





Strahlenschutzvorsorge in Nordrhein-Westfalen


Gemeinsamer Bericht
der fünf amtlichen Messstellen für Umweltradioaktivität
für die Jahre 2015 und 2016





Chemisches und
Veterinäruntersuchungsamt
Münster-Emscher-Lippe


Chemisches und
Veterinäruntersuchungsamt
Ostwestfalen-Lippe


Landesbetrieb
Mess- und Eichwesen


Landesinstitut für
Arbeitsgestaltung


Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz

Zuständiges Ministerium:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (MULNV)



Inhalt

1.	Grundlagen der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG).....	3
2.	Radiologische Grundlagen	4
2.1.	Strahlungsarten	4
2.2.	Expositionspfade	5
2.3.	Natürliche Radioaktivität.....	7
2.4.	Künstliche Radioaktivität	8
2.5.	Effektive Jahresdosis.....	8
2.6.	Bestimmung der Radioaktivität.....	9
3.	Messprogramme.....	11
3.1.	Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm).....	11
3.2.	Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm).....	13
3.3.	Sondermessungen	14
4.	Integriertes Mess- und Informationssystem (IMIS).....	15
5.	Ergebnisse aus Routine- und Sondermessprogramm	16
5.1.	Zusammenfassung	16
5.2.	Böden und Pflanzen	19
5.3.	Futtermittel.....	19
5.4.	Lebensmittel	19
5.5.	Wildpilze und Wildfleisch	21
5.6.	Trink- und Grundwasser	24
5.7.	Oberflächengewässer.....	24
5.8.	Abfall und Abwasser	24
5.9.	Schnell-Messung der Bodenoberfläche	25
6.	Anhang	27

1. Grundlagen der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)

Infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl wurde 1986 das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG, BGBl. 1986 I S. 2610, zuletzt geändert 8.4.2008) erlassen, welches die Erfassung der **Radioaktivität** in unterschiedlichen Umweltbereichen regelt. Darüber hinaus wurde die Bundesrepublik Deutschland - nach dem EURATOM-Vertrag von 1957 - verpflichtet, Einrichtungen zur ständigen Überwachung der Radioaktivität in der Luft, dem Wasser und dem Boden zu schaffen sowie die Einhaltung der Strahlenschutznormen zu überwachen.

Diese Rechtsgrundlage dient der Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung sowie dem vorsorgenden Schutz vor erhöhter Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe vorwiegend künstlichen Ursprungs.

Man unterscheidet zwischen einem kontinuierlichen Routinemessprogramm und einem Intensivmessprogramm, welches bei einem Ereignis mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in radiologisch nicht unerheblichem Umfang (z.B. bei Stör-/Unfällen kerntechnischer Anlagen oder beim Transport von radioaktiven Stoffen) ausgelöst wird.

Zwischen den Einrichtungen des Bundes und denen der Länder besteht eine Aufgabenteilung, die sich an den Umweltbereichen orientiert.

In die Zuständigkeit des Bundes fällt die Ermittlung der Radioaktivität

- in Luft und Niederschlag,
- in den Bundeswasserstraßen,
- in Nord- und Ostsee einschließlich der Küstengewässer sowie die
- Messung der externen Strahlenbelastung in Form der Ortsdosisleistung.

Die Länder ermitteln die **spezifische Radioaktivität** bzw. **Radioaktivitätskonzentration** in Bundesauftragsverwaltung in den Bereichen

- Lebensmittel,
- Futtermittel,
- Trinkwasser, Grundwasser und oberirdische Gewässer (außer Bundeswasserstraßen),
- Abwässer, Klärschlamm und Abfälle,
- Boden
- Pflanzen (Indikatorpflanzen, die nicht der Ernährung dienen).

Radioaktivität

1. Eigenschaft von Radionukliden, sich unter Aussendung von ionisierender Strahlung (Alpha-, Beta-, Gammastrahlung) in stabilere Nuklide umzuwandeln.

2. Maß für die Anzahl der Atomkerne, die sich in radioaktiven Stoffen umwandeln. Gemessen wird die Radioaktivität in Zerfällen pro Sekunde. Die Maßeinheit ist das Becquerel (Bq).

1 Bq = 1 Zerfall / s

spezifische Radioaktivität

Verhältnis der Radioaktivität eines Stoffes zur Masse des Stoffes, in dem der radioaktive Stoff verteilt ist. Einheit: Bq/kg

Radioaktivitätskonzentration

Verhältnis der Aktivität eines Stoffes zum Volumen des Stoffes, in dem der radioaktive Stoff verteilt ist. Einheit: Bq/L

Darüber hinaus führen die Länder interne Sonderprogramme zur Untersuchung spezieller Proben durch (z.B. Importproben, Wildfleisch, Wildpilze; Kapitel 3.3).

In Nordrhein-Westfalen ist für die fünf Regierungsbezirke Arnsberg, Detmold, Düsseldorf, Köln und Münster jeweils eine Messstelle mit den Untersuchungen der genannten Umweltbereiche betraut, wobei bestimmte Untersuchungen aus Gründen der erforderlichen spezifischen Laborausstattung zentral erfolgen. Für die Entnahme der Lebensmittel- und Futtermittelproben sind die Ordnungsbehörden der Kreise und kreisfreien Städte zuständig. Die Umweltproben werden von den Messstellen entnommen.

Die erhobenen Daten werden in einem bundesweiten DV-Netzwerk, dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS; Kapitel 4), erfasst und bereitgestellt. Sie sind Grundlage von Modellrechnungen und Prognosen. Daraus und aus der konkreten Belastungssituation können in einem radiologischen Ereignisfall Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor erhöhter Strahlenexposition abgeleitet werden.

2. Radiologische Grundlagen

2.1. Strahlungsarten

Materie besteht aus Atomen, die sich aus einem Atomkern und den ihn umhüllenden Elektronen zusammensetzen. Ein großer Teil der Atomkerne sind instabil (sog. Radionuklide) und wandeln sich unter Energieabgabe in andere stabile oder ebenfalls noch instabile Kerne um. Die dabei frei werdene Energie wird als ionisierende Strahlung bezeichnet.

Die wichtigsten Strahlungsarten sind:

- **Alphastrahlung**
- **Betastrahlung**
- **Gammastrahlung**

Alle genannten Strahlungsarten übertragen ihre Energie auf bestrahlte Materie. Dort bewirken sie z.B. Abspaltungen (Ionisation) oder Umlagerung von Elektronen.

Das Durchdringungsvermögen dieser Strahlungsarten in Materie ist sehr unterschiedlich. Alphastrahlung wird z.B. bereits von einer dünnen Papierschicht abgeschirmt, Betastrahlung von wenigen Zentimetern Holz oder Ähnlichem. Gammastrahlung hingegen kann selbst von einer Bleiabschirmung nicht komplett absorbiert sondern nur abgeschwächt werden (Abbildung 2.1).

So ergeben sich für die unterschiedlichen Strahlenarten verschiedene Probenaufarbeitungen und Messtechniken (Unter Anderem muss die Strahlung die Messproben ungehindert verlassen und den Detektor erreichen können).

Alphastrahlung

Besteht aus Alphateilchen (einem Helium-Kern: 2 Protonen und 2 Neutronen, positiv geladen). Die Energie der Alphateilchen ist spezifisch für das Radionuklid und kann zur Identifizierung verwendet werden. Beispiele: Uran, Thorium.

Betastrahlung

Besteht aus Betateilchen (Elektron, negative Ladung oder Positron, positive Ladung). Die Energie ist kontinuierlich bis zu einer Maximalenergie verteilt und ermöglicht nur sehr eingeschränkt die Identifizierung des Radionuklids. Beispiele für reine Betastrahler sind Strontium-90 und Tritium.

Gammastrahlung

Besteht aus Gammaquanten (Photonen, ungeladen und masselos). Die Energie der Gammastrahlung ist spezifisch und kann zur Identifizierung des Radionuklids verwendet werden. Beispiele: Kalium-40, Cäsium-137

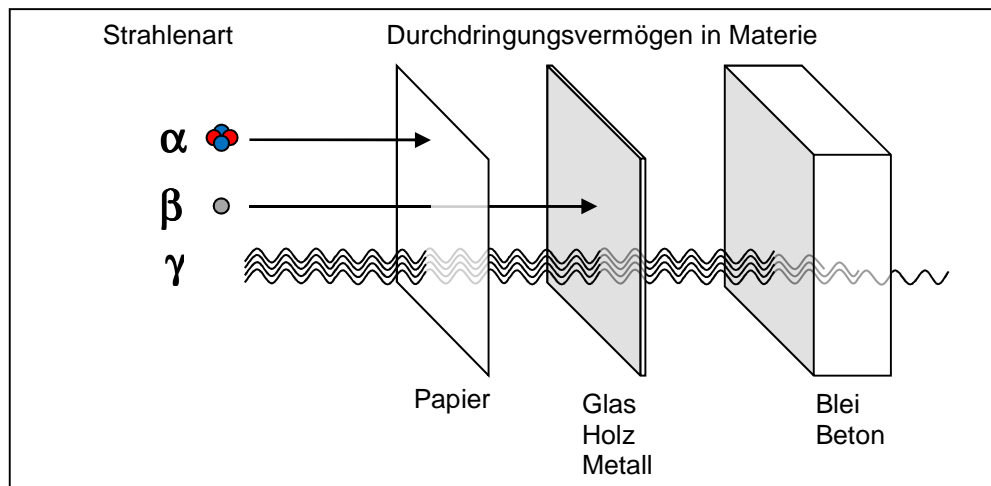


Abbildung 2.1: Abschirmung und Durchdringungsvermögen von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung

Entscheidend für die biologische Wirkung ist die vom Körper durch äußere Strahlung oder durch Strahlung inkorporierter radioaktiver Stoffe erhaltene **effektive Dosis**, was in der Folge auch zu chemischen Veränderungen führen kann. Im biologischen Gewebe können diese Veränderungen zu Schädigungen von Zellen oder Zellbestandteilen insbesondere der Erbgut tragenden Desoxyribonukleinsäure (DNS) führen.

effektive Dosis

Summe der gewichteten Organdosen in den Geweben oder Organen des Körpers. Wichtungsfaktoren beschreiben die Strahlenempfindlichkeit sowie die Speicherfähigkeit des Organs für den radioaktiven Stoff. Maßeinheit ist das Sievert (Sv).

Organdosis

Äquivalentdosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil. Bei Kombination mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Organdosis die Summe der Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition. Maßeinheit ist das Sievert (Sv).

Äquivalentdosis

Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis, Maßeinheit: Gray, Gy = J/kg) im Standard-Weichteilgewebe und einem Qualitätsfaktor. Bei Kombination mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Maßeinheit ist das Sievert (Sv).

Qualitätsfaktor

Wichtungsfaktor zur Ermittlung der Äquivalentdosis, der die Einflüsse Strahlungsart und -energie (Strahlungsqualität) auf die biologische Wirksamkeit der Strahlung (Strahlenwirkung) berücksichtigt. Für Gamma- und Betastrahlung hat der Qualitätsfaktor den Wert 1, für Alphastrahlung den Wert 20.

2.2. Expositionspfade

Die Strahlenbelastung des Menschen beruht auf zwei Expositionspfaden:

- Die *äußere Strahlenexposition*, deren natürlicher Beitrag sich vorwiegend aus kosmischer und terrestrischer Strahlung zusammensetzt.
- Die *innere Strahlenexposition*, die infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper, zum Beispiel durch die Atmung (Inhalation) oder durch Nahrungsaufnahme (Ingestion) erfolgt.

Bedingt durch das hohe Durchdringungsvermögen der Gammastrahlung wird die äußere Strahlenexposition fast ausschließlich von dieser verursacht. Bei der Überwachung der Umgebungsstrahlung wird daher hauptsächlich die Gammadosis (**Äquivalentdosis**) ermittelt.

Die innere Strahlenexposition wird durch die Strahlung inkorporierter Radionuklide verursacht. Da diese nicht direkt messbar sind, wird ausgehend von gemessenen Aktivitäten in Luft, Boden, Nahrungsmitteln usw. mit Hilfe von Rechenmodellen die Dosis abgeschätzt. Dabei werden Ausbreitungswege, An- und Abreicherungen in der Umwelt, durchschnittliche Verzehrsmengen und nuklidspezifische Eigenschaften (**Dosisfaktoren**) berücksichtigt. Abbildung 2.2 zeigt die vielfältigen Expositionspfade (z.B. Luft - Niederschlag - Futterpflanze - Kuh - Milch - Mensch), die bei den Dosisberechnungen beachtet werden müssen.

