist eingehalten. Für das Vorgehen bei Überschreitung der Prüfbedingung wird auf Kapitel 7.4 verwiesen. Das Ergebnis der Summenbildung dividiert durch zehn ergibt die Dosis in der Maßeinheit mSv/a und kann unmittelbar mit dem Parameterwert für die Richtdosis in Höhe von 0,1 mSv/a bzw. mit den in Tabelle 7 genannten Dosisbereichen verglichen werden.

7.2.5 Vereinfachung der nuklidspezifischen Messungen

Die nachfolgend erläuterte Vorgehensweise ist eine Empfehlung aus der Sicht des Strahlenschutzes, welche einer zweckmäßigen Konkretisierung der Regelungen zur Durchführung der Einzelnuklidbestimmung der Anlage 3a der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] dient. Gemäß Teil II der Anlage 3a sind grundsätzlich die in Tabelle 4 aufgeführten Radionuklide zu berücksichtigen. Im Hinblick auf Radionuklide künstlichen Ursprungs sind Untersuchungen gemäß § 14a Absatz 1 in der Regel nicht erforderlich. Für Radionuklide natürlichen Ursprungs kommt diese allgemeine, nicht nach einzelnen Nukliden differenzierte Befreiung von der Untersuchungspflicht nicht in Betracht. Die Berücksichtigung der sechs genannten, natürlichen Radionuklide bei der

Dosisabschätzung ist jedoch nicht gleichzusetzen mit einem messtechnischen Nachweis jedes einzelnen Nuklides. D. h. auch wenn nicht alle aufgeführten Radionuklide gemessen werden, werden sie gleichwohl berücksichtigt. Die empfohlene Vorgehensweise ist rechtlich konform mit den Anforderungen der Richtlinie 2013/51/Euratom [Euratom 2013] sowie der Trinkwasserverordnung im Hinblick auf Durchführung und Umfang von Untersuchungen.

Die Ergebnisse aus dem BfS – Trinkwasseruntersuchungsprogramm [BfS 2009] haben gezeigt, dass die Beiträge der Radionuklide Pb-210 und Po-210 zur Richtdosis für alle untersuchten Wässer, bei denen die Rn-222-Aktivitätskonzentration den Wert von 100 Bq/l nicht überschreitet, deutlich unterhalb der Richtdosis liegen. Der gemeinsame Beitrag dieser Radionuklide zur Dosis lag unter dieser Voraussetzung für die 460 Trinkwässer, für die die vollständigen Nuklidinformationen vorliegen, unterhalb von 0,05 mSv/a, in der Mehrzahl der Fälle sogar deutlich darunter. Außerdem kann der Dosisbeitrag der beiden Uranisotope U-234 und U-238 bei Werten der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration von weniger als 0,25 Bq/l höchstens bei etwa 0,01 mSv/a liegen.

Basierend auf diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen wird die Vorgabe nach Anlage 3a Teil III Nummer 2 Buchstabe c Doppelbuchstabe cc der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] konkretisiert, d. h. für einzelne Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen spezifiziert. Der Nachweis für die Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis ist demnach erbracht, wenn die Werte der mittleren Rn-222- und Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen nicht mehr als 100 Bq/l bzw. 0,25 Bq/l betragen und der durch die beiden Radiumisotope Ra-226 und Ra-228 hervorgerufene Dosisbeitrag geringer als 0,05 mSv/a ist.

Unter den Voraussetzungen: $\bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 100 \text{ Bq/l}$ und $\bar{C}_{\text{alpha-ges}} \leq 0,25 \text{ Bq/l}$ wird die in Kapitel 7.2.4 für das Verfahren der Einzelnuklidbestimmung genannte Prüfbedingung wie folgt modifiziert:

$$\frac{\bar{C}_{\text{Ra-226}}}{C_{\text{Ra-226ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Ra-228}}}{C_{\text{Ra-228ref}}} \leq 0,5$$

Bei Einhaltung dieser Prüfbedingung und der genannten Voraussetzungen für ihre Anwendung kann auf weitere nuklidspezifische Analysen verzichtet werden. Diese Empfehlung ist in das Ablaufschema im Anhang A-1 eingearbeitet. Bei Überschreitung der Prüfbedingung sind in jedem Fall vollständige nuklidspezifische Analysen erforderlich (vgl. Kap. 7.2.4).

Mit dem hier beschriebenen vereinfachten Nachweis der Einhaltung der Richtdosis werden die Dosisbeiträge der sechs Radionuklide berücksichtigt und gleichzeitig wird der analytische Aufwand in dieser Untersuchungsstufe auf das tatsächlich notwendige Maß begrenzt. Im Unterschied zur messtechnischen Erfassung von sechs Radionukliden gemäß Kapitel 7.2.4 sind lediglich die Aktivitätskonzentrationen der beiden Radiumisotope zu bestimmen. Eine Berechnung der Dosis ist allerdings bei diesem Vorgehen nicht möglich. Vergleichbar mit den Screening-Verfahren wird hier die Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis auf der Basis des oben beschriebenen Modells eingeschätzt.

Gelingt der Nachweis der Einhaltung des Radioaktivitätsparameters Richtdosis in der letzten Untersuchungsstufe nicht, ist grundsätzlich zu prüfen, ob und in welchem Zeitrahmen Maßnahmen zur Verringerung des Radionuklidgehaltes im Trinkwasser getroffen werden sollten. Hinweise zur Bewertung von Untersuchungsergebnissen oberhalb der Parameterwerte für die Richtdosis und/oder die Rn-222-Aktivitätskonzentration sind Kapitel 7.4 zu entnehmen.

Ein Ablaufschema der beschriebenen Untersuchungsschritte zur Prüfung der Einhaltung des Parameters der Richtdosis befindet sich in Anhang A-1.

7.3 Radon-222

Um das Ausmaß einer möglichen Exposition durch Rn-222 im Trinkwasser zu bestimmen, sind grundsätzlich Erstuntersuchungen durchzuführen. Eine Befreiung von der Untersuchungspflicht kann nach § 14a Absatz 4 Trinkwasserverordnung [BMG 2016] bei der zuständigen Behörde beantragt werden (vgl. Kap. 6.2).

Zur Ermittlung der im Jahresdurchschnitt vorliegenden Rn-222-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser werden im Sinne der Erstuntersuchung vier Messungen in unterschiedlichen Quartalen durchgeführt. Bei der Planung der vier Quartalsmessungen sind mögliche Änderungen zu beachten, die auf jahreszeitliche Schwankungen und wechselnde Betriebsabläufe in der Wassergewinnungs-, -aufbereitungs- und -verteilungsanlagen zurückzuführen sind. Insbesondere bei stark schwankenden Rn-222-Aktivitätskonzentrationen sind die Entnahme und Untersuchung repräsentativer Proben von zentraler Bedeutung.

Nach Abschluss der vier Quartalsmessungen ist der Mittelwert aus den einzelnen Messergebnissen zu bilden und dieser mit dem Parameterwert der Rn-222-Aktivitätskonzentration in Höhe von 100 Bq/l zu vergleichen.

Bei Einhaltung dieses Wertes kann der Verzicht auf regelmäßige Untersuchungen bei der zuständigen Behörde gemäß § 14a Absatz 4 Satz 2 Nummer 2 der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] beantragt werden. Bei Überschreitung des Wertes ist grundsätzlich zu prüfen, ob und in welchem Zeitrahmen Maßnahmen zur Verringerung des Rn-222-Gehaltes im Trinkwasser getroffen werden sollten. Empfehlungen dazu sind Tabelle 7 in Kapitel 7.4 zu entnehmen. Die Bewertung der Rn-222-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser erfolgt unabhängig von der Richtdosis durch unmittelbaren Vergleich der Messwerte mit dem Parameterwert in Höhe von 100 Bq/l.

7.4 Verfahrensweise bei Überschreitung der Parameterwerte für die Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Trinkwasser sollte ein Leben lang unbedenklich verwendet werden können, daher sollte sein Verzehr nicht nennenswert zur gesamten Strahlenexposition der Bevölkerung aus natürlichen Quellen beitragen. Dieser Vorsorgegedanke spiegelt sich in den radiologischen Qualitätsparametern für das Trinkwasser wider.

Bei Überschreitung der Parameterwerte der Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration sind aus gesundheitlichen Vorsorgegründen Maßnahmen zur Reduzierung der Radionuklidgehalte zu prüfen (Trinkwasserverordnung § 9 Absatz 5a [BMG 2016]). Unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit sind jedoch nicht immer zwingend Gegenmaßnahmen geboten. Es wird empfohlen, folgende Gesichtspunkte in die Überlegungen einzubeziehen:

- Der festgelegte Parameterwert für die Richtdosis in Höhe von 0,1 mSv im Kalenderjahr beträgt nur einen Bruchteil der gesamten natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung (im Mittel 2,1 mSv im Kalenderjahr). In Abhängigkeit von dem Grad der Überschreitung der Parameterwerte, von der Anzahl der betroffenen Personen und vom technischen Aufwand zur Reduzierung der betreffenden Radionuklidgehalte können deshalb aus radiologischer Sicht Überschreitungen für Übergangszeiträume oder gegebenenfalls auch dauerhaft hingenommen werden. Konkrete Empfehlungen hierzu finden sich weiter unten in diesem Abschnitt.
- Aus einer Unterbrechung der Trinkwasserversorgung können sich schwerwiegende Nachteile für den Verbraucher (Auftreten hygienischer Mängel, Unterbrechung der Schwemmkanalisation, Fehlen von Löschwasser) ergeben [DVGW 2008b].

Dosiswerte oder Rn-222-Aktivitätskonzentrationen, die lediglich geringfügig oberhalb der Parameterwerte liegen, können – auch dauerhaft – hingenommen werden, wenn nicht mit einfachsten Mitteln eine Reduzierung

erreicht werden kann (z. B. durch Änderungen im Betriebsregime). Von Geringfügigkeit kann in diesem Zusammenhang ausgegangen werden, wenn die ermittelten Werte nicht höher sind als das 1,2fache der jeweiligen Parameterwerte. Die erneute Untersuchung (Wiederholungsmessung) zur Überprüfung des Jahresmittelwertes der kritischen Parameter wird, sofern die zuständige Behörde einen von der vorgeschriebenen Mindesthäufigkeit (siehe Kap. 6.2) abweichenden Untersuchungsumfang zulässt, nach spätestens fünf Jahren empfohlen. Vorzugsweise erfolgt diese Untersuchung in Analogie zur Erstuntersuchung, d. h. es werden Quartalsmessungen durchgeführt und Jahresmittelwerte berechnet. Tabelle 7 gibt Empfehlungen für die Bewertung und das Vorgehen bei Überschreitung der Parameter für die Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration.

