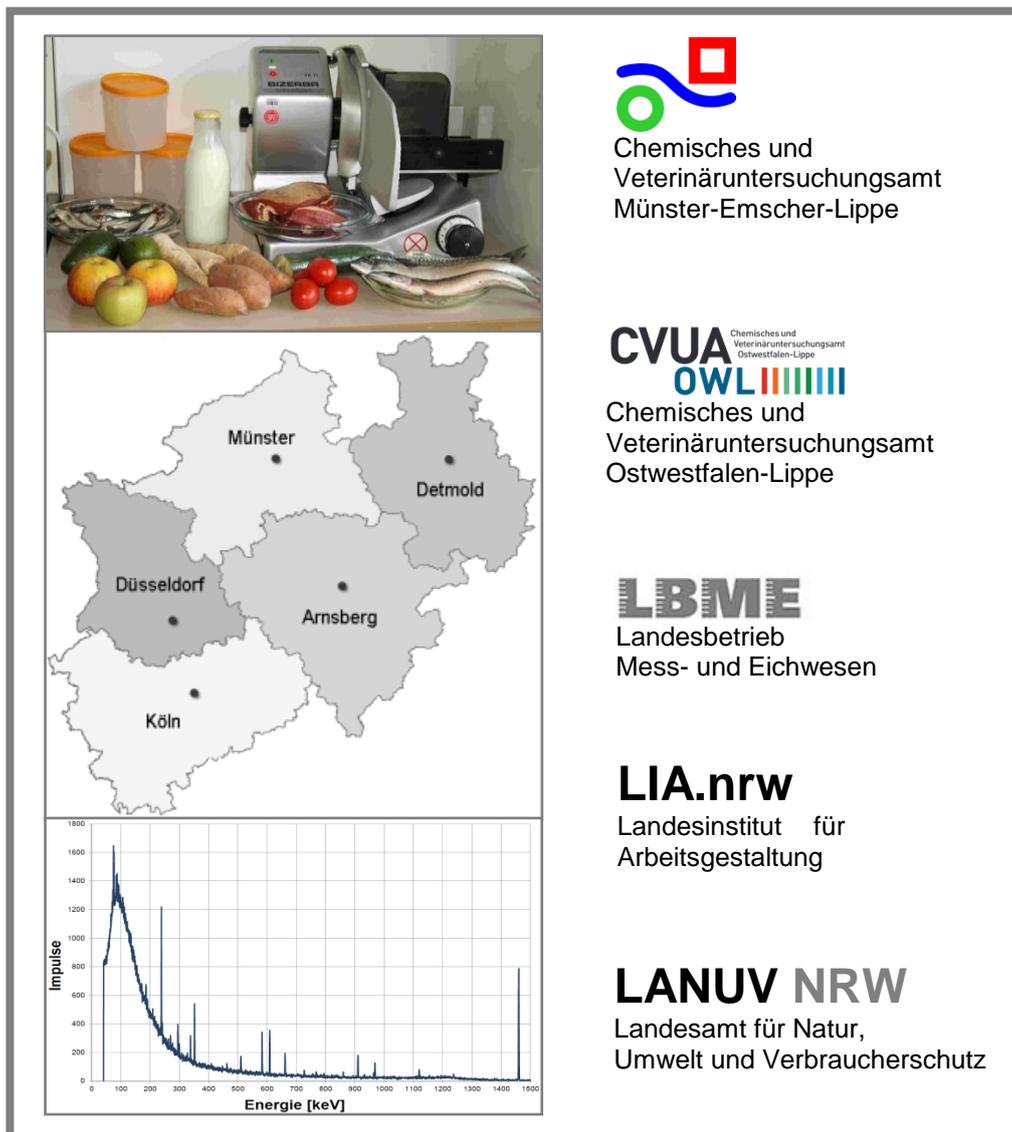


# Strahlenschutzvorsorge in Nordrhein-Westfalen

Gemeinsamer Jahresbericht 2014  
der fünf amtlichen Messstellen für Umweltradioaktivität



Zuständiges Ministerium:

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



## 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.	Weideboden und Ackerboden .....	17
5.2.	Futtermittel und Pflanzen als Indikatoren .....	19
5.3.	Lebensmittel .....	21
5.4.	Wildpilze und Wildfleisch.....	26
5.5.	Trink- und Grundwasser .....	27
5.6.	Oberirdische Gewässer .....	27
5.7.	Abfall und Abwasser .....	27
5.8.	In-situ-Messungen .....	31
6.	Glossar .....	33

# 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).

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

## Radioaktivität

1. Eigenschaft von Radionukliden, sich unter Aussendung von  $\rightarrow$ ionisierender Strahlung ( $\rightarrow$ 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). Früher übliche Einheit war das Curie (Ci).

1 Bq = 1 Zerfall / s

1 Ci = 37 Milliarden Bq

## Radionuklide

Radioaktive Atomkerne

" $\rightarrow$ " bedeutet "siehe Glossar"

## Radioaktivität, spezifische

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

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 auf Veranlassung der Messstellen sind die Ordnungsbehörden der Kreise und kreisfreien Städte zuständig. Die Umweltproben werden von den Messstellen selbst entnommen.

Die von den Messeinrichtungen 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. Unter bestimmten Bedingungen können Atomkerne instabil (sog. Radionuklide) sein und in andere ebenfalls noch instabile oder stabile Kerne zerfallen. Dabei senden sie energiereiche Strahlung aus.

Die wichtigsten Strahlungsarten, die von Radionukliden ausgehen können, sind

- Alphastrahlung
- Betastrahlung
- Gammastrahlung

Alle genannten Strahlungsarten übertragen auf bestrahlte Materie Energie und bewirken damit darin z.B. eine Abspaltung (man spricht daher auch von „ionisierender Strahlung“, denn es entstehen dabei elektrisch geladene Ionen) oder Umlagerung von Elektronen, was in der Folge auch zu chemischen Veränderungen führt. Im biologischen Gewebe bewirken diese Veränderungen Schädigungen von Zellen oder Zellbestandteilen insbesondere der Erbgut tragenden DNS (Desoxyribonukleinsäure).

Das Durchdringungsvermögen dieser Strahlungsarten in Materie ist sehr unterschiedlich, was bei der Probenaufarbeitung und bei der Wahl der Messtechnik (die Strahlung muss die Messproben ungehindert verlassen und den Detektor erreichen können) berücksichtigt werden muss (Abbildung 2.1). Entscheidend für die biologische Wirkung ist die vom Körper durch äußere Strahlung oder durch Strahlung inkorporierter radioaktiver Stoffe erhaltene **effektive Dosis**.

#### Alphastrahlung

Strahlung radioaktiver Stoffe, die aus  $\rightarrow$ Alphateilchen besteht. Die Energie der Alphateilchen ist spezifisch für den Atomkern von dem sie stammen und kann zur Identifizierung des Radionuklids verwendet werden. Beispiele sind Uran und Thorium.

#### Alphateilchen

Bei bestimmten radioaktiven Zerfällen ausgesandtes, positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus zwei  $\rightarrow$ Neutronen und zwei  $\rightarrow$ Protonen.

#### Betastrahlung

Strahlung von radioaktiven Stoffen, die aus  $\rightarrow$ Betateilchen besteht. Die Energie ist kontinuierlich bis zu einer Maximalenergie verteilt und ermöglicht nur eingeschränkt die Identifizierung des Radionuklids. Beispiele für reine Betastrahler sind Strontium-90 und Tritium.

#### Betateilchen

$\rightarrow$ Elektron (negative Ladung) oder dessen Antiteilchen  $\rightarrow$ Positron (positive Ladung), das von einem Atomkern beim Betazerfall ausgesandt wird.

#### Gammastrahlung

Strahlung von radioaktiven Stoffen, die aus  $\rightarrow$ Gammaquanten besteht. Sie wird von allen angeregten Atomkernen ausgesandt, die nach Umwandlung eines  $\rightarrow$ Radionuklids entstanden. Ihre Energie ist spezifisch für den Atomkern von dem sie stammen und kann zur Identifizierung des Radionuklids verwendet werden.

#### Gammaquant

Energiequant kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung (ähnlich Röntgenstrahlen), welches vom  $\rightarrow$ Atomkern beim Übergang von einem höher angeregten in einen niedriger angeregten Energiezustand ausgesandt wird.

### Dosis, effektive

Summe der gewichteten →Organdosen in den Geweben oder Organen des Körpers. Wichtungsfaktoren sind die Strahlenempfindlichkeit sowie die Speicherfähigkeit des Organs für den radioaktiven Stoff.

### 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.

### 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.

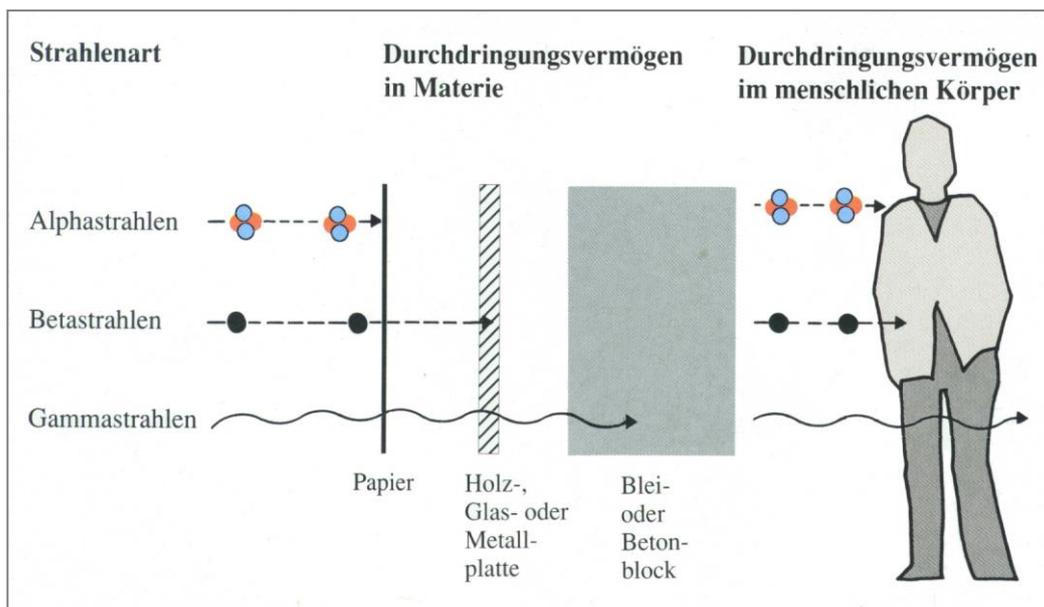


Abbildung 2.1: Abschirmung und Durchdringungsvermögen von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung

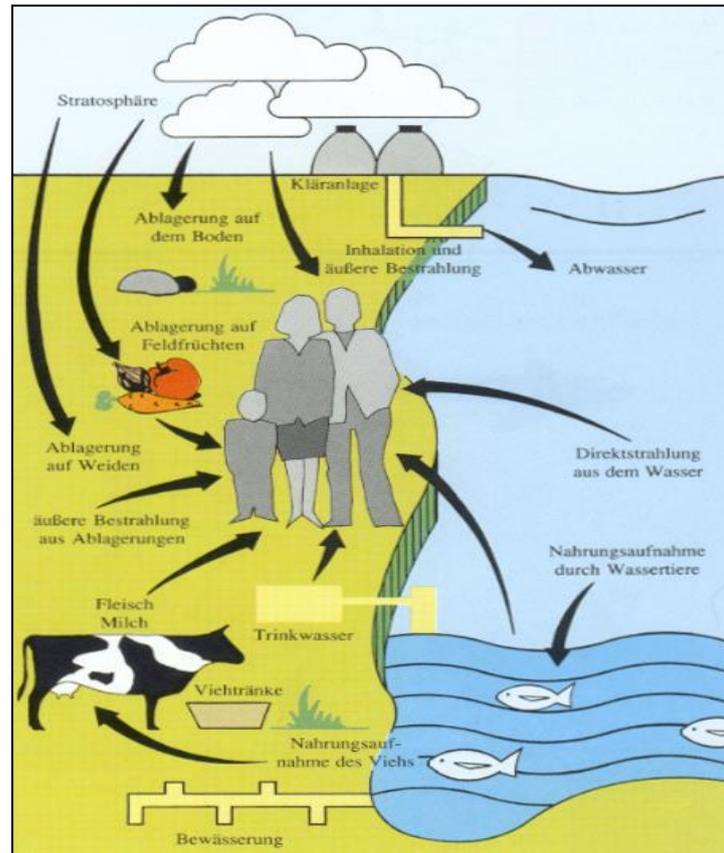
## 2.2. Expositionspfade

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 Strahlungsart verursacht. Bei der Überwachung der Umgebungsstrahlung wird daher in der Regel nur die Gammadosis ermittelt. Sie wird mit geeigneten Messgeräten als Äquivalentdosis bestimmt.

Die innere Strahlenexposition wird durch die Strahlung inkorporierter Radionuklide verursacht. Da diese nicht direkt gemessen werden kann, wird sie mit Hilfe von Rechenmodellen ermittelt, ausgehend von gemessenen Aktivitäten in Luft, Boden, Nahrungsmitteln usw. Hierzu müssen alle Ausbreitungswege, An- und Abreicherungen in der Umwelt, durchschnittliche Verzehrsmengen und nuklidspezifische Eigenschaften (**Dosisfaktoren**) berücksichtigt werden, die zur Strahlenexposition des Menschen beitragen. Abbildung 2.2 zeigt die vielfältigen Expositionspfade (z.B. Luft - Niederschlag - Futterpflanze - Kuh - Milch - Mensch), die bei den Dosisberechnungen berücksichtigt werden müssen. 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.