Dosisfaktor

Faktor zur Ermittlung der Strahlenexposition durch inkorporierte radioaktive Stoffe. Der Dosisfaktor ist abhängig vom Radionuklid (effektive Halbwertszeit, Strahlungsart) vom Zielorgan des Körpers, von der Inkorporationsart (Inhalation, Ingestion), von der chemischen Verbindung des Radionuklids (löslich, unlöslich), sowie vom Alter der betroffenen Person (Kleinkind, Jugendlicher, Erwachsener)

physikalische Halbwertszeit (T_{phys})

Zeit, in der die Hälfte der Radionuklide zerfällt

biologische Halbwertszeit (T_{biol})

Zeit, in der ein biologischer Organismus, beispielsweise Mensch oder Tier, auf natürlichem Wege die Hälfte der aufgenommenen Menge eines bestimmten Stoffes aus dem Körper oder einem speziellen Organ ausscheidet

effektive Halbwertszeit (T_{eff})

Zeit, in der in einem Organismus die Menge eines Stoffes im Zusammenwirken von physikalischer und biologischer Halbwertszeit auf die Hälfte abnimmt:

$$T_{\text{eff}} = (T_{\text{phys}} \cdot T_{\text{biol}}) / (T_{\text{phys}} + T_{\text{biol}})$$

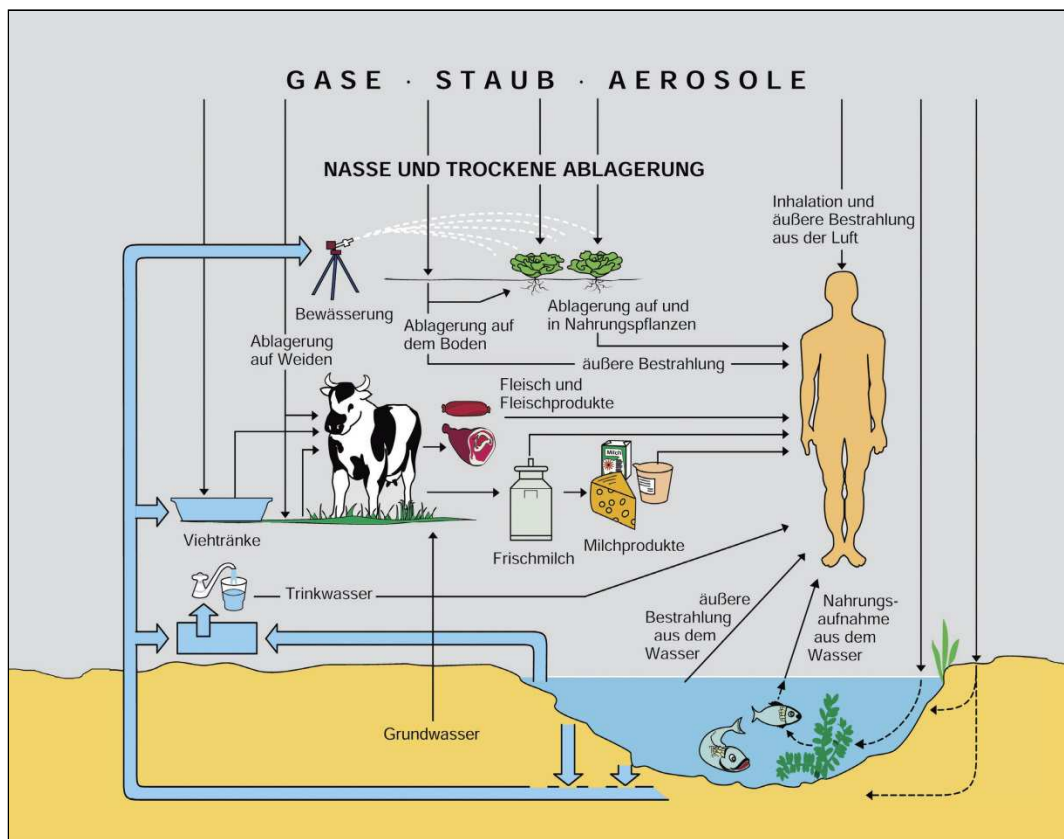


Abbildung 2.2: Wege radioaktiver Stoffe aus Luft und Niederschlag zum Menschen (Quelle: Informationskreis KernEnergie)

Im Hinblick auf die Herkunft der radioaktiven Stoffe unterscheidet man zwischen natürlicher und künstlicher (oder zivilisatorischer) Radioaktivität, wobei die biologische Wirkung in beiden Fällen prinzipiell gleich ist.

2.3. Natürliche Radioaktivität

Einige Radionuklide z.B. Uran-238 (^{238}U), Thorium-232 (^{232}Th) und Kalium-40 (^{40}K) sind aufgrund ihrer langen **physikalischen Halbwertszeit** (bei ^{238}U beträgt diese 4,7 Milliarden, bei ^{232}Th 14 Milliarden und bei ^{40}K 1,3 Milliarden Jahre) seit der Entstehung der Erde noch in beträchtlicher Menge in der Erdkruste vorhanden (s. Abbildung 2.3).

Kalium-40 ist als biologisch essentielles Element in allen pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln enthalten (ca. 100 Bq/kg) und somit auch im Menschen selbst.

Die natürliche Strahlenbelastung über die Atemluft wird hauptsächlich durch das Edelgas Radon-222 (^{222}Rn) und dessen Zerfallsprodukte, Radionuklide von Blei (Pb) und Polonium (Po), hervorgerufen. Es bildet sich in der Zerfallsreihe von Uran-238 über Radium-226 (^{226}Ra) und geht vom Boden (z.B. durch Erdspalten) in die Atmosphäre über, von der aus die radioaktiven Folgeprodukte durch nasse (Niederschlag) oder trockene Deposition auf die Oberflächen von Boden und Pflanzen gelangen. Ähnliche Produkte entstehen in der Thorium-232-Zerfallsreihe. Die dabei entstehenden Blei- und Polonium-Radionuklide tragen ebenfalls wesentlich zur natürlichen Strahlenexposition bei.

In der irdischen Atmosphäre wird natürliche Radioaktivität durch energiereiche Weltraumstrahlung (hauptsächlich Protonen) gebildet. Hier entstehen durch Kernreaktionen sekundärer Neutronen (entstanden aus primären Protonenreaktionen) mit Stickstoff-Atomkernen (^{14}N) der Luft die Radionuklide Kohlenstoff-14 (^{14}C) und Tritium (^3H).

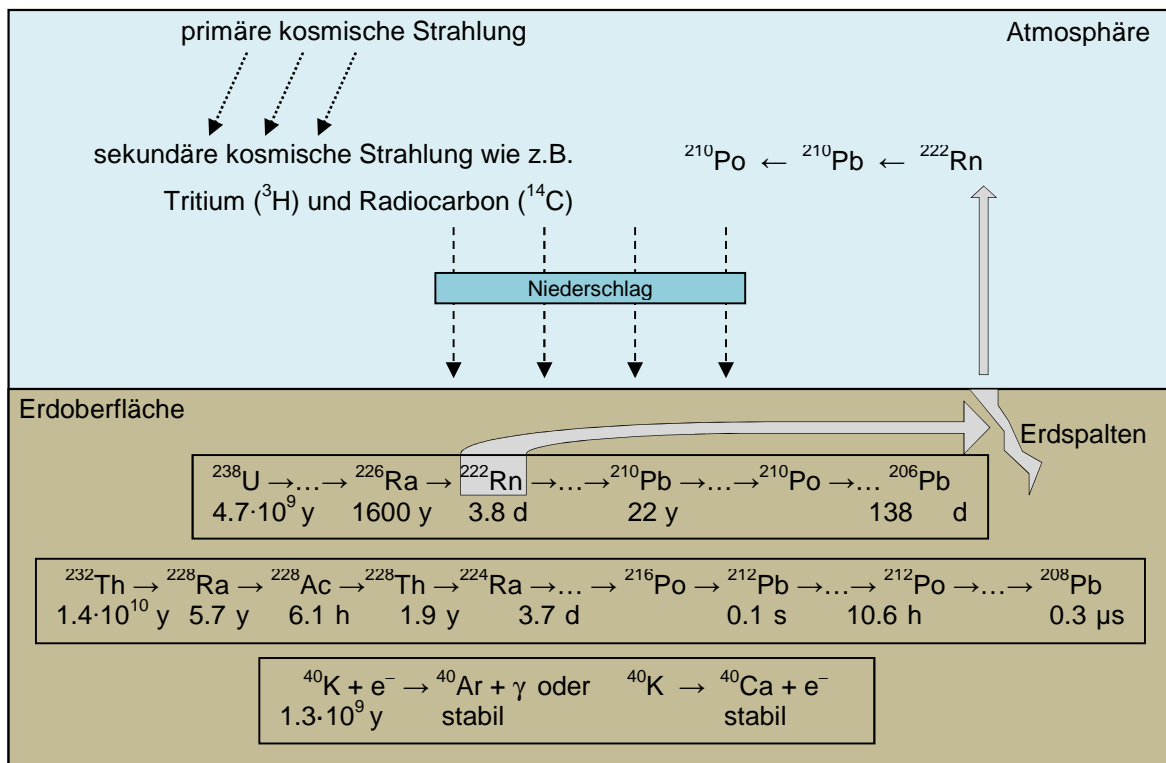


Abbildung 2.3: Natürliche radioaktive Stoffe in Atmosphäre und Boden und deren physikalische Halbwertszeiten (y = Jahre, d = Tage, h = Stunden, 10^9 = 1 Milliarde, 10^{10} = 10 Milliarden)

2.4. Künstliche Radioaktivität

Künstliche Radionuklide werden z.B. in kerntechnischen Anlagen oder Beschleunigern erzeugt. Sie finden Verwendung in Medizin, Technik und Forschung.

Die künstliche Radioaktivität in der Umwelt entstammt hauptsächlich Kernspaltungsprozessen und wurde bis 1986 von Rückständen der oberirdischen Kernwaffentests in den 50er und 60er Jahren, danach jedoch von den Auswirkungen des Unfalls im Kernkraftwerk von Tschernobyl dominiert.

Von besonderer Bedeutung für die Belastung des Menschen sind Radionuklide mit großer physikalischer Halbwertszeit z.B. Cäsium-137 (30 Jahre) oder Strontium-90 (28 Jahre) und mittlerer bis großer **biologischer Halbwertszeit** z.B. Cäsium (ca. 3 Monate bei Erwachsenen) und Strontium (ca. 50 Jahre).

2.5. Effektive Jahresdosis

Durch die natürliche Strahlenexposition ergibt sich für die Bevölkerung in Deutschland eine mittlere effektive Jahresdosis von ca. 2,1 mSv die sich aus kosmischer und terrestrischer Strahlung sowie durch die Beiträge von Atmung und Nahrungsmittelverzehr zusammensetzt (Abbildung 2.4).

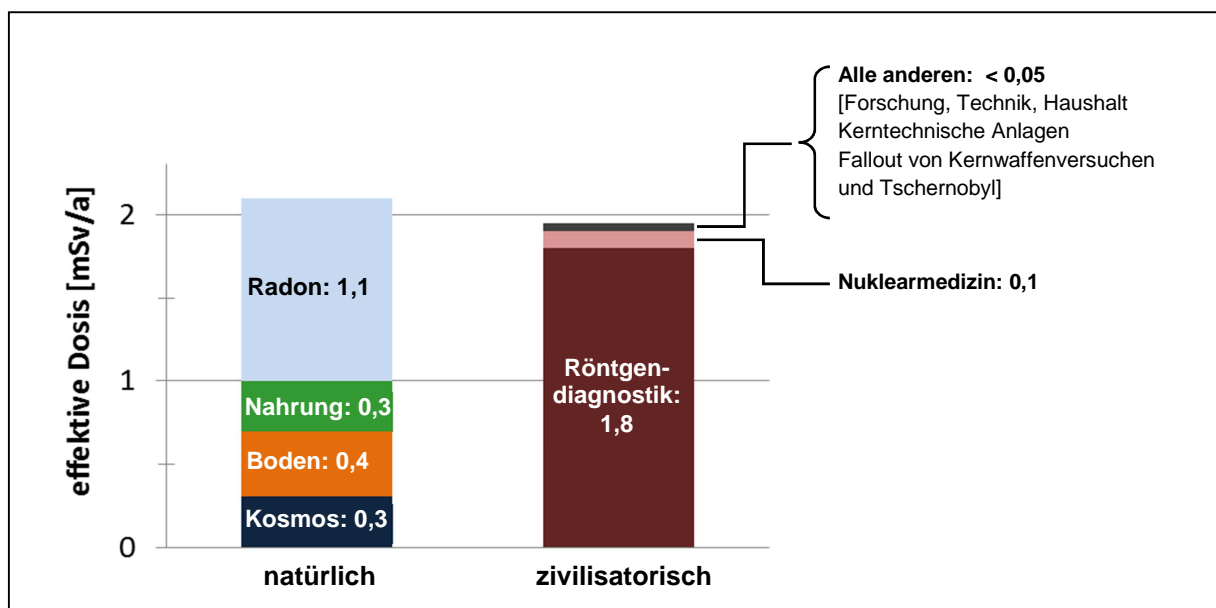


Abbildung 2.4: Effektive Jahresdosis einer Person durch die natürliche und die zivilisatorische Strahlenexposition in mSv, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands. (Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bonn, 2015: "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2013")

Für die zivilisatorische Belastung durch ionisierende Strahlung ist der Einsatz von Röntgenstrahlen dominierend. Die Wirkung der Röntgenstrahlung ist der der Gammastrahlung ähnlich. Die zivilisatorische Strahlenexposition beträgt im Mittel etwa 1,9 mSv im Jahr und stammt nahezu vollständig aus dem medizinischen Bereich.

Die mittlere Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl ist von 0,11 mSv/a (1986) auf weniger als 0,011 mSv (2014) zurückgegangen.

2.6. Bestimmung der Radioaktivität

Nachdem Proben aufgearbeitet wurden (z.B. gewaschen, angereichert, getrocknet oder zu Asche geglüht), werden die einzelnen radioaktiven Stoffe gemessen. Das Messverfahren richtet sich nach der Strahlenart der zu bestimmenden Radionuklide. In den meisten Fällen werden die Proben gamma-spektrometrisch (Abbildung 2.6) untersucht, da

- viele strahlenbiologisch relevante Nuklide Gammastrahler sind.
- mit diesem Verfahren mehrere Nuklide gleichzeitig bestimmt werden können, weil jedes Nuklid bei der Kernumwandlung Gammastrahlen mit charakteristischen Energien (Abbildung 2.5) aussendet.
- die Aufarbeitung den geringsten Aufwand in Anspruch nimmt und das Analyseergebnis nach kurzer Zeit vorliegt.