Tabelle 7 – Empfehlungen bei Überschreitung der Parameterwerte der Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Richtdosis E	Rn-222-Aktivitätskonzentration (Jahresmittelwert)	Empfehlungen / Anmerkungen
$E \leq 0,1 \text{ mSv/a}$	$\bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 100 \text{ Bq/l}$	Parameterwerte sind eingehalten, keine Maßnahmen erforderlich Wiederholungsmessungen bei wesentlichen Änderungen (siehe Kap. 6.2)
$0,1 \text{ mSv/a} < E \leq 0,12 \text{ mSv/a}$	$100 \text{ Bq/l} < \bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 120 \text{ Bq/l}$	Überschreitung der Parameterwerte der Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration kann dauerhaft hingenommen werden, wenn nicht mit einfachsten Mitteln eine Reduzierung erreicht werden kann. Wiederholungsmessungen nach spätestens 5 Jahren
$0,12 \text{ mSv/a} < E \leq 0,2 \text{ mSv/a}$	$120 \text{ Bq/l} < \bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 300 \text{ Bq/l}$	Unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit Reduzierungsmaßnahmen innerhalb eines Zeitrahmens von 10 Jahren durchführen und prüfen. Nachhaltigkeit der Maßnahmen durch Wiederholungsmessungen nach spätestens 5 Jahren überprüfen
$0,2 \text{ mSv/a} < E \leq 0,3 \text{ mSv/a}$	$300 \text{ Bq/l} < \bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 1000 \text{ Bq/l}$	Unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit Reduzierungsmaßnahmen innerhalb eines Zeitrahmens von 3 Jahren durchführen und prüfen. Nachhaltigkeit der Maßnahmen durch Wiederholungsmessungen nach spätestens 5 Jahren überprüfen
$E > 0,3 \text{ mSv/a}$	$\bar{C}_{\text{Rn-222}} > 1000 \text{ Bq/l}$	Kurzfristig Maßnahmen zur Reduzierung der Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration durchführen und prüfen. Nachhaltigkeit der Maßnahmen durch Wiederholungsmessungen nach spätestens 5 Jahren überprüfen

Für den Fall, dass die ermittelten Werte nicht nur geringfügig über den Parameterwerten liegen, können sie aus Sicht des Strahlenschutzes dennoch, in Abhängigkeit von der Höhe, für einen Zeitraum von etwa 3 bis 10 Jahren hingenommen werden. Bei Einhaltung der in Tabelle 7, Zeile 3 und 4 dafür angegebenen Bedingungen bedeutet dies im Verhältnis zur gesamten natürlichen Strahlenexposition eine nur geringe, tolerierbare Erhöhung. Der zugrunde liegende Ansatz ist hinsichtlich der Rn-222-Aktivitätskonzentrationen mit dem in der EU-Radonempfehlung [EG 2001] vorgesehenen Wertebereich kompatibel.

Ist die ermittelte Dosis um mehr als das Dreifache oder die Rn-222-Aktivitätskonzentration um mehr als das Zehnfache gegenüber dem jeweiligen Parameterwert erhöht, sollten aus Gründen der Strahlenschutzvorsorge möglichst kurzfristig Reduzierungsmaßnahmen ergriffen und eine anschließende Prüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen durchgeführt werden.

Sofern Maßnahmen zur Reduzierung von Radionuklidkonzentrationen durchgeführt werden, sollten Wiederholungsmessungen zum Nachweis der Nachhaltigkeit der Maßnahmen nach Ablauf von nicht mehr als 5 Jahren vorgesehen werden. Art und Umfang dieser Messungen werden von der zuständigen Behörde unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls festgelegt (Trinkwasserverordnung § 9 Absatz 5a [BMG 2016]).

In der Tabelle 7 sind die Empfehlungen bei Überschreitung der Parameterwerte der Richtdosis und/oder der Rn-222-Aktivitätskonzentration zusammenfassend dargestellt.

Maßnahmen mit dem Ziel der Unterschreitung der Parameterwerte können sein:

- Änderung des Betriebsregimes,
- Verschneiden der Wässer aus verschiedenen Brunnen,
- Aufbereitung der Wässer (wie Belüftung der Wässer, Einsatz von Ionenaustauschern, weiterführend z. B. in DVGW [2003]).

Dabei sind mögliche Auswirkungen auf andere wasserchemische, physikalische und bakteriologische Parameter zu beachten, um die Vorgaben der Trinkwasserverordnung einzuhalten. Bei der Aufbereitung sollen die allgemein anerkannten Regeln der Technik (z. B. Regelwerke des DVGW) beachtet werden. Die im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen werden von der zuständigen Behörde angeordnet (TrinkwV § 9 Absatz 5a [BMG 2016]).

8 Analytische Bestimmung der radioaktivitätsbezogenen Parameter

8.1 Anforderungen an die Probennahme und Untersuchungslabore

Die nach § 15 Absatz 4 der Trinkwasserverordnung erforderlichen Untersuchungen einschließlich der Probennahmen dürfen nur von dafür zugelassenen Untersuchungsstellen durchgeführt werden [BMG 2016]. Die zuständige oberste Landesbehörde oder eine von ihr benannte Stelle erteilt einer Untersuchungsstelle, die im jeweiligen Land tätig und nicht bereits durch ein anderes Land zugelassen ist, auf Antrag die Zulassung, wenn die Untersuchungsstelle

1. in Bezug auf radioaktive Stoffe die Vorgaben der Trinkwasserverordnung, Anlage 3a Teil III Nummer 3 [BMG 2016] einhält,
2. nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik arbeitet,
3. über ein System der internen Qualitätssicherung verfügt,
4. sich mindestens einmal jährlich an externen Qualitätssicherungsprogrammen erfolgreich beteiligt,
5. über Personal verfügt, das für die entsprechenden Tätigkeiten hinreichend qualifiziert ist, und
6. durch eine nationale Akkreditierungsstelle eines Mitgliedsstaates der Europäischen Union für entsprechende Trinkwasseruntersuchungen akkreditiert ist.

Analog zu den Anforderungen des § 15 Trinkwasserverordnung [BMG 2016] soll die Probennahme auch für Radioaktivitätsuntersuchungen von einem sachkundigen Probenehmer durchgeführt werden. Die Probenahme erfolgt grundsätzlich entsprechend den Verfahren der Messanleitungen des BMUB [Anhang A-2] oder

mit gleichwertigen Verfahren. Für die Entnahme von Proben für die Aktivitätsbestimmung sind dem Probennehmer von der beauftragten Untersuchungsstelle (auch als Untersuchungslabor oder Messstelle bezeichnet) die Verfahrensweisen in Form von Arbeitsanweisungen vorzugeben.

Bei der Dokumentation der Probennahme sind die Vorgaben der Trinkwasserverordnung § 15 Absatz 3 [BMG 2016] zu berücksichtigen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass neben den eindeutigen Ortsangaben auch der genaue Zeitpunkt der Probennahme (Datum und Uhrzeit), das Probennahmeverfahren und besondere Vorkommnisse dokumentiert werden. Weiterhin muss nachvollziehbar sein, wann die Probe an das Untersuchungslabor übergeben (übersandt) wurde. Die Übergabe der Proben hat zeitnah an die Untersuchungslabore zu erfolgen. Trinkwasserproben zur Rn-222-Bestimmung sind aufgrund der geringen Halbwertszeit von Rn-222 umgehend (in der Regel innerhalb von 24 Stunden) an das Labor zu übergeben.

Wie bei allen anderen Untersuchungen nach Trinkwasserverordnung ist die Probennahme in die Akkreditierung der betreffenden Untersuchungsstelle mit einzubinden und das Personal im Rahmen von Fortbildungen gezielt und regelmäßig zu schulen. Auch die Kompetenz des sonstigen Personals sollte durch eine geeignete Aus- und Weiterbildung sichergestellt werden.

8.2 Probennahmestellen in der Wasserversorgungsanlage

Die Einhaltung der Qualitätsanforderungen an das Trinkwasser ist für die Zapfstellen, die sich in einer Trinkwasser-Installation befinden und die der Entnahme von Trinkwasser dienen – also an der Zapfstelle des Endverbrauchers – sicherzustellen. Da sich die Konzentration der Radionuklide im Verteilungsnetz einschließlich der Trinkwasser-Installation in der Regel nicht mehr erhöht, kann die Einhaltung der Qualitätsanforderungen auch durch Untersuchungen nach Abschluss der Aufbereitung (am Wasserwerksausgang) nachgewiesen werden. Es wird empfohlen, die Untersuchungen an dieser Stelle, an der auch die Untersuchung der nicht auf die Radioaktivität bezogenen Parameter erfolgt, durchzuführen. Werden an dieser Stelle die Prüfbedingungen eingehalten, sind keine weiteren Untersuchungen im Verteilungsnetz oder beim Endverbraucher notwendig.

Die Rn-222-Aktivitätskonzentration verringert sich in der Regel bei der Verteilung zwischen dem Ende der Aufbereitung und der Zapfstelle des Endverbrauchers. Ursachen hierfür sind zum Einen die kurze Halbwertszeit von Rn-222 (3,82 Tage) und zum Anderen das Ausgasen in drucklosen Einrichtungen zur Wasserspeicherung (insbesondere bei turbulenten Wassereinläufen in Wasserbehälter z. B. Hochbehälter). In Einzelfällen, bei denen der Parameterwert der Rn-222-Aktivitätskonzentration in Höhe von 100 Bq/l am Ende der Aufbereitung überschritten wird, kann es daher sinnvoll sein, die Einhaltung dieser Aktivitätskonzentration im Leitungsnetz oder am Ausgang von Hochbehältern oder anderen Einrichtungen zur Wasserspeicherung zu prüfen.

8.3 Untersuchungsverfahren und Verfahrenskennwerte

Probennahme- und Untersuchungsverfahren für die Parameterwerte für radioaktive Stoffe richten sich nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Geeignete Verfahren für die Bestimmung künstlicher und natürlicher Radionuklide im Trinkwasser sind in den Messanleitungen der nach § 11 des StrVG [BMU 1986] beim BfS angesiedelten Leitstelle zur Überwachung der Umweltradioaktivität für den Bereich Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Abwasser aus kerntechnischen Anlagen beschrieben. Die Messanleitungen werden unter dem Titel „Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in Umwelt und externer Strahlung“ vom BMUB herausgegeben. Darüber hinaus können auch zutreffende DIN- und ISO-Normen herangezogen werden. Die Eignung der Verfahren ist anhand der erreichbaren Nachweisgrenzen (Tabelle 8) zu prüfen und die Verlässlichkeit der Ergebnisse z. B. durch die Teilnahme an Ringversuchen nachzuweisen.

Die Nachweisgrenzen werden in der Anlage 3a Teil III der Trinkwasserverordnung als Verfahrenskennwerte für die Bestimmung der Parameter Tritium und Rn-222, die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und die Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration sowie für einzelne Radionuklide vorgegeben [BMG 2016].

