



Strahlenhygienischer Jahresbericht 2015

Allgemeine Umweltradioaktivität
und
Umgebungsüberwachung
der kerntechnischen Anlagen
in Bayern



strahlung



Strahlenhygienischer Jahresbericht 2015

Allgemeine Umweltradioaktivität und Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern

Impressum

Strahlenhygienischer Jahresbericht 2015

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 42, Thomas Pfau, Katja Gölling

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Mai 2016

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Rechtliche Grundlagen	6
1.2	Vollzug des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG)	7
1.3	Überwachung kerntechnischer Anlagen in Bayern nach REI	9
1.3.1	Standorte kerntechnischer Anlagen in Bayern	9
1.3.2	Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Bayern	9
1.4	Veröffentlichung der Messergebnisse	10
1.5	Allgemeines zum Bericht	10
2	Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität	11
2.1	Maßnahmen zur allgemeinen Überwachung	11
2.2	Messergebnisse der allgemeinen Umweltradioaktivitätsüberwachung	12
2.2.1	Expositionspfad Wasser	12
2.2.2	Expositionspfad Ernährungskette Land	14
2.2.3	Expositionspfad Ernährungskette Wasser	18
2.2.4	Reststoffe und Abfälle	19
2.3	Zusammenfassende Bewertung der Messergebnisse	20
3	Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen in Bayern	21
3.1	Maßnahmen zur Umgebungsüberwachung	21
3.2	Messungen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen	22
3.2.1	Messungen nach Anhang A der REI – bestimmungsgemäßer Betrieb	22
3.2.1.1	Umweltbereich Luft (01)	22
3.2.1.2	Umweltbereich Niederschlag (02)	25
3.2.1.3	Umweltbereich Boden (03)	27
3.2.1.4	Umweltbereich Pflanzen/Bewuchs (04)	28
3.2.1.5	Umweltbereich Futtermittel (05)	29
3.2.1.6	Umweltbereich Ernährungskette Land (06)	30
3.2.1.7	Umweltbereich Milch und Milchprodukte (07)	32
3.2.1.8	Umweltbereich Oberirdische Gewässer (08)	33
3.2.1.9	Umweltbereich Ernährungskette Wasser (09)	35
3.2.1.10	Umweltbereich Trink- und Grundwasser (10)	36

3.2.2	Zusammenfassung REI – Tabellen A1 und A2	36
3.2.3	Messungen nach Anhang C1 der REI – Brennelementzwischenlager	37
3.3	Messungen der technischen Gewässeraufsicht	40
3.3.1	Vorbemerkungen	40
3.3.2	Messergebnisse	40
3.3.2.1	Forschungsneutronenquelle München (FRM II)	40
3.3.2.2	Kernkraftwerke Isar 1 und 2 (KKI 1 und KKI 2)	41
3.3.2.3	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)	41
3.3.2.4	Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)	41
3.3.3	Zusammenfassende Beurteilung	41
3.4	Emissionen	42
3.5	Meteorologische Verhältnisse	44
3.6	Ausbreitungsrechnungen	45
3.6.1	Allgemeines	45
3.6.2	Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	46
4	Anhang	47
4.1	Abkürzungsverzeichnis	47
4.1.1	Kerntechnische Anlagen	47
4.1.2	Einheiten	47
4.1.3	Gesetze und Verordnungen	47
4.1.4	Sonstiges	47
4.2	Abbildungsverzeichnis	48
4.3	Tabellenverzeichnis	49

Vorwort

Radioaktivität kann bekannterweise von den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden. Daher wird von verschiedenen Institutionen in Deutschland mit großem technischem Aufwand die strahlenhygienische Gesamtsituation erfasst. In Bayern nimmt das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) weite Teile dieser Aufgabe wahr.

Dieser Bericht gibt für das Land Bayern einen Überblick über die Messergebnisse aus den Bereichen der allgemeinen Umweltradioaktivität und der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen. Er ist eine Fortführung der Reihe „Strahlenhygienische Jahresberichte“.

Für den speziell interessierten Leser sind die im Rahmen der allgemeinen Umweltradioaktivitätsüberwachung und der Umgebungsüberwachung der bayerischen kerntechnischen Anlagen ermittelten Einzelmessergebnisse der vergangenen Jahre auf der Internetseite des LfU abrufbar.

Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität:

- Link zu „Strahlenschutzvorsorge in Bayern – Messwerte“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/strvgprobe>

Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern:

- Link zu REI Messdaten → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/reiprobe>

Allgemeine Informationen des LfU zum Thema Strahlung:

- Link zu allgemeinen Informationen des LfU zum Thema Strahlung → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/index.htm>

1 Einleitung

1.1 Rechtliche Grundlagen

Der Grundsatz „Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen...“ ist in § 1 im „Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren“ – dem **Atomgesetz (AtG)** festgeschrieben.

Näher ausgeführte Bestimmungen zum Atomgesetz finden sich in der „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen – **Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)**“.

In der StrlSchV sind unter anderem der Umgang mit radioaktiven Stoffen und die Festsetzung von Dosisgrenzwerten geregelt. § 48 der StrlSchV regelt die Überwachung von radioaktiven Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen in die Umgebung.

Zur genauen Beschreibung dieser Überwachung wurde die „**Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)**“ erlassen. Auf dieser bundesweiten Regelung beruht die Überwachung von Kernkraftwerken und anderen Einrichtungen, denen der Umgang mit Kernbrennstoffen genehmigt wurde.

Die Erfahrungen mit den grenzüberschreitenden Auswirkungen des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahre 1986 haben gezeigt, dass zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt ein bundeseinheitliches Vorgehen aller für die Strahlenschutzvorsorge zuständigen Behörden gewährleistet sein sollte. In der Folge wurden vom Bund und den Ländern eine Reihe verbindlicher Regelungen getroffen.

In erster Linie ist hier das „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung - **Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)**“ zu nennen. Dieses am 31. Dezember 1986 in Kraft getretene Gesetz ist die Grundlage für die flächendeckende und großräumige Erfassung der Radioaktivität künstlichen Ursprungs in der Umwelt.