Gammastrahlung

Die Energie der Gammastrahlung ist nuklidspezifisch und wird zur Identifizierung der Radionuklide verwendet.

Mit Hilfe der Kalibrierung wird die Aktivität der gefundenen Radionuklide bestimmt.

Typischer Messbereich: 50 bis 2000 Kilo-Elektronenvolt (keV)

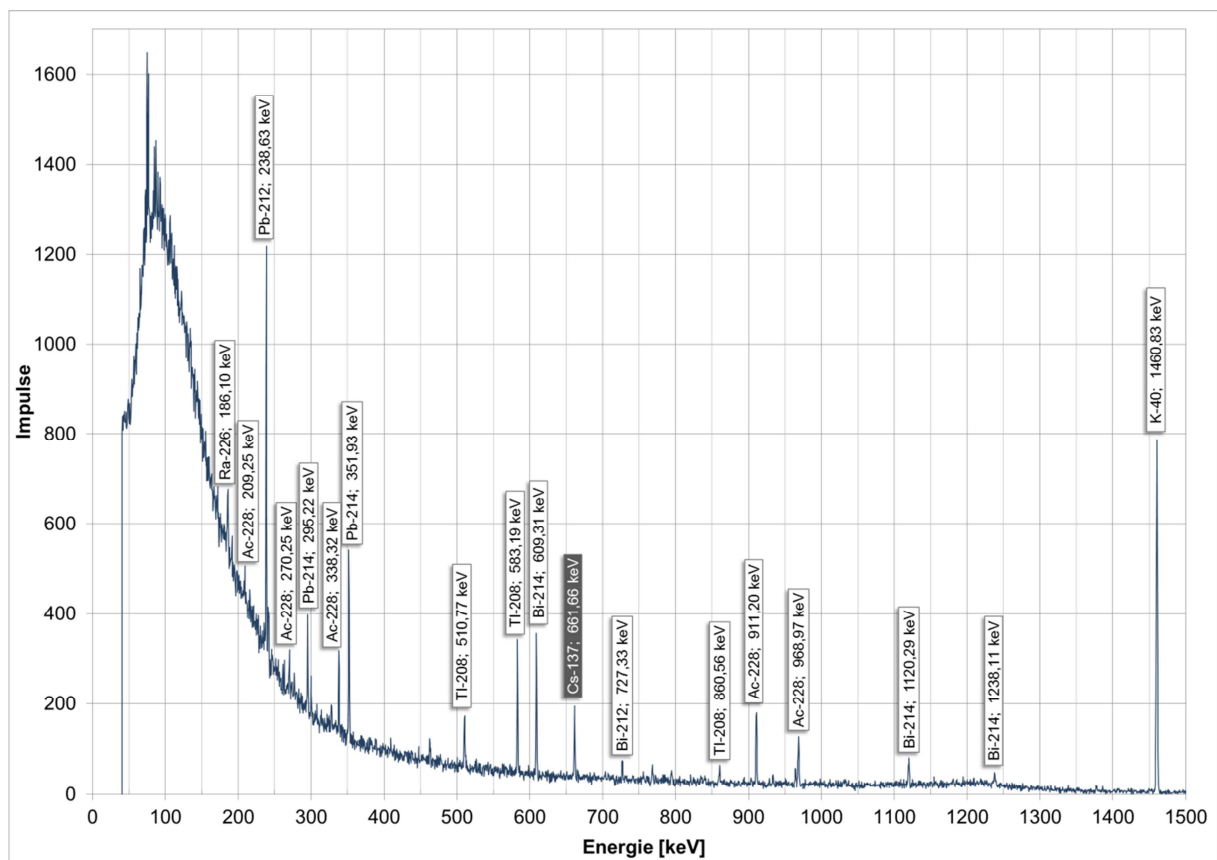


Abbildung 2.5: Gammastrahlungsspektrum mit Energiekurven verschiedener natürlicher Radionuklide sowie des künstlichen Cäsium-137.

Sowohl die benötigten Probenmengen wie auch die erforderlichen Messzeiten hängen wesentlich von dem Gehalt an Radioaktivität ab. Je geringer dieser ist, umso längere Messzeiten, größere Probenmengen bzw. aufwändigere Probenvorbereitungen sind erforderlich, um die spezifische Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration hinreichend genau zu bestimmen.

Die Bestimmung alphastrahlender (z.B. Uran, Plutonium) oder ausschließlich betastrahlender Nuklide z.B. Strontium) ist wesentlich aufwändiger, da die betreffenden Elemente vor der Messung durch chemische Abtrennungen isoliert werden müssen

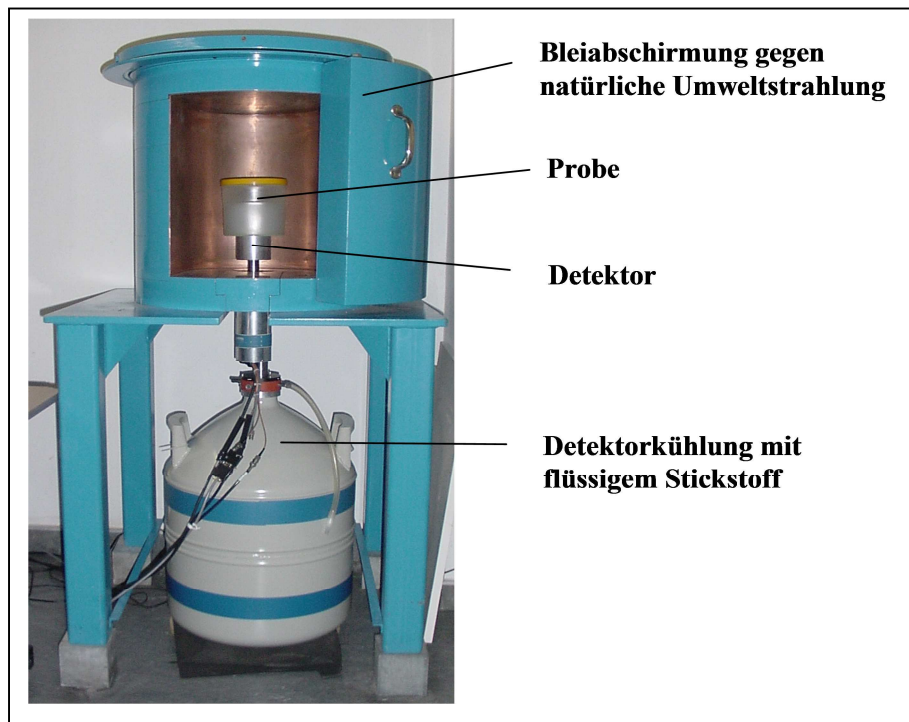


Abbildung 2.6: Messplatz für Gammaskopie:

- Abschirmung: 1500 Kg Blei
- Probenvolumen: 1 Liter
- Halbleiter-Detektor: Kristall aus reinstem Germanium mit Verstärker und Vielkanalanalysator
- Kühlung: 30 L flüssiger Stickstoff

3. Messprogramme

Im Rahmen der Durchführung des StrVG werden folgende Messprogramme unterschieden:

- Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)
- Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
- Sondermessprogramme

3.1. Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)

Das Routinemessprogramm dient der Gewinnung von Referenzwerten (Hintergrundwerten) für die Beurteilung von Ereignissen mit erheblichen radiologischen Auswirkungen und der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität.

Art und Anzahl sowie Zeitabstände und Orte der Probenahmen bzw. Messungen sind nach Vorgabe des Strahlenschutzvorsorgegesetzes, sowie in landeseigenen Messprogrammen festgelegt. Lebensmittel-, Futtermittel- und Umweltproben werden nach einem für jedes Bundesland spezifischen Mengengerüst an festgelegten Orten entnommen, um z.B. eine zeitliche Entwicklung der Umweltradioaktivität an einem bestimmten Ort verfolgen zu können.

In Nordrhein-Westfalen werden jährlich ca. 1800 Untersuchungen routinemäßig durchgeführt. Hierbei werden 5 Untersuchungsarten unterschieden:

- Gammaspektrometrie
- Alphaspektrometrie
- Strontiumanalysen
- Tritiumanalysen
- In-situ-Messungen

Je nach Probenart und Untersuchungsziel sind maximal zulässige Nachweisgrenzen (bei der Gammaspektrometrie beziehen sich diese auf das künstliche Radionuklid Cobalt-60) festgelegt (Tabelle 3.1). Die in der Praxis erzielten Nachweisgrenzen können deutlich darunter liegen.

Tabelle 3.1: Übersicht über Probenarten, Analysemethoden und die geforderten Nachweisgrenzen

Probenarten	geforderte Nachweisgrenzen				
	Bq/kg Feuchtmasse bzw. Bq/L bzw. Bq/d*p (Gesamtnahrung)				Bq/m ²
	Gamma- spektrometrie ¹⁾	Strontium- analysen	Alpha- spektrometrie	Tritiumanalysen	In-situ- Messungen ¹⁾
Nahrungsmittel pflanzlicher Herkunft	0,2	0,04			
Nahrungsmittel tierischer Herkunft	0,2				
Gesamtnahrung	0,4	0,04			
Kindernahrung	0,2	0,02			
Milch und Milchprodukte	0,2	0,02			
Blätter, Tannennadeln, Gras ³⁾	0,5				
Futtermittel ⁴⁾	0,5	0,05 ²⁾			
Boden ³⁾	0,5	0,5			200
Wasser	0,05	0,01	0,01	10	
Schwebstoffe ³⁾	5				
Sedimente ³⁾	5				
Trinkwasser	0,05	0,01	0,01	10	
Grundwasser	0,05	0,01	0,01	10	
Süßwasserfisch	0,2	0,02			
Abwasser	0,1	0,1	0,1		
Klärschlamm ³⁾	5	5	5		
Hausmülldeponie	0,1			10	
Verbrennungsanlagen	5				
Kompostierungsanlagen ³⁾	5				
Sonstige Produkte	0,2				

1) Nachweisgrenze bezogen auf Cobalt-60
2) nur Weidegras
3) Bezogen auf Trockenmasse
4) Bezogen auf Trockenmasse, Weidegras bezogen auf Feuchtmasse

In bundeseinheitlichen Messanleitungen (Normverfahren) werden die Arbeitsabläufe, angefangen bei der Probenahme über die Probenaufbereitung bis hin zur Messung festgelegt, um einen Vergleich der gewonnenen Messergebnisse zu ermöglichen.

Für die Durchführung dieser Aufgaben sind in Nordrhein-Westfalen 5 amtliche Messstellen zuständig, die jeweils einem Regierungsbezirk zugeordnet sind. Diese Regionalisierung der Zuständigkeiten bietet mehrere fachliche und organisatorische Vorteile:

- Durch die Regionalisierung lassen sich örtliche Gegebenheiten bei den Probenahmen besser berücksichtigen.
- Die von einer Messstelle unter regionalen Gesichtspunkten überwachten Umweltmedien lassen Rückschlüsse auf die Übergangsfaktoren von einem Medium zum anderen zu (z.B. Auswirkung der radioaktiven Belastung des Bodens auf den Bewuchs).
- Die Wege vom Ort der Probenahme zu den Messstellen sind kürzer als bei einem zentralisierten medienbezogenen Programm.
- Die Messaufgaben sind nahezu gleichmäßig auf die Messstellen verteilt, was organisatorische und haushaltstechnische Maßnahmen wesentlich vereinfacht.

Die fünf amtlichen Messstellen in Nordrhein-Westfalen sind:

- Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe (CVUA MEL in Münster; zuständig für die Proben aus dem Regierungsbezirk Münster)
- Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Ostwestfalen-Lippe (CVUA OWL in Detmold; zuständig für die Proben aus dem Regierungsbezirk Detmold)
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW in Düsseldorf; zuständig für die Proben aus dem Regierungsbezirk Köln)
- Landesbetrieb Mess- und Eichwesen NRW (LBME, Betriebsstelle Eichamt Dortmund; zuständig für den Regierungsbezirk Arnsberg)
- Landesinstitut für Arbeitsgestaltung NRW (LIA NRW in Düsseldorf; zuständig für die Proben aus dem Regierungsbezirk Düsseldorf)

3.2. Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)

Das Intensivmessprogramm dient der Erfassung der radioaktiven Kontamination von Lebens- und Futtermitteln sowie der Umwelt im Falle von Ereignissen mit erheblichen radiologischen Auswirkungen.

Auf Veranlassung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) wird der Intensivmessbetrieb im Ereignisfall oder zu Übungszwecken ausgelöst und beendet.

Der Intensivmessbetrieb (bei lokalem Ereignis auch sektoriert, d.h. örtlich begrenzt) kann z.B. durch folgende Ereignisse ausgelöst werden:

- Freisetzung radioaktiver Stoffe bei einem Unfall in einer in- oder ausländischen kerntechnischen Anlage mit der Möglichkeit eines Eintrages radioaktiver Stoffe im Bundesgebiet
- Freisetzung radioaktiver Stoffe bei Transportunfällen
- Absturz einer Raumsonde mit nuklearer Stromversorgung
- Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einem nuklear angetriebenen Schiff nach einer Havarie
- Größere Nukleare Explosion

Im Intensivmessbetrieb werden die Anzahl der Proben sowie die räumliche Dichte der Probenahmeorte und In-situ-Messorte erheblich gesteigert. Für diesen Fall halten die Messstellen hinreichende personelle und apparative Ausstattungen vor. Das Intensivmessprogramm wird in drei Phasen aufgeteilt:

- Phase 1: vor und während der Ausbreitung radioaktiver Stoffe
- Phase 2: unmittelbar nach der Ausbreitung radioaktiver Stoffe
- Phase 3: nach der Ausbreitung radioaktiver Stoffe und nach Rückgang der hohen Anfangskontamination

In der Phase 1 erfolgen Messungen durch die Bundesbehörden. Die Probenahme in den Bundesländern beginnt in der Regel in Phase 2. Dann werden auch Lebensmittel- und Futtermittelproben aus der Handelsstufe zur Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten untersucht.