Tabelle 8 – Verfahrenskennwerte [BMG 2016]

Laufende Nummer	Parameter, Gesamt-Aktivitätskonzentrationen und Radionuklide	Nachweisgrenze (Anmerkungen 1 und 2)
1	Tritium	10 Bq/l
2	Radon-222	10 Bq/l
3	Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration	0,04 Bq/l (Anmerkung 3) 0,4 Bq/l
4	U-238	0,02 Bq/l
5	U-234	0,02 Bq/l
6	Ra-226	0,04 Bq/l
7	Ra-228	0,02 Bq/l (Anmerkung 4)
8	Pb-210	0,02 Bq/l
9	Po-210	0,01 Bq/l
10	C-14	20 Bq/l
11	Sr-90	0,4 Bq/l
12	Pu-239/Pu-240	0,04 Bq/l
13	Am-241	0,06 Bq/l
14	Co-60	0,5 Bq/l
15	Cs-134	0,5 Bq/l
16	Cs-137	0,5 Bq/l
17	I-131	0,5 Bq/l

Anmerkung 1: Die Nachweisgrenze ist zu berechnen nach der Norm DIN ISO 11929 [2011] mit Wahrscheinlichkeiten des Fehlers erster bzw. zweiter Art von jeweils fünf Prozent.

Anmerkung 2: Messunsicherheiten sind zu berechnen und zu dokumentieren. Zusätzlich kann der Vertrauensbereich ausgewiesen werden, wobei dieser mit der Wahrscheinlichkeit $1 - \gamma$ von 95 Prozent festzulegen ist.

Anmerkung 3: Diese Nachweisgrenze gilt nur für die Verwendung des Prüfwertes von 0,1 Becquerel pro Liter unter Berücksichtigung der Aktivitätskonzentrationen von Pb-210 und Ra-228. Für die Verwendung des Prüfwertes von 0,05 Becquerel pro Liter ohne weitere nuklidspezifische Untersuchungen, wenn ausschließlich natürliche Radionuklide zu berücksichtigen sind, gilt die Nachweisgrenze von 0,025 Becquerel pro Liter.

Anmerkung 4: Diese Nachweisgrenze gilt nur für die Erstuntersuchung im Hinblick auf die Richtdosis für eine neue Wasserressource. Falls die Erstuntersuchung keinen plausiblen Grund dafür ergibt, dass Ra-228 20 Prozent der abgeleiteten Konzentration überschreitet, kann für regelmäßige Untersuchungen eine Untersuchungsmethode mit einer Nachweisgrenze von bis zu 0,08 Becquerel pro Liter für Ra-228 angewandt werden.

Die Nachweisgrenze für Tritium und Rn-222 liegt bei 10 Prozent des Parameterwertes von 100 Bq/l. Für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration von 0,1 Bq/l beträgt die diesbezügliche Nachweisgrenze 0,04 Bq/l (= 40 Prozent); bei einem Prüfwert von 0,05 Bq/l beträgt sie 0,025 Bq/l (= 50 Prozent). Die Nachweisgrenze für die Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration liegt ebenfalls bei 40 Prozent des Wertes von 1,0 Bq/l.

8.4 Anforderungen an die analytischen Verfahren

8.4.1 Probennahme und Probenbehandlung

Zur Probennahme und Probenbehandlung von Trinkwasser zur Bestimmung der radioaktivitätsbezogenen Parameter wird auf die BMUB-Messanleitungen H-VORBEMERK-TWASS-01, H-VORBEMERK-TWASS-02 und ggf. H-γ-SPEKT-TWASS-01 hingewiesen. Auf Besonderheiten für die Entnahme und Behandlung von Proben zur Bestimmung von Rn-222 und Pb-210 wird außerdem in den entsprechenden Messanleitungen (siehe Anhang A-2) eingegangen.

Das Ausgasen („Entemanieren“) von Rn-222 wird nur im Falle einer durchzuführenden Pb-210-Bestimmung vorgenommen. Es erfolgt in unmittelbarem Anschluss an die Probennahme entweder vor Ort oder im Untersuchungslabor. Bei bekannter Rn-222-Aktivitätskonzentration unterhalb von 50 Bq/l kann auf ein Ausgasen der Probe verzichtet werden, da innerhalb von ca. 7 Tagen maximal eine Pb-210-Aktivitätskonzentration von 10 % der Referenz-Aktivitätskonzentration (200 mBq/l) nachgebildet werden kann.

Da auch bei geringen räumlichen Abständen von Einzelbrunnen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Radionuklidkonzentrationen auftreten können, ist bei der Entnahme von Proben darauf zu achten, dass für die Versorgung repräsentative Betriebszustände gegeben sind. In Werken mit wechselnden Betriebszuständen (z. B. unterschiedliche Fördermengen von Einzelbrunnen) ist dies bei der quartalsweisen Beprobung zu berücksichtigen. Auch technologische Prozesse im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung (z. B. Filterspülungen, Filtrationen) unterliegen einem gewissen Zeitregime und können ggf. die Messwerte der radioaktivitätsbezogenen Parameter beeinflussen.

8.4.2 Messanleitungen der Leitstellen

Geeignete Probeentnahme- und Analysenverfahren zur Überwachung der Aktivitätskonzentrationen bzw. der spezifischen Aktivitäten radioaktiver Stoffe in der Umwelt wurden in der Vergangenheit von den bei verschiedenen Bundesbehörden angesiedelten Leitstellen zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt entwickelt und in einer vom damaligen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) herausgegebenen Loseblattsammlung veröffentlicht, bis 2006 in Papierform [BMU 2006c]. Die Messanleitungen werden seit 2010 unter dem Titel „Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“ herausgegeben [Anhang A-2] und sind auf der Internetseite des BMUB abrufbar unter:

www.bmub.bund.de/P384/

Sie bestehen aus einem Allgemeinen Teil, der Eigenschaften für alpha-, beta- und gammastrahlende Radionuklide beschreibt und einen Überblick über Analysenverfahren für diese Stoffe gibt, und einem Teil mit Anleitungen zu Verfahren der für die verschiedenen Umweltbereiche zuständigen Leitstellen (nach § 3 StrVG [BMU 1986]).

Die Messanleitungen des BMUB sind in Deutschland seit Jahrzehnten der Standard für Radioaktivitätsuntersuchungen im Umweltbereich und damit allgemein anerkannte Regeln der Technik. Daher wird empfohlen, für die Radioaktivitätsuntersuchungen im Trinkwasserbereich bevorzugt Verfahren einzusetzen, die den Vorgaben der Messanleitungen gerecht werden oder DIN- bzw. DIN-ISO-Normungen entsprechen.

8.4.3 Sonstige Messverfahren

In Deutschland existiert neben den BMUB-Messanleitungen eine Reihe von in der Praxis bewährten und dokumentierten Messverfahren für die Bestimmung von Radionukliden in Umweltmedien einschließlich solcher für Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser. Dazu zählen die in der Loseblattsammlung „Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität“ des Arbeitskreises Umweltüberwachung (AKU) des Fachverbandes für Strahlenschutz (FS) dokumentierten Verfahren. Diese Empfehlungen sind nicht primär an den zu überwachenden Umweltbereichen, sondern am Analysen- und Detektionsverfahren orientiert. Sie sind auf der Internetseite des Fachverbands für Strahlenschutz e.V. unter folgendem Link abrufbar:

<http://www.fs-ev.org/arbeitskreise/umweltueberwachung/loseblattsammlung/>

Darüber hinaus sind zahlreiche DIN- und ISO-Normen verfügbar (siehe Anlage A-2).

8.4.4 Einzuhaltende Nachweisgrenzen

Wie oben ausgeführt, stehen qualifizierte Verfahren der Probennahme, Probenbehandlung und Analyse zur Überwachung der radioaktivitätsbezogenen Parameter zur Verfügung. Um die praktische Anwendbarkeit eines analytischen Verfahrens sicherzustellen, muss das Verfahren mindestens geeignet sein, die in Tabelle 8 genannten Nachweisgrenzen einzuhalten.

Um diese Nachweisgrenzen einzuhalten, müssen notwendige Probenvolumina, die Art der Probenbehältnisse, Probenpräparation, Messzeiten, Messbeginn usw. an die konkreten Gegebenheiten des betreffenden Labors, z. B. hinsichtlich der vorhandenen Messtechnik, der Räumlichkeiten und damit vorhandenen Untergrundstrahlung (Nulleffektzählraten) und der in der Praxis erreichten chemischen Ausbeuten individuell angepasst werden. Hierzu müssen von der Messstelle (dem Untersuchungslabor) entsprechende Laborvorschriften erstellt und die in der Praxis anzuwendenden Verfahren validiert werden.

8.4.5 Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenzen sowie der Messunsicherheiten

- Erkennungs- und Nachweisgrenze:

In Tabelle 8 sind für die relevanten Radionuklide und für die Summenparameter die bei der Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen einzuhaltenden Nachweisgrenzen (in Becquerel pro Liter) als Mindestanforderung angegeben. Diese Werte sind der Trinkwasserverordnung Anlage 3a Teil III [BMG 2016] entnommen.

Für die Bestimmung der Erkennungsgrenze, der Nachweisgrenze und der Messunsicherheit ist im Bereich der Kernstrahlungsmessung ein spezielles Normenwerk entwickelt worden; insbesondere gibt DIN 1319-4 [1999] die Definition dieser Parameter und DIN ISO 11929 [2011] die Methoden zu ihrer Ermittlung wieder. Diese Definitionen und Methoden, die sich in wesentlichen Punkten gegenüber den Definitionen für die chemischen Parameter unterscheiden, haben sich im gesamten Bereich der Kernstrahlungs- und Strahlenschutzmessungen durchgesetzt und sind aus Gründen der Konsistenz auch den Messungen der radioaktivitätsbezogenen Parameter im Trinkwasser zugrunde zu legen.

Die Erkennungsgrenze ist der Wert der Messgröße, bei dessen Überschreitung entschieden wird, dass der physikalische Effekt tatsächlich vorliegt. Nach DIN ISO 11929 [2011] ist die Erkennungsgrenze dabei so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit für die falsche Entscheidung, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, kleiner als ein vorgegebener Wert α ist. Damit dient die Erkennungsgrenze der Beurteilung, ob ein Messeffekt vorliegt oder nicht. Die Definition des Begriffs Erkennungsgrenze nach DIN ISO 11929 [2011] entspricht somit dem Begriff der Nachweisgrenze, wie sie für die chemische Analytik in der DIN 32465 [2008] festgelegt

und für die chemischen Parameter im Trinkwasser (vgl. Trinkwasserverordnung Anlage 5, Teil II Anmerkung 2 [BMG 2001]) angewandt wird.

Die Bedeutung des Begriffs der Nachweisgrenze für Radioaktivitätsmessungen im Trinkwasser, ist der DIN ISO 11929 [2011] entsprechend wie folgt: Die Nachweisgrenze ist die kleinste Konzentration eines Radionuklids in einer Trinkwasserprobe, die mit dem gewählten Verfahren unter Berücksichtigung seiner Unsicherheiten noch mit ausreichender Sicherheit ($> 95\%$) zu einem Messergebnis führt, das als reale Konzentration des Radionuklids in der betreffenden Trinkwasserprobe erkannt wird, da es sich hinreichend von dem unvermeidbaren Beitrag der Untergrundstrahlung abhebt. Die Nachweisgrenze erlaubt somit zu entscheiden, ob ein Messverfahren für den vorgegebenen Messzweck geeignet ist, oder nicht. Die erhaltene Nachweisgrenze unterscheidet sich von Messung zu Messung innerhalb bestimmter Grenzen und wird für jede Messung mit der einzuhaltenden Nachweisgrenze (Tabelle 8) verglichen, um zu entscheiden, ob der Messzweck erfüllt wurde, oder die Messung wiederholt werden muss.