**Abbildung 2.2: Wege radioaktiver Stoffe aus Luft und Niederschlag zum Menschen**

#### **Dosisfaktor**

Wirksamkeitsfaktor eines radioaktiven Stoffes 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)

#### **Halbwertszeit, effektive**

Zeit ( $T_{\text{eff}}$ ), in der in einem Organismus die Menge eines Stoffes im Zusammenwirken von → physikalischer ( $T_{\text{phys}}$ ) und →biologischer ( $T_{\text{biol}}$ ) Halbwertszeit auf die Hälfte abnimmt:

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

#### **Halbwertszeit, physikalische**

Zeit, in der die Hälfte der Radionuklide zerfällt

#### **Halbwertszeit, biologische**

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

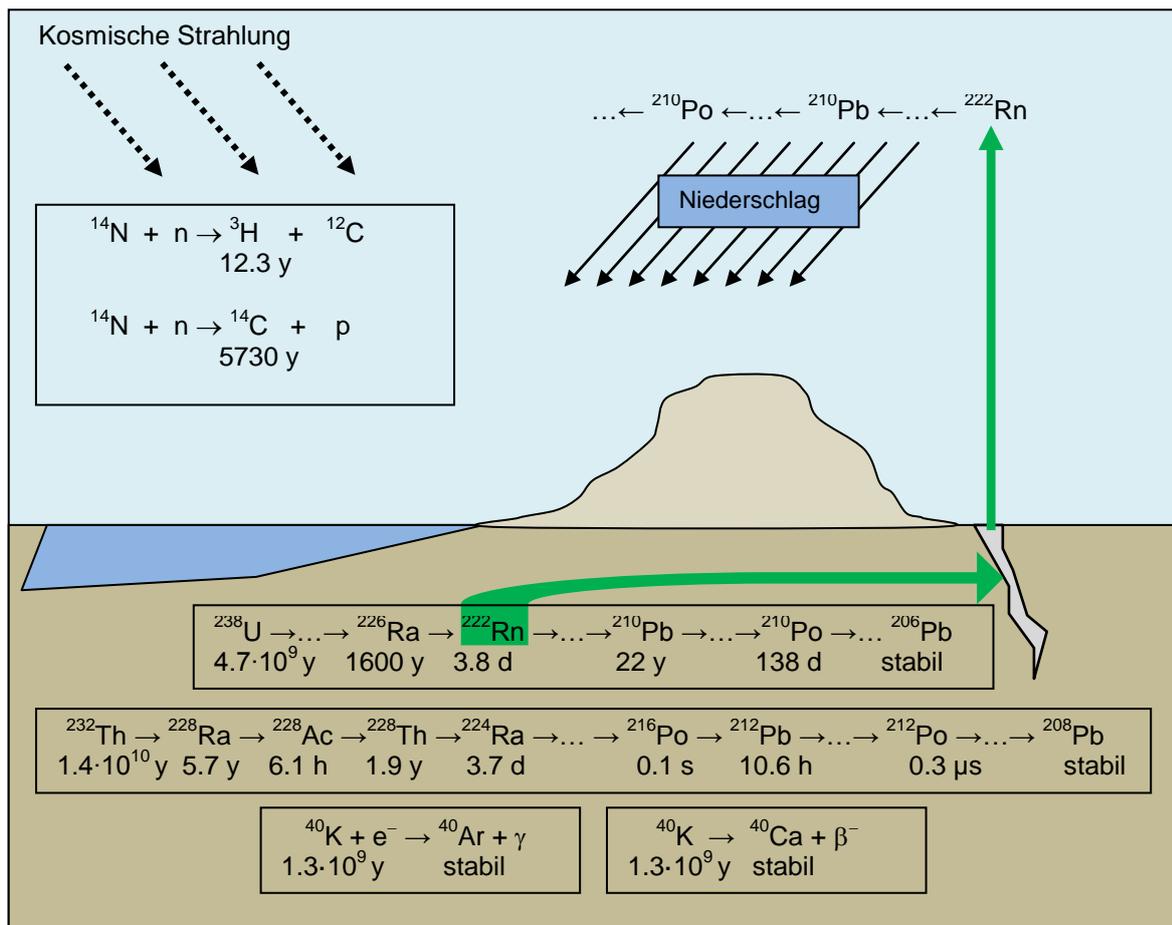
### 2.3. Natürliche Radioaktivität

Einige Radionuklide z.B. Uran-238 ( $^{238}\text{U}$ ), Thorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ ) und Kalium-40 ( $^{40}\text{K}$ ) sind aufgrund ihrer langen physikalischen Halbwertszeit (bei  $^{238}\text{U}$  beträgt diese 4,7 Milliarden, bei  $^{232}\text{Th}$  14 Milliarden und bei  $^{40}\text{K}$  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 ( $^{222}\text{Rn}$ ) und dessen Zerfallsprodukte, Radionuklide von Blei (Pb) und Polonium (Po), hervorgerufen. Es bildet sich in der Zerfallsreihe von Uran-238 über Radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 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 (p)) gebildet. Hier entstehen durch Kernreaktionen sekundärer Neutronen (n) (entstanden aus primären Protonenreaktionen) mit Stickstoff-Atomkernen ( $^{14}\text{N}$ ) der Luft die Radionuklide Kohlenstoff-14 ( $^{14}\text{C}$ ) und Tritium ( $^3\text{H}$ ).



**Abbildung 2.3:** Natürliche radioaktive Stoffe in Atmosphäre und Boden und deren physikalische Halbwertszeiten (y = Jahre, d = Tage, h = Stunden, 10<sup>9</sup> = 1 Milliarde, 10<sup>10</sup> = 10 Milliarden)

## 2.4. Künstliche Radioaktivität

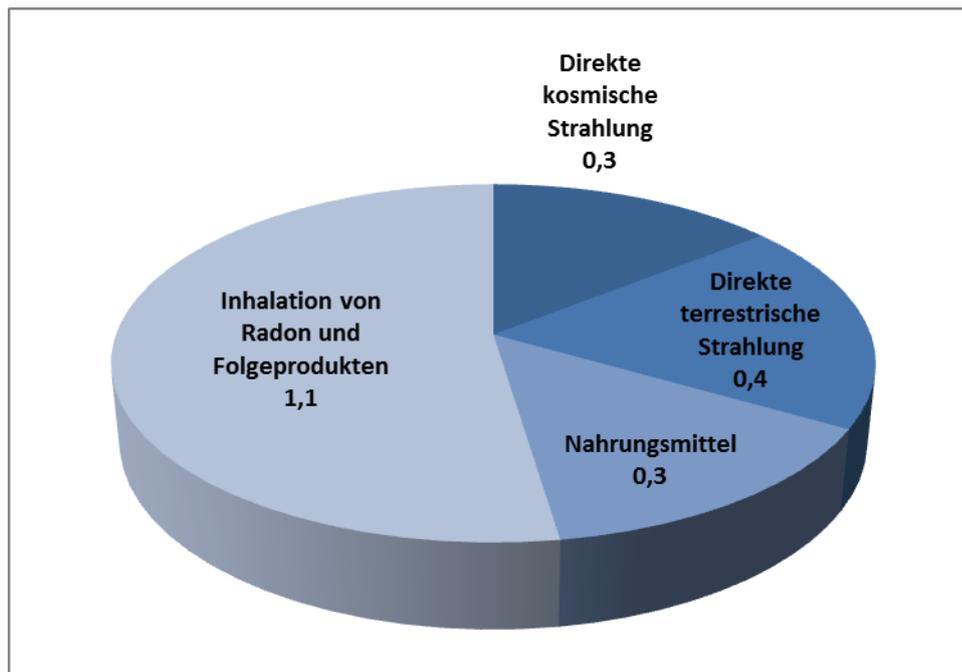
Künstliche Radionuklide werden z.B. in kerntechnischen Anlagen oder Beschleunigern erzeugt. Sie finden Verwendung in Medizin, Technik und Forschung.

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 Strahlenexposition in mSv im Jahr 2013, 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.

Art der zivilisatorischen Strahlenexposition	mittlere effektive Jahresdosis [mSv/a]
Röntgendiagnostik	ca. 1,8
Nuklearmedizin	0,1
Forschung, Technik, Haushalt	< 0,01
Kerntechnische Anlagen	< 0,01
Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01
Reaktorunfall Tschernobyl	< 0,011
<b>Summe:</b>	<b>ca. 1,9</b>

Quelle: "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2013", Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

## 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 **gammaspectrometrisch** (Abbildung 2.5) 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 2.6) aussendet.
- die Aufarbeitung den geringsten Aufwand in Anspruch nimmt und das Analysenergebnis nach kurzer Zeit vorliegt.

### Gammastrahlung

Energieverteilung der  $\rightarrow$ Gammaquanten eines  $\rightarrow$ Radionuklids oder einer Mischung von Radionukliden, welche zu deren Identifizierung und Quantifizierung gemessen wird

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.

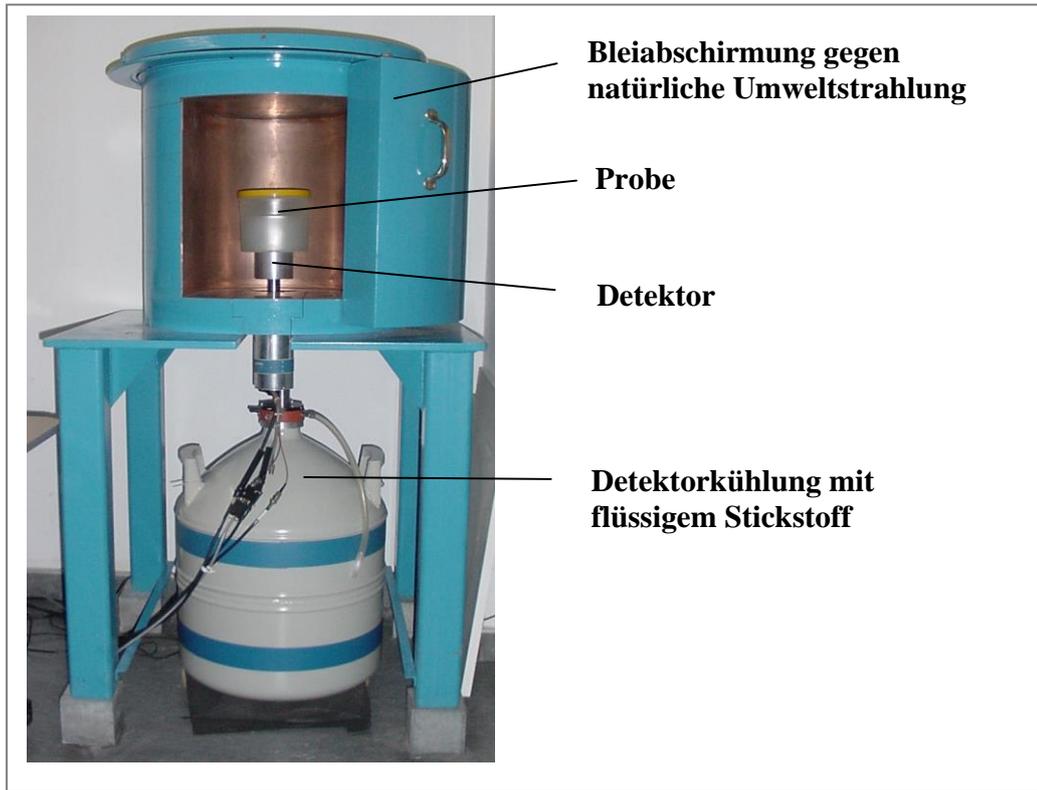


Abbildung 2.5: Messplatz für Gammaskpektrometrie

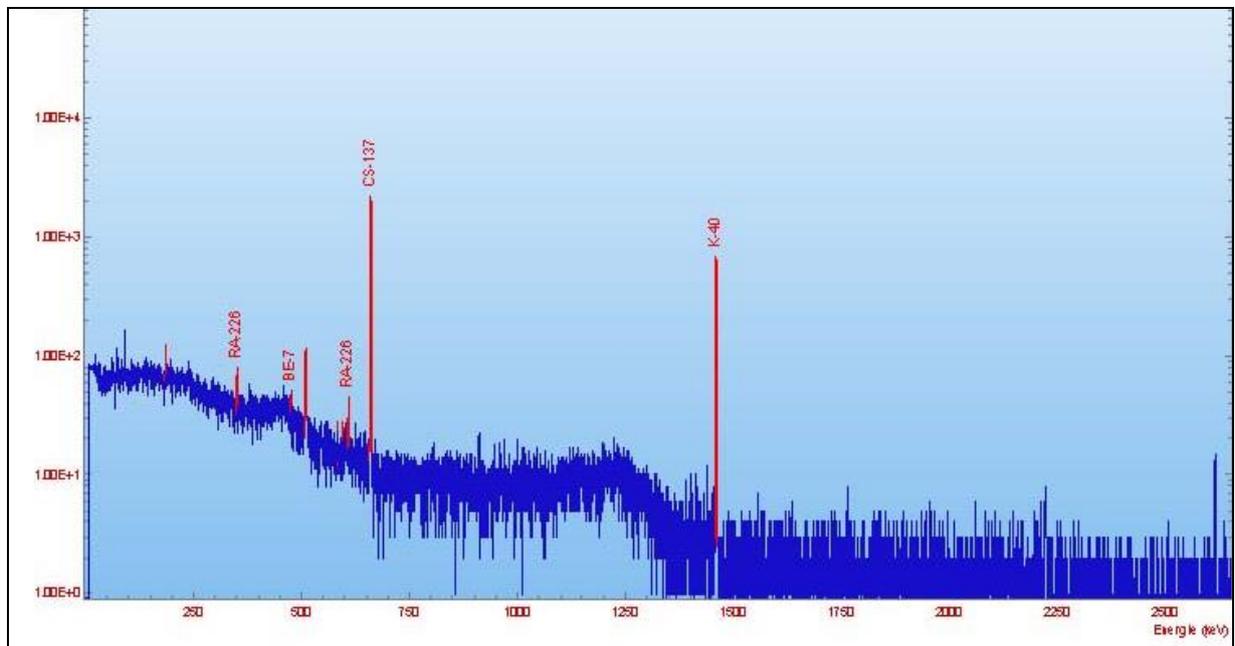


Abbildung 2.6: Gammaskpektrum mit Energielinien verschiedener natürlicher Radionuklide sowie des künstlichen Cs-137.