- Link zu den Gesetzen und Verordnungen in den jeweils aktuellen Fassungen auf der Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit → <http://www.bmub.bund.de/>

1.2 Vollzug des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG)

Das Land Bayern hat im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge die gesetzliche Pflicht, in Arbeitsteilung mit dem Bund, auf seinem Gebiet die Radioaktivität in der Umwelt ständig zu überwachen.

Die Messungen führen die Messstellen des Landesamtes für Umwelt (LfU) an den Dienststellen Augsburg (Strahlenschutzlabor Südbayern) und Kulmbach (Strahlenschutzlabor Nordbayern) nach den Vorgaben des § 3 StrVG in Bundesauftragsverwaltung durch. Zusätzlich zu den Vorgaben des Strahlenschutzvorsorgegesetzes werden im Rahmen der Lebensmittelüberwachung weitere Proben untersucht.

Sämtliche Ergebnisse dieser Radioaktivitätsmessungen werden in dem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betriebenen „Integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS)“ zusammengefasst. Nach der Prüfung auf Vollständigkeit und Plausibilität durch die „Landeszentralstelle Bayern“ im LfU werden die Daten für die „Zentralstelle des Bundes für die Überwachung der Umweltradioaktivität (ZdB)“ im BfS freigegeben. Die ZdB stellt daraufhin die Daten den zuständigen Verwaltungsbehörden des Bundes, den sogenannten „Leitstellen für die Überwachung der Umweltradioaktivität“ für weitergehende Auswertungen zur Verfügung.

Grundlage zur Durchführung der Überwachung sind die Vorgaben der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS)“.

Grundsätzlich befindet sich das IMIS im sogenannten **Routinebetrieb**. Im Falle von „Ereignissen mit möglichen nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“ wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) der **Intensivbetrieb** angeordnet, welcher je nach Ereignis eine zeitliche und räumliche Verdichtung des Routinebetriebs darstellt.

Den jeweiligen Betriebsarten sind Messprogramme zugeordnet. In diesen ist festgelegt,

- wo und in welchen Zeitabständen,
- welche Umweltbereiche,
- nach welchen Vorgaben

zu untersuchen sind.

Es sind alle Umweltbereiche zu überwachen, die bei einer Kontamination Einfluss auf die Strahlenexposition des Menschen haben können (siehe Abb. 1). Um einen flächendeckenden und repräsentativen Überblick über die Umweltradioaktivität zu gewährleisten, sind die Probenentnahmeorte bzw. Messpunkte so ausgewählt, dass sie möglichst gleichmäßig über Bayern verteilt liegen. So können großräumige Veränderungen des Pegels der Umweltradioaktivität erfasst werden.

Die Probenahme wird von amtlichen Probenehmern durchgeführt. Ergänzend zu den heimischen Produkten werden auch importierte Produkte aus dem Handel untersucht.

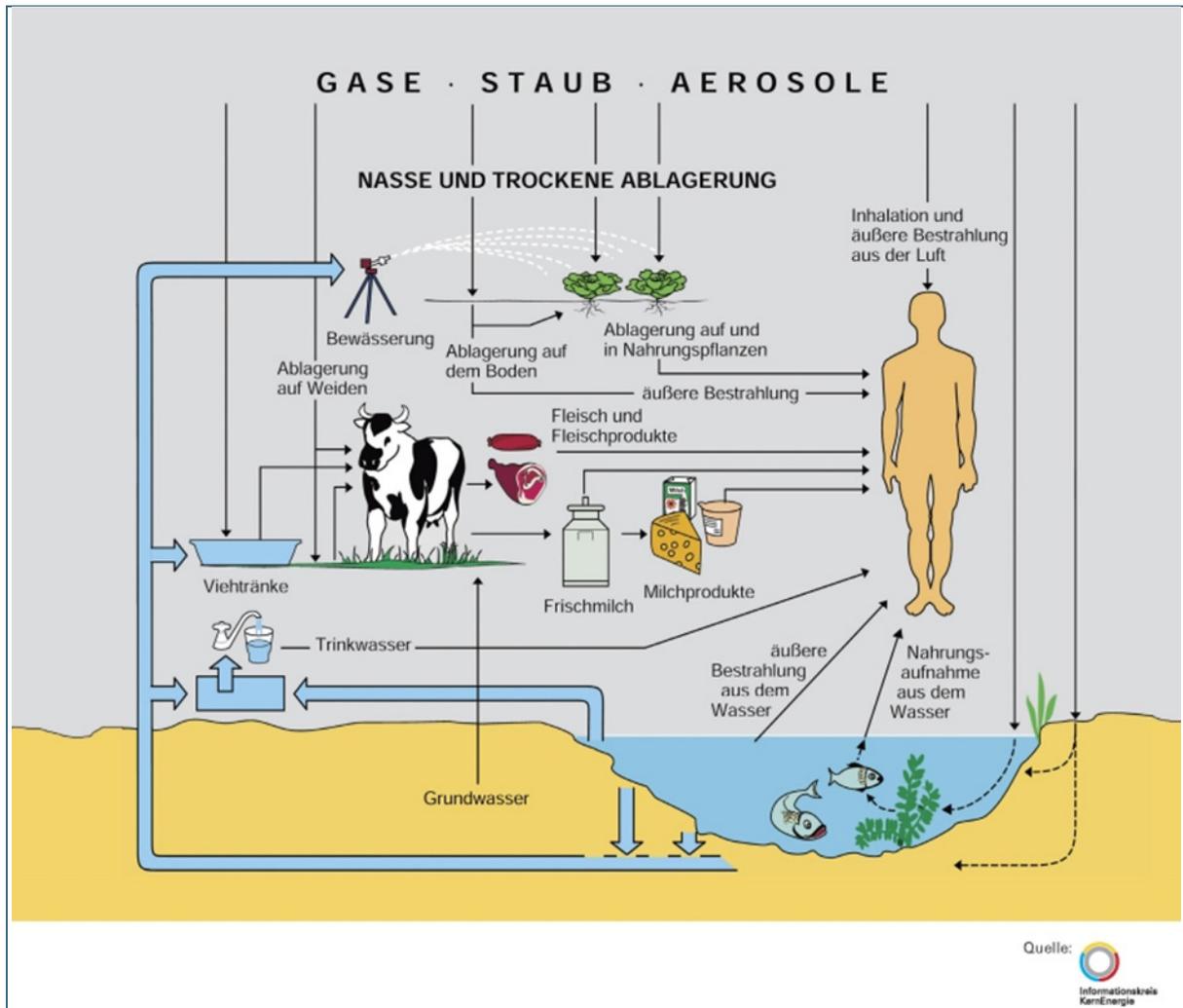


Abb. 1: Mögliche Ausbreitungs- oder Transportwege künstlicher radioaktiver Stoffe zum Menschen
Quelle: Informationskreis KernEnergie