Für die chemischen Analysen entspricht diese Definition der Nachweisgrenze der Grenze, die nach DIN 32465 [2008] als Erfassungsgrenze bezeichnet wird. Im Rahmen der Trinkwasserverordnung [BMG 2015a] wird die Angabe der Erfassungsgrenze für die Bestimmung der chemischen Parameter nicht gefordert. Aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen bei Radioaktivitätsmessungen und chemischer Analytik sind die Nachweisgrenzen, obwohl sie eine andere Bedeutung haben, unter den in Anlage 3a Teil III Punkt 3 Anmerkung 1 bzw. Anlage 5 Teil II Anmerkung 2 der Trinkwasserverordnung [BMG 2001, 2016] getroffenen Vorgaben in etwa gleich.

In Anwendung der oben genannten Definitionen ist für die Messung der radioaktivitätsbezogenen Parameter im Trinkwasser folgendes Vorgehen obligatorisch:

- 1) Vergleich von experimentell ermittelter Nachweisgrenze und einzuhaltender Nachweisgrenze (siehe Tabelle 8) → Feststellung der **Eignung** des Messverfahrens im Vorfeld der routinemäßigen Anwendung
 - 2) Vergleich des primären Messergebnisses (experimentell ermittelter Wert der Messgröße) mit der Erkennungsgrenze
 - a) Ist die Erkennungsgrenze überschritten, wird der beste Schätzwert und dessen Unsicherheit als Messergebnis angegeben.
 - b) Wird die Erkennungsgrenze nicht überschritten, so ist als Ergebnis „ $<$ Nachweisgrenze“, sowie die Nachweisgrenze selbst anzugeben. Die Angabe „ $<$ Erkennungsgrenze“ ist zwar sachlich nicht falsch. Allerdings liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit bei bis zu 50% , wodurch diese Angabe nicht sinnvoll ist.
- Messunsicherheiten:

Eine Aufnahme der den konkreten Messwerten zugeordneten Messunsicherheiten in den Prüfbericht ist zwar nach allgemeiner Praxis im Bereich des Vollzugs der Trinkwasserverordnung [BMG 2016] nicht gefordert, allerdings wird im Bereich der Kernstrahlungsmesstechnik zwingend die Angabe des so genannten vollständigen Messergebnisses, das neben dem eigentlichen Messwert die Messunsicherheit einschließt, gefordert. Es wird deshalb empfohlen, im Prüfbericht die jeweiligen Messunsicherheiten anzugeben.

Bei der Kontrolle der Einhaltung der Parameterwerte und Prüfbedingungen bleiben die Messunsicherheiten unberücksichtigt. Gleichwohl ist es sinnvoll, Mindestanforderungen an die Messunsicherheiten für die Bestimmungsgrößen festzulegen, um das Ausmaß messtechnisch bedingter Fehleinschätzungen zu begrenzen und eine sachgerechte Beurteilung der Messergebnisse zu ermöglichen.

Bei Anwendung der derzeit verfügbaren Standardmessverfahren sind relative Messunsicherheiten im Bereich der einzuhaltenden Nachweisgrenzen von max. 25 % für die zu ermittelnde Messgröße erreichbar (Unterhalb der einzuhaltenden Nachweisgrenzen und insbesondere unterhalb der erreichten Nachweisgrenzen werden die relativen Messunsicherheiten zunehmend durch die zählstatistische Unsicherheit dominiert und können deutlich höhere Werte als 25 % erreichen.). Da die zu erreichenden Nachweisgrenzen i. A. 10 % der jeweiligen Referenz-Aktivitätskonzentrationen betragen, hat die Messunsicherheit dieser kleinen und sehr unsicheren Werte oberhalb der Erkennungsgrenze und unterhalb der erreichten Nachweisgrenze keinen größeren Einfluss auf die Beurteilung der Einhaltung der Referenzwerte.

Eine Ausnahme bildet der Summenparameter Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration, bei dessen Bestimmung mit relativen Messunsicherheiten von bis zu 50 % gerechnet werden muss. Diese Unsicherheiten korrelieren auch mit den Ergebnissen bisher durchgeführter Ringversuche. Dieser Summenparameter wird aber nicht verwendet, um die Richtdosis zu berechnen, sondern dient lediglich der Einschätzung, ob weiterführende Messungen nötig sind.

Messwerte unterhalb von Nachweisgrenzen können nicht zur Beurteilung von Untersuchungsergebnissen herangezogen werden. Bei der Berechnung von Mittelwerten oder Quotienten von gemessenen und abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen werden die Absolutbeträge von Nachweisgrenzen als niedrigste Werte berücksichtigt.

8.5 Prüfbericht

Gemäß den Anforderungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 [2005] an akkreditierte Laboratorien sollen alle Ergebnisse in einem Prüfbericht dokumentiert werden. Jeder Prüfbericht enthält danach mindestens die folgenden Angaben:

- Name und Anschrift des Labors (ggf. ist zusätzlich eine Ortsangabe erforderlich, wenn das Labor mehrere Anschriften hat),
- eindeutige Kennzeichnung (z. B. Auftrags- oder Seriennummer) sowie eine Identifikation auf jeder Seite und am Ende des Prüfberichts einschließlich Seitennummerierung,
- Name und Anschrift des Kunden bzw. Auftraggebers,
- Datum des Eingangs der untersuchten Proben im Labor,
- Angaben zu den angewendeten Analyseverfahren,
- Angabe der Analyseergebnisse mit Einheiten.

Außerdem sind für die Interpretation der Prüfergebnisse weitere Angaben erforderlich:

- Datum der Probennahme,
- eindeutige Probenbezeichnung,
- Angaben zum Probennahmeort und zum Probennahmeverfahren (in Analogie zu den Anforderungen nach Trinkwasserverordnung § 15 Absatz 3 [BMG 2016]).
- Einzelheiten über die Umgebungsbedingungen während der Probennahme, die die Interpretation von Prüfergebnissen beeinflussen können (vgl. Messanleitung Probennahme).
- Angaben des Quartals (1., 2., 3. oder 4. Quartal), in dem die Probennahme erfolgt ist,
- alle Einzelwerte für die erforderlichen Prüfungen auf Einhaltung der Richtdosis bzw. des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Wenn ein Prüfbericht Ergebnisse von Prüfungen enthält, die von Unterauftragnehmern oder durch Fremdvergabe durchgeführt wurden, müssen diese Ergebnisse nach DIN EN ISO/IEC 17025 [2005] klar gekennzeichnet sein. Auch bei nicht selbst durchgeführten Probennahmen muss erkennbar sein, von wem diese Arbeiten durchgeführt wurden und ob sie unter Akkreditierungsbedingungen erfolgten.

Für die Radioaktivitätsparameter sind die ermittelten Messergebnisse mit Messunsicherheiten nach den Vorgaben der DIN ISO 11929 [2011] auszuweisen.

Ergänzend zu den Prüfberichten können die im Anhang A-3 zusammengestellten Formblätter „Prüfung zur Einhaltung der radioaktivitätsbezogenen Parameter“ zur Dokumentation der durchgeführten Messungen und zum Vergleich mit den entsprechenden Prüfbedingungen in jedem Untersuchungsschritt genutzt werden. Die dazu notwendigen Berechnungen werden bei den als Microsoft® Excel-Tabellen gestalteten Formblättern automatisch ausgeführt; Erläuterungen dazu sind in Form einer Anleitung ebenfalls im Anhang A-3 enthalten. Diese Formblätter stellen keinen Ersatz eines Prüfberichtes dar, sondern sollen als eine Hilfestellung dienen, um die Bewertung hinsichtlich der Anforderungen an Trinkwasser in Bezug auf die Radioaktivität zu erleichtern. Eine Dokumentation der automatisch durchgeführten Berechnungen kann für jedes Formblatt bei der Leitstelle unter der E-Mail-Adresse „leitstelle-h@bfs.de“ angefordert werden.

Die Formblätter sind in Analogie zu den einzelnen, in der Regel nacheinander zu durchlaufenden Untersuchungsschritten (vgl. Kap. 7.2.2 bis 7.2.5, Anhang A-1) gegliedert. Sie werden im Folgenden den jeweiligen Mess- und Prüfaufgaben zugeordnet.

- **Prüfung auf Einhaltung der Parameterwerte der Richtdosis und der Rn-222-Aktivitätskonzentration** (einfaches und erweitertes Screening-Verfahren)

Formblatt I: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im einfachen Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.2 sowie 7.3

- I.1: Ergebnisse einer Einzelprobe
- I.2: Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen

Formblatt II: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im erweiterten Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.3 sowie 7.3

- II.1: Ergebnisse einer Einzelprobe
- II.2: Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen

- **Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen** (Vereinfachung der nuklidspezifischen Messungen)

Formblatt III: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen nach Kapitel 7.2.5 und Anhang A-1

- III.1: Ergebnisse einer Einzelprobe
- III.2: Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen

- **Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide (Bestimmung der Einzelnuklide)**

Formblatt IV: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide nach Kapitel 7.2.4

- IV.1: Ergebnisse einer Einzelprobe
- IV.2: Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen

8.6 Qualitätssicherung

Nach § 15 Trinkwasserverordnung [BMG 2001] müssen Untersuchungslabore über ein System der internen Qualitätssicherung verfügen und sich mindestens einmal pro Jahr an externen Qualitätssicherungsprogrammen erfolgreich beteiligen. Diese Forderungen sind auch auf die Verfahren zur Bestimmung radioaktivitätsbezogener Parameter anwendbar.

Ringversuche sind das wichtigste Instrument der externen Qualitätssicherung. Daher ist die regelmäßige, erfolgreiche Teilnahme zum Nachweis der Kompetenz einer Untersuchungsstelle unbedingt erforderlich. Für Radioaktivitätsbestimmungen in Trinkwasser werden vom BfS als Leitstelle für die „Überwachung der Umweltradioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm und Abfälle“ gemäß § 11 Absatz 4 (6) StrVG [BMU 1986] entsprechende Ringversuche durchgeführt.

Ab 2010 werden Ringversuche für Trinkwasser in regelmäßigen Abständen zur externen Qualitätssicherung der im Rahmen der Trinkwasserüberwachung tätigen Laboratorien angeboten, wobei nicht immer alle Parameter bzw. Messgrößen Berücksichtigung finden.

Wenn kein Ringversuch für einen bestimmten Parameter bzw. eine Messgröße stattfindet, können nach Absprache mit der Leitstelle auch Laborvergleichsuntersuchungen mit zertifizierten Referenzmaterialien oder anderen geeigneten Proben durchgeführt werden.