### 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:

- Gammaskpektrometrie
- Alphaspektrometrie
- Strontiumanalysen
- Tritiumanalysen
- In-situ-Messungen

Je nach Probenart und Untersuchungsziel sind maximal zulässige Nachweisgrenzen (bei der Gammaskpektrometrie 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 <sup>2</sup>
	Gamma- spektrometrie <sup>1)</sup>	Strontium- analysen	Alpha- spektrometrie	Tritiumanalysen	In-situ- Messungen <sup>1)</sup>
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 <sup>3)</sup>	0,5				
Futtermittel <sup>4)</sup>	0,5	0,05 <sup>2)</sup>			
Boden <sup>3)</sup>	0,5	0,5			200
Wasser	0,05	0,01	0,01	10	
Schwebstoffe <sup>3)</sup>	5				
Sedimente <sup>3)</sup>	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 <sup>3)</sup>	5	5	5		
Hausmülldeponie	0,1			10	
Verbrennungsanlagen	5				
Kompostierungsanlagen <sup>3)</sup>	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>).

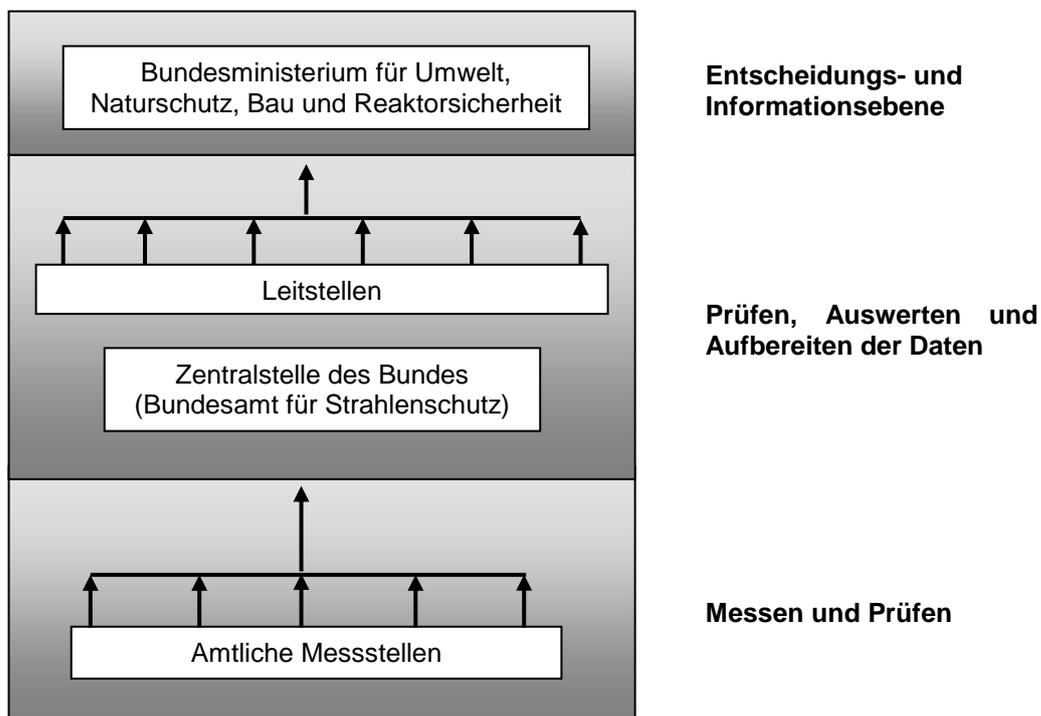


Abbildung 4.1: Datenfluss und Organisation im Integrierten Mess- und Informationssystem

## 5. Ergebnisse aus Routine- und Sondermessprogramm

### Zusammenfassung

Die Überwachung der Umweltradioaktivität in Nordrhein-Westfalen wird durch die fünf amtlichen Messstellen des Landes auf der Grundlage der Messprogramme nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) sowie nach einem landeseigenen Messprogramm durchgeführt. Im Jahr 2014 wurden insgesamt 1853 Einzelanalysen (Alpha-, Beta- und Gamma-nuklide) an 1647 verschiedenen Proben vorgenommen (Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2). 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 Wildfleisch- und Pilzproben dagegen, sowie in Umweltproben aus nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen (z.B. Blätter, Nadeln, Gras, Sedimente, Abfälle) werden etwas höhere Gehalte radioaktiver Stoffe nachgewiesen, die nicht natürlichem Ursprung sind. Hierbei handelt es sich um Spuren von Cäsium-137 z.B. in Wildschwein (Rückstände vom Tschernobyl-Fallout), Strontium-90 z.B. in Sediment (Rückstände der Kernwaffentests der 50iger und 60iger Jahre), sowie Jod-131 z.B. in Klärschlamm (Rückstände aus der Nuklearmedizin).

**Tabelle 5.1: Zusammenfassung der Art und Anzahl an Routine-Proben aus dem Jahr 2014**

Art der Proben	Ergebnisse in den Datentabellen	Anzahl der Proben
Lebensmittel	5.8 bis 5.11	
<i>Milch und Milchprodukte</i>		168
<i>Obst und Gemüse (auch Wildpilze)</i>		466
<i>Fleisch und Fleischprodukte (auch Wildfleisch)</i>		343
<i>Gesamtnahrung</i>		152
<i>Fisch</i>		49
Futtermittel	5.4 bis 5.6	111
Böden und Pflanzen	5.3 und 5.7	50
Trink- und Grundwasser	5.12	75
Gewässer	5.13	117
Abfälle	5.14	116
<b>Gesamt</b>		<b>1647</b>

**Tabelle 5.2: Zusammenfassung der Art und Anzahl an Routine-Analysen aus dem Jahr 2014**

Art der Messung	Anzahl der Messungen
Alpha-Messungen (Am-241, U- und Pu-Isotope)	28
Beta-Messungen (H-3)	63
Beta-Messungen (Sr-90)	115
Gamma-Messungen (Cs-137, K-40, I-131)	1647
In-situ-Gamma-Messungen	25
Summe aller Labor-Analysen (ohne In-situ)	1853

## 5.1. Weideböden und Ackerböden

Böden enthalten in erster Linie die natürlich vorkommenden Radionuklide aus den Zerfallsreihen des Urans und Thoriums sowie das Kalium-40 (K 40) (siehe auch Abbildung 2.3 und Kapitel 5.7). 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. Entsprechend den zum Zeitpunkt des Reaktorunfalls (1986) herrschenden meteorologischen Bedingungen (Durchzug der radioaktiven Wolke, Dauer und Intensität des zeitgleichen Niederschlages) wurden die einzelnen Regionen in Nordrhein-Westfalen, unterschiedlich kontaminiert. Die Wanderung der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-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.

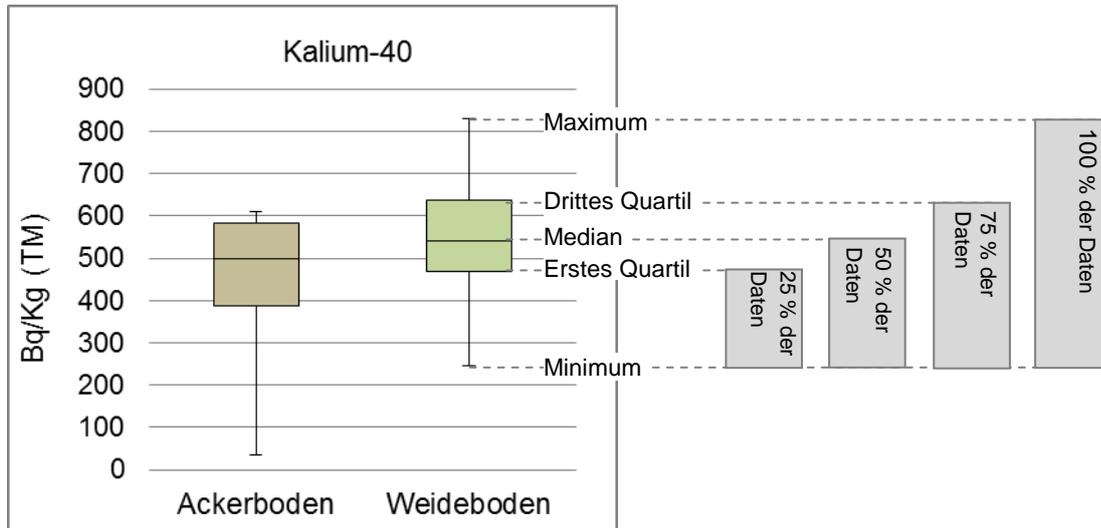
Je nach Bodenart bzw. -nutzung sind Unterschiede bezüglich des Gehalts künstlicher radioaktiver Stoffe festzustellen (Tabelle 5.3, Abbildungen 5.2 und 5.3). In Ackerböden, die mehrfach durchpflügt wurden, kann man von einer gleichmäßigen Verteilung der künstlichen Radionuklide bis zur Pflugtiefe (15-40 cm) ausgehen, was zum Beispiel an den Cs-137-Messwerten deutlich wird, die in Ackerböden eine geringere Streuung aufweisen als in den Weideböden. Bei unbearbeiteten Böden (z.B. Weideböden) verhindert die Fixierung an Tonmineralien die Wanderung der Radionuklide in tiefere Schichten, weswegen bei den Probenahmen eine Einstichtiefe von 10 cm ausreicht.

**Tabelle 5.3: Spezifische Aktivitäten in Böden aus NRW 2014**

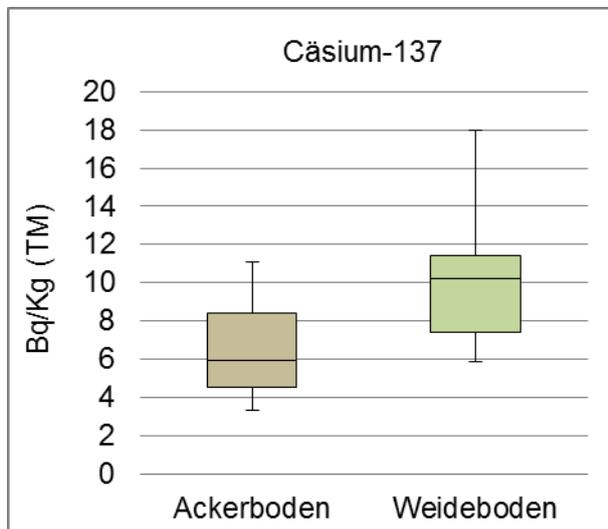
Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Weideböden	Cs 137	15	0	5,9	18	10,1	Bq/kg(TM)
	K 40	15	0	247	830	525	
	Sr 90	5	3	0,45	0,5	0,5	
Ackerböden	Cs 137	10	0	3,4	11	6,6	Bq/kg(TM)
	K 40	10	0	35	610	438	
	Sr 90	5	2	0,33	8,0	3,0	

*Anmerkung:* NWG = Erzielte Nachweisgrenze  
TM = Trockenmasse

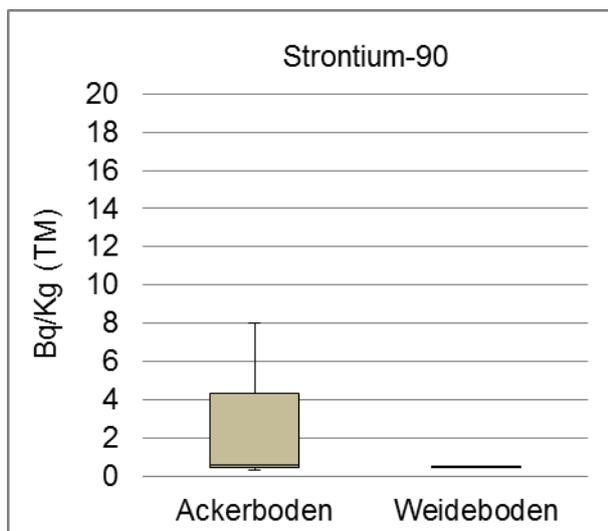
Die Abbildung 5.3 bis 5.3 stellen die Daten graphisch in Form von Boxplots (Box-Whisker-Plots) dar. Ein Boxplot vermittelt schnell einen Eindruck darüber, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen, so dass die einzelnen Datensätze leichter miteinander verglichen werden können. Abbildung 5.3 gibt eine kleine Erläuterung, wie die Diagramme zu lesen sind. Aus jedem Diagramm kann der Median, die zwei Quartile und beide Extremwerte abgelesen werden.