Das Land Bayern ermittelt die Radioaktivität in folgenden Umweltbereichen:

- in Lebensmitteln,
- in Futtermitteln,
- in Trink- und Grundwasser,
- in oberirdischen Gewässern,
- in Abwässern und Klärschlamm, in Abfällen,
- in und auf dem Boden,
- in Indikatorpflanzen.

Alle Proben werden gammaspektrometrisch untersucht. Teilweise werden diese Proben auch auf alpha- und betastrahlende Radionuklide hin ausgewertet. Wasserproben werden zudem auf Tritium getestet.

- Link zu „Strahlenschutzvorsorge in Bayern“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/strahlenschutzvorsorge/index.htm>

1.3 Überwachung kerntechnischer Anlagen in Bayern nach REI

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) führt das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) die Aufsicht über die Einhaltung der Messprogramme nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)“ durch.

- Link zu „Die Umgebungsüberwachung der bayerischen kerntechnischen Anlagen“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/rei/index.htm>

1.3.1 Standorte kerntechnischer Anlagen in Bayern

In Bayern gibt es gegenwärtig sechs Standorte mit kerntechnischen Anlagen, an denen ein Umgebungsüberwachungsprogramm durchgeführt wird (siehe Tab. 1):

Tab. 1: Kerntechnische Anlagen in Bayern

Anlage	Typ / Jahr der Inbetriebnahme SWR: Siedewasserreaktor DWR: Druckwasserreaktor	Thermische Leistung [MW]
Kernkraftwerke Isar KKI 1 ¹ KKI 2	SWR (1977) DWR (1988)	2575 3950
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld KKG ²	DWR (1981)	3765
Kernkraftwerk Gundremmingen KGG Block B Block C	SWR - 72 (1984) SWR - 72 (1985)	3840 3840
Siemens AG Standort Karlstein SAGK	Umgang mit Kernbrennstoffen	
AREVA GmbH Forschungszentrum Erlangen-Süd FZE	Umgang mit Kernbrennstoffen	
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz FRM II	Schwimmbadreaktor (2004)	20

Die Kernkraftwerke Grafenrheinfeld, Gundremmingen, Isar 1 und Isar 2 sowie die Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz sind außerdem an das bayerische Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ) angeschlossen. Das KFÜ erfasst automatisch die Radioaktivität in und um die kerntechnischen Anlagen und übermittelt die Messdaten online an die Messnetzzentrale im LfU.

- Link zu „Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ)“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue/index.htm>

1.3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Bayern

An den Standorten der Kernkraftwerke Grafenrheinfeld, Gundremmingen und Isar wurden in den Jahren 2006 und 2007 die Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Betrieb genommen. Auch für diese Anlagen sieht die REI eine Überwachung der Umwelt vor.

¹ Seit 17.03.2011 ist KKI 1 im „Nicht-Leistungsbetrieb“.

² Seit 27.06.2015 ist KKG im „Nicht-Leistungsbetrieb“.

1.4 Veröffentlichung der Messergebnisse

Ergänzend zum Strahlenhygienischen Jahresbericht sind die im Rahmen der allgemeinen Umweltradioaktivitätsüberwachung und der Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern ermittelten Einzelmessergebnisse über Online-Suchabfragen einsehbar.

Die Daten der allgemeinen Umweltradioaktivität werden täglich aktualisiert.

- Link zu „Strahlenschutzvorsorge in Bayern – Messwerte“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/strvgprobe>

Die Ergebnisse aus der Umgebungsüberwachung nach REI können unter folgendem Link abgefragt werden. Diese werden mit dem entsprechenden Jahresbericht veröffentlicht.

- Link zu „REI Messdaten“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/reiprobe>

1.5 Allgemeines zum Bericht

Die in diesem Bericht am häufigsten genannten und nachgewiesenen radioaktiven Nuklide sind Cäsium-137 und Kalium-40. Des Weiteren die Nuklide Jod-131 und Strontium-90.

Cäsium-134 und Cäsium-137 sind Spaltprodukte, die bei der Kernspaltung entstehen. Durch den Reaktorunfall in Tschernobyl am 26. April 1986³ gelangten große Mengen dieser Nuklide in die Umwelt. Während Cäsium-134 mit einer Halbwertszeit von rund zwei Jahren heute praktisch nicht mehr nachweisbar ist, findet sich Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von rund 30 Jahren noch in einer Vielzahl der untersuchten Proben.

Strontium-90 mit einer Halbwertszeit von knapp 29 Jahren tritt zumeist als sog. sekundäres Spaltprodukt auf. Es entsteht innerhalb weniger Minuten durch mehrfachen Zerfall aus primären Spaltprodukten. Es wurde in größeren Mengen vor allem bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl und bei den oberirdischen Kernwaffentests freigesetzt⁴. Auf die Kernwaffenversuche sind auch die vereinzelt nachgewiesenen Aktivitäten von Plutonium zurückzuführen.

Jod-131 mit einer Halbwertszeit von 8 Tagen entsteht ebenfalls bei der Kernspaltung. Die größten Freisetzungen sind jedoch der Medizin zuzuordnen, die Jod-131 im Bereich der Diagnostik und Therapie von Schilddrüsenerkrankungen einsetzt. Mit den Ausscheidungen der Patienten, deren maximale Entlassungsaktivität $2,5 \times 10^8$ Bq beträgt, gelangt Jod-131 über die Kanalisation in die Umwelt.