Literaturhinweise

BfS (2009) Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. Beyermann, M., Bünger, T., Gehrcke, K. und Obrikat, D., Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.), BfS-SW-06/09, Salzgitter: 129 S.

Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100319945>

BMG (2001) Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) vom 21. Mai 2001. BGBl., Teil I Nr. 24 S. 959–980

BMG (2011) Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 3. Mai 2011. BGBl. Teil I Nr. 21: S. 748–774

BMG (2015a) Dritte Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 18. November 2015. BGBl. Teil I Nr. 46 S. 2076-2083

BMG (2015b) 456/15 Bundesrat Drucksache vom 02.10.2015. Dritte Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung. Bundesrat: 45 S.

BMG (2016) Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016. BGBl. Teil I Nr. 12 S. 459-491

BMJFG (1975) Verordnung über Trinkwasser und Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe vom 31. Januar 1975. BGBl. Teil I Nr. 16 S. 453–461

BMJFG (1986) Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 22. Mai 1986. BGBl. Teil I Nr. 22 S. 760–766

BMU (1986) Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz – StrVG) vom 19. Dezember 1986. BGBl. Teil I S. 2610 (geändert in BGBl. Teil I S. 1474 vom 31. August 2015)

BMU (2001a) Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001. Bundesanzeiger Nr. 160a und 160b: S. 1882

BMU (2001b) Verordnung über die Umsetzung von Euratom-Richtlinien zum Strahlenschutz (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001. BGBl. Teil I Nr. 38 S. 1714–1846

BMU (2006a) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006. Bundesanzeiger Nr. 244a: S. 4–80

BMU (2006b) Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 7. Dezember 2005. GMBI. Nr. 14–17: 254 S.

BMU (2006c) Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Loseblattsammlung. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Elsevier, Urban & Fischer, München

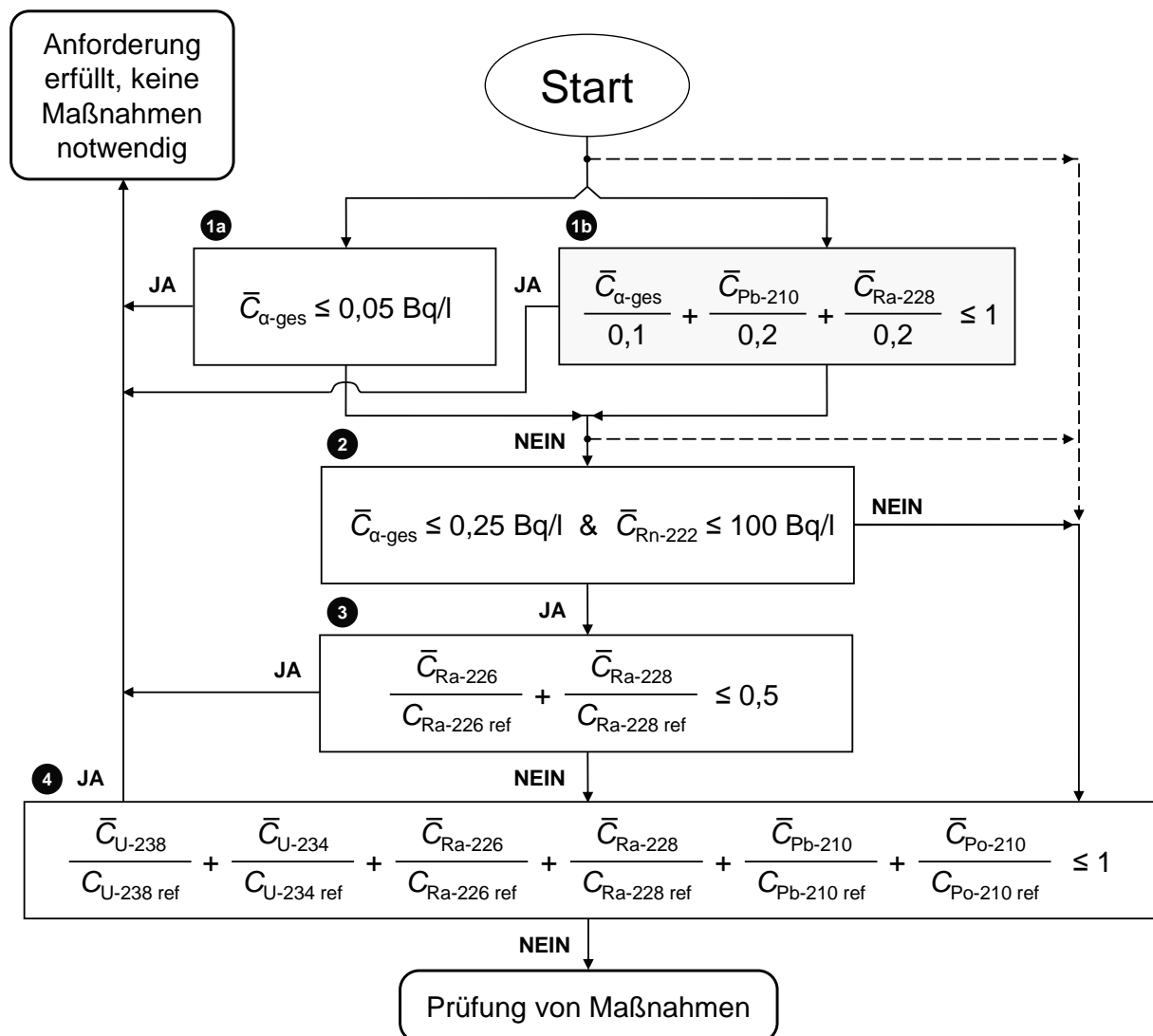
BMU (2012) Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von Radioaktivität im Trinkwasser – Empfehlung von BMU, BMG, BfS, UBA, DVGW und BDEW – erstellt unter Mitwirkung von Ländervertretern: 52 S.

- BMUB (2016) Jahresbericht 2014 „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (und Vorläufer seit 1968). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Bonn: 369 S.
Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091514109>
- DIN 1319-4 (1999) Grundlagen der Messtechnik - Teil 4: Auswertung von Messungen; Messunsicherheit: 35 S.
- DIN EN ISO/IEC 17025 (2005) Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025: 2005): 68 S.
- DIN 32645 (2008) Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung: 29 S.
- DIN ISO 11929 (2011) Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929: 2010): 82 S.
- DVGW (2003) Wasseraufbereitung – Grundlagen und Verfahren. Lehr- und Handbuch Wasserversorgung. Band 6. Jekel, M., Gimbel, R., Ließfeld, R., Oldenbourg Industrieverlag, München: 468 S.
- DVGW (2008a) Trinkwasserversorgung und Radioaktivität. Technische Mitteilung – Hinweis W 253. DVGW-Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (Hrsg.), Bonn: 44 S.
- DVGW (2008b) Radioaktivitätsbedingte Notfallsituationen. Technische Mitteilung – Hinweis W 255. DVGW-Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (Hrsg.), Bonn: 11 S.
- EG (1998) Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (EG-Trinkwasserrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 330: S. 32–54 (berichtigt in Abl. Nr. L 45, S. 55 vom 19. Februar 1999, geändert in Abl. Nr. L 284: S. 1 vom 31. Oktober 2003 und Abl. Nr. L 188: S. 14 vom 18. Juli 2009)
- EG (2001) Empfehlung 2001/928/Euratom der Kommission vom 20. Dezember 2001 über den Schutz der Öffentlichkeit vor der Exposition gegenüber Radon im Trinkwasser. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 344: S. 85–88
- Euratom (2013) Richtlinie 2013/51/Euratom des Rates vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 296 vom 07.11.2013: S. 12–21
- LfU (2011) Radon und Radonfolgeprodukte im Trinkwasser in Bayern. Vornehm, C. unter Mitwirkung LFU Referat 91, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg: 83 S.
- RADIZ (2009) Glossar zu den Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung. Nachdruck mit Genehmigung des BMU, RADIZ-Informationsheft Nr. 31/2009. Schlemma: 60 S.
- SSK (2004) Heft 43: Strahlenexposition durch Radon-222, Blei-210 und Polonium-210 im Trinkwasser: Empfehlungen/ Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission. Elsevier, Urban & Fischer, München: 68 S.
- WHO (1993) 4. Radiological aspects. In: Guidelines for Drinking-Water Quality. 2nd edition. Vol. 1 – Recommendations. World Health Organization (Hrsg.), Geneva: 188 S.

WHO (2004) 9. Radiological aspects. In: Guidelines for Drinking-Water Quality. 3rd edition. Vol. 1 – Recommendations. World Health Organization (Hrsg.), Geneva: S. 197–209

WHO (2011) 9. Radiological aspects. In: Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th edition. World Health Organization (Hrsg.), Geneva: S. 203–217

Anhang A-1: Ablaufschema für die empfohlenen Prüfungen auf Einhaltung des Parameterwertes der Richtdosis



- (1) Die angegebenen Aktivitätskonzentration im jeweiligen Screening-Verfahren (**1a** oder **1b**) werden in vier unterschiedlichen Quartalen bestimmt; aus den Ergebnissen der Quartalsmessungen sind die Mittelwerte zu bilden (vgl. Kap. 6.4) und anschließend die Einhaltung der jeweiligen Prüfbedingung (**1a** oder **1b**) zu kontrollieren (vgl. Kap. 7.2.2 oder 7.2.3). Der vorgegebene Zeitrahmen gilt auch für die Option, bei der auf die Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration verzichtet wird und sofort die Aktivitätskonzentration der sechs relevanten Einzelnuklide nach **4** ermittelt werden.
- (2) Diese Prüfung dient der Festlegung des weiteren Vorgehens bei der nuklidspezifischen Prüfung mit dem Ziel der Einsparung von Analysenaufwand (vgl. Kap. 7.2.5). Werden die in **2** genannten Kriterien beide erfüllt, müssen lediglich die Aktivitätskonzentrationen der beiden Radiumisotope in vier unterschiedlichen Quartalen ermittelt werden. Bei bekannten Ra-228-Aktivitätskonzentrationen, z. B. infolge von Screening-Messungen nach Verfahren **1b**, müssen Ra-228-Bestimmungen nicht wiederholt werden. Alternativ kann die Bestimmung sämtlicher relevanter Radionuklide nach **4** erfolgen.

- (3) Mit dem in ❸ genannten Kriterium wird geprüft, ob ggf. weitere nuklidspezifische Untersuchungen notwendig sind. Sollte die genannte Bedingung in Ausnahmefällen nicht erfüllt sein, sind wiederum im Folgejahr (und wiederum in vier unterschiedlichen Quartalen) die Aktivitätskonzentrationen der bisher nicht berücksichtigten Radionuklide U-238, U-234, Pb-210 und Po-210 zu bestimmen.
- (4) In diesen umfassendsten Prüfschritt werden die Aktivitätskonzentrationen aller relevanten Radionuklide einbezogen. Im Unterschied zu den in ❶ bis ❸ aufgeführten Prüfkriterien erlauben die Ergebnisse der Einzelnuklidbestimmung nach ❹ eine Berechnung der Richtdosis (vgl. Kap. 7.2.4). Das weitere Vorgehen ergibt sich aus der Einhaltung/Überschreitung der Prüfbedingung bzw. dem Vergleich mit dem Parameterwert (0,1 mSv/a) der Richtdosis (vgl. Kap. 7.4).