3.3. Sondermessungen

Neben den Messungen nach dem StrVG werden landeseigene Sondermessungen durchgeführt.

Im Routinemessprogramm werden abgesehen von den Importproben grundsätzlich nur Proben untersucht, die unmittelbar von Erzeugerbetrieben stammen. Um einen Überblick über die Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln der Handelsstufe zu erhalten, werden in NRW zusätzlich Proben vom Handel untersucht, deren Herkunftsort im In- oder Ausland liegt. Seit 1986 sind für Erzeugnisse aus Drittländern, die besonders von dem Unfall von Tschernobyl betroffen sind (Verordnung (EWG) Nr. 1707/86, ABl. Nr. L 152 vom 31.5.1986, bis zur Verordnung (EG) Nr. 733/2008, ABl. Nr. L 201 vom 15.7.2008) Höchstwerte für die spezifische Radioaktivität festgelegt. Sie beziehen sich auf das langlebige Radiocäsium und betragen für Milch und Milcherzeugnisse sowie für Kleinkindernahrung 370 Bq/kg. Für alle anderen noch betroffenen Nahrungs- und Futtermittel 600 Bq/kg.

Da auf dem Gebiet der Europäischen Union noch heute Wildpilze, wild wachsende Beeren, Wildfleisch und Raubfische aus Seen höher belastet sein können, wurde den Ländern der Europäischen Union durch die EU-Kommission empfohlen (ABl. L 99 vom 17.4.2003), diese Höchstwerte auch bei dem Inverkehrbringen inländischer Produkte einzuhalten und die Bevölkerung über das Gesundheitsrisiko bei Verzehr solcher Produkte zu unterrichten. Diese Empfehlung ist in Deutschland Grundlage dafür, höher belastete Erzeugnisse der o.g. Art nicht für die Vermarktung zuzulassen.

4. Integriertes Mess- und Informationssystem (IMIS)

Das Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) wurde in der Bundesrepublik nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl eingerichtet.

IMIS ist ein bundesweites Netzwerk, an dem insgesamt ca. 70 Rechnerstandorte bei Institutionen des Bundes und der Länder beteiligt sind. Rund um die Uhr speichert das System Daten von 5 Bundesmessnetzen mit über 1000 ortsfesten Messstationen und ca. 40 Landesmessstationen (Abbildung 4.1).

Die Messdaten werden nach einer ersten fachlichen Prüfung an die Zentralstelle des Bundes geleitet. Diese übermittelt die Daten zur abschließenden Plausibilitätsprüfung, Auswertung und Aufbereitung an die für die jeweiligen Umweltbereiche zuständigen fachlichen Einrichtungen des Bundes (Leitstellen).

Anschließend werden die Ergebnisse an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit weitergeleitet. Letzteres entscheidet gegebenenfalls über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Relevante Daten und Informationen werden der Öffentlichkeit regelmäßig zur Verfügung gestellt (Internetlink: <http://www.bfs.de>).

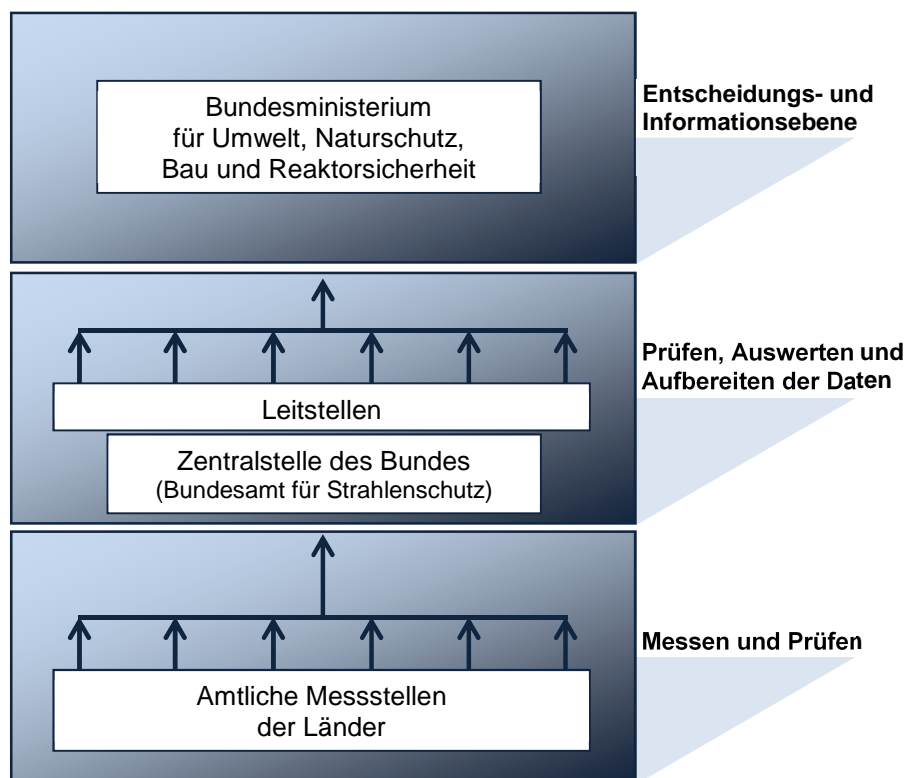


Abbildung 4.1: Datenfluss und Organisation im Integrierten Mess- und Informationssystem IMIS.

5. Ergebnisse aus Routine- und Sondermessprogramm

5.1. Zusammenfassung

In den Jahren 2015 und 2016 wurden insgesamt 3758 Einzelanalysen (Alpha-, Beta- und Gammanuklide) an 3395 Proben vorgenommen (Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2). Die Messergebnisse sind im Anhang (Kapitel 6) in Datentabellen zusammengefasst und nach Umweltbereichen und Probenarten sortiert.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen, dass die in Nordrhein-Westfalen erzeugten als auch nach NRW importierten Lebens- und Futtermittel sowie Trinkwasser insgesamt nur äußerst geringe Gehalte künstlicher Radioaktivität aufweisen. In Wildprodukten und Umweltproben aus nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen werden regelmäßig Spuren künstlicher radioaktiver Stoffe nachgewiesen. Hierbei handelt es sich um Spuren von Cäsium-137 z.B. in Wildschwein (Rückstände vom Tschernobyl-Fallout), Strontium-90 z.B. in Sedimenten (Rückstände der Kernwaffentests der 50iger und 60iger Jahre), sowie Jod-131 z.B. in Klärschlamm (Rückstände aus der Nuklearmedizin).

Tabelle 5.1: Anzahl der untersuchten Proben in den Jahren 2015 und 2016

Art der Proben	Ergebnistabellen im Anhang	Anzahl der Proben
Böden, Pflanzen, In-situ	6.1	148
Futtermittel	6.2 bis 6.4	229
Lebensmittel	6.5 bis 6.7	2442
Trink- und Grundwasser	6.8	96
Gewässer	6.9	238
Abfälle	6.10	242
Gesamt		3395

Tabelle 5.2: Anzahl der an den Proben durchgeführten Analysen in den Jahren 2015 und 2016

Art der Messung	Anzahl der Messungen
Alphaspektrometrie (Am-241, U- und Pu-Isotope)	37
Beta-Messungen (H-3)	115
Beta-Messungen (Sr-90)	211
Gamma-Messungen (Cs-137, K-40, I-131)	3345
In-situ-Gamma-Messungen	50
Summe aller Analysen	3758

Die folgenden zwei Abbildungen 5.1 und 5.2 geben einen Überblick über der Verteilung von Strontium-90 und Cäsium-137 in unserer Umwelt. Es wird deutlich, dass sich beide Radionuklide zum überwiegenden Teil in den festen Umweltkompartimenten (feste Abfälle, Sedimente, Böden) befinden. In den wässrigen Umweltmedien (Abwässer, Sickerwässer, Oberflächenwässer) lassen sie sich kaum nachweisen. In Lebens- und Futtermitteln aus nordrheinwestfälischen Erzeugerbetrieben sind die Gehalte so niedrig, dass die Messwerte zum größten Teil im Bereich der Nachweisgrenze oder darunter liegen. Die Messergebnisse der einzelnen Umweltbereiche werden in den nachfolgenden Kapiteln diskutiert.

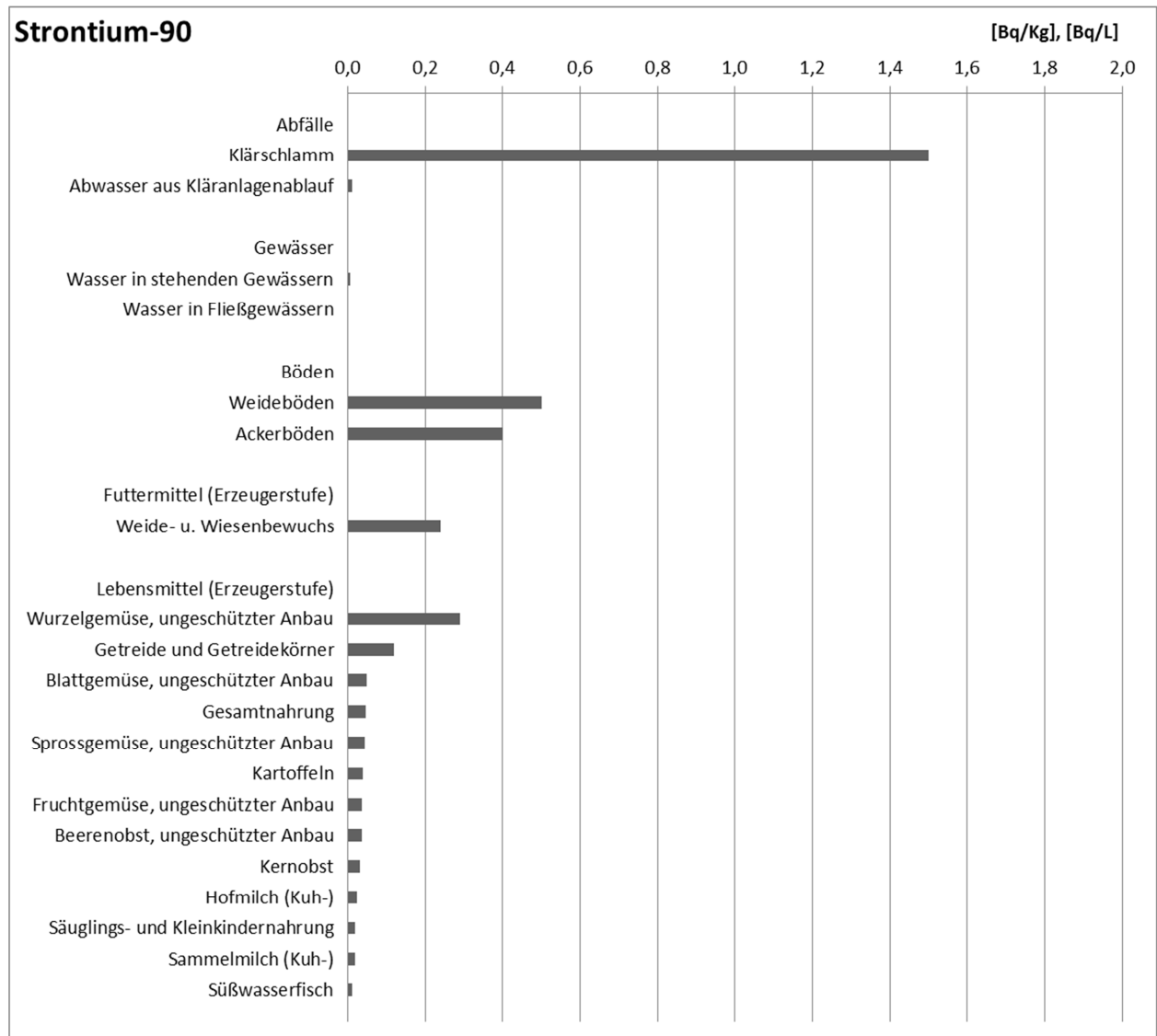


Abbildung 5.1: Strontium-90-Konzentrationen in Lebens- und Futtermitteln (Erzeugerproben) sowie Umweltproben aus NRW. Dargestellt ist jeweils der Median aus den Analysen der Jahre 2015 und 2016.