Kalium ist eines der am häufigsten in der Erdkruste natürlich vorkommenden Elemente und hat eine wichtige Funktion in pflanzlichen und tierischen Zellen. Somit ist Kalium praktisch überall zu finden. Da die Organismen nicht zwischen stabilen und nichtstabilen Isotopen unterscheiden können, ist auch das natürliche radioaktive Kalium-40 mit einer Halbwertszeit von über einer Milliarde Jahren in nahezu allen Proben nachweisbar.

³ Siehe auch: „30 Jahre nach Tschernobyl – was nach „einer Halbwertszeit“ bleibt“ → http://www.lfu.bayern.de/strahlung/tschernobyl_und_mehr/tschernobyl_bayern/index.htm

⁴ Freisetzungen: Tschernobyl: $1,0 \times 10^{16}$ Bq, Kernwaffen: 6×10^{17} Bq (aus „Radioaktivität in Lebensmitteln“, J. F. Diehl, 2003, WILEY-VCH)

2 Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität

2.1 Maßnahmen zur allgemeinen Überwachung

Das „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung - Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)“ regelt die Aufgaben des Bundes und der Länder zur Überwachung der Umweltradioaktivität. Gemäß § 2 StrVG ist der Bund zuständig für die großräumige Ermittlung der Radioaktivität

- in Luft und in Niederschlägen,
- in Bundeswasserstraßen,
- in Nord- und Ostsee sowie in Meeresorganismen,
- in der Bodenoberfläche sowie
- der Gamma-Ortsdosisleistung (äußere Strahlenbelastung).

§ 3 StrVG überträgt an die Länder die Überwachung der Umweltradioaktivität

- im Oberflächenwasser mit Schwebstoffen und Sediment (außer in Bundeswasserstraßen),
- in Grund- und Trinkwasser,
- in Lebens- und Futtermitteln,
- im Boden und in Pflanzen sowie
- in Abfällen.

Die Vorgehensweise bei der Durchführung der verschiedenen Messungen zur Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität wird in der „Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz“, sowie in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS)“ präzisiert.

Insbesondere regelt die AVV-IMIS

- die Anzahl der jährlich landesweit durchzuführenden stichprobenartigen Messungen,
- die anzuwendenden Messverfahren,
- die geforderten Nachweisgrenzen

und stellt Grundsätze für die Probenahme auf.

Nach einem für jedes Bundesland festgelegten Mengengerüst werden Lebensmittel, Futtermittel und weitere Umweltproben an vorher festgelegten Probenentnahme-Orten genommen. Dies bedeutet für Bayern, dass jährlich rund 1.500 Proben vom Bayerischen Landesamt für Umwelt routinemäßig untersucht werden. Die Messergebnisse dieser Umweltproben wurden im Hinblick auf die Wirkungswege der Radioaktivität auf die Bevölkerung in folgende Gruppen unterteilt:

- Expositionspfad Wasser
- Expositionspfad Ernährungskette Land
- Expositionspfad Ernährungskette Wasser sowie
- Reststoffe und Abfälle

Um den Qualitätsstandard über alle Messstellen im Bundesgebiet zu sichern und die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten, gibt die AVV-IMIS Nachweisgrenzen vor, welche bei den Messungen mindestens zu erreichen sind.

Nachweisgrenze (NWG)

Die Nachweisgrenze ist eine messtechnische Grenze, oberhalb derer ein Stoff oder Radioaktivität statistisch als vorhanden angesehen werden kann. Messwerte knapp oberhalb der Nachweisgrenze besitzen eine hohe Messunsicherheit.

2.2 Messergebnisse der allgemeinen Umweltradioaktivitätsüberwachung

2.2.1 Expositionspfad Wasser

Einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchungen im Expositionspfad Wasser gibt Abb. 2.

Nur in wenigen Proben von Oberflächenwasser konnte noch Cäsium-137 nachgewiesen werden. Anders verhält es sich bei den untersuchten Sediment- und Schwebstoffproben. Hier konnte Cäsium-137 in nahezu allen Proben nachgewiesen werden. Der Nuklideintrag in die Gewässersohle erfolgt durch Sedimentation infolge des Feststoffaustausches zwischen Schwebstoff- und Sedimentphase. Die dabei an der Gewässersohle abgelagerten Sedimente können aufgrund ihrer relativ langen mittleren Verweildauer und geringen Mobilität als Indikator für radioökologische Langzeitbeobachtungen eines Gewässers herangezogen werden.

Der einzelne Tritiumbefund im Bereich der Nachweisgrenze beruht mit hoher Wahrscheinlichkeit auf der Auswaschung von natürlichem Tritium aus der Atmosphäre. Als weitere Ursache können genehmigte Einleitungen nicht ausgeschlossen werden.

In den untersuchten Trink- und Grundwasserproben konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

Zur Untersuchung der Abwässer von Kläranlagen wurden gereinigte Abwässer (Klarwässer) stichprobenartig aus den Kläranlagen-Abläufen entnommen. In nur wenigen Abwasser-Proben konnte Jod-131 nachgewiesen werden. Dagegen war in fast allen Klärschlammproben Cäsium-137 und Jod-131 nachweisbar. Aufgrund der bekannten Anreicherung der Radionuklide im Klärschlamm ist dies jedoch zu erwarten.

Die überwachten Kläranlagen liegen im Einzugsbereich von Großkliniken mit Jodtherapiestationen oder von niedergelassenen Nuklearmedizinern. Deshalb ist es naheliegend, dass die gemessenen Jod-131-Aktivitäten auf Patienten zurückzuführen sind, deren Ausscheidungen mit dem häuslichen Abwasser in die öffentliche Kanalisation gelangen.

Ursache für die Tritiumbefunde in Deponiesickerwässern sind vermutlich in der Vergangenheit erfolgte Ablagerungen von Gebrauchsgütern und Industrieprodukten, wie Armbanduhren, Weckern, Kompassen oder ähnlichen Anzeigeeinstrumenten mit Leuchtziffern, die Tritium enthalten. Da Sickerwasser aus Deponien gesammelt und Kläranlagen zugeführt wird, ist eine Gefährdung des Grundwassers nicht zu befürchten.