Anhang A-2: Liste der geltenden Standards (Messenleitungen des BMUB, ISO, DIN) und aktuell bearbeitete Standards (Stand: Januar, 2016)

BMUB – Messanleitungen (www.bmub.bund.de/P384/)

Für Radioaktivitätsuntersuchungen nach Trinkwasserverordnung relevante Messanleitungen des BMUB

Norm / Verfahren	Titel
BMUB Messanleitungen	
H-VORBEMERK-TWASS-01	Vorbemerkung
H-VORBEMERK-TWASS-02	Vorbemerkung hinsichtlich der Anforderungen bei der Probeentnahme aus Trink- und Grundwasser
H-Rn-222-TWASS-01 (1994)	Schnellverfahren zur Bestimmung von Radon-222 im Trinkwasser
H- α -Gesamt-TWASS-01 (2006)	Verfahren zur Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration in Trinkwasser und Grundwasser
H- α -Gesamt-TWASS-02 (2009)	Schnellverfahren zur Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser
H- α -SPEKT-TWASS-01 (1992)	Verfahren zur alphaspektrometrischen Bestimmung von Uranisotopen in Trinkwasser und Grundwasser
H-Ra-226-TWASS-01 (1992)	Verfahren zur Bestimmung von Radium-226 in Trinkwasser und Grundwasser
H-Ra-228-TWASS-01 (2004)	Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Radium-228 in Trinkwasser und Grundwasser
H-Ra-228-TWASS-02 (2004)	Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Radium-228 in Trinkwasser und Grundwasser
H-Po-210-TWASS-01 (1998)	Verfahren zur Bestimmung von Polonium-210 im Trinkwasser

Norm / Verfahren	Titel
H-Pb-210/Po-210-TWASS-01 (2009)	Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Blei-210 und Polonium-210 in Trinkwasser und Grundwasser
H-Pb-210-AWASS-01 (1993)	Verfahren zur Bestimmung von Blei-210 im Abwasser
H-H-3-AWASS-01 (2000)	Verfahren zur Bestimmung von Tritium im Abwasser
H- β -Gesamt-TWASS-01 (2008)	Verfahren zur Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivitätskonzentration in Trinkwasser und Grundwasser
H-C-14-AWASS-01 (1992)	Verfahren zur Bestimmung von Kohlenstoff-14 im Abwasser
H-Sr-90-TWASS-01 (1992)	Verfahren zur Bestimmung von Strontium-90 in Trinkwasser und Grundwasser
H- γ -SPEKT-TWASS-01 (1992)	Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Trinkwasser und Grundwasser
H- α -SPEKT-TWASS-03 (1992)	Verfahren zur alphaspektrometrischen Bestimmung von Plutoniumisotopen in Trinkwasser und Grundwasser
H-U/Pu/Am-AWASS-01 (2000)	Bestimmung von Uran, Plutonium und Americium mit extraktionschromatographischen Verfahren
Allgemeine Kapitel (2014)	Formelzeichen für Größen und Einheiten
Allgemeine Kapitel (2009)	Gammaspektrometrie
Allgemeine Kapitel (2009)	Betaspektrometrie und integrale Messung
Allgemeine Kapitel (2009)	Alphaspektrometrie
Allgemeine Kapitel (2013)	Massenbezogene Aktivitäten und Äquivalente

Norm / Verfahren	Titel
Allgemeine Kapitel (2013)	Nachweis- und Erkennungsgrenze
Allgemeine Kapitel (2009)	Dokumentation von Messwerten
Allgemeine Kapitel (2009)	Qualitätskontrolle
Allgemeine Kapitel (2014)	Kernphysikalische Daten
Allgemeine Kapitel (2015)	Berechnungsverfahren
In Vorbereitung	
Allgemeine Kapitel	Messunsicherheiten
Allgemeine Kapitel	Zerfallskorrektur bei mehrgliedrigen Zerfallsreihen

DIN- und ISO-Normen und aktuell bearbeitete Standards

In der Liste sind auch neue Arbeitsprojekte als ENTWÜRFE aufgeführt.

Norm / Verfahren	Titel
ISO 80000-10: 2009	Quantities and units -- Part 10: Atomic and nuclear physics
ISO 5667-1: 2006	Water quality -- Sampling -- Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques
ISO 5667-3: 2012	Water quality -- Sampling -- Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples
ISO 5667-5: 2006	Water quality -- Sampling -- Part 5: Guidance on sampling of drinking water from treatment works and piped distribution systems
ISO 9696: 2007	Water quality -- Measurement of gross alpha activity in non-saline water -- Thick source method
ISO 9697: 2015	Water quality -- Gross beta activity in non-saline water -- Test method using thick source
ISO 9698: 2010	Water quality -- Determination of tritium activity concentration -- Liquid scintillation counting method
ISO 10703: 2007	Water quality -- Determination of the activity concentration of radionuclides -- Method by high resolution gamma-ray spectrometry
ISO 10704: 2009	Water quality -- Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water -- Thin source deposit method
ISO 15839:2003	Water quality -- On-line sensors/analysing equipment for water -- Specifications and performance tests.

Norm / Verfahren	Titel
ISO 17381:2003	Water quality -- Selection and application of ready-to-use test kit methods in water analysis.
ISO 11704: 2010	Water quality -- Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water -- Liquid scintillation counting method
ISO 13160: 2012	Water quality -- Strontium 90 and strontium 89 -- Test methods using liquid scintillation or proportional counting
ISO 13161: 2011	Water quality -- Measurement of polonium 210 activity concentration in water by alpha spectrometry
ISO 13162: 2011	Water quality -- Determination of carbon 14 activity -- Liquid scintillation counting method
ISO 13163: 2013	Water quality -- Lead-210 -- Test method using liquid scintillation counting
ISO 13164-1: 2013	Water quality -- Radon-222 -- Part 1: General principles
ISO 13164-2: 2013	Water quality -- Radon-222 -- Part 2: Test method using gamma spectrometry
ISO 13164-3: 2013	Water quality -- Radon-222 -- Part 3: Test method using emanometry
ISO 13164-4: 2015	Water quality -- Radon-222 -- Part 4: Test method using two-phase liquid scintillation counting
ISO 13165-1: 2013	Water quality -- Radium-226 -- Part 1: Test method using liquid scintillation counting
ISO 13165-2: 2014	Water quality -- Radium-226 -- Part 2: Test method using emanometry
ISO 13167: 2015	Water quality -- Plutonium, americium, curium and neptunium -- Test method using alpha spectrometry

Norm / Verfahren	Titel
ENTWÜRFE	
ISO/DIS 9696: 2015-12	Water quality -- Measurement of gross alpha activity in non-saline water -- Thick source method
ISO/FDIS 13165-3: 2015-11	Water quality -- Radium-226 -- Part 3: Test method using coprecipitation and gamma-spectrometry
ISO/CD 13169: 2015-11	Water quality -- Uranium -- Test method using alpha liquid scintillation counting
ISO/FDIS 17294-2: 2015-12	Water quality -- Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) -- Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes
DIN	
DIN EN ISO 5667-1: 2007-04	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken (ISO 5667-1: 2006)
DIN EN ISO 5667-3: 2013-03	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3: 2012)
DIN ISO 5667-5: 2011-02	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 5: Anleitung zur Probenahme von Trinkwasser aus Aufbereitungsanlagen und Rohrnetzsystemen (ISO 5667-5: 2006)
DIN EN ISO 9698: 2015-12	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Tritium – Verfahren mit dem Flüssigszintillationszähler (ISO 9698: 2010)
DIN 38404-14: 1987-06	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C); Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration A_α in Trink-, Grund- und Oberflächenwasser (C 14)

Norm / Verfahren	Titel
DIN 38404-15: 1987-09	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C); Bestimmung der Rest-Beta-Aktivitätskonzentration ($C_{A, RB}$) in Trink-, Grund-, Oberflächen- und Abwasser (C 15)
DIN 38404-18: 1994-03	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C); Bestimmung der Radium-226-Aktivitätskonzentration in Trink-, Grund-, Oberflächen- und Abwasser (C 18)
DIN 38406-17: 2009-10	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Kationen (Gruppe E) - Teil 17: Bestimmung von Uran - Verfahren mittels adsorptiver Stripping-Voltammetrie in Grund-, Roh- und Trinkwässern (E 17)
DIN EN ISO 10703: 2015-12	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Radionukliden – Verfahren mittels hochauflösender Gammaspektrometrie (ISO 10703: 2007)
DIN EN ISO 10704:2015-11	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Gesamt-Alpha- und der Gesamt-Beta-Aktivität in nicht-salzhaltigem Wasser – Dünnschichtverfahren (ISO 10704: 2009)
DIN EN ISO 11704: 2015-11	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivität in nicht-salzhaltigem Wasser – Verfahren mit dem Flüssigszintillationszähler (ISO 11704: 2010)
DIN ISO 11929: 2011-01	Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929: 2010)
DIN EN ISO 13161: 2016-01	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Polonium-210 in Wasser mittel Alphaspektrometrie (ISO 13161: 2011)
DIN ISO 13165-1: 2015-11	Wasserbeschaffenheit – Radium-226 – Teil 1: Verfahren mit dem Flüssigszintillationszähler (ISO 13165-1: 2013)

Norm / Verfahren	Titel
DIN EN ISO 17294-2: 2005-02	Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von 62 Elementen (ISO 17294-2: 2003)
ENTWÜRFE	
DIN EN ISO 9696: 2016-01	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Gesamt-Alpha-Aktivität in nicht-salzhaltigem Wasser – Dickschichtverfahren (ISO/DIS 9696: 2015)
DIN EN ISO 9697: 2016-01	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivität in nicht-salzhaltigem Wasser – Dickschichtverfahren (ISO 9697: 2015)
E DIN EN ISO 17294-2: 2014-12	Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von ausgewählten Elementen einschließlich Uran-Isotope (ISO/FDIS 17294-2: 2014)
E DIN EN ISO 13160: 2015-04	Wasserbeschaffenheit – Strontium-90 und Strontium-89 – Verfahren mittels Flüssigszintillationszählung oder Proportionalzählung (ISO 13160: 2012)

Anhang A-3: Formblätter zur Prüfung auf Einhaltung der radioaktivitätsbezogenen Parameter

Formblatt I.1: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im einfachen Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.2 sowie 7.3 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

I.1: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im einfachen Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.2 sowie 7.3 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

Art der Entnahmestelle: ☐ Wasserhahn ☐ Pumpenauslauf
☐ _____

☐ Probenahme sofort nach dem ersten Auslauf

☐ Probenahme nach Ablaufzeit von _____ min (entspricht _____ L)