**Abbildung 5.3: Spezifische K-40 Aktivität in Ackerböden (10 Proben) und Weideböden (15 Proben).**



**Abbildung 5.1: Spezifische Cs-137 Aktivität in Ackerböden (10 Proben) und Weideböden (15 Proben).**



**Abbildung 5.2: Spezifische Sr-90 Aktivität in Ackerböden (3 Proben) und Weideböden (2 Proben).**

## 5.2. Futtermittel und Pflanzen als Indikatoren

Futtermittel sind die Zwischenstation für den Transfer von Radionukliden vom Boden in tierische Nahrungsmittel und damit in den Menschen. 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 weisen Futtermittel, die auf unbearbeiteten Böden wachsen (Grünfütter), höhere Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 auf als diejenigen Futtermittel, die auf bearbeiteten Böden wachsen (Mais, Getreide, Kartoffeln, Rüben) (Tabelle 5.4; man beachte die unterschiedlichen Einheiten Bq/kg(FM) bzw. Bq/kg(TM)). Futtermittel werden flächenrepräsentativ überwacht. Neben einheimisch erzeugten werden auch importierte Futtermittel (Tabelle 5.5) und in einem landeseigenen Messprogramm Futtermittel aus der Handelsstufe überwacht (Tabelle 5.6).

Darüber hinaus werden weitere Pflanzenproben aus Bereichen ohne landwirtschaftliche Nutzung überwacht (Tabelle 5.7). Hierbei handelt es sich um Teile von Pflanzen, die überall zur Verfügung stehen und als Indikatoren geeignet sind (Gras, Blätter, Nadeln).

**Tabelle 5.4: Spezifische Aktivitäten in Futtermitteln aus NRW 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Weide- u. Wiesenbewuchs	Cs 137	25	21	0,06	0,5	0,3	Bq/kg(FM)
	K 40	25	0	105	593	227	
	Sr 90	11	2	0,064	1,53	0,36	
Mais (ganze Pflanze)	Cs 137	24	24	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	24	0	132	506	308	
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	21	21	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	21	0	119	390	167	
Futterkartoffeln und Futterrüben	Cs 137	12	12	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	12	0	176	1310	741	
Sonstige Futtermittel	Cs 137	4	4	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	4	0	102	245	202	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					
	<i>FM</i>	<i>= Feuchtmasse</i>					
	<i>TM</i>	<i>= Trockenmasse</i>					

**Tabelle 5.5: Spezifische Aktivitäten in importierten Futtermitteln 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	3	2	0,32		-	Bq/kg(TM)
	K 40	3	0	120	796	396	
Schrote	Cs 137	4	3	0,22		-	Bq/kg(TM)
	K 40	4	0	684	830	757	
Maisprodukte	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	1	0	77,6		-	
Sonstige Futtermittel	Cs 137	3	3	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	3	0	25	800	517	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					
	<i>TM</i>	<i>= Trockenmasse</i>					

**Tabelle 5.6: Spezifische Aktivitäten in Futtermitteln aus der Handelsstufe 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Schrote	Cs 137	3	2	0,452		-	Bq/kg(TM)
	K 40	3	0	440	762	614	
Futtergetreide (einschl. Maiskörner)	Cs 137	3	3	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	3	0	117	360	208	
Futterkartoffeln und Futterrüben	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	1	0	230		-	
Mais (ganze Pflanze)	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	2	0	93	410	251,5	
	Sr 90	1	1	-	-	-	
Sonstige Futtermittel (Heu, Stroh, Trockenmehle)	Cs 137	4	4	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	4	0	236	824	616	
Kraftfuttermischungen	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(TM)
	K 40	1	0	276		-	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					
	<i>TM</i>	<i>= Trockenmasse</i>					

**Tabelle 5.7: Spezifische Aktivitäten in Indikatorpflanzen aus NRW 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Blätter	Cs 137	10	6	0,5	26	7,4	Bq/kg(TM)
	K 40	10	0	114	430	244	
Nadeln	Cs 137	5	0	0,32	116	28	Bq/kg(TM)
	K 40	5	0	179	191	185	
Gras	Cs 137	10	7	0,6	1,2	0,9	Bq/kg(TM)
	K 40	10	0	120	1290	714	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					
	<i>TM</i>	<i>= Trockenmasse</i>					

### 5.3. Lebensmittel

Der überwiegende Teil der Überwachung der Radioaktivität in Lebensmitteln erstreckt sich auf Produkte, die in Nordrhein-Westfalen erzeugt werden (771 Erzeugerproben von insgesamt 1178 Lebensmittelproben). Weitere Lebensmittelproben stammten aus dem Import und in einem landeseigenen Messprogramm wurden Lebensmittelproben aus der Handelsstufe überwacht. Die Entnahme von einheimischen Lebensmitteln erfolgt direkt beim Erzeuger. Anzahl und Art dieser Proben sind in Tabelle 5.8 dargestellt.

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

**Tabelle 5.8: Spezifische Aktivitäten in Lebensmitteln, Erzeugerproben NRW 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Sammelmilch (Kuh)	Cs 137	81	81	-	-	-	Bq/L
	K 40	81	0	45	67	54	
	Sr 90	10	1	0,01	0,03	0,02	
Hofmilch (Kuh)	Cs 137	14	13	-	0,36	-	Bq/L
	K 40	14	0	46	54	51	
	Sr 90	2	2	-	-	-	
Blattgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	106	105	-	0,28	-	Bq/kg(FM)
	K 40	106	0	47	340	108	
	Sr 90	7	2	0,02	0,12	0,08	
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	27	27	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	27	0	37	189	114	
	Sr 90	3	0	0,04	0,11	0,08	
Fruchtgemüse und Frischgemüse ungeschützter Anbau	Cs 137	39	38	-	0,35	-	Bq/kg(FM)
	K 40	39	0	25	162	87	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	39	39	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	39	0	15	152	84	
	Sr 90	3	1	0,02	0,04	0,03	
Kartoffeln	Cs 137	18	18	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	18	0	91	166	131	
	Sr 90	5	3	0,01	0,07	0,04	
Getreidekörner (Weizen-, Roggen-, Gersten-, Hafer-, Mais-, Triticalekörner)	Cs 137	43	43	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	43	0	53	167	129	
	Sr 90	4	1	0,07	0,19	0,14	
Kernobst	Cs 137	16	16	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	16	0	29	89	46	
	Sr 90	3	2	-	0,03	-	
Steinobst	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	6	0	16	88	61	
	Sr 90	1	0	-	0,04	-	
Beerenobst, ungeschützter Anbau, Wald-/Wildbeeren und sonstige Obstarten	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	6	0	28	174	67	
	Sr 90	1	0	-	0,07	-	
Rindfleisch	Cs 137	54	46	0,06	11,7	1,6	Bq/kg(FM)
	K 40	54	0	21	144	110	
Kalbfleisch	Cs 137	17	12	0,14	0,39	0,27	Bq/kg(FM)
	K 40	17	0	80	134	105	
Schweinefleisch	Cs 137	85	76	0,07	0,3	0,14	Bq/kg(FM)
	K 40	85	0	26	147	111	
Geflügelfleisch	Cs 137	40	38	0,09	0,16	0,12	Bq/kg(FM)
	K 40	40	0	62	187	111	
sonstiges Fleisch (Fohlen/Pferd)	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	1	0	-	89	-	
Süßwasserfisch	Cs 137	23	21	0,17	0,40	0,28	Bq/kg(FM)
	K 40	23	0	70	167	122	
	Sr 90	3	2	-	0,03	-	
Gesamtnahrung	Cs 137	129	119	0,20	7,8	2,2	Bq/(d*p)
	K 40	129	0	27	251	112	
	Sr 90	18	5	0,04	0,11	0,06	
Säuglings- und Kleinkindernahrung	Cs 137	21	20	-	0,15	-	Bq/kg(FM)
	K 40	21	0	24	194	70	
	Sr 90	4	2	0,03	0,03	0,03	
Milchprodukte außer Käse, Frischprodukte	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	1	0	-	53	-	

Anmerkung: NWG = Erzielte Nachweisgrenze  
FM = Feuchtmasse  
Bq/(d\*p) = Aktivität pro Tageskost

Ergebnisse von Lebensmitteln aus der Handelsstufe sowie speziell von ausländischen Lebensmitteln sind in den Tabelle 5.9 und Tabelle 5.10 dargestellt.

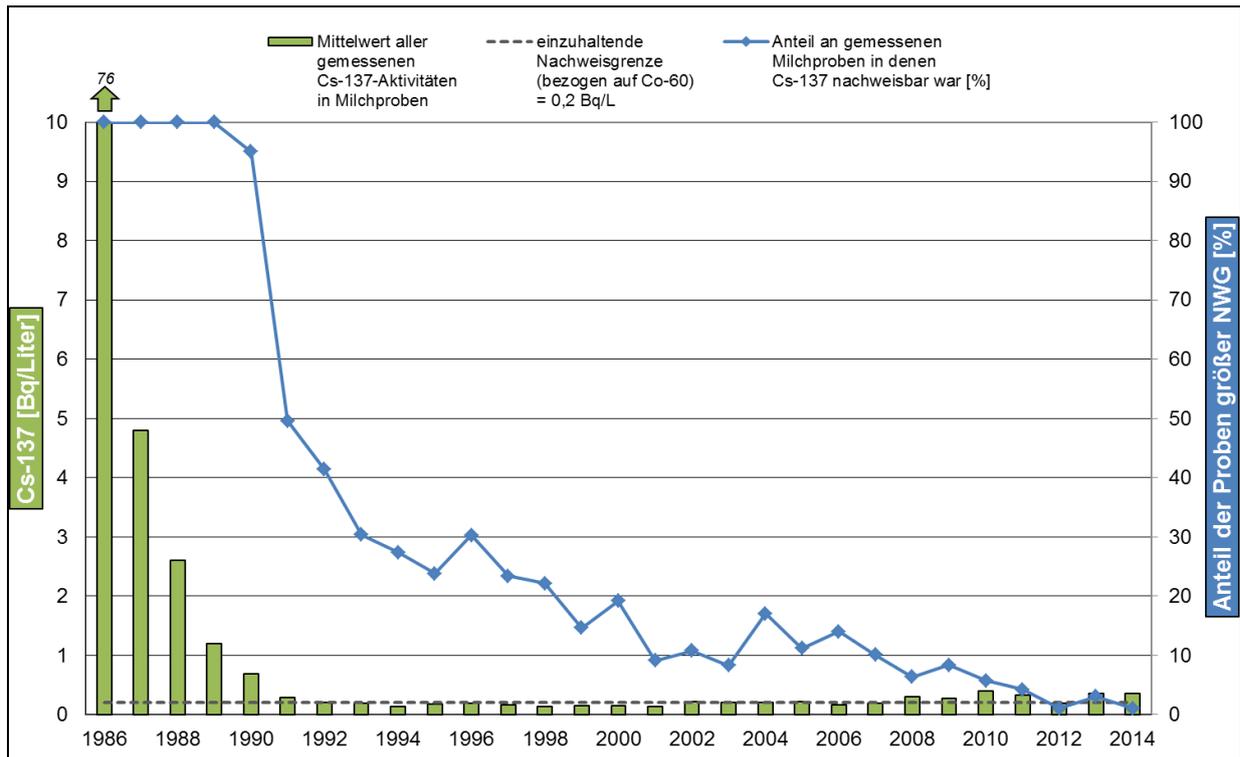
**Tabelle 5.9: Spezifische Aktivitäten in Lebensmitteln aus dem Handel in NRW 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinstes Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
bearbeitete Trinkmilch (Kuh)	Cs 137	18	17	0,13	-	-	Bq/L
	K 40	18	0	6	65	55	
Blattgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	22	22	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	22	0	46	179	103	
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	12	11	0,09	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	12	0	49	172	94	
Fruchtgemüse und Frischgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	21	21	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	21	0	47	153	75	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	10	10	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	10	0	95	160	119	
Kartoffeln	Cs 137	15	15	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	15	0	109	234	151	
Kulturpilze (Austernseitling)	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	1	0	113	-	-	
Getreidekörner (Weizen-, Roggen-, Gersten-, Hafer-, Mais-, Triticalekörner und andere)	Cs 137	11	10	0,77	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	11	0	50	143	123	
Kernobst	Cs 137	16	16	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	16	0	24	49	40	
Steinobst	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	6	0	63	81	69	
Beerenobst, ungeschützter Anbau (außer Wald-/Wildbeeren)	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	6	0	44	77	63	
Sonstige Obstarten	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	6	0	39	122	75	
Rindfleisch	Cs 137	21	18	0,12	0,73	0,41	Bq/kg(FM)
	K 40	21	0	81	159	112	
Kalbfleisch	Cs 137	5	2	0,20	0,49	0,32	Bq/kg(FM)
	K 40	5	0	96	114	107	
Schweinefleisch	Cs 137	16	13	0,13	0,66	0,4	Bq/kg(FM)
	K 40	16	0	88	135	115	
Geflügelfleisch	Cs 137	11	11	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	11	0	62	120	101	
Lammfleisch	Cs 137	5	5	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	5	0	77	121	100	
Seefisch	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	2	0	102	118	110	
Säuglings- und Kleinkindernahrung	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	2	0	26	44	35	
Käse aus Kuhmilch und Milch anderer Tiere	Cs 137	14	1	0,20	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	14	0	9	60	25	
Milchprodukte außer Käse, Frischprodukte	Cs 137	26	25	0,19	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	26	0	30	74	56	
Anmerkung:	NWG	= Erzielte Nachweisgrenze					
	FM	= Feuchtmasse					