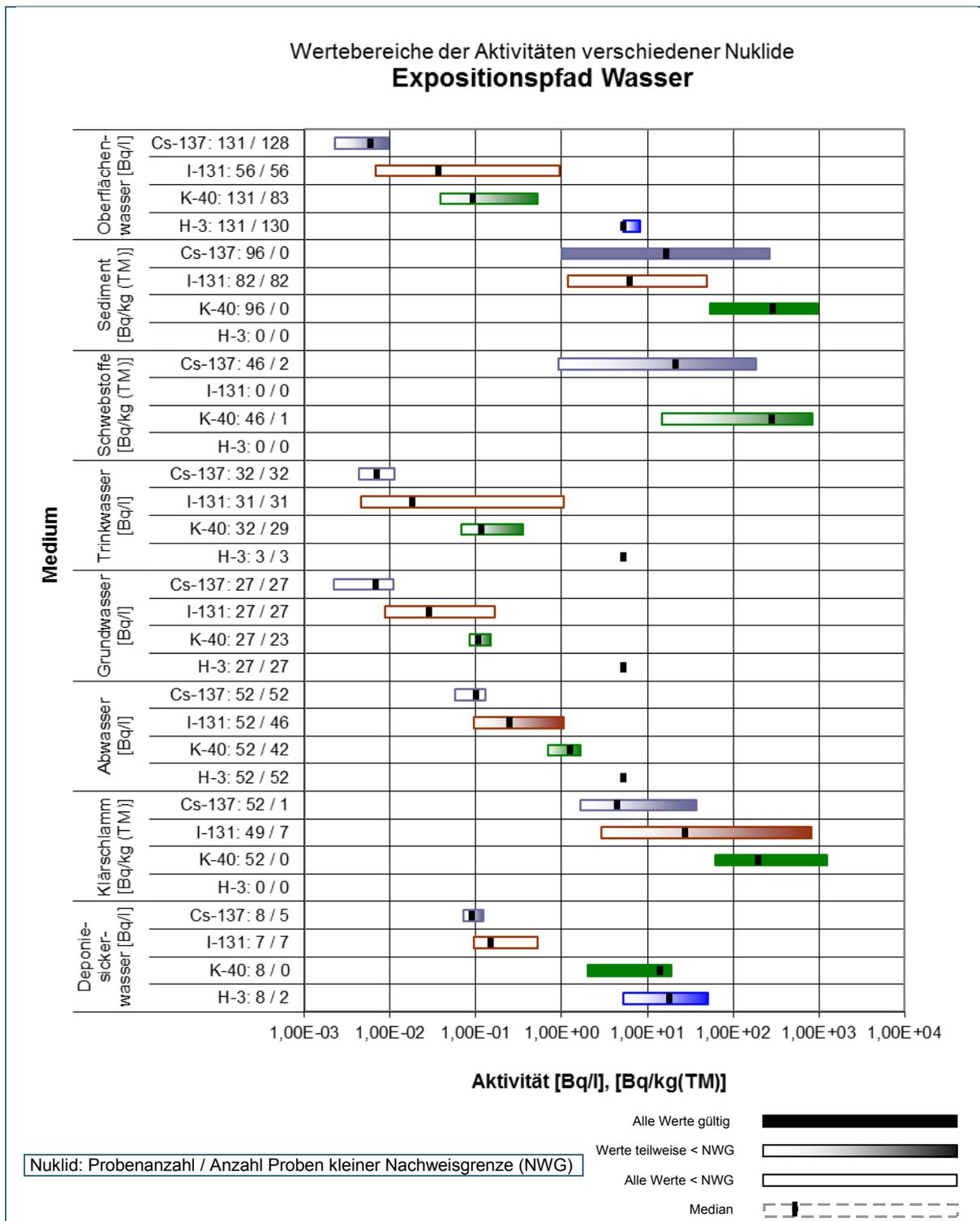


Abb. 2: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfad Wasser im Jahr 2015.

2.2.2 Expositionspfad Ernährungskette Land

Da die Kontamination als Folge der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in den Ackerböden langsam aber stetig abnimmt (Abb. 3), ist in pflanzlichen Lebensmitteln Cäsium-137 nur noch gelegentlich in Spuren nachzuweisen. Dies zeigt sich insbesondere bei Frischgemüse, Kartoffeln und Getreide (Abb. 4).