Cäsium-137

[Bk/Kg], [Bq/L]

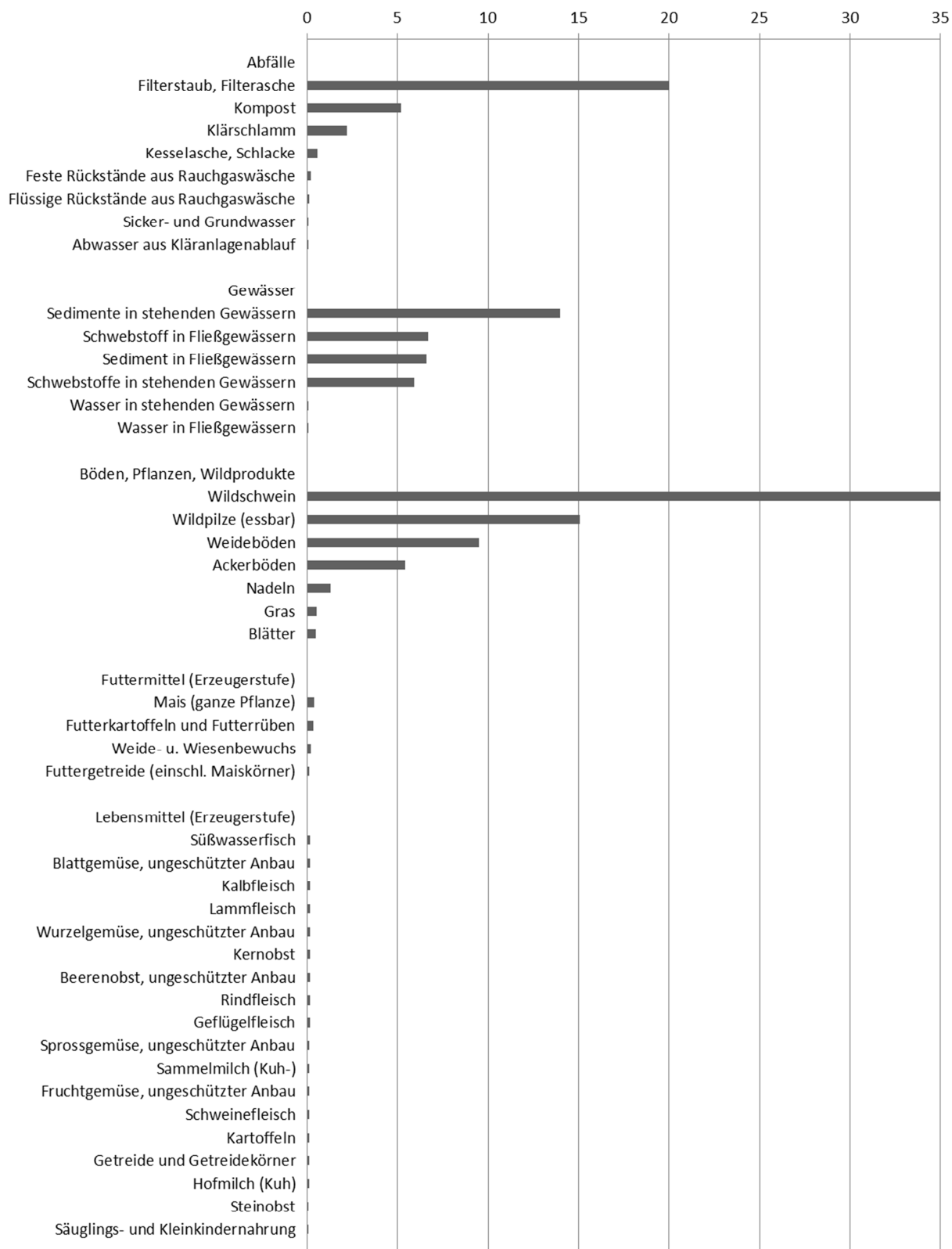


Abbildung 5.2: Cäsium-137-Konzentrationen in Lebens- und Futtermitteln (Erzeugerproben) sowie Umweltproben aus NRW. Dargestellt ist jeweils der Median aus den Analysen der Jahre 2015 und 2016.

5.2. Böden und Pflanzen

Böden enthalten in erster Linie die natürlich vorkommenden Radionuklide aus den Zerfallsreihen des Urans und Thoriums sowie das Kalium-40 (K-40). Von den künstlich erzeugten Radionukliden werden heute noch Cäsium-137 (Cs-137) und Strontium-90 (Sr-90) nachgewiesen. Sie stammen zum größten Teil von dem Reaktorunfall in Tschernobyl und aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen. Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Je nach Bodenart bzw. -nutzung sind Unterschiede bezüglich des Gehalts künstlicher radioaktiver Stoffe festzustellen. In Ackerböden, die vielfach durchpflügt werden, kann man von einer gleichmäßigen Verteilung der künstlichen Radionuklide bis zur Pflugtiefe (15-40 cm) ausgehen (Cs-137-Median: ~5 Bq pro Kg Ackerboden). Bei unbearbeiteten Böden (z.B. Weideböden) verhindert die Fixierung an Tonmineralen die Wanderung der Radionuklide in tiefere Schichten (Cs-137-Median: ~10 Bq pro Kg Weideboden).

Aus den Umweltbereichen ohne landwirtschaftliche Nutzung werden Pflanzenproben entnommen (Gras, Blätter, Nadeln) und auf Gammanuklide analysiert. Die Pflanzen stehen überall zur Verfügung und eignen sich als Indikatoren für die Kontamination der Umwelt. Auch heute noch ist das Cs-137 aus Tschernobyl in einigen Pflanzenproben messbar. Der Median der Pflanzenproben liegt bei 0,5 bis 1 Bq Cs-137 pro Kg Trockenmasse (Bq/Kg TM). Die höchsten Messwerte in den Jahren 2015/16 waren in Nadeln 130 Bq/Kg TM, in Blättern 22 Bq/Kg TM und in Gras 5 Bq/Kg TM (siehe Tabelle 6.1).

5.3. Futtermittel

Futtermittel sind die Zwischenstation für den Transfer von Radionukliden vom Boden in tierische Nahrungsmittel und damit in den Menschen. Neben einheimisch erzeugten (Tabelle 6.2) werden auch importierte (Tabelle 6.4) Futtermittel und in einem landeseigenen Messprogramm Futtermittel aus der Handelsstufe (Tabelle 6.3) überwacht.

Bei den sich ergebenden unterschiedlichen Aktivitätskonzentrationen in Futtermitteln spielen sowohl pflanzenphysiologische Faktoren als auch die Verfügbarkeit der Radionuklide im Boden (Bodenart) und die Bodenbearbeitung und -bewirtschaftung eine Rolle. So können Futtermittel, die auf unbearbeiteten Böden wachsen (Grünfutter) höhere Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 aufweisen als diejenigen Futtermittel, die auf bearbeiteten Böden wachsen (Mais, Getreide, Kartoffeln, Rüben). Der Median der Cs-137-Messwerte aller in 2015/16 gemessenen Futtermittelproben ist kleiner als 0,8 Bq pro Kg Trockenmasse.

5.4. Lebensmittel

Der überwiegende Teil der Überwachung der Radioaktivität in Lebensmitteln erstreckt sich auf Produkte, die in Nordrhein-Westfalen erzeugt werden (1691 Erzeugerproben von insgesamt 2442 Lebensmittelproben, siehe Tabelle 6.5). Die Entnahme von einheimischen Lebensmitteln erfolgt direkt beim Erzeuger. Die Lebensmittel pflanzlicher Herkunft vom Freiland werden regional erntereif entnommen und untersucht. Lebensmittel tierischer Herkunft werden gleichmäßig über das Jahr verteilt untersucht. Die Messung von Rohmilchproben erfolgt monatlich. Gesamtnahrung (Frühstück, Mittag- und Abendessen für eine Person aus einer Gemeinschaftsverpflegung) wird stichprobenartig wöchentlich entnommen und als 2-Wochen Mischprobe gemessen. Säuglings- und Kleinkindernahrung (Menüs und Getränke) einschließlich Milchersatznahrung werden monatlich entnommen und gemessen. Süßwasserfisch wird sowohl aus Fließgewässern (Rhein, Wupper, Lippe, Sieg) wie auch aus der Teichwirtschaft entnommen und gemessen. Alle Lebensmittelproben werden gamma-spektrometrisch

untersucht. Ein Anteil zwischen 10 % und 30 %, abhängig von der Probenart, wird zusätzlich auf den Gehalt an Strontium-90 analysiert.

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen spielt Cäsium-137 als Kontaminant kaum noch eine Rolle, da es dort durch Bearbeitungs- und Düngemaßnahmen fest an Bodenbestandteile gebunden wird und den Wurzeln praktisch nicht mehr zur Verfügung steht. Damit ist es auch in den landwirtschaftlich erzeugten pflanzlichen und tierischen Lebens- und Futtermitteln nahezu bedeutungslos geworden. In Abbildung 5.3 sind Zeitreihen für Cs-137 in Milch und Rindfleisch (Erzeugerproben aus NRW) dargestellt. Aus ihnen ist ersichtlich, dass die mittlere Cs-137-Konzentration in diesen Nahrungsmitteln seit dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 deutlich zurückgegangen ist.

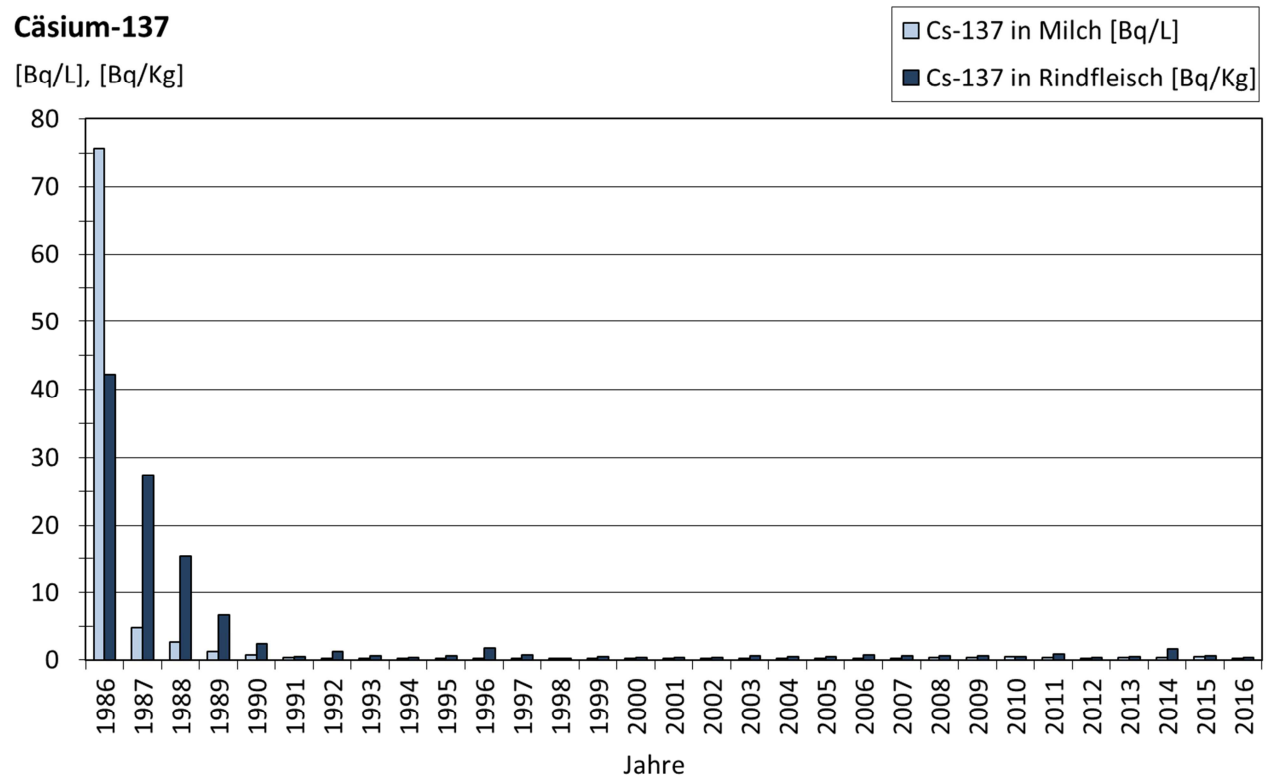


Abbildung 5.3: Jahresmittelwerte von Cs-137 in Milch und Rindfleisch aus NRW von 1986 – 2016. In den Jahren 2015/2016 wurden insgesamt 195 Milchproben und 114 Rindfleischproben analysiert.

Nicht nur die Aktivität in den Proben hat abgenommen, sondern auch die Anzahl der Proben, in denen Cs-137 gefunden wird ist stark gesunken. Die Cs-137-Konzentrationen in allen landwirtschaftlich erzeugten Proben aus NRW lagen in den Jahren 2015/2016 zu fast 90% unterhalb von 0,2 Bq/Kg (Abbildung 5.4). Das bedeutet, dass die Cs-137-Konzentrationen so gering sind, dass sie kaum noch nachweisbar sind.

Auch bei den Lebensmitteln werden zusätzlich Importwaren (Tabelle 6.7) und Proben aus der Handelsstufe (Tabelle 6.6) routinemäßig überwacht.

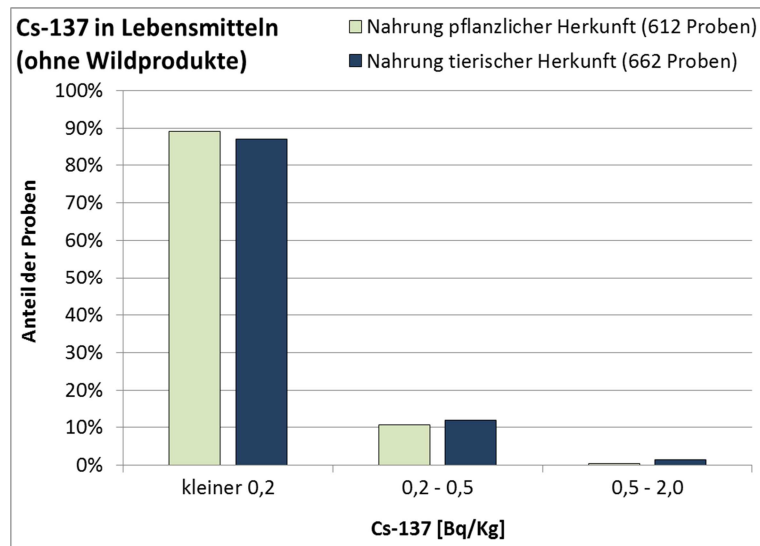


Abbildung 5.4: Die Cs-137-Konzentrationen in landwirtschaftlich erzeugten Lebensmitteln aus NRW liegen zu fast 90% unterhalb von 0,2 Bq/Kg.