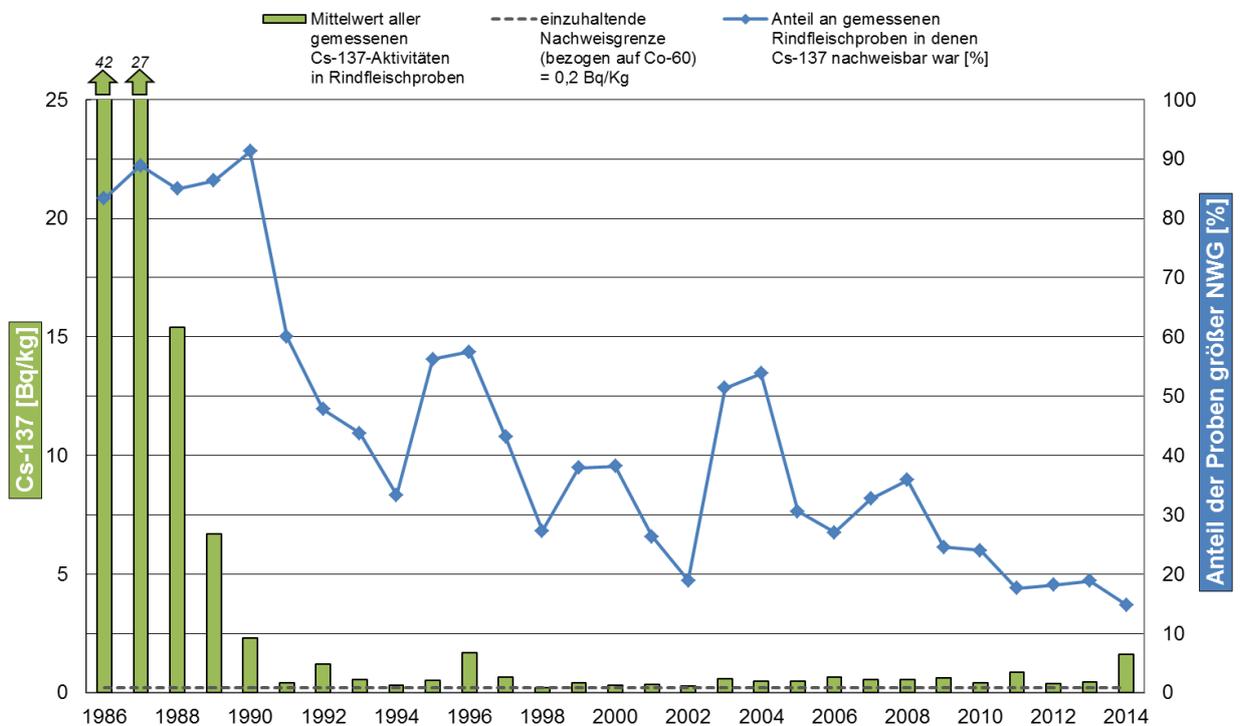
**Tabelle 5.10: Spezifische Aktivitäten in ausländischen Lebensmitteln 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Wurzelgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	2	0	78	121	99	
Fruchtgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	7	7	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	7	0	46	88	70	
Sprossgemüse, ungeschützter Anbau	Cs 137	3	3	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	3	0	44	94	63	
Kartoffeln	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	2	0	124	138	131	
Sonstige Getreidearten (Langkornreis)	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	1	0		22	-	
Kernobst, Steinobst, Beerenobst, sonstige Obstarten	Cs 137	9	9	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	9	0	27	78	47	
Rindfleisch	Cs 137	7	5	0,20	0,39	0,29	Bq/kg(FM)
	K 40	7	0	79	153	113	
Kalbfleisch	Cs 137	5	3	0,28	0,29	0,29	Bq/kg(FM)
	K 40	5	0	94	146	122	
Schweinefleisch	Cs 137	5	2	0,12	0,20	0,15	Bq/kg(FM)
	K 40	5	0	99	145	122	
Geflügelfleisch	Cs 137	7	6		0,33	-	Bq/kg(FM)
	K 40	7	0	87	132	110	
Lammfleisch	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
	K 40	1	0		83	-	
Süßwasserfisch	Cs 137	12	9	0,14	0,51	0,32	Bq/kg(FM)
	K 40	12	0	31	158	101	
Seefisch	Cs 137	12	9	0,17	1,27	0,54	Bq/kg(FM)
	K 40	12	0	51	138	106	
Käse aus Kuhmilch und aus Milch anderer Tiere	Cs 137	13	12		0,10	-	Bq/kg(FM)
	K 40	13	0	17,4	36	25	
<i>Anmerkung:</i>							
		NWG	=	Erzielte Nachweisgrenze			
		FM	=	Feuchtmasse			

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 den Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5 sind Zeitreihen für Cäsium-137 in Milch und Rindfleisch (Erzeugerproben) aus Nordrhein-Westfalen dargestellt. Aus ihnen ist ersichtlich, dass der mittlere Cäsium-137-Gehalt in diesen Nahrungsmitteln seit dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 deutlich zurückgegangen ist. Nicht nur die Aktivität in den Proben hat abgenommen, sondern auch die Anzahl der Proben, in denen Cäsium-137 gefunden wird ist stark gesunken (blaue Linie in Abbildung 5.4 und 5.5). Viele Cäsium-137-Messungen an Milch und Rindfleisch sind nahe bei oder unterhalb der Nachweisgrenze, welche für Milch und Fleisch 0,2 Bq/Liter bzw. 0,2 Bq/kg Frischmasse (bezogen auf Cobalt-60) beträgt (siehe gestrichelte Linie in Abbildung 5.4 und 5.5). Das bedeutet, dass im Großteil der Proben (99 % der Milchproben und 85 % der Rindfleischproben) die Cäsium-137-Aktivität inzwischen zu gering ist, um sie zuverlässig nachzuweisen.



**Abbildung 5.4:** Cs-137-Mittelwerte in Milch aus NRW 1986 – 2014. In den Jahren 1986 bis 1990 betrug die Anzahl untersuchter Milchproben pro Jahr 7 bis 20. Ab 1991 bis 2014 wurden pro Jahr zwischen 94 und 132 Milchproben untersucht.



**Abbildung 5.5:** Cs-137-Mittelwerte in Rindfleisch aus NRW 1986 – 2014. In den Jahren 1986 bis 1990 betrug die Anzahl untersuchter Rindfleischproben pro Jahr 12 bis 23. Ab 1991 bis 2014 wurden pro Jahr zwischen 36 und 70 Rindfleischproben untersucht.

## 5.4. Wildpilze und Wildfleisch

Im Gegensatz zu den landwirtschaftlich erzeugten Lebensmitteln kann die Radiocäsium-Belastung von wildwachsenden Pilzen und Wildfleisch derzeit noch höher sein. In Waldökosystemen bildet sich aufgrund des dort herrschenden Kaliummangels und der sauren Böden ein Kreislauf des Radiocäsiums aus. Das führt zu einer Anreicherung des Radiocäsiums im oberflächennahen Waldboden in ca. 5-7 cm Tiefe. In dieser Bodentiefe ist es für Pflanzen mit Flachwurzeln und für das Pilzmyzel leicht verfügbar. Das Cäsium-137 wird daher solange im Waldökosystem für Pflanzen und Tiere verfügbar bleiben, bis es zu einem vernachlässigbaren Rest zerfallen ist. Wildwachsende Pilze entnehmen ihre Nährstoffe der oberflächennahen Humusschicht, so dass es zu einer verstärkten Anreicherung des Radiocäsiums in den Pilzen kommen kann. Dabei hat sich gezeigt, dass neben der regional sehr unterschiedlichen Bodenkontamination auch artspezifische Eigenschaften der Pilze einen Einfluss auf die Höhe der Belastung haben. Da Wildschweine ihre Nahrung in der Humusschicht suchen (z.B. in Form des Hirschtrüffels), nehmen sie auch das Cs-137 aus den Pilzen mit auf, wodurch vereinzelt hohe Cs-137-Belastungen in Wildschweinen auftreten können. Im Herbst, in der Mästphase für den Winter, in der die Tiere verstärkt Pilze aufnehmen, ist die spezifische Aktivität von Cs-137 im Wildfleisch am höchsten. Tabelle 5.11 zeigt die Ergebnisse von Cs-137-Messungen für Wildpilze und Wildfleisch aus NRW, sowie für importierte Wildpilze.

**Tabelle 5.11: Spezifische Cs-137 Aktivitäten in Wildpilzen und Wildfleisch, 2014**

Probenart	Radio-nuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Maronenröhrling	Cs 137	1	0		2,1	-	Bq/kg(FM)
Steinpilz	Cs 137	2	1		11	-	Bq/kg(FM)
Pfifferling (aus NRW)	Cs 137	10	0	1,0	49,9	25,4	Bq/kg(FM)
Pfifferling (importiert)	Cs 137	4	0	16,6	85,0	48,0	Bq/kg(FM)
Wildschwein	Cs 137	62	2	1,8	581	58	Bq/kg(FM)
Federwild	Cs 137	1	1	-	-	-	Bq/kg(FM)
<i>Anmerkung:</i>		<i>NWG = Erzielte Nachweisgrenze</i>					
		<i>FM = Feuchtmasse</i>					

In der Europäischen Union ist es nicht erlaubt, Lebensmittel in den Verkehr zu bringen, wenn der Höchstwert für Radiocäsium von 600 Bq/kg (370 Bq/kg bei Milch und Milcherzeugnisse sowie bei Kleinkindernahrung) überschritten wird. Dieser nach EG-Verordnung 733/2008/EG für Importware geltende Höchstwert wird auch auf Inlandprodukte sinngemäß angewendet. Da in den letzten Jahren in der Senne und angrenzenden Gebieten vermehrt Wildschweine mit erhöhten Radiocäsiumgehalten beobachtet wurden, werden seither alle im Zeitraum Januar bis Mai erlegten Wildschweine aus diesem Gebiet auf radioaktive Belastung untersucht. Im Berichtsjahr 2014 gab es keine Wildfleischproben, deren Werte oberhalb des o.g. Grenzwertes lagen.

## **5.5. Trink- und Grundwasser**

Die Radionuklidbestimmungen an Trinkwasser erstrecken sich auf 5 Wasserwerke, die ungeschütztes Rohwasser (Oberflächenwasser, Uferfiltrat) und 5 Wasserwerke, die geschütztes Rohwasser (Grundwasser aus Tiefbrunnen) zu Trinkwasser verarbeiten. Diejenigen Wasserwerke, welche geschütztes Rohwasser verarbeiten, werden halbjährlich, diejenigen, welche ungeschütztes Rohwasser verarbeiten, werden vierteljährlich beprobt. Grundwasser wird aus 5 Brunnen entnommen und halbjährlich beprobt. In allen Wasserproben lagen die ermittelten Werte für Cäsium-137, Strontium-90 und Alphastrahler unterhalb bzw. im Bereich der Nachweisgrenzen (Tabelle 5.12 und Tabelle 3.1).

## **5.6. Oberirdische Gewässer**

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 5.13 zeigt, 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.

## **5.7. Abfall und Abwasser**

In NRW werden im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) auch Abwässer 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 und Kompost von einer Kompostierungsanlage untersucht (Tabelle 5.14). Nennenswerte spezifische Cäsium-137 Aktivitäten finden sich nur noch in den festen Endprodukten der jeweiligen Verarbeitungs- bzw. Beseitigungsanlagen. Dies sind Klärschlamm aus der Kläranlage, Filterasche, Schlacke und Rückstände aus der Rauchgaswäsche von Müllverbrennungsanlagen und der Kompost aus der Kompostierungsanlage. Die spezifischen Cäsium-137 Aktivitäten der wässrigen Produkte liegen unterhalb bzw. im Bereich der Nachweisgrenze (Kläranlagen, Müllverbrennungsanlagen). Auch in den Proben aus Kläranlagen sind Rückstände des Iod-131 aus der Radiojodtherapie nachweisbar.