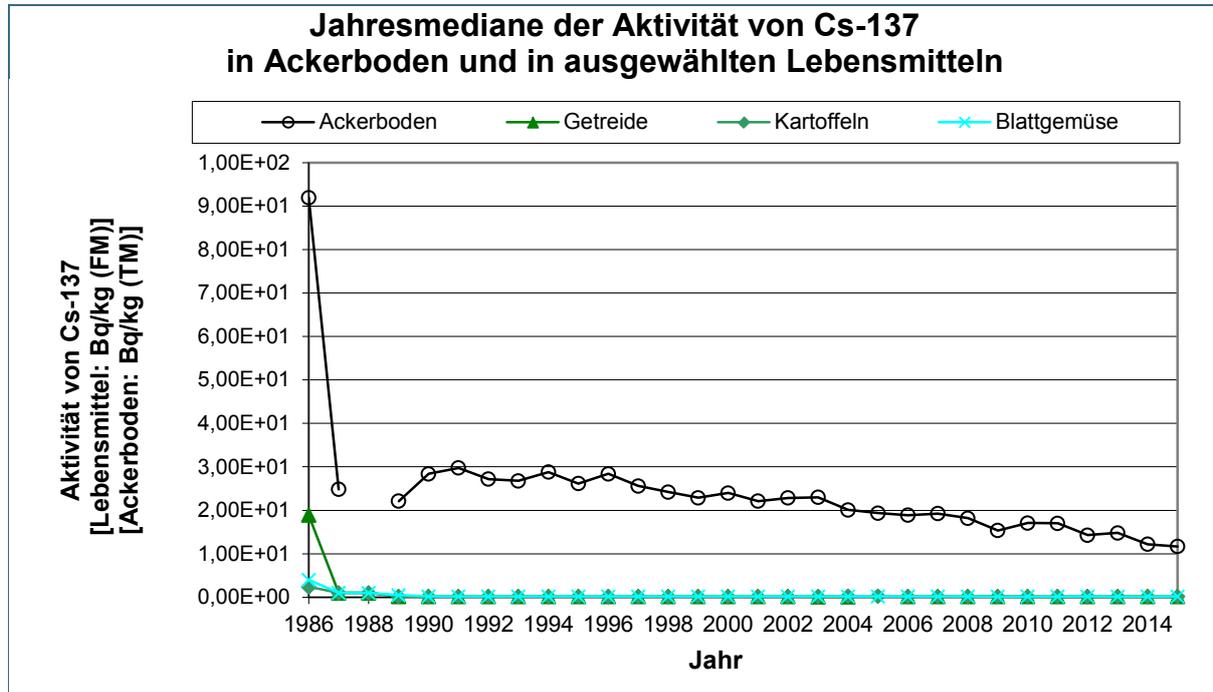


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor).

Eine Besonderheit stellen Lebensmittel aus dem Waldökosystem dar. Im Gegensatz zum Ackerboden findet im Waldboden keine Bodenbearbeitung und nur ein geringer Austrag durch die Entnahme von Pflanzen statt. Durch Laubfall und Verrottung abgestorbener Pflanzen wird aufgenommenes Cäsium wieder dem Boden zugeführt und kann erneut über die Wurzeln von Pflanzen aufgenommen werden. Dieser Kreislauf führt zu einer Rückführung von Cäsium in den Waldboden. Dies zeigt sich beispielsweise bei den Cäsium-137-Aktivitäten von Wildpilzen (Abb. 4).

Ein Teil der Proben wird stichprobenartig auch auf Strontium (Kernwaffenversuche/Tschernobyl) untersucht. Hierbei konnte in nahezu allen untersuchten Proben Strontium-90 nachgewiesen werden, welches wie Cäsium aus dem Boden über die Wurzeln in die Pflanze gelangt (Abb. 4).

Zusätzlich zu den Stichproben von einzelnen Lebensmitteln wird auch sogenannte Gesamt- und Kleinkindernahrung beprobt. Die Untersuchung von Gesamtnahrung, also verzehrsfertige Speisen und Getränke eines Tages aus der Gemeinschaftsverpflegung von Großküchen, ist von besonderem Interesse, da hierbei die Kontamination der Einzellebensmittel im Verhältnis zu den tatsächlich vom Menschen verzehrten Mengen ausgewertet wird. So kann ein Rückschluss auf die Strahlenexposition der Bevölkerung gezogen werden.

Höchstwerte nach der Verordnung (EG) Nr. 733/2008 für Drittlandserzeugnisse

Bei importierten landwirtschaftlichen Erzeugnissen gilt für Milch, Milcherzeugnisse und Lebensmittel für Kleinkinder eine maximale Aktivität von Cäsium von 370 Bq/kg (FM), für andere Erzeugnisse 600 Bq/kg (FM). Dieser Höchstwert wird in Deutschland auch für die Verkehrsfähigkeit von Wildbret verwendet.