5.5. Wildpilze und Wildfleisch

Im Gegensatz zu den landwirtschaftlich erzeugten Lebensmitteln kann die Cs-137-Belastung von wildwachsenden Pilzen und Wildfleisch derzeit vergleichsweise höher sein, denn im sauren und kaliumarmen Waldboden bleibt das Cs-137 für Pflanzen, Pilze und Bodenorganismen leicht verfügbar. Das meiste leicht verfügbare Cs-137 befindet sich in der oberflächennahen Humusschicht, aus welcher die Pilze ihre Nährstoffe entnehmen. So kann es zu einer Anreicherung des Cs-137 in den Pilzen kommen. Dabei hat sich gezeigt, dass neben der regional sehr unterschiedlichen Bodenkontamination auch artspezifische Eigenschaften der Pilze einen Einfluss auf die Höhe der Belastung haben. 94 % der im Jahr 2015 gesammelten Wildpilze weisen Cs-137-Konzentrationen von unter 100 Bq/Kg auf (Abbildung 5.5). Nur in wenigen Pilzproben sind höhere Werte gemessen worden, wie z.B. beim Steinpilz (max. 200 Bq/Kg), beim Maronenröhrling (max. 290 Bq/Kg) oder beim Lacktrichterling (max. 860 Bq/Kg, vgl. Tabelle 5.4).

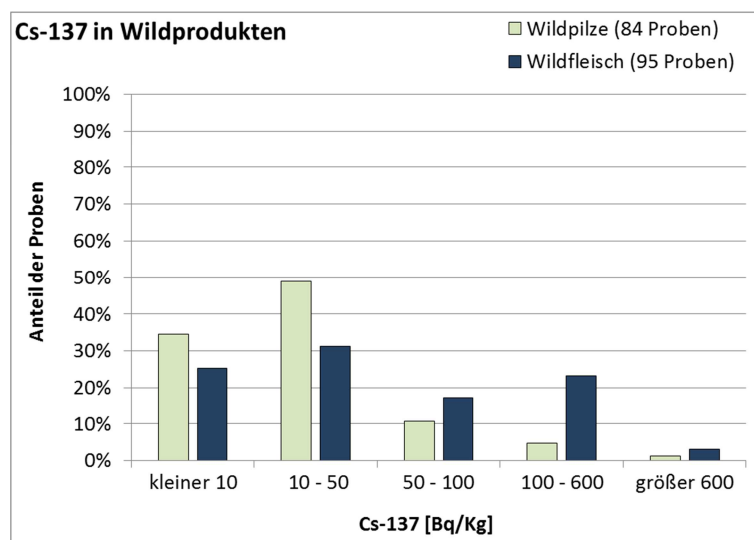


Abbildung 5.5: Cs-137-Konzentrationen in Wildprodukten aus NRW. Im Vergleich zu den Pilzen ist das Wildschweinfleisch höher belastet.

Über ihre Nahrung nehmen Wildschweine das Cs-137 auf und reichern es in ihrem Körper an, wodurch vereinzelt hohe Cs-137-Belastungen in Wildschweinen auftreten können. Abbildung 5.5 verdeutlicht, dass Wildschweinfleisch höher belastet ist als Wildpilze. Das Fleisch von Wildschweinen überschreitet zum Teil den EU-Grenzwert von 600 Bq/Kg. Die Paderborner Senne im Kreis Lippe ist durch den radioaktiven Fallout von Tschernobyl stärker belastet als andere Gebiete in NRW. In dieser Region gab es in den Jahren 2015/2016 von 95 durch das CVUA OWL untersuchten Wildschweinen drei Tiere, welche den EU-Grenzwert überschritten und daher nicht vermarktet wurden (siehe Tabelle 5.3).

Der EU-Grenzwert

In der Europäischen Union ist es nicht erlaubt, Lebensmittel in den Verkehr zu bringen, wenn der Höchstwert für Radiocäsium von 600 Bq/kg bzw. 370 Bq/kg bei Milch, Milcherzeugnisse und Kleinkindernahrung überschritten wird. Dieser nach Verordnung (EG) 733/2008 für Importware geltende Höchstwert wird auch auf Inlandprodukte sinngemäß angewendet.

Tabelle 5.3: Überschreitungen des EU-Grenzwertes für Cs-137 bei Wildfleisch und Wildpilzen aus NRW, 2015 und 2016

Probenart	Probenahmedatum	Herkunft	Messwert	Einheit
Wildschwein	29.05.2015	Reg.-Bez. Detmold	977	Bq/kg (FM)
Wildschwein	24.03.2016	Reg.-Bez. Detmold	678	Bq/kg (FM)
Wildschwein	30.05.2016	Reg.-Bez. Detmold	837	Bq/kg (FM)
Wildpilz (Blauer Lacktrichterling)	17.09.2015	Reg.-Bez. Arnsberg	860	Bq/kg (FM)

Strahlenbelastung durch die Nahrung

Das Element Kalium enthält von Natur aus 0,0117 Prozent radioaktives Kalium-40. Kalium ist ein wichtiges Element für den Stoffwechsel im menschlichen Körper und ist in allen pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln vorhanden. Daher wird die Kalium-40-Aktivität bei jeder gammaspektrometrischen Analyse bestimmt. Der Kalium-40-Messwert dient zur Prüfung der Plausibilität einer jeden Gamma-Analyse.

Bei einer Person mit durchschnittlicher Ernährungsgewohnheit führt die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung zu einer effektiven Dosis von circa 0,3 Millisievert pro Jahr (vergleiche Kapitel 2, Abbildung 2.4). Das Kalium-40 liefert dabei einen Beitrag von circa 0,17 Millisievert pro Jahr.

Zum Vergleich die Strahlenbelastung durch das künstliche Nuklid Cäsium-137:

Der Verzehr von einem Kilogramm Wildfleisch mit 977 Becquerel Cäsium-137 (siehe Tabelle 5.3) würde einen zusätzlichen Beitrag von 0,013 Millisievert liefern.

Tabelle 5.4: Spezifische Aktivitäten in Wildfleisch (2015, 2016) sowie Wildpilzen (2015) aus NRW

Probenart	*Radionuklid	Anzahl	**Median	Maximum	Einheit
Haarwildfleisch	Cs 137	95	35	980	Bq/kg(FM)
	K 40		100	160	
Birkenpilz (Leccinum scabrum)	Cs 137	3	2,8	12	Bq/kg(FM)
	K 40		38	120	
Blauer Lacktrichterling (Laccaria amethystina)	Cs 137	2	440	860	Bq/kg(FM)
	K 40		86	96	
Butterpilz (Suillus luteus)	Cs 137	3	22	37	Bq/kg(FM)
	K 40		61	120	
Flaschenstäubling (Lycoperdon perlatum)	Cs 137	1		< 0,32	Bq/kg(FM)
	K 40			54	
Goldröhrling (Suillus grevillei)	Cs 137	5	11	81	Bq/kg(FM)
	K 40		62	250	
Hallimasch (Armillariella mellea)	Cs 137	1		35	Bq/kg(FM)
	K 40			730	
Krause Glucke (Sparassis crispa)	Cs 137	1		4,5	Bq/kg(FM)
	K 40			32	
Maronenröhrling (Xerocomus badius)	Cs 137	21	27	290	Bq/kg(FM)
	K 40		90	940	
Ockertäubling (Russula ochroleuca)	Cs 137	1		< 1,3	Bq/kg(FM)
	K 40			220	
Parasolpilz (Macrolepiota procera)	Cs 137	5	0,49	4,0	Bq/kg(FM)
	K 40		79	2700	
Pfeifferling (Cantharellus cibarius)	Cs 137	7	5,0	49	Bq/kg(FM)
	K 40		170	1900	
Rotfußröhrling (Xerocomus chrysenteron)	Cs 137	1		5,4	Bq/kg(FM)
	K 40			59	
Safranpilz (Macrolepiota rhacodes)	Cs 137	1		< 0,47	Bq/kg(FM)
	K 40			110	
Schopftintling (Coprinus comatus)	Cs 137	1		< 0,38	Bq/kg(FM)
	K 40			84	
Steinpilz (Boletus edulis)	Cs 137	22	19	200	Bq/kg(FM)
	K 40		75	1200	
Trompetenpfeifferling (Cantharellus tubäformis)	Cs 137	1		18	Bq/kg(FM)
	K 40			59	
Waldchampignon (Agaricus silvaticus)	Cs 137	1		61	Bq/kg(FM)
	K 40			1400	
Wild-Blätterpilze	Cs 137	3	10	120	Bq/kg(FM)
	K 40	1		58	
Wildpilzmischungen	Cs 137	9	12	190	Bq/kg(FM)
	K 40			140	

*) K-40 ist als natürliches Radionuklid in allen Lebensmitteln enthalten und wird zur Plausibilitätskontrolle verwendet.

**) Der Median wird nicht angegeben, wenn die Probenanzahl = 1 beträgt.

5.6. Trink- und Grundwasser

Halbjährlich werden solche Wasserwerke beprobt, welche geschütztes Rohwasser (Grundwasser aus Tiefbrunnen) zu Trinkwasser verarbeiten. Alle sonstigen Grundwasserbrunnen werden ebenfalls halbjährlich beprobt. Diejenigen Wasserwerke, welche ungeschütztes Rohwasser (Oberflächenwasser, Uferfiltrat) verarbeiten werden vierteljährlich beprobt. In allen Wasserproben aus den Jahren 2015 und 2016 lagen die ermittelten Werte für Cäsium-137, Iod-131, Strontium-90, Tritium und Alphastrahler unterhalb bzw. im Bereich der Nachweisgrenzen (Tabelle 6.8 und Tabelle 3.1).

5.7. Oberflächengewässer

Die Ermittlung der Radioaktivität in oberirdischen Gewässern erstreckt sich auf die Untersuchungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben. Es werden Wasserproben aus sechs Fließgewässern kontinuierlich und aus sechs Talsperren diskontinuierlich genommen. Schwebstoffe werden aus vier Fließgewässern und zwei Talsperren entnommen. Die Sedimentproben stammen aus vier Talsperren, zwei Bühnenfeldern, drei Hafeneinfahrten und drei Stauhaltungen. Tabelle 6.9 und Abbildung 5.2 zeigen, dass Schwebstoffe und Sedimente in fließenden und stehenden Gewässern zum Teil höhere Mengen an Cäsium-137 aufweisen können. Das Cäsium-137 wurde nach Freisetzung und Ablagerung im Lauf der Jahrzehnte fest in die Kristallgitterstruktur von Tonmineralen eingebaut, so dass es an Sedimentpartikeln gebunden bleibt und nicht im Wasser gelöst vorliegt und außerdem nur geringfügig für den Nährstoffkreislauf verfügbar ist. Des Weiteren sind in Wasser und Schwebstoffen von Fließgewässern Rückstände des Iod-131 aus der Radiojodtherapie nachweisbar.

5.8. Abfall und Abwasser

In NRW werden im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes auch Abwasser und Klärschlamm aus zehn Kläranlagen, Sickerwasser und deponienahes Grundwasser von fünf Hausmülldeponien, Verbrennungsrückstände (Filterasche, Schlacke, feste Rückstände und Waschwasser aus der Rauchgasreinigung) aus vier Müllverbrennungsanlagen sowie Kompost von einer Kompostierungsanlage untersucht (Tabelle 6.10 und Abbildung 5.2). Cäsium-137-Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze finden sich hauptsächlich in den festen Abfallprodukten, während die wässrigen Abfallprodukte kaum Cs-137 enthalten. In der Nuklearmedizin (Radiojodtherapie) kommt das Iod-131 zur Anwendung, dessen Rückstände häufig in Klärschlamm und Abwasser nachweisbar sind.

5.9. Schnell-Messung der Bodenoberfläche

Der Einsatz von mobilen Messsystemen direkt vor Ort (lat.: in situ), erlaubt einen schnellen Überblick über den Gehalt an natürlichen und künstlichen radioaktiven Stoffen in und auf dem Boden. Die In-situ-Gammaspektrometrie ist ein in der Überwachung der Umweltradioaktivität routinemäßig eingesetztes Messverfahren. Es liefert innerhalb kürzester Zeit Ergebnisse, die mittels Mobilfunk direkt vom Gelände aus, zusammen mit den exakten geographischen Positionsangaben an die zuständige Bundesleitstelle übermittelt werden können.



Abbildung 5.6: In-situ-Messung an einer ODL-Sonde.

Abbildung 5.6 zeigt das Messsystem bestehend aus dem tragbaren Gammaskpektrometer inklusive Stickstoffkühlung und Elektronikoffen, aufgebaut auf einem Stativ direkt neben einer ortsfesten (Gamma)-Ortsdosisleistungs-Sonde (ODL-Sonde) des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Im Messbus befindet sich der PC zur Auswertung des Gammaskpektrums. Tabelle 5.5 zeigt beispielhaft das Ergebnis der In-situ-Messung in Goch am 10.08.2016 mit den typischerweise auftretenden Radionukliden. Hierbei wird deutlich, dass die natürlichen Radionuklide in der Summe einen weitaus größeren Anteil zu der Gamma-Ortsdosisleistung beitragen als das künstliche Cs-137 (siehe auch Abbildung 5.7). Die Aktivitäten der natürlichen Nuklide können nach einem Niederschlag erhöht sein, da sie aus der Atmosphäre ausgewaschen werden und mit dem Regen oder Schnee auf die Bodenoberfläche gelangen, wie z.B. das Beryllium-7 welches durch kosmische Strahlung in der Atmosphäre gebildet und von dort ausgewaschen wird.