**Tabelle 5.12: Aktivitätskonzentrationen in Trink- und Grundwasser aus Wasserwerken und Brunnen, NRW 2014**

Probenart	Radionuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Grundwasser (nicht zur Trinkwassergewinnung)	Cs 137	2	2	-	-	-	Bq/L
	K 40	2	0	0,13	0,13	0,13	
	Sr 90	1	1	-	-	-	
	H 3	1	1	-	-	-	
Rohwasser, geschützt, aus Grund- und Tiefenwasser	Cs 137	8	8	-	-	-	Bq/L
	K 40	8	7		0,17	-	
	Sr 90	2	2	-	-	-	
	H 3	2	2	-	-	-	
	Pu 238	4	4	-	-	-	
	Pu 239/240	4	4	-	-	-	
	U 234	4	2	0,004	0,005	0,005	
	U 235	4	4	-	-	-	
U 238	4	3		0,001	-		
Rohwasser, ungeschützt, aus Oberflächenwasser	Cs 137	6	6	-	-	-	Bq/L
	K 40	6	4	0,02	0,15	0,08	
	Sr 90	2	0	0,001	0,002	0,001	
	H 3	2	2	-	-	-	
	Am 241	3	3	-	-	-	
	Pu 238	2	2	-	-	-	
	Pu 23940	2	2	-	-	-	
	U 234	2	1		0,008	-	
	U 235	2	2	-	-	-	
U 238	2	1		0,009	-		
Reinwasser aus ungeschützten Rohwasservorkommen	Cs 137	26	26	-	-	-	Bq/L
	K 40	26	9	0,02	1,11	0,19	
	Sr 90	4	1	0,001	0,005	0,003	
	H 3	4	4	-	-	-	
	Am 241	6	6	-	-	-	
	Pu 238	6	6	-	-	-	
	Pu 23940	6	6	-	-	-	
	U 234	6	2	0,007	0,019	0,013	
	U 235	6	4	0,001	0,001	0,001	
U 238	6	2	0,001	0,016	0,009		
Reinwasser aus Mischrohwasser	Cs 137	7	7	-	-	-	Bq/L
	K 40	7	7	-	-	-	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					

**Tabelle 5.13: Aktivitätskonzentrationen und spezifische Aktivitäten verschiedener Radionuklide in Oberflächenwasser, Schwebstoffen und Sedimenten aus Flüssen und Seen, NRW 2014**

Umweltbereich	Radionuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Wasser in Fließgewässern	Cs 137	20	20	-	-	-	Bq/L
	I 131	12	11	0,012	-	-	
	K 40	20	1	0,09	0,37	0,20	
	Sr 90	4	4	-	-	-	
	H 3	20	20	-	-	-	
	Am 241	8	8	-	-	-	
	Pu 238	8	8	-	-	-	
	Pu 239/240	8	8	-	-	-	
	U 234	8	0	0,010	0,013	0,011	
	U 235	8	8	-	-	-	
U 238	8	0	0,007	0,010	0,008		
Schwebstoff in Fließgewässern	Cs 137	15	0	4,0	23,0	9,6	Bq/kg(TM)
	I 131	13	9	3,1	16,0	8,0	
	K 40	15	0	317	1310	533	
Sediment in Fließgewässern	Cs 137	23	2	0,22	13	7,8	Bq/kg(TM)
	I 131	22	22	-	-	-	
	K 40	23	0	282	689	513	
Wasser in stehenden Gewässern	Cs 137	28	28	-	-	-	Bq/L
	I 131	26	26	-	-	-	
	K 40	28	17	0,05	0,25	0,12	
	Sr 90	4	3	0,006	-	-	
	H 3	28	28	-	-	-	
Schwebstoffe in stehenden Gewässern	Cs 137	8	4	11	18	14	Bq/kg(TM)
	I 131	6	6	-	-	-	
	K 40	8	0	460	860	575	
Sedimente in stehenden Gewässern	Cs 137	23	0	5,50	205	34	Bq/kg(TM)
	I 131	22	22	-	-	-	
	K 40	23	0	163	861	497	
<i>Anmerkung:</i>		<i>NWG = Erzielte Nachweisgrenze</i> <i>TM = Trockenmasse</i>					

**Tabelle 5.14: Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifische Aktivitäten verschiedener Radionuklide in Abfällen und Abwässern, NRW 2014**

Umweltbereich	Radionuklid	Anzahl Werte Gesamt	Anzahl Werte < NWG	Kleinster Messwert	Größter Messwert	Mittelwert	Einheit
Abwasser aus Kläranlagenablauf	Cs 137	40	40	-	-	-	Bq/L
	I 131	37	29	0,05	0,77	0,31	
	K 40	40	35	0,65	1,42	0,95	
	Sr 90	4	3	0,027		-	
	Pu 238	4	4	-	-	-	
	Pu 23940	4	4	-	-	-	
	U 234	4	1	0,003	0,012	0,007	
	U 235	4	4	-	-	-	
	U 238	4	1	0,003	0,006	0,004	
Klärschlamm	Cs 137	40	8	0,63	6,2	2,5	Bq/kg(TM)
	I 131	38	4	3,7	120	42	
	K 40	40	2	51	400	179	
	Sr 90	4	2	1,4	2,7	2,1	
	Pu 238	4	4	-	-	-	
	Pu 23940	4	4	-	-	-	
	U 234	4	0	38	42	40	
	U 235	4	0	1,3	2,4	1,8	
U 238	4	0	27	32	30		
Filterstaub, Filterasche	Cs 137	6	0	5,2	64	32	Bq/kg(TM)
	I 131	6	6	-	-	-	
	K 40	6	0	1350	2820	1995	
Kesselasche, Schlacke	Cs 137	6	1	0,33	1,9	1,2	Bq/kg(TM)
	I 131	6	6	-	-	-	
	K 40	6	0	208	360	275	
Feste Rückstände aus Rauchgaswäsche	Cs 137	6	3	2,3	2,6	2,4	Bq/kg(TM)
	I 131	6	2	0,3	70	34	
	K 40	6	0	7,3	143	57	
Flüssige Rückstände aus Rauchgaswäsche	Cs 137	4	4	-	-	-	Bq/L
	I 131	4	1	0,5	11,4	5,8	
	K 40	4	0	6,8	22,3	16,0	
Sicker- und Grundwasser	Cs 137	6	5	0,14		-	Bq/L
	I 131	6	6	-	-	-	
	K 40	6	0	10,2	61	24	
	H 3	6	0	8,7	91	44	
Kompost	Cs 137	8	0	0,2	7	4,1	Bq/kg(TM)
	I 131	8	8	-	-	-	
	K 40	8	0	6	653	421	
<i>Anmerkung:</i>	<i>NWG</i>	<i>= Erzielte Nachweisgrenze</i>					
	<i>TM</i>	<i>= Trockenmasse</i>					

## 5.8. In-situ-Messungen

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.



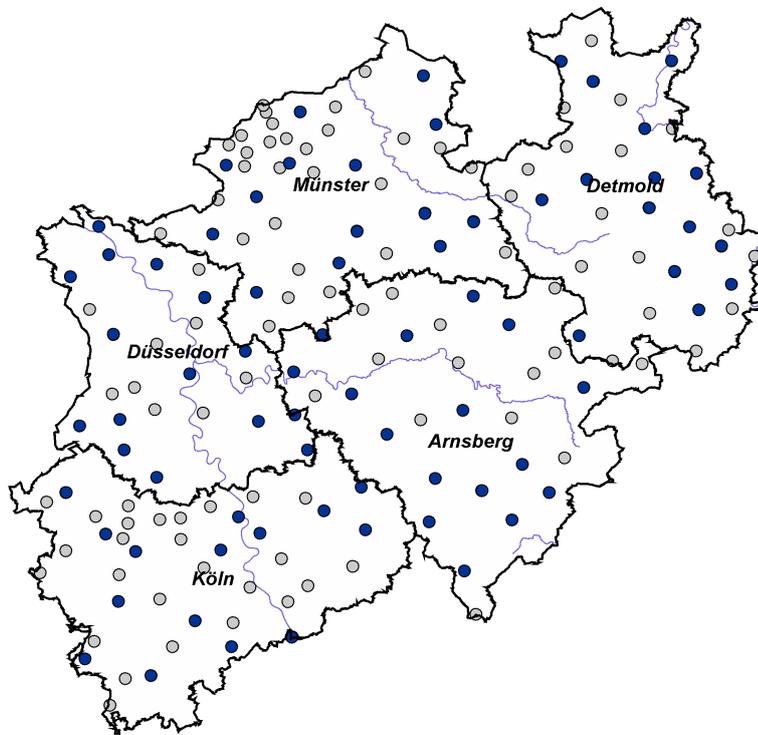
**Abbildung 5.6:** In-situ-Messung an einer ODL-Sonde bei Siegen.

Abbildung 5.6 zeigt das Messsystem bestehend aus dem tragbaren Gammaspektrometer inklusive Stickstoffkühlung und Elektronikoffer, aufgebaut auf einem Stativ direkt neben einer ortsfesten (Gamma)-Ortsdosisleistung-Sonde (ODL-Sonde) des Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Im Messbus befindet sich der PC zur Auswertung des Gammaspektrums. Tabelle 5.15 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer solchen In-situ-Messung 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 5.8). 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. Es können auch weitere natürliche Nuklide hinzukommen, wie z.B. das Beryllium-7 welches durch kosmische Strahlung in der Atmosphäre gebildet und von dort ausgewaschen wird.

**Tabelle 5.15: Beispielhaftes Spektrum einer In-situ-Gammaspektrometrie mit den Radionukliden, deren Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze lag.**

Radionuklid	Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Flächenaktivität [ $\text{kBq/m}^2$ ]	Ursprung
K 40	0,0085	21,10	natürlich
Pb 214	0,0006	0,79	natürlich
Bi 214	0,0040	1,06	(Tochternuklide aus der U-238-Zerfallsreihe)
Ac 228	0,0024	1,00	
Pb 212	0,0007	0,93	natürlich
Bi 212	0,0002	0,81	(Tochternuklide aus der Th-232-Zerfallsreihe)
Tl 208	0,0029	0,35	
Cs 137	0,0005	0,30	künstlich (Tschernobyl-Fallout)

An 170 Standorten in Nordrhein-Westfalen, siehe Abbildung 5.7, unterhält das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auf öffentlichen Wiesenflächen stationäre Messsonden (ODL-Messnetz), von denen kontinuierlich Messdaten der Gamma-Ortsdosisleistung abgerufen werden. 75 dieser Standorte wurden zur Ergänzung (Nuklidanalyse) und Optimierung der ODL-Daten für zusätzliche In-situ-Messungen festgelegt. Jährlich wird zyklisch ein Drittel dieser Standorte vom In-situ-Messfahrzeug NRW angefahren.

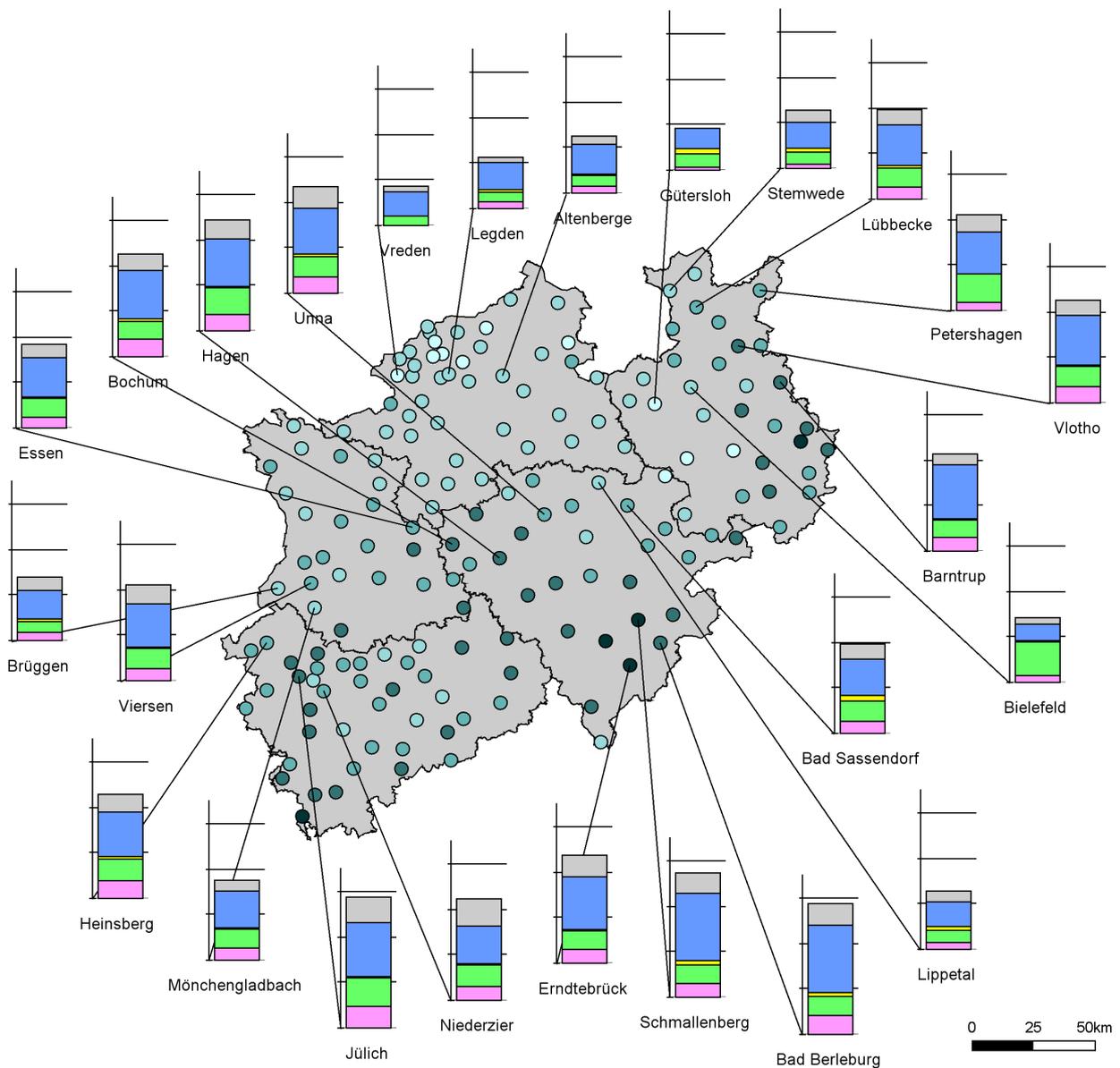


**Abbildung 5.7:** Übersichtskarte über das ODL-Messnetz in NRW. Die Punkte beschreiben die stationären Standorte der ODL-Sonden des BfS. An 75 ausgewählten Standorten werden zusätzlich In-situ-Messungen vom Land NRW durchgeführt (dunkle Punkte).