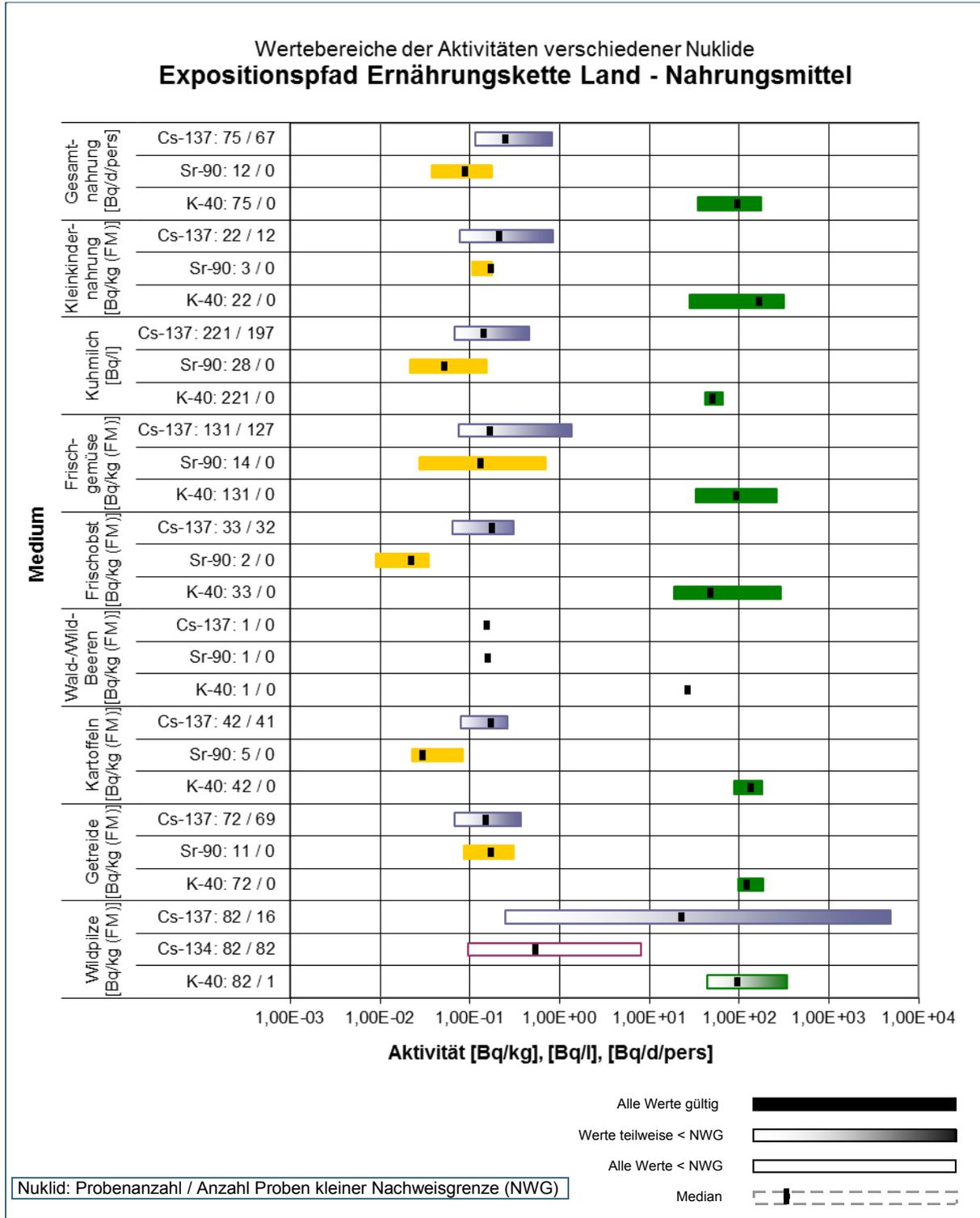


Abb. 4: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfad Ernährungskette Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2015.

Die unterschiedliche Belastung durch Cäsium-137 in Wald- und Ackerböden hat auch Auswirkungen auf die tierischen Lebensmittel (Abb. 5). Im Fleisch wildlebender Wald-Tiere ist die Aktivität von Cäsium-137 noch deutlich höher als im Fleisch der Nutztiere. Die bei Nutztieren nur noch in Spuren nachweisbaren Mengen an Cäsium-137 sind Folge nur gering belasteter Futtermittel (Abb. 6).

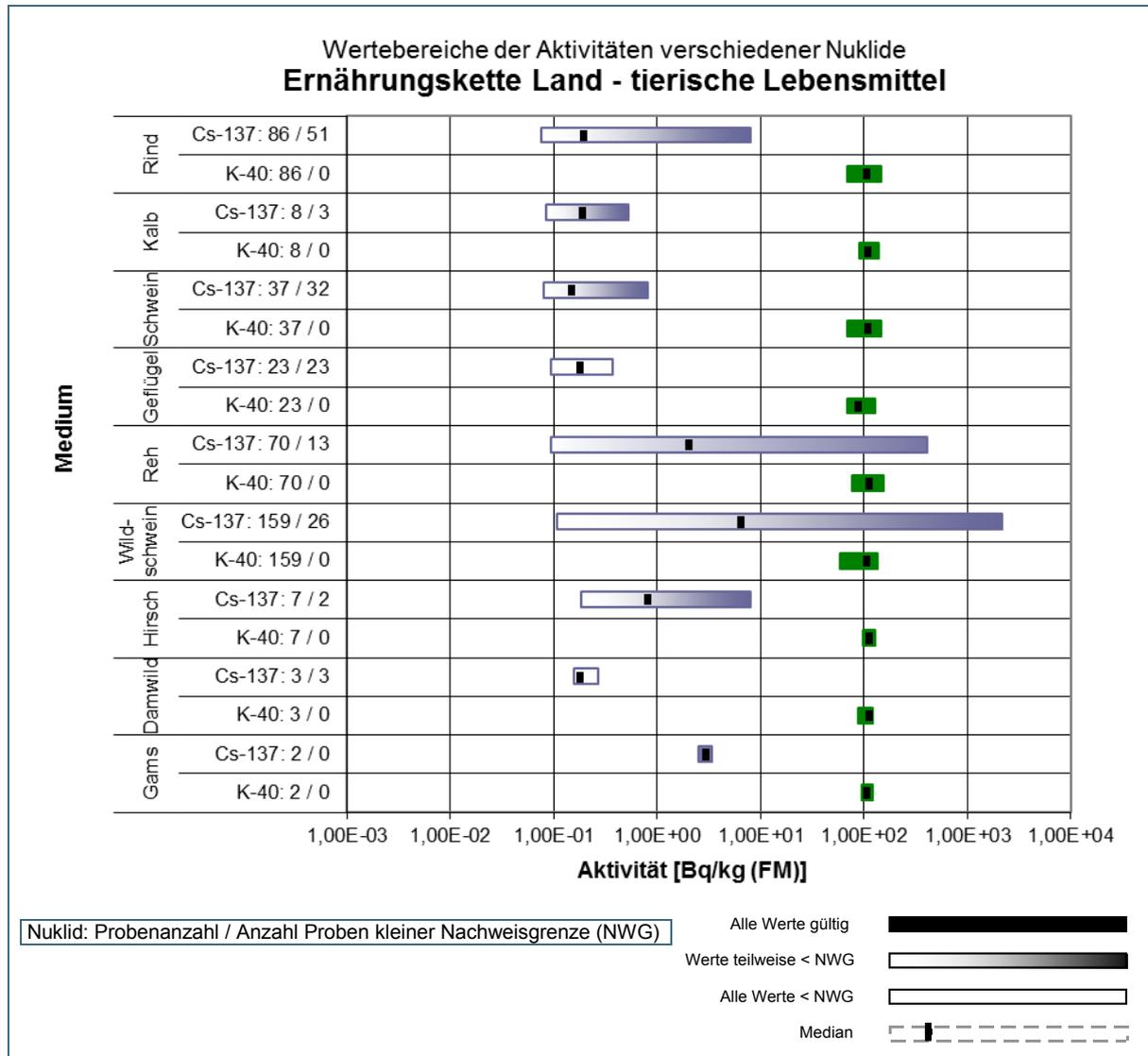


Abb. 5: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2015

Das für Wildfleisch vorliegende Datenmaterial zeigt teilweise noch deutlich erhöhte Aktivitäten von Cäsium-137. Die große Streubreite der Messergebnisse vor allem bei Wildschweinen ist auf verschiedene Bedingungen im Nahrungsangebot sowie die lokal unterschiedlichen Gegebenheiten zurückzuführen. Während sich Rehe und Hirsche fast ausschließlich von oberirdisch wachsenden Pflanzen ernähren, suchen Wildschweine ihre Nahrung je nach Jahreszeit vermehrt in der Humusschicht des Waldbodens und nehmen hierdurch verstärkt Cäsium auf.