Auslaufvolumen: _____ L Auslaufzeit: _____ sec Auslaufrate: _____ L/sec

3. Angaben zur Probenahme

Datum: _____ Beginn (Uhrzeit): _____

4. Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Quartals-Nr. ¹⁾: 1 von 4

Messgröße/ Parameter	Einheit	Verfahren	Nachweis- grenze ²⁾	$C_{r,prüf}^{2)}/$ $C_{r,para}^{3)}$	$C_{r,mess}$
$C_{\alpha-ges}$	mBq/l		25	50	
C_{Rn-222}	Bq/l		10	100	

¹⁾ nach Kapitel 6.4, Nr.: 1., 2., 3. oder 4. Quartalsmessung

²⁾ Nachweisgrenze und Prüfwert ($C_{r,prüf}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil III [BMG 2015a]

³⁾ Parameterwert ($C_{r,para}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil I [BMG 2015a]

Formblatt I.2: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im einfachen Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.2 sowie 7.3 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

I.2: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im einfachen Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.2 sowie 7.3 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

3. Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Quartalsmessung		1	2	3	4	Mittelwert
Probenahmedatum						
Messgröße	Einheit	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$\bar{C}_{r,mess}$ ¹⁾
$C_{\alpha-ges}$	mBq/l					
C_{Rn-222}	Bq/l					

$\bar{C}_{\alpha-ges} \leq 50 \text{ mBq/l}$ ²⁾ ☐ ja ☐ nein

$\bar{C}_{Rn-222} \leq 100 \text{ Bq/l}$ ³⁾ ☐ ja ☐ nein

$\bar{C}_{\alpha-ges} \leq 250 \text{ mBq/l}$ und $\bar{C}_{Rn-222} \leq 100 \text{ Bq/l}$ ⁴⁾ ☐ ja ☐ nein

¹⁾ Die Einzelmesswerte $C_{r,mess}$ von den in vier unterschiedlichen Quartalen durchgeführten Messungen werden arithmetisch gemittelt.

²⁾ Wenn „Ja“, gilt der Parameterwert für die Richtdosis als eingehalten und es müssen keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden. Wenn „Nein“, sind nuklidspezifische Messungen vorzunehmen. Diese können unter der mit Fußnote 4) beschriebenen Voraussetzung auf die Nuklide Ra-226 und Ra-228 beschränkt bleiben. Anderenfalls sind nuklidspezifische Messungen nach Kapitel 7.2.4 vorzunehmen (Formblatt IV.1)

³⁾ Wenn „Ja“, gilt der Parameterwert für die Rn-222-Aktivitätskonzentration als eingehalten. Wenn „Nein“, sind ggf. Maßnahmen zur Reduktion im Trinkwasser zu treffen (siehe Kapitel 7.4).

⁴⁾ Wenn „Ja“, erfolgen die Bestimmungen der Radiumisotope Ra-226 und Ra-228 in vier unterschiedlichen Quartalen (vgl. Anhang A-1). Zur Bestimmung der Richtdosis ist in diesem Fall Formblatt III.1 zu verwenden. Wenn „Nein“, sind vertiefte nuklidspezifische Messungen nach Kapitel 7.2.4 notwendig (Formblatt IV.1).

Formblatt II.1: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im erweiterten Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.3 sowie 7.3 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

II.1: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im erweiterten Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.3 sowie 7.3 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

 Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____
 Ort der Probenahme: _____
 PLZ: _____ Ort: _____
 Straße/Hausnr.: _____
 Art der Entnahmestelle: ☐ Wasserhahn ☐ Pumpenauslauf
☐ _____
☐ Probenahme sofort nach dem ersten Auslauf
☐ Probenahme nach Ablaufzeit von _____ min (entspricht _____ L)
 Auslaufvolumen: _____ L Auslaufzeit: _____ sec Auslastrate: _____ L/sec

3. Angaben zur Probenahme

Datum: _____ Beginn (Uhrzeit): _____

4. Kontrolle auf Einhaltung der Prüfbedingung des erweiterten Screening und des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Quartals-Nr. ¹⁾: 1 von 4

Messgröße/ Parameter	Einheit	Verfahren	Nachweis- grenze ²⁾	$C_{r,prüf}^{2)}/$ $C_{r,ref}^{3)}/$ $C_{r,para}^{4)}$	$C_{r,mess}$
$C_{\alpha-ges}$	mBq/l		40	100	
C_{Pb-210}	mBq/l		20	200	
C_{Ra-228}	mBq/l		20 (80 ⁵⁾)	200	
C_{Rn-222}	Bq/l		10	100	

¹⁾ nach Kapitel 6.4, Nr.: 1., 2., 3. oder 4. Quartalsmessung

²⁾ Nachweisgrenze und Prüfwert ($C_{r,prüf}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil III [BMG 2015a]

³⁾ Referenz-Aktivitätskonzentration ($C_{r,ref}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil II [BMG 2015a]

⁴⁾ Parameterwert ($C_{r,para}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil I [BMG 2015a]

⁵⁾ gilt für regelmäßige Untersuchungen wenn $C_{Ra-228} \leq 40$ mBq/l

Formblatt II.2: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im erweiterten Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.3 sowie 7.3 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

II.2: Kontrolle auf Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im erweiterten Screening-Verfahren sowie des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration nach Kapitel 7.2.3 sowie 7.3 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

3. Kontrolle auf Einhaltung der Prüfbedingung des erweiterten Screening und des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration

Quartalsmessung		1	2	3	4	Mittelwert
Probenahmedatum						
Messgröße	Einheit	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$\bar{C}_{r,mess}^{1)}$
$C_{\alpha-ges}$	mBq/l					
C_{Pb-210}	mBq/l					
C_{Ra-228}	mBq/l					
C_{Rn-222}	Bq/l					

$$\frac{\bar{C}_{\alpha-ges}}{100 \text{ mBq/l}} + \frac{\bar{C}_{Pb-210}}{200 \text{ mBq/l}} + \frac{\bar{C}_{Ra-228}}{200 \text{ mBq/l}} \leq 1^{2)}$$

☐ ja ☐ nein

$$\bar{C}_{Rn-222} \leq 100 \text{ Bq/l}^{3)}$$

☐ ja ☐ nein

$$\bar{C}_{\alpha-ges} \leq 250 \text{ mBq/l} \text{ und } \bar{C}_{Rn-222} \leq 100 \text{ Bq/l}^{4)}$$

☐ ja ☐ nein

¹⁾ Die Einzelmesswerte $C_{r,mess}$ von den in vier unterschiedlichen Quartalen durchgeführten Messungen werden arithmetisch gemittelt.

²⁾ Wenn „Ja“, gilt der Parameterwert für die Richtdosis als eingehalten und es müssen keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden. Wenn „Nein“, kann unter der mit Fußnote 4) beschriebenen Voraussetzung die weitere Untersuchung auf das Nuklid Ra-226 beschränkt bleiben. Anderenfalls sind nuklidspezifische Messungen notwendig (siehe Fußnote 4).

³⁾ Wenn „Ja“, gilt der Parameterwert für die Rn-222-Aktivitätskonzentration als eingehalten. Wenn „Nein“, sind ggf. Maßnahmen zur Reduktion im Trinkwasser zu treffen (siehe Kapitel 7.4).

⁴⁾ Wenn „Ja“, müssen nur Bestimmungen des Radiumisotops Ra-226 in vier unterschiedlichen Quartalen durchgeführt werden (vgl. Kapitel 7.2.5). Zur Bestimmung der Richtdosis ist Formblatt III.1 zu verwenden, vorhandene Messwerte für Ra-228 können aus Formblatt II.1 übertragen werden. Wenn „Nein“, sind vertiefte nuklidspezifische Messungen nach Kapitel 7.2.4 notwendig (Formblatt IV.1).

Formblatt III.1: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen nach Kapitel 7.2.5 und Anhang A-1 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

III.1: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen nach Kapitel 7.2.5 und Anhang A-1 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

Art der Entnahmestelle: ☐ Wasserhahn ☐ Pumpenauslauf
☐ _____

☐ Probenahme sofort nach dem ersten Auslauf

☐ Probenahme nach Ablaufzeit von _____ min (entspricht _____ L)

Auslaufvolumen: _____ L Auslaufzeit: _____ sec Auslastrate: _____ L/sec

3. Angaben zur Probenahme

Datum: _____ Beginn (Uhrzeit): _____

4. Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis

Quartals-Nr. ¹⁾: 1 von 4

Die Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis auf Basis der Radium-Isotope ist nur möglich, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\bar{C}_{\alpha\text{-ges}} \leq 250 \text{ mBq/l und } \bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 100 \text{ Bq/l}$$

Messgröße	Einheit	Verfahren	Nachweisgrenze ²⁾	$C_{r,\text{ref}}$ ³⁾	$C_{r,\text{mess}}$
$C_{\text{Ra-226}}$	mBq/l		40	500	
$C_{\text{Ra-228}}$ ⁴⁾	mBq/l		20	200	

¹⁾ nach Kapitel 6.4, Nr.: 1., 2., 3. oder 4. Quartalsmessung

²⁾ Nachweisgrenze nach TrinkwV, Anlage 3a Teil III [BMG 2015a]

³⁾ Referenz-Aktivitätskonzentration ($C_{r,\text{ref}}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil II [BMG 2015a]

⁴⁾ Übertrag aus Formblatt II.1 möglich

Formblatt III.2: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen nach Kapitel 7.2.5 und Anhang A-1 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

III.2: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis anhand der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Gesamt-Alpha, Rn-222 und Radium-Isotopen nach Kapitel 7.2.5 und Anhang A-1 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

3. Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis

Die Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis auf Basis der Radium-Isotope ist nur möglich, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\bar{C}_{\alpha\text{-ges}} \leq 250 \text{ mBq/l und } \bar{C}_{\text{Rn-222}} \leq 100 \text{ Bq/l}$$

Quartalsmessung		1	2	3	4	Mittelwert
Probenahmedatum						
Messgröße	Einheit	$C_{r,\text{mess}}$	$C_{r,\text{mess}}$	$C_{r,\text{mess}}$	$C_{r,\text{mess}}$	$\bar{C}_{r,\text{mess}}^{1)}$
$C_{\text{Ra-226}}$	mBq/l					
$C_{\text{Ra-228}}$	mBq/l					

$$\frac{\bar{C}_{\text{Ra-226}}}{C_{\text{Ra-226 ref}}} + \frac{\bar{C}_{\text{Ra-228}}}{C_{\text{Ra-228 ref}}} \leq 0,5^{2,3)} \quad \boxed{} \text{ ja} \quad \boxed{} \text{ nein}$$

¹⁾ Die Einzelmesswerte $C_{r,\text{mess}}$ von den in vier unterschiedlichen Quartalen durchgeführten Messungen werden arithmetisch gemittelt.

²⁾ Referenz-Aktivitätskonzentrationen: Ra-226 500 mBq/l; Ra-228 200 mBq/l.

³⁾ Wenn „**Ja**“, gilt der Parameterwert für die Richtdosis als eingehalten und es müssen keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden. Wenn „**Nein**“, sind nach Kapitel 7.2.5 weitere nuklidspezifische Messungen durchzuführen (Formblatt IV.1).