Während die Ortsdosisleistung aus den natürlichen Radionukliden von den unterschiedlichen Gegebenheiten der geologischen Erdformationen an den Messorten bestimmt wird, hängt die Ortsdosis aus den künstlichen Radionukliden stark von den meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt ihrer Freisetzung ab (Durchzug der radioaktiven Wolke, Dauer und Intensität des zeitgleichen Niederschlages). Den wesentlichen Beitrag an künstlicher Radioaktivität in der Umwelt liefert das durch den Reaktorunfall in Tschernobyl freigesetzte Cäsium-137.

Die folgende NRW-Karte (Abbildung 5.8) zeigt beispielhaft in Form von 25 Kartendiagrammen die aus den Aktivitätsmesswerten berechneten Dosisleistungen in Microsievert pro Stunde [ $\mu\text{Sv/h}$ ] des Jahres 2014 für das künstliche Radionuklid Cäsium-137 und für einige natürliche Radionuklide. Diese Daten wurden durch das Landesumweltamt (LANUV) mit Hilfe des mobilen In-Situ-Messfahrzeugs erfasst (Abbildung 5.6).

Ebenfalls sind in der Karte die 170 stationären ODL-Messstellen vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als Punkte dargestellt, deren Farbkodierungen den lokalen Mittelwert der Gamma-Ortsdosisleistung wiedergeben. Diese Gamma-Ortsdosisleistung umfasst, im Gegensatz zur In-situ-Messung, neben der terrestrische auch die kosmische Gammastrahlung (siehe Kapitel 2.3 und Abbildung 2.3). Allerdings lassen sich keine Radionuklide unterscheiden. Die tagesaktuellen Ergebnisse der ODL-Messungen werden online vom Bundesamt für Strahlenschutz auf der Internetseite <http://odlinfo.bfs.de/> bereitgestellt.



**Abbildung 5.8: Übersicht über die Gamma-Ortsdosisleistung in NRW**

<p><b><u>Mobiles In-Situ-Messsystem des Landes NRW</u></b></p> <p>Die Kartendiagramme zeigen die Beiträge zur Gamma-Ortsdosisleistung von einer Auswahl an Radionukliden, darunter die natürlichen Nuklide Ac228, Bi214, K40, Tl208, sowie das künstliche Nuklid Cs137.</p> <p>Die Daten wurden im Jahr 2014 an 25 Orten in NRW mittels halbstündiger In-situ-Messungen erhoben.</p>	<p><b>Nuklidspezifisch Messwert [<math>\mu\text{Sv/h}</math>]</b></p> <p>0.035</p>  <p><b>Nuklidspezifisch</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ac 228</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bi 214</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Cs 137</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> K 40</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: grey; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Tl 208</li> </ul> <p>Skalierung: linear</p>	<p><b>ODL</b></p> <p>24 Stunden - Mittelwerte</p> <p>Messwert [<math>\mu\text{Sv/h}</math>]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: lightblue;">○</span> [0,05 ; 0,06) (11)</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> [0,06 ; 0,08) (61)</li> <li><span style="color: teal;">●</span> [0,08 ; 0,1) (55)</li> <li><span style="color: darkteal;">●</span> [0,1 ; 0,11) (36)</li> <li><span style="color: black;">●</span> [0,11 ; 0,12] (5)</li> </ul> <p>Regierungsbezirke Nordrhein-Westfalen</p>	<p><b><u>Stationäres Messsystem des BfS</u></b></p> <p>Die Punkte kennzeichnen die Messstellen, an denen die Gamma-Ortsdosisleistungen (ODL) durch die ortsfesten BfS-eigenen Sonden kontinuierlich aufgezeichnet werden.</p> <p>Die Farbskala zeigt die Höhe der ODL-24-Stunden-Mittelwerte eines Beispieltages in 2014 an.</p>
--	---	---	--

## 6. Glossar

### Aktivität

Zahl der je Sekunde sich in einem radioaktiven Stoff umwandelnden  $\rightarrow$ Atomkerne. Die Maßeinheit ist das  $\rightarrow$ Becquerel (Bq). Früher übliche Einheit war das  $\rightarrow$ Curie (Ci).

1 Bq = 1 Zerfall/s; 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq = 37 Milliarden Bq

### Aktivität, spezifische

Verhältnis der Aktivität eines Stoffes zur Masse des Stoffes, in dem das  $\rightarrow$ Radionuklid verteilt ist (Einheit Bq/kg).

### Aktivitätskonzentration

Verhältnis der Aktivität eines Stoffes zum Volumen des Stoffes (Einheit Bq/L).

### Aktivitätszufuhr

Die durch Mund oder Nase (Ingestion bzw. Inhalation) oder durch die Haut in den Körper gelangte Menge radioaktiver Stoffe.

### Alphastrahlung

Strahlung radioaktiver Stoffe, die aus  $\rightarrow$ Alphateilchen besteht. Die Energie der Alphateilchen ist spezifisch für den Atomkern von dem sie stammen. Alphastrahlung ist die am wenigsten durchdringende Strahlung der vier Strahlungsarten (Alpha-, Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung). Sie wird schon durch ein Blatt Papier absorbiert und ist nur dann gefährlich, wenn die Alphastrahler eingeatmet oder mit der Nahrung aufgenommen werden oder in Wunden gelangen.

### Alphateilchen

Bei  $\rightarrow$ Alphazerfall ausgesandtes, positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus einem Heliumkern (zwei  $\rightarrow$ Neutronen und zwei  $\rightarrow$ Protonen).

### Alphazerfall

Radioaktive Umwandlung, bei der ein  $\rightarrow$ Alphateilchen emittiert wird. Beim Alphazerfall nimmt die Ordnungszahl um zwei Einheiten und die Massenzahl um vier Einheiten ab.

### Angeregter Zustand

Zustand eines  $\rightarrow$ Atoms oder  $\rightarrow$ Atomkerns mit einer höheren Energie, als im Grundzustand. Die Überschussenergie wird im Allgemeinen als  $\rightarrow$ Gammaquant abgegeben.

### Äquivalentdosis

Produkt aus der  $\rightarrow$ Energiedosis im Standard-Weichteilgewebe und einem  $\rightarrow$ Qualitätsfaktor. Bei Kombination mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Einheit ist das  $\rightarrow$ Sievert (Sv) früher das Rem (rem).

1 Sv = 1 J/kg; 1 Sv = 100 rem

### **Atom**

Das kleinste Teilchen eines Elementes, das auf chemischem Wege nicht weiter teilbar ist. Es besteht aus einem →Atomkern und einer Hülle von →Elektronen. Der Durchmesser beträgt ungefähr ein hundertmillionstel Zentimeter ( $10^{-8}$  cm).

### **Atomgewicht**

Relativzahl für die Masse eines →Atoms. Die Grundlage der Einheit ist das Kohlenstoffatom, dessen Kern aus 6 →Protonen und 6 →Neutronen besteht. Ihm wurde das Atomgewicht 12 zugeteilt. Somit ist die Atomgewichtseinheit 1/12 des Gewichtes des Kohlenstoff 12.

### **Atomkern**

Der positiv geladene Kern eines →Atoms. Sein Durchmesser beträgt einige  $10^{-13}$  cm, das ist rund 1/100.000 des Atomdurchmessers. Er enthält fast die gesamte Masse des Atoms. Er besteht aus →Protonen und →Neutronen. Die Anzahl der Protonen bestimmt die Kernladungs- oder Ordnungszahl Z, die Summe der Protonen und Neutronen ergibt die Massenzahl M des Kernes.

### **Becquerel (Bq)**

Einheit der →Aktivität eines radioaktiven Stoffes  
1 Bq = 1 Zerfall/s

### **Beschleuniger**

Gerät zum Beschleunigen von geladenen Elementarteilchen (z.B. →Elektronen, →Protonen, →Ionen). Bei Kollisionen dieser Teilchen mit Atomkernen können Kernreaktionen ablaufen, bei denen als Produkt radioaktive Stoffe entstehen.

### **Betastrahlung**

Strahlung von radioaktiven Stoffen, die aus →Elektronen oder →Positronen besteht. Die Energie ist kontinuierlich bis zu einer Maximalenergie verteilt. Betastrahlen werden bereits durch geringe Schichtdicken (z.B. 2 cm Kunststoff oder 1 cm Aluminium) absorbiert. Beispiele für reine Betastrahler sind Strontium-90 (→ Strontium-90-Bestimmung) und Tritium (→ H<sup>3</sup>-Bestimmung)

### **Betateilchen**

→Elektron (negative Ladung) oder dessen Antiteilchen →Positron (positive Ladung), das von einem Atomkern beim Betazerfall ausgesandt wird.

### **Betazerfall**

Radioaktive Umwandlung unter Emission eines →Betateilchens

### **Bodenstrahlung**

Strahlung, die von radioaktiven Ablagerungen im Boden ausgeht (→Strahlung, terrestrisch)

## **Bq**

Kurzzeichen für →Becquerel als Einheit für die Aktivität (1Bq = 1 Zerfall pro Sekunde)

## **Ci**

Kurzzeichen für →Curie als alte Einheit für die →Aktivität (1 Ci = 37.000.000.000 Bq)

## **Curie (Ci)**

Alte Einheit der →Aktivität eines radioaktiven Stoffes (1 Ci = 37.000.000.000 Zerfälle/s)

## **Dekontamination**

Beseitigung oder Verminderung einer →Kontamination

## **Dosimetrie**

Messverfahren zur Bestimmung der durch ionisierende Strahlung in Materie erzeugten →Ionen-, →Energie- oder →Äquivalentdosis

## **Dosis**

Äquivalentdosis, →Dosis, effektive, →Körperdosis, →Organdosis, →Ortsdosis, →Personendosis

## **Dosis, effektive**

Summe der gewichteten →Organdosen in den Geweben oder Organen des Körpers. Wichtungsfaktoren sind die Strahlenempfindlichkeit sowie die Speicherfähigkeit des Organs für den radioaktiven Stoff.

## **Dosis, genetisch signifikante**

Die genetisch signifikante Dosis ist definiert als die Summe der mit einem genetischen Wichtungsfaktor multiplizierten Werte der Keimdrüsendosen aller Angehörigen einer Bevölkerungsgruppe, dividiert durch deren Anzahl. Dabei ist im genetischen Wichtungsfaktor die mittlere Kindererwartung der strahlenexponierten Personen in Abhängigkeit vom Alter berücksichtigt.

## **Dosis-Wirkungs-Beziehung**

Beziehung zwischen der →Energie- oder →Äquivalentdosis und der daraus resultierenden →Strahlenwirkung

## **Dosisfaktor**

Wirksamkeitsfaktor eines radioaktiven Stoffes zur Ermittlung der →Strahlenexposition durch inkorporierte radioaktive Stoffe. Der Dosiskoeffizient ist abhängig vom →Radionuklid (effektive Halbwertszeit, Strahlungsart), vom Zielorgan, von der Inkorporationsart (Inhalation/ Ingestion), von der chemischen Verbindung des Radionuklids (löslich/unlöslich), sowie vom Alter der Person.

## Dosisgrenzwert

Gesetzlich vorgeschriebene Obergrenze einer Dosis für die Exposition beruflich oder nicht beruflich strahlenexponierter Personen. Für die Bevölkerung sind folgende Grenzwerte in der Strahlenschutzverordnung festgelegt.

- Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark: 0,3 mSv/Jahr
- alle anderen Organe: 0,9 mSv/Jahr
- Knochenoberfläche, Haut: 1,8 mSv/Jahr

## Dosisleistung

Die Dosisleistung ist der Quotient aus der Dosis und der Zeit

## Elektron

Negativ geladenes Elementarteilchen mit einer Ruhemasse von  $9,1094 \times 10^{-31}$  kg (entspricht einer Ruheenergie von 511 keV), das ist 1/1836 der Protonenmasse. Elektronen umgeben den positiv geladenen  $\rightarrow$ Atomkern und bestimmen das chemische Verhalten des Atoms.

## Elektronvolt (eV)

In der Atom- und Kernphysik gebräuchliche Einheit der Energie. Ein Elektronvolt (eV) ist die von einem Elektron oder sonstigen einfach geladenen Teilchen gewonnene Bewegungsenergie beim Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von 1 Volt im Vakuum.

## Element

Chemischer Grundstoff, der sich auf chemischem Wege nicht mehr in einfachere Substanzen umwandeln lässt.

## Elementarladung

Kleinste elektrische Ladungseinheit ( $1,6021 \cdot 10^{-19}$  Coulomb). Die elektrische Ladung tritt nur in ganzzahligen Vielfachen dieser Einheit auf. Ein  $\rightarrow$ Elektron besitzt eine negative, ein  $\rightarrow$ Proton eine positive Elementarladung.