Die natürliche äußere Strahlenbelastung setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Strahlung zusammen. Die Höhe der äußeren Strahlung wird in der Einheit $\mu\text{Sv/h}$ (Mikrosievert pro Stunde) angegeben und bewegt sich in Deutschland je nach örtlichen Gegebenheiten zwischen $0,05 \mu\text{Sv/h}$ und $0,2 \mu\text{Sv/h}$. Die Strahlung die durch den Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 frei gesetzt wurde, trägt heute nur wenig zur gesamten Strahlenbelastung bei (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz).

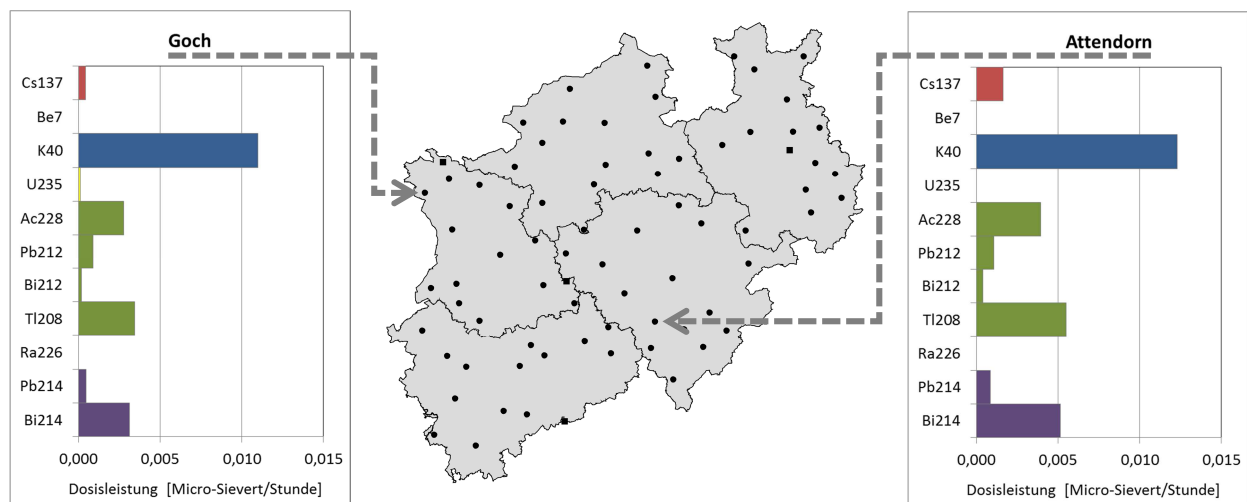


Abbildung 5.7: In-Situ-Gammaspektrometrie in NRW. Die Punkte zeigen die 75 Messstellen verteilt über die fünf Regierungsbezirke. Beispielhaft dargestellt sind Messergebnisse aus dem Jahr 2016 an den Messstellen in Goch (10.08.2016) und Attendorn (02.11.2016). Außer Cäsium-137 sind alle gemessenen Radionuklide natürlichen Ursprungs (siehe auch Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5: Ergebnis der In-situ-Gammaspektrometrie-Messung in Goch am 10.08.2016.

Radionuklid	Flächenaktivität [Bq/m ²]	Dosisleistung [µSv/h]	Herkunft
Cäsium-137 (Cs-137)	265	0,0004	künstlich (Tschernobyl-Fallout)
Beryllium-7 (Be-7)	669	0,0000	natürlich (kosmogen)
Kalium-40 (K-40)	27190	0,0110	natürlich (geogen)
Uran-235 (U-235)	240	0,0001	natürlich (geogen)
Actinium-228 (Ac-228)	1144	0,0028	
Blei-212 (Pb-212)	1127	0,0009	natürlich (geogen, aus der Th-232-Zerfallsreihe)
Bismut-212 (Bi-212)	729	0,0002	
Thallium-208 (Tl-208)	424	0,0034	
Radium-226 (Ra-226)	3955	0,0000	
Blei-214 (Pb-214)	670	0,0005	natürlich (geogen, aus der U-238-Zerfallsreihe)
Bismut-214 (Bi-214)	826	0,0031	

Strahlenbelastung durch den Boden

Die Höhe der natürlichen äußeren Strahlung (terrestrisch + kosmisch) bewegt sich in Deutschland zwischen 0,05 µSv/h und 0,2 µSv/h (Mikrosievert pro Stunde).

Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (<http://odlinfo.bfs.de>) ergeben für das Jahr 2016 die mittlere terrestrische Strahlung von 0,05 µSv/h (Goch) bzw. 0,06 µSv/h (Attendorn).

Zum Vergleich: Die in-situ-Messung ergab für Cs-137 einen Beitrag zur terrestrischen Strahlung von 0,0004 µSv/h (Goch 10.08.16) bzw. 0,0016 µSv/h (Attendorn 02.11.16).

6. Anhang

In den folgenden Tabellen sind die Messergebnisse der Alpha- und Gammaskpektrometriem sowie Betaanalysen der Jahre 2015 und 2016 zusammengefasst. Die Proben sind nach Umweltbereichen und Messprogrammen (Herkunft der Probe) gruppiert. Alle Proben werden gammaskpektrometrisch untersucht, hier berichtet werden die Ergebnisse von Cäsium-137 (Cs-137), Kalium-40 (K-40) und bei Wasser und Abfallproben Iod-131 (I-131). K-40 ist als natürliches Radionuklid in allen Lebens-, Futtermitteln und Umweltproben enthalten. Es wird zur Plausibilitätskontrolle verwendet und daher standardmäßig immer berichtet. Bei einem festgelegten Teil der Proben werden außerdem die Betastrahler Tritium (H-3) und Strontium-90 (Sr-90) sowie die Alphastrahler Americium-241 (Am-241), Uran (U-234/235/238) und Plutonium (Pu-238/239/240) überwacht. Sind in den Proben diese Radionuklide nicht nachweisbar, wird anstatt eines Messwertes die mit dem Messverfahren erreichte Nachweisgrenze angegeben. Die tatsächliche Aktivität liegt demnach auf jeden Fall unterhalb dieser Nachweisgrenze.

Bei den hier dargestellten Zusammenfassungen handelt es sich um Messwerte, die an verschiedenen Probenahmestellen zu unterschiedlichen Zeiten und von verschiedenen Laboratorien gemessen wurden. Die Ergebnisse sind nach Probenarten zusammengefasst und jeweils der Median und das Maximum dargestellt. Da es sich bei den Messwerten häufig um nicht normalverteilte Werte und teilweise nicht um Messwerte, sondern um erreichte Nachweisgrenzen handelt, wird hier der Median (der mittlere Wert in einer Zahlenreihe oder „Zentralwert“) und nicht das arithmetische Mittel verwendet. Der Median wird nicht angegeben, wenn die Probenanzahl = 1 beträgt. Liegen alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze wird das Maximum als „kleiner Nachweisgrenze“ (< ...) angegeben. Berichtet werden die Ergebnisse in der Regel mit einer Genauigkeit von 2 signifikanten Stellen. Zu beachten sind unterschiedliche Einheiten bzw. Bezug auf Trockenmasse (TM), Feuchtmass (FM) oder Volumen.

Tabelle 6.1: Spezifische Aktivitäten bzw. Dosisleistung in/auf Böden und Indikatorpflanzen aus NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Boden unversiegelt (in-situ, nuklidspezifische Dosisleistung)	Cs 137	50	0.00052	0.0016	µSv/h
	K 40		0.0098	0.024	
Weideböden	Cs 137	29	9.5	19	Bq/kg(TM)
	K 40		520	840	
	Sr 90	8	0.50	7.7	
Ackerböden	Cs 137	20	5.4	11	Bq/kg(TM)
	K 40		530	820	
	Sr 90	9	0.40	5.0	
Blätter	Cs 137	19	0.48	22	Bq/kg(TM)
	K 40		290	600	
Nadeln	Cs 137	10	1.3	130	Bq/kg(TM)
	K 40		210	310	
Gras	Cs 137	20	0.51	5.1	Bq/kg(TM)
	K 40		970	1400	

Tabelle 6.2: Spezifische Aktivitäten in Futtermitteln, Erzeugerproben aus NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Weide- und Wiesenbewuchs	Cs 137	46	0.21	1.2	Bq/kg(FM)
	K 40		180	1100	
	Sr 90	21	0.24	6.7	
Mais (ganze Pflanze)	Cs 137	45	0.36	< 1.7	Bq/kg(TM)
	K 40		370	800	
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	50	0.13	0,82	Bq/kg(TM)
	K 40		150	340	
	Sr 90	1		0.10	
Futterkartoffeln und Futterrüben	Cs 137	19	0.32	1.2	Bq/kg(TM)
	K 40		730	1100	
Sonstige Futtermittel	Cs 137	4	0.20	< 1.6	Bq/kg(TM)
	K 40		400	550	
Schrote	Cs 137	1		< 0.24	Bq/kg(TM)
	K 40			810	
Krafftuttermischungen	Cs 137	1		< 0.24	Bq/kg(TM)
	K 40			420	

Tabelle 6.3: Spezifische Aktivitäten in Futtermitteln aus der Handelsstufe 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Futtergetreide	Cs 137	1	0.14	< 0.14	Bq/kg(TM)
	K 40		160	160	
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	18	0.11	< 0.34	Bq/kg(TM)
	K 40		150	920	
Futterkartoffeln und Futterrüben	Cs 137	1	0.29	< 0.29	Bq/kg(TM)
	K 40		810	810	
Heu	Cs 137	1	0.80	< 0.80	Bq/kg(TM)
	K 40		740	740	
Stroh, Cobs, Trockenmehle	Cs 137	2	0.29	< 0.45	Bq/kg(TM)
	K 40		820	860	
Sonstige Futtermittel	Cs 137	9	0.15	< 0.43	Bq/kg(TM)
	K 40		420	860	
Schrote	Cs 137	5	0.23	< 0.42	Bq/kg(TM)
	K 40		470	750	
Krafftuttermischungen	Cs 137	3	0.19	< 0.38	Bq/kg(TM)
	K 40		310	360	

Tabelle 6.4: Spezifische Aktivitäten in importierten Futtermitteln 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Futtergetreide	Cs 137	1		< 0.056	Bq/kg(TM)
	K 40			82	
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	2	0.093	< 0.16	Bq/kg(TM)
	K 40		110	130	
Stroh, Cobs, Trockenmehle	Cs 137	1		< 0.28	Bq/kg(TM)
	K 40			< 910	
Sonstige Futtermittel	Cs 137	7	0.19	< 0.43	Bq/kg(TM)
	K 40		730	820	
Maisprodukte	Cs 137	1		< 0.30	Bq/kg(TM)
	K 40			89	
Schrote	Cs 137	11	0.22	< 0.47	Bq/kg(TM)
	K 40		680	930	

Tabelle 6.5: Spezifische Aktivitäten in Lebensmitteln, Erzeugerproben aus NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Sammelmilch (Kuh-)	Cs 137	138	0.12	< 0.29	Bq/l
	K 40		53	120	
	Sr 90	15	0.018	0.25	
Hofmilch (Kuh-)	Cs 137	57	0.10	0.63	Bq/l
	K 40		57	70	
	Sr 90	7	0.024	0.036	
bearbeitete Trinkmilch (Kuh-)	Cs 137	1		< 0.080	Bq/l
	K 40			66	
Gemüse (frisch/tiefgefroren /getrocknet/haltbargemacht)	Cs 137	1		< 0.097	Bq/kg(FM)
	K 40			170	
Blattgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	209	0.15	< 2.0	Bq/kg(FM)
	K 40		93	400	
	Sr 90	19	0.048	3.4	
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	54	0.14	0.28	Bq/kg(FM)
	K 40		120	250	
	Sr 90	2	0.29	< 1.3	
Fruchtgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	72	0.12	< 0.27	Bq/kg(FM)
	K 40		78	210	
	Sr 90	1		0.036	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	81	0.13	< 0.36	Bq/kg(FM)
	K 40		85	180	
	Sr 90	1		0.043	
Kartoffeln	Cs 137	35	0.11	< 0.25	Bq/kg(FM)
	K 40		130	170	
	Sr 90	9	0.038	0.12	
Wildpilze	Cs 137	84	15	860	Bq/kg(FM)
	K 40		84	2700	
Wildpilzprodukte (frisch/tiefgefroren)	Cs 137	1		66	Bq/kg(FM)
	K 40			80	
Getreide und Getreidekörner	Cs 137	94	0.11	< 0.27	Bq/kg(FM)
	K 40		130	210	
	Sr 90	7	0.12	0.20	
Obst und -produkte (frisch/getrocknet /haltbargemacht)	Cs 137	6	0.15	< 0.21	Bq/kg(FM)
	K 40		130	260	
Kernobst	Cs 137	34	0.14	< 0.30	Bq/kg(FM)
	K 40		38	71	
	Sr 90	8	0.032	0.13	
Steinobst	Cs 137	5	0.084	< 0.15	Bq/kg(FM)
	K 40		88	100	
Beerenobst und Wald-/Wildbeeren, ungeschützter Anbau	Cs 137	17	0.14	< 0.23	Bq/kg(FM)
	K 40		52	170	
	Sr 90	2	0.036	0.046	

sonstiges Fleisch und Fleischprodukte (frisch/tiefgefroren/haltbargemacht)	Cs 137	3	0.076	< 0.17	Bq/kg(FM)
	K 40		120	130	
Rindfleisch	Cs 137	114	0.14	1.4	Bq/kg(FM)
	K 40		110	150	
Kalbfleisch	Cs 137	31	0.15	0.35	Bq/kg(FM)
	K 40		100	140	
Schweinefleisch	Cs 137	179	0.12	0.30	Bq/kg(FM)
	K 40		110	150	
Geflügelfleisch	Cs 137	75	0.14	< 0.47	Bq/kg(FM)
	K 40		110	250	
Lammfleisch	Cs 137	6	0.15	0.19	Bq/kg(FM)
	K 40		110	120	
Haarwildfleisch	Cs 137	95	35	980	Bq/kg(FM)
	K 40		100	160	
Süßwasserfisch	Cs 137	49	0.17	0.43	Bq/kg(FM)
	K 40		130	180	
	Sr 90	6	0.012	< 0.020	
Meeresfrüchte und -produkte (frisch/tiefgefroren/haltbargemacht)	Cs 137	1		< 0.071	Bq/kg(FM)
	K 40			< 46	
Gesamtnahrung	Cs 137	249	0.25	3.0	Bq/(d*p)
	K 40		110	320	
	Sr 90	39	0.047	0.18	
Säuglings- und Kleinkindernahrung	Cs 137	38	0.081	0.21	Bq/kg(FM)
	K 40		43	150	
	Sr 90	7	0.020	0.036	