Formblatt IV.1: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide nach Kapitel 7.2.4 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

IV.1: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide nach Kapitel 7.2.4 (Ergebnisse einer Einzelprobe)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

Art der Entnahmestelle: ☐ Wasserhahn ☐ Pumpenauslauf
☐ _____

☐ Probenahme sofort nach dem ersten Auslauf

☐ Probenahme nach Ablaufzeit von _____ min (entspricht _____ L)

Auslaufvolumen: _____ L Auslaufzeit: _____ sec Auslaufrate: _____ L/sec

3. Angaben zur Probenahme

Datum: _____ Beginn (Uhrzeit): _____

4. Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis

Quartals-Nr. ¹⁾: 1 von 4

Messgröße	Einheit	Verfahren	Nachweisgrenze ²⁾	$C_{r,ref}$ ³⁾	$C_{r,mess}$
C_{U-238}	mBq/l		100	3000	
C_{U-234}	mBq/l		100	2800	
C_{Ra-226} ⁴⁾	mBq/l		40	500	
C_{Ra-228} ^{4,5)}	mBq/l		20	200	
C_{Pb-210} ⁵⁾	mBq/l		20	200	
C_{Po-210}	mBq/l		10	100	

¹⁾ nach Kapitel 6.4, Nr.: 1., 2., 3. oder 4. Quartalsmessung

²⁾ Nachweisgrenze nach TrinkwV, Anlage 3a Teil III [BMG 2015a]

³⁾ Referenz-Aktivitätskonzentration ($C_{r,ref}$) nach TrinkwV, Anlage 3a Teil II [BMG 2015a]

⁴⁾ Übertrag aus Formblatt III.1 möglich

⁵⁾ Übertrag aus Formblatt II.1 möglich

Formblatt IV.2: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide nach Kapitel 7.2.4 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

IV.2: Prüfung auf Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Einzelnuklide nach Kapitel 7.2.4 (Zusammenfassung und Bewertung von vier Quartalsmessungen)

1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber (Name, Anschrift): _____

Ansprechpartner (Name, Telefon): _____

2. Angaben zur Entnahmestelle

Bezeichnung der Probenahmestelle: _____

Ort der Probenahme: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Straße/Hausnr.: _____

3. Prüfung der Einhaltung des Parameterwertes für die Richtdosis

Quartalsmessung		1	2	3	4	Mittelwert
Probenahmedatum						
Messgröße	Einheit	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$C_{r,mess}$	$\bar{C}_{r,mess}$ ¹⁾
C_{U-238}	mBq/l					
C_{U-234}	mBq/l					
C_{Ra-226}	mBq/l					
C_{Ra-228}	mBq/l					
C_{Pb-210}	mBq/l					
C_{Po-210}	mBq/l					

$$\sum_r \frac{\bar{C}_{r,mess}}{C_{r,ref}} \leq 1^{2,3}) \quad \boxed{} \text{ ja} \quad \boxed{} \text{ nein} \quad (E = \dots \text{ mSv/a})$$

¹⁾ Die Einzelmesswerte $C_{r,mess}$ von den in vier unterschiedlichen Quartalen durchgeführten Messungen werden arithmetisch gemittelt.

²⁾ Referenz-Aktivitätskonzentrationen: U-238 3000 mBq/l; U-234 2800 mBq/l; Ra-226 500 mBq/l; Ra-228 200 mBq/l; Pb-210 200 mBq/l; Po-210 100 mBq/l.

³⁾ Wenn „Ja“, gilt der Parameterwert für die Richtdosis als eingehalten und es müssen keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden. Wenn „Nein“, sind ggf. geeignete Abhilfemaßnahmen zu treffen (siehe Kapitel 7.4).

Anleitung für die Nutzung der Formblätter I bis IV

Diese Anleitung beschreibt die Handhabung der mit Microsoft® Excel realisierten Formblätter I bis IV. Diese im Excel-97–2003-Format (Endung .XLS) gespeicherten Formblätter sind in der PDF-Datei des Leitfadentextes eingebunden und können sowohl mit dem Adobe Acrobat Reader als auch mit anderen PDF-Betrachtern (z. B. Sumatra PDF, Okular) extrahiert werden. Im Falle des Acrobat Readers wählt man das auf der linken Seite befindliche Büroklammer-Symbol und es werden die eingebetteten Dateien angezeigt. Durch Auswahl dieser Dateien (Mehrfachauswahl ist möglich) und dem darüber liegenden „Speichern“-Knopf können sie in dem gewünschten Speicherort abgelegt werden.

Bei dem freien PDF-Betrachter Sumatra PDF findet man die Dateien in der Lesezeichen-Ansicht unterhalb des Inhaltsverzeichnisses, bei Auswahl erscheint ein „Speichern unter“-Dialog.

Neben den o. g. Programmen kann auch der Webbrowser Mozilla Firefox mit der integrierten und aktivierten PDF-Vorschau verwendet werden. Nach Öffnen des PDF-Dokumentes – z. B. über den Link auf der entsprechenden Internetseite des BMUB oder über „Datei“ → „Datei öffnen“ (bei nicht sichtbarer Menüleiste kurz die Alt-Taste drücken) – wählt man das quadratische Symbol oben links („Sidebar umschalten“) und es erscheint eine Schaltfläche mit ebenfalls einem Büroklammer-Symbol. Durch das Anwählen von einer der aufgelisteten Dateien erscheint im Normalfall ein Dialogfenster, über das man u. a. die Datei abspeichern kann.

Die als Muster zur Verfügung stehenden Formblätter sind jeweils in fünf Teilblätter unterteilt, vier für die einzelnen Quartalsmessungen und eines für die Zusammenfassung der Messergebnisse und den Vergleich des berechneten Mittelwertes mit den entsprechenden Prüfbedingungen im jeweiligen Untersuchungsschritt. Um den Eingabeaufwand zu minimieren, werden die sich wiederholenden Angaben von einem Teilblatt zum nächsten weitergeleitet. In vielen Eingabefeldern wird eine Gültigkeitsprüfung vorgenommen.

Beschreibung der Teilblätter I.1, II.1, III.1 und IV.1 (Ergebnisse der Einzelprobe)

1. Abschnitt – Allgemeine Angaben

Hier werden der Auftraggeber und der Ansprechpartner eingegeben, die Eintragungen werden auf die Folgeblätter übertragen. Falls sich im Verlauf der Untersuchung eine Änderung ergibt, kann die bisherige Angabe überschrieben werden und der neue Wert wird von nun an in den Folgeblättern verwendet.

2. Abschnitt – Angaben zur Entnahmestelle

Hier werden die Daten zur Entnahmestelle und Probennahme eingetragen. Die ortsbezogenen Angaben werden auf die Folgeblätter übertragen, eine Änderung ist dort nicht möglich. Bei Verwendung der Felder „Auslaufvolumen“ und „Auslaufzeit“ wird die resultierende „Auslaufrate“ berechnet und ausgegeben.

3. Abschnitt – Angaben zur Probennahme

Hier werden das Datum und die Uhrzeit der Probennahme eingetragen, das Datum erscheint an der entsprechenden Stelle in der Zusammenfassung.

4. Abschnitt – Angaben zu den Messwerten

In diesem Abschnitt werden die ermittelten Messwerte und die dazugehörigen Messverfahren (z. B. Gamma-spektrometrie, Alphaspektrometrie, LSC-Messung) eingetragen. Zwecks Reduktion des Eingabeaufwandes

werden die Messverfahren in das nächste Quartalsblatt übertragen, bei Verwendung eines anderen Verfahrens kann dort eine Änderung vorgenommen werden. Die Felder für die Messwerte sind jeweils in drei Zellen unterteilt, wobei die mittlere Zelle nicht editiert werden kann. Werte oberhalb einer Nachweisgrenze (NWG) werden in die erste Zelle eingetragen, es erscheint daraufhin ein „±“ in der zweiten Zelle. Dahinter kann die Messunsicherheit in der gleichen Maßeinheit wie der Messwert eingegeben werden (siehe Beispiel). Werte unterhalb einer Nachweisgrenze trägt man in die dritte Zelle ein, in der mittleren Zelle erscheint ein „<“ (die erste Zelle muss leer sein). Die Inhalte dieser Zellen werden in die entsprechenden Positionen im Teilblatt 2 (Zusammenfassung und Bewertung) kopiert.

Messwert und -unsicherheit:

12,3 ± 3,4

Messwert unterhalb der NWG:

< 10

Wichtig: Die Messwerte müssen in der jeweiligen Einheit der Messgröße eingegeben werden, im Allgemeinen wird in den Formblättern die Einheit „mBq/l“ verwendet.

Beschreibung der Teilblätter I.2, II.2, III.2 und IV.2 (Zusammenfassung und Bewertung)

Diese jeweils letzte Seite des entsprechenden Formblattes fasst die wichtigsten Angaben der vorherigen Teilblätter zusammen, erzeugt aus den Einzelwerten einen Mittelwert und stellt den Status der Überprüfung auf Einhaltung der entsprechenden Prüfbedingung durch Kennzeichnung der jeweiligen Ankreuzfelder dar.

Der Mittelwert $\bar{C}_{r, \text{mess}}$ wird folgendermaßen berechnet: Sind nur Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze vorhanden, dann wird die größte Nachweisgrenze in der Form $< | \text{NWG} |$ als Mittelwert ausgewiesen. In allen anderen Fällen werden die jeweiligen Messwerte bzw. die Absolutwerte der Nachweisgrenzen für die Mittelwertbildung herangezogen. Die Angabe der in Formblatt IV.2 berechneten Richtdosis erfolgt demzufolge als Ungleichung ($E = < \text{Wert}$), wenn der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von mindestens einem Radionuklid $< | \text{NWG} |$ beträgt, in allen anderen Fällen als Gleichung ($E = \text{Wert}$).

Hinweis: Für den Vergleich mit den jeweiligen Prüfbedingungen werden die berechneten und nicht die angezeigten gerundeten Mittelwerte verwendet.

Die Ja/Nein-Ankreuzfelder zeigen den Status nur dann an, wenn alle geforderten Messwerte eingetragen worden sind. So werden z. B. für die Kontrolle der Einhaltung des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration im Formblatt I.2 alle dazugehörigen Quartalswerte benötigt. Entsprechendes gilt für die Rn-222-Aktivitätskonzentration in den Formblättern I.2 und II.2. Die Einhaltung des Parameterwertes der Rn-222-Aktivitätskonzentration kann unabhängig von der Richtdosis überprüft werden. Zum Vergleich mit der jeweiligen Prüfbedingung sind nur die vollständigen Angaben für einen der betrachteten Parameter (Rn-222 oder Richtdosis mit Hilfe des Screening-Verfahrens) erforderlich. Die Formblätter sind folglich auch getrennt voneinander zu verwenden. In den Formblättern III.2 und IV.2 werden die Ergebnisse der Überprüfungen nur bei vollständig ausgefüllten Tabellen ausgegeben.