## Elementarteilchen

Teilchen, die sich derzeit nicht als zusammengesetzt erkennen lassen.

## Energiedosis

Gesamte absorbierte Strahlungsenergie in der Masseneinheit. Die Einheit der Energiedosis ist Gray (Gy). Frühere Einheit Rad (rd)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

## eV

Kurzbezeichnung für  $\rightarrow$ Elektronvolt (1 MeV = 1000 keV = 1 000 000 eV).

### **Expositionspfad**

Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer →Strahlenexposition des Menschen.

### **Folgedosis, effektive**

→Äquivalentdosis, die ein Organ oder Gewebe durch Inkorporation eines oder mehrerer Radionuklide während des folgenden Bezugszeitraumes erhält. (50-Jahre-Folgedosis = Dosis während eines Zeitraumes von 50 Jahren nach der Inkorporation)

### **Gammaquant**

Energiequant kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung, welches vom →Atomkern beim Übergang von einem höher in einen niedriger angeregten Energiezustand ausgesandt wird. Die Energien von Gammaquanten liegen gewöhnlich zwischen 0,01 und 10 MeV.

### **Gammaspektrum**

Energieverteilung der →Gammaquanten eines →Radionuklids oder einer Mischung von Radionukliden, welches zu deren Identifizierung und Quantifizierung gemessen wird.

### **Gammastrahlung**

Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die aus →Gammaquanten besteht. Gammastrahlen sind sehr durchdringend und lassen sich am besten durch Materialien hoher Dichte (z.B. Blei) schwächen.

### **Ganzkörperdosis**

Mittelwert der →Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers.

### **Gray (Gy)**

Einheit der Energiedosis (1 Gy = 1 J/kg)

### **Halbwertszeit, physikalische**

Zeit, in der die Hälfte der Kerne eines →Radionuklids zerfällt.

### **Halbwertszeit, biologische**

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

### **Halbwertszeit, effektive ( $T_{\text{eff}}$ )**

Zeit, in der in einem biologischen System die Menge eines Radionuklids im Zusammenwirken von physikalischer ( $T_{\text{phys}}$ ) und biologischer ( $T_{\text{biol}}$ ) Halbwertszeit auf die Hälfte abnimmt.

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

### **Ingestion**

Aufnahme von radioaktiven Stoffen durch Nahrungsmittel und Trinkwasser

### **Inhalation**

Aufnahme von radioaktiven Stoffen durch Einatmen

### **Inkorporation**

Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Organismus durch Inhalation und Ingestion

### **Ionendosis**

Gesamte in Luft pro Masseneinheit durch  $\rightarrow$ ionisierende Strahlung erzeugte elektrische Ladung. Die Einheit der Ionendosis ist Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Bis Ende 1985 wurde die Einheit Röntgen (Kurzzeichen: R) verwendet.  $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$ .

### **Ionisation**

Aufnahme oder Abgabe von  $\rightarrow$ Elektronen durch  $\rightarrow$ Atome oder Moleküle, die dadurch in  $\rightarrow$ Ionen umgewandelt werden. Hohe Temperaturen, elektrische Entladungen und energiereiche Strahlung können zur Ionisation führen.

### **Ion**

Elektrisch geladenes atomares oder molekulares Teilchen, das aus einem neutralen  $\rightarrow$ Atom oder Molekül durch Abspaltung oder Anlagerung von  $\rightarrow$ Elektronen oder durch elektrolytische Dissoziation von Molekülen in Lösungen entstehen kann.

### **Isotope**

$\rightarrow$ Atome derselben Kernladungszahl (d.h. desselben chemischen  $\rightarrow$ Elementes), jedoch unterschiedlicher Neutronenzahl.

### **Körperdosis**

Sammelbegriff für  $\rightarrow$ Organdosis und effektive  $\rightarrow$ Dosis. Die Körperdosis für einen Bezugszeitraum (z.B. Kalenderjahr, Monat) ist die Summe aus der durch äußere Strahlenexposition während dieses Bezugszeitraums erhaltenen Dosis und der  $\rightarrow$ Folgedosis, durch eine  $\rightarrow$ Aktivitätszufuhr während dieses Bezugszeitraums.

### **Kontamination**

Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen, bei der eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann.

## **Kontrollbereich**

Bereich, in dem Personen infolge des Umgangs mit radioaktiven Stoffen oder des Betriebs von Anlagen zur Erzeugung ionisierender →Strahlen durch äußere oder innere →Strahlenexposition im Kalenderjahr eine effektive →Dosis von mehr als 6 mSv oder höhere →Organdosen für die Augenlinse von mehr als 45 mSv oder für die Haut, Hände, Unterarme, Füße, Unterschenkel von mehr als 150 mSv erhalten können.

## **Lineare Energieübertragung**

Energieabgabe eines ionisierenden Teilchens an die durchstrahlte Materie. Der lineare Energieübertrag wird in keV/μm (→eV) angegeben (→Qualitätsfaktor).

## **Neutron**

Kernbaustein, elektrisch neutral

## **Nukleon**

Gemeinsame Bezeichnung für →Proton und →Neutron (Kernbausteine).

## **Nukleonenzahl**

Anzahl der →Protonen und →Neutronen (→Nukleonen) in einem →Atomkern. Die Nukleonenzahl des <sup>238</sup>U ist 238 bestehend aus 92 Protonen und 146 Neutronen.

## **Nuklid**

Eine durch seine Protonenzahl, Neutronenzahl und seinen Energiezustand charakterisierte Atomart. Es sind etwa 2500 verschiedene Nuklide bekannt, die sich auf die 111 zurzeit bekannten Elemente verteilen. Davon sind über 2200 Nuklide radioaktiv (→Radionuklide).

## **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.

## **Ortsdosis**

→Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort.

## **Ortsdosisleistung**

In einer bestimmten Zeit erzeugte →Ortsdosis, dividiert durch die Zeitdauer.

### **Paarbildung**

Wechselwirkung von energiereicher elektromagnetischer Strahlung mit Materie. Ist die Energie der Strahlung größer als 1,02 MeV, besteht die Möglichkeit zur Erzeugung eines  $\rightarrow$ Elektron- $\rightarrow$ Positron-Paares (Materialisation von Energie).

### **Personendosis**

$\rightarrow$ Äquivalentdosis, gemessen an einer für die  $\rightarrow$ Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche.

### **Photo-Effekt**

Wechselwirkung von Röntgen- und  $\rightarrow$ Gammastrahlung mit Materie. Das Röntgen- oder  $\rightarrow$ Gammaquant überträgt seine Energie an ein Hüllelektron des  $\rightarrow$ Atoms. Das  $\rightarrow$ Elektron erhält hierbei Bewegungsenergie, die gleich der Energie des Quants, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons ist.

### **Positron**

Positiv geladenes Antiteilchen des  $\rightarrow$ Elektrons

### **Proton**

Kernbaustein mit einer positiven  $\rightarrow$ Elementarladung

### **Photon**

Energiequant der elektromagnetischen Strahlung. Die Ruhemasse des Photons ist Null. Es hat keine elektrische Ladung.

### **Qualitätsfaktor**

Wichtungsfaktor zur Ermittlung der  $\rightarrow$ Äquivalentdosis, der die Einflüsse Strahlungsart und -energie (Strahlungsqualität) auf die biologische Wirksamkeit der Strahlung ( $\rightarrow$ Strahlenwirkung) berücksichtigt. Für  $\rightarrow$ Photonen und  $\rightarrow$ Elektronen aller Energien hat der Qualitätsfaktor den Wert  $Q = 1$ .

### **Radionuklide, kurzlebige**

Radioaktive  $\rightarrow$ Atomkerne mit einer Halbwertszeit bis zu 100 Tagen

### **Radionuklide, langlebige**

Radioaktive  $\rightarrow$ Atomkerne mit einer Halbwertszeit von mehr als 100 Tagen

### **Radioaktivität**

Doppeldeutig: Potenzial instabiler Atomkerne, sich unter Aussendung von  $\rightarrow$ ionisierender Strahlung in stabilere umzuwandeln oder Gehalt an radioaktiven Stoffen

## **Radiotoxizität**

Maß für die Gesundheitsschädlichkeit eines →Radionuklids

## **Sievert (Sv)**

Einheit für die →Äquivalentdosis (1Sv = 1 J/kg)

## **Sperrbereich**

Bereich des →Kontrollbereichs, in dem die →Ortsdosisleistung höher als 3 mSv pro Stunde sein kann.

## **Stoffe, offene radioaktive**

Alle radioaktiven Stoffe mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe.

## **Stoffe, umschlossene radioaktive**

Radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird; eine Abmessung muss mindestens 0,2 cm betragen.

## **Strahlen, ionisierende**

Photonen- oder Teilchenstrahlen, die in der Lage sind, direkt oder indirekt die Bildung von →Ionen zu bewirken

## **Strahlenexposition**

Einwirkung ionisierender →Strahlung auf den menschlichen Körper. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers, innere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.

## **Strahlenexposition, medizinische**

Exposition einer Person im Rahmen der medizinischen Diagnostik (ohne Therapie). Die medizinische Strahlenexposition trägt in Deutschland den meisten Anteil an der →zivilisatorischen Strahlenexposition. Im Mittel beträgt sie 1,9 mSv/a pro Person.

## **Strahlenexposition, mittlere**

Die mittlere Strahlenexposition setzt sich zusammen aus →natürlicher und →zivilisatorischer Strahlenexposition. In Deutschland beträgt sie durchschnittlich etwa 4 mSv/a pro Person.

### **Strahlenexposition, natürliche**

Einwirkung ionisierender →Strahlung bestehend aus natürlicher →kosmischer und →terrestrischer Strahlung sowie der Inkorporation von Radionukliden. In Deutschland beträgt die natürliche Strahlenexposition für die meisten Einwohner im Durchschnitt 2,1 mSv/a.

### **Strahlenexposition, zivilisatorisch**

Die Hauptursachen für die zivilisatorische Strahlenexposition sind die medizinische Diagnostik, Fallout aus Kernwaffentests und der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. In Deutschland liegt die zivilisatorische Strahlenexposition durchschnittlich bei 1,9 mSv/a.

### **Strahlenschutzbereich**

→Überwachungsbereich, →Kontrollbereich und →Sperrbereich als Teil des Kontrollbereichs

### **Strahlenwirkungen, nicht stochastische (oder deterministische)**

Bei "nicht stochastischen" bzw. deterministischen Strahlenwirkungen variiert der Schweregrad der Wirkungen mit der Dosis, und es kann daher ein Schwellenwert angegeben werden.

### **Strahlenwirkungen, stochastische**

"Stochastische" Wirkungen beruhen auf dem Zufallsprinzip. Es sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit, dass sie auftreten, jedoch nicht ihr Schweregrad als eine Funktion der →Dosis betrachtet wird. Für sie existiert im Gegensatz zu "nicht stochastischen" Wirkungen kein Schwellenwert. In dem für Strahlenschutz Zwecke relevanten Dosisbereich werden vererbare Wirkungen als stochastisch angesehen. Auch einige somatische Wirkungen sind stochastischer Natur. Hierbei wird die Krebsentstehung als das wichtigste somatische Strahlenrisiko bei niedrigen Dosen angesehen.

### **Strahlenwirkungen, genetische**

biologische Strahlenwirkungen, die sich auf die Nachkommen der exponierten Person in der ersten oder späteren Generationen auswirken

### **Strahlenwirkungen, somatische**

biologische Strahlenwirkungen, die sich auf die exponierte Person, jedoch nicht auf ihre Nachkommen auswirken.

### **Strahlung, ionisierende**

→Strahlen, ionisierende

### **Strahlung, kosmische**

Natürliche Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen außerhalb der Erde herrührt. Sie ist abhängig von der Höhe über dem Meer (in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr , auf der Zugspitze ca. 1,1 mSv pro Jahr )

### **Strahlung, terrestrische**

Natürliche Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen innerhalb der Erde herrührt. Sie ist abhängig von der spezifischen Aktivität im Boden (0,2 - 2 mSv pro Jahr). Der Mittelwert der Bundesrepublik beträgt 0,4 mSv pro Jahr.

### **Tritium**

→Radionuklid des Wasserstoffs ( $^3\text{H}$ ) bestehend aus einem →Proton und zwei →Neutronen

### **Überwachungsbereich**

Überwachungsbereiche sind nicht zum →Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive →Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere →Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.

### **Umgang mit radioaktiven Stoffen**

Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen im Sinne des § 2 des Atomgesetzes sowie der Betrieb von Bestrahlungsvorrichtungen; als Umgang gilt auch die Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von radioaktiven Bodenschätzen im Sinne des Bundesberggesetzes.

### **Unfall, radiologischer**

Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine effektive →Dosis von mehr als 50 Millisievert (→Sievert) zur Folge haben kann.

### **Zerfall**

Die spontane Umwandlung eines →Nuklids in ein anderes oder in einen anderen Energiezustand desselben Nuklids

### **Zerfallsenergie**

Die bei einem →Zerfall freigesetzte Energie

### **Zerfallskonstante**

Die Zerfallskonstante  $\lambda$  eines radioaktiven →Zerfalls ist gleich dem Reziprokwert der mittleren Lebensdauer  $t$ . Zwischen der Zerfallskonstanten  $\lambda$ , der mittleren Lebensdauer  $t$  und der →Halbwertszeit  $T$  bestehen folgende Beziehungen  $\lambda = 1/t = \ln 2 / T$