Tabelle 6.6: Spezifische Aktivitäten in Lebensmitteln aus dem Handel in NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
bearbeitete Trinkmilch (Kuh.)	Cs 137	36	0.13	1.2	Bq/l
	K 40		55	78	
Gemüse (frisch/tiefgefroren /getrocknet/haltbargemacht)	Cs 137	14	0.12	< 0.16	Bq/kg(FM)
	K 40		77	180	
Blattgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	35	0.17	< 0.62	Bq/kg(FM)
	K 40		97	310	
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	21	0.16	< 0.24	Bq/kg(FM)
	K 40		100	180	
Fruchtgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	29	0.13	< 0.21	Bq/kg(FM)
	K 40		65	130	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	21	0.15	< 0.23	Bq/kg(FM)
	K 40		100	140	
Kartoffeln	Cs 137	29	0.14	< 0.29	Bq/kg(FM)
	K 40		140	190	
Wildpilze	Cs 137	5	6.6	51	Bq/kg(FM)
	K 40		160	290	

Getreide und Getreidekörner	Cs 137	18	0.084	0.88	Bq/kg(FM)
	K 40		130	160	
Obst und -produkte (frisch/getrocknet /haltbargemacht)	Cs 137	27	0.13	< 0.20	Bq/kg(FM)
	K 40		54	160	
Kernobst	Cs 137	36	0.12	< 0.20	Bq/kg(FM)
	K 40		34	66	
Steinobst	Cs 137	7	0.078	< 0.17	Bq/kg(FM)
	K 40		78	110	
Beerenobst und Wald-/Wildbeeren, ungeschützter Anbau	Cs 137	6	0.14	< 0.18	Bq/kg(FM)
	K 40		52	67	
sonstiges Fleisch und Fleischprodukte (frisch/tiefgefroren/haltbargemacht)	Cs 137	5	0.19	0.95	Bq/kg(FM)
	K 40		98	120	
Rindfleisch	Cs 137	38	0.17	1.9	Bq/kg(FM)
	K 40		110	140	
Kalbfleisch	Cs 137	9	0.19	0.37	Bq/kg(FM)
	K 40		110	170	
Schweinefleisch	Cs 137	41	0.13	0.29	Bq/kg(FM)
	K 40		130	160	
Geflügelfleisch	Cs 137	29	0.13	0.97	Bq/kg(FM)
	K 40		120	150	
Lammfleisch	Cs 137	1		< 0.063	Bq/kg(FM)
	K 40		110		
Haarwildfleisch	Cs 137	1		< 0.19	Bq/kg(FM)
	K 40		100		
Käse aus Kuhmilch	Cs 137	31	0.16	< 0.21	Bq/kg(FM)
	K 40		23	61	
Milchprodukte außer Käse (Frisch- oder Trockenprodukte)	Cs 137	55	0.11	0.26	Bq/kg(FM)
	K 40		57	5200	
Getreideprodukte außer Brot	Cs 137	2	0.60	1.1	Bq/kg(FM)
	K 40		140	150	
weitere Nahrungsmittel	Cs 137	1		< 0.054	Bq/kg(FM)
	K 40			< 1.1	

Tabelle 6.7: Spezifische Aktivitäten in importierten Lebensmitteln 2015 und 2016.

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Gemüse (frisch / tiefgefroren / Trockenprodukte oder haltbargemacht)	Cs 137	5	0.15	< 0.34	Bq/kg(FM)
	K 40		130	180	
Blattgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	6	0.16	< 0.20	Bq/kg(FM)
	K 40		80	120	
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	6	0.13	< 0.16	Bq/kg(FM)
	K 40		91	160	
Fruchtgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	24	0.12	< 0.18	Bq/kg(FM)
	K 40		69	160	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	6	0.17	< 0.22	Bq/kg(FM)
	K 40		110	220	
Kartoffeln	Cs 137	4	0.13	< 0.17	Bq/kg(FM)
	K 40		130	160	
Getreide und Getreidekörner	Cs 137	4	0.13	< 0.26	Bq/kg(FM)
	K 40		27	340	
Obst und -produkte (frisch / Trockenprodukte oder haltbargemacht)	Cs 137	14	0.12	< 0.19	Bq/kg(FM)
	K 40		55	120	
Kernobst	Cs 137	7	0.15	< 0.24	Bq/kg(FM)
	K 40		36	50	
Beerenobst und Wald-/Wildbeeren, ungeschützter Anbau	Cs 137	4	0.15	35	Bq/kg(FM)
	K 40		53	79	
Rindfleisch	Cs 137	13	0.12	< 0.36	Bq/kg(FM)
	K 40		120	150	
Kalbfleisch	Cs 137	11	0.22	0.36	Bq/kg(FM)
	K 40		120	140	
Schweinefleisch	Cs 137	13	0.15	< 0.22	Bq/kg(FM)
	K 40		120	190	
Geflügelfleisch	Cs 137	13	0.13	< 0.17	Bq/kg(FM)
	K 40		100	130	
Lammfleisch	Cs 137	1		< 0.17	Bq/kg(FM)
	K 40			120	
Süßwasserfisch	Cs 137	26	0.15	1.1	Bq/kg(FM)
	K 40		86	130	
Seefisch	Cs 137	17	0.19	0.56	Bq/kg(FM)
	K 40		120	150	
Meeresfrüchte und -produkte (frisch / tiefgefroren oder haltbargemacht)	Cs 137	8	0.10	< 0.26	Bq/kg(FM)
	K 40		26	96	
Käse aus Kuhmilch	Cs 137	27	0.17	< 0.28	Bq/kg(FM)
	K 40		24	44	
Käse aus Milch anderer Tiere	Cs 137	2	0.17	< 0.20	Bq/kg(FM)
	K 40		31	32	
Milchprodukte außer Käse (Frisch- oder Trockenprodukte)	Cs 137	6	0.15	0.37	Bq/kg(FM)
	K 40		52	110	

Tabelle 6.8: Aktivitätskonzentrationen in Trink- und Grundwasser aus Wasserwerken und Brunnen, NRW 2015 und 2016.

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Reinwasser aus geschützten Rohwasservorkommen	Cs 137	11	0.0059	< 0.0090	Bq/l
	I 131		0.038	< 0.41	
	K 40		0.12	< 1.4	
	Am 241	2	0.0018	< 0.0024	
	Pu 238		0.0021	< 0.0024	
	Pu 239/240		0.0021	< 0.0024	
	U 234		0.016	0.016	
	U 235		0.00094	< 0.0010	
	U 238		0.014	0.014	
Reinwasser aus ungeschützten Rohwasservorkommen	Cs 137	40	0.00072	< 0.010	Bq/l
	I 131		0.039	< 3.4	
	K 40		0.11	< 0.25	
	Sr 90	8	0.0032	0.0062	
	H 3	8	4.9	< 10	
	Am 241	6	0.0012	< 0.0012	
	Pu 238		0.00038	< 0.0034	
	Pu 239/240		0.00038	< 0.0034	
	U 234		0.0084	0.016	
	U 235		0.00064	< 0.0015	
	U 238		0.0072	0.014	
Reinwasser aus Mischrohwasser	Cs 137	8	0.014	< 0.051	Bq/l
	I 131		0.14	< 0.54	
	K 40		0.24	< 0.94	
Rohwasser, geschützt, aus Grund- und Tiefenwasser	Cs 137	18	0.028	< 0.057	Bq/l
	I 131		0.051	< 3.0	
	K 40		0.53	5.9	
	Sr 90	4	0.013	< 0.020	
	H 3	4	4.4	< 6.3	
	Am 241	9	0.0011	< 0.0011	
	Pu 238		0.00062	< 0.0022	
	Pu 239/240		0.00062	< 0.0022	
	U 234		0.0041	0.017	
	U 235		0.00099	< 0.0017	
	U 238		0.0012	0.014	

Rohwasser, ungeschützt, aus Oberflächenwasser	Cs 137	11	0.0060	< 0.010	Bq/l
	I 131		0.014	< 0.050	
	K 40		0.14	0.57	
	Sr 90	4	0.0022	0.0048	
	H 3	4	5.0	< 10	
	Am 241	4	0.0014	< 0.0017	
	Pu 238		0.00073	< 0.0017	
	Pu 239/240		0.00073	< 0.0017	
	U 234		0.011	0.015	
	U 235		0.00097	< 0.0014	
	U 238	0.0087	0.013		
Grundwasser (nicht zur Trinkwassergewinnung)	Cs 137	8	0.0017	< 0.0022	Bq/l
	I 131		0.027	< 0.065	
	K 40		0.12	0.14	
	Sr 90	4	0.010	< 0.010	
	H 3	4	10	< 10	

Tabelle 6.9: Aktivitätskonzentrationen und spezifische Aktivitäten verschiedener Radionuklide in Oberflächenwasser, Schwebstoffen und Sedimenten aus Flüssen und Seen, NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Wasser in Fließgewässern	Cs 137	42	0.00047	< 0.010	Bq/l
	I 131		0.047	< 0.34	
	K 40		0.17	0.48	
	Sr 90	8	0.00060	0.0013	
	H 3	40	10	< 10	
Schwebstoff in Fließgewässern	Cs 137	32	6.7	14	Bq/kg(TM)
	I 131		5.6	< 430	
	K 40		510	770	
Sediment in Fließgewässern	Cs 137	48	6.6	190	Bq/kg(TM)
	I 131		2.5	< 22	
	K 40		530	850	
Wasser in stehenden Gewässern	Cs 137	55	0.0076	< 0.065	Bq/l
	I 131		0.025	< 32	
	K 40		0.18	< 0.92	
	Sr 90	8	0.0064	< 0.028	
	H 3	55	4.6	< 10	
Schwebstoffe in stehenden Gewässern	Cs 137	16	5.9	19	Bq/kg(TM)
	I 131		4.2	< 460	
	K 40		640	880	
Sedimente in stehenden Gewässern	Cs 137	45	14	98	Bq/kg(TM)
	I 131		0.64	< 6.9	
	K 40		500	1000	

Tabelle 6.10: Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifische Aktivitäten verschiedener Radionuklide in Abfällen und Abwässern, NRW 2015 und 2016

Probenart	Radionuklid	Anzahl	Median	Maximum	Einheit
Abwasser aus Kläranlagenablauf	Cs 137	80	0.060	< 0.67	Bq/l
	I 131		0.15	< 2,5	
	K 40		1.3	4.3	
	Sr 90	7	0.011	0.11	
	Pu 238	8	0.0040	< 0.0052	
	Pu 239/240		0.0038	< 0.0052	
	U 234		0.0077	0.015	
	U 235		0.0032	< 0.0041	
	U 238		0.0054	0.013	
Klärschlamm	Cs 137	78	2.2	6.8	Bq/kg(TM)
	I 131		38	220	
	K 40		140	860	
	Sr 90	6	1.5	3.4	
	Pu 236	8	1.4	< 1.4	
	Pu 238		1.2	< 1.6	
	Pu 239/240		0.81	< 1.6	
	U 234		42	53	
	U 235		1.7	2.4	
	U 238	34	40		
Filterstaub, Filterasche	Cs 137	12	20	56	Bq/kg(TM)
	I 131		0.48	< 0.60	
	K 40		1700	2600	
Kesselasche, Schlacke	Cs 137	12	0.58	1.7	Bq/kg(TM)
	I 131		0.35	< 0.91	
	K 40		240	470	
Feste Rückstände aus Rauchgaswäsche	Cs 137	12	0.20	1.9	Bq/kg(TM)
	I 131		2.0	29	
	K 40		11	160	
Flüssige Rückstände aus Rauchgaswäsche	Cs 137	8	0.13	< 0.24	Bq/l
	I 131		2.2	26	
	K 40		22	150	
Sicker- und Grundwasser	Cs 137	12	0.073	0.17	Bq/l
	I 131		0.078	< 0.14	
	K 40		16	60	
	H 3	12	34	59	
Kompost	Cs 137	16	5.2	9.0	Bq/kg(TM)
	I 131		3.3	< 57	
	K 40		540	730	