Neben den Untersuchungen von Wildschweinen nach den Programmen des Bundes und des Landes führt das LfU auch Vergleichsmessungen zur Kontrolle der Messeinrichtungen der Qualifizierten Messstellen des Bayerischen Jagdverbandes und der Bayerischen Staatsforsten durch. Diese überprüfen in Eigenverantwortung die Verkehrsfähigkeit von Wildbret, weshalb diese Ergebnisse dem LfU nicht vorliegen. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen des LfU sind hier nicht wiedergegeben.

Zuständig für die Qualifizierung dieser Messstellen und die Überwachung zur Einhaltung der Höchstwerte für Lebensmittel im Allgemeinen ist das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL).

- Link zum Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) → <http://www.lgl.bayern.de/>

Entsprechend AVV-IMIS ist bei der Hälfte der Grasproben (Futtermittel) auch eine Untersuchung auf Strontium-90 vorzunehmen. Auch hier wurde in allen untersuchten Proben Strontium-90 nachgewiesen.

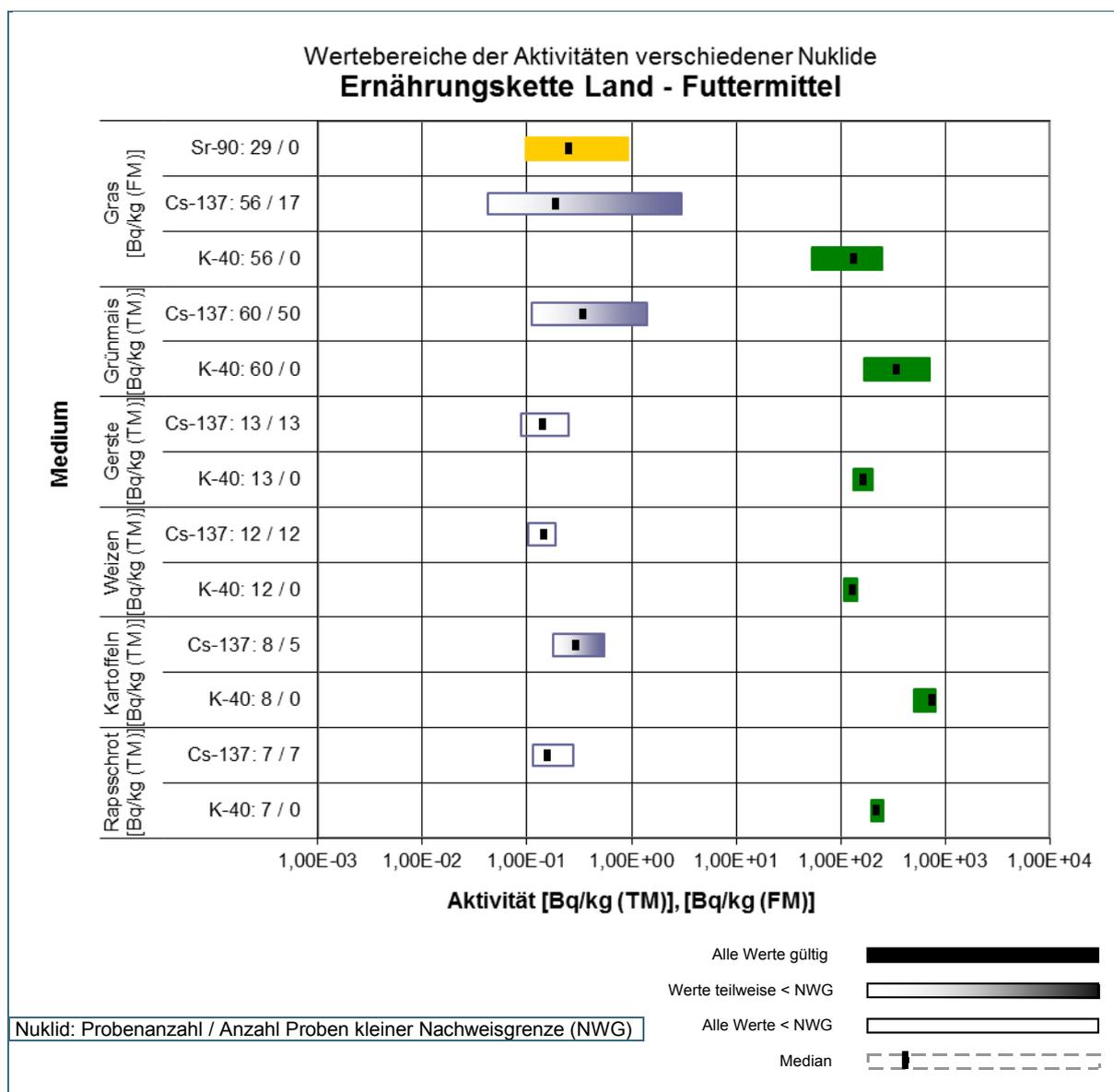


Abb. 6: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Futtermittel im Jahr 2015

2.2.3 Expositionspfad Ernährungskette Wasser

Im Jahr 1984 erfolgten im Programm zur Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität in Bayern erstmals Messungen zum Expositionspfad „Ernährungskette Wasser“ an Fischen. Dieser Bereich wurde 1986 auch in das StrVG mit übernommen und von den zuständigen Ländern beprobt (Abb. 7).

Die große Schwankung der Messergebnisse bei Cäsium-137 ist auf die besonderen örtlichen und morphologischen Gegebenheiten wie zum Beispiel Abflussschwankungen, Feststofftransport und Wasseraustauschzeiten der einzelnen Seen zurückzuführen. Die Wasseraustauschzeiten⁵ betragen beispielsweise für den Starnberger See rund zwanzig und für den Chiemsee rund ein Jahr. Entsprechend sind im Starnberger See höhere Konzentrationen von Radionukliden aus Tschernobyl zu erwarten. Dies zeigt sich in den Messergebnissen der Fische aus den genannten oberbayerischen Seen (Abb. 8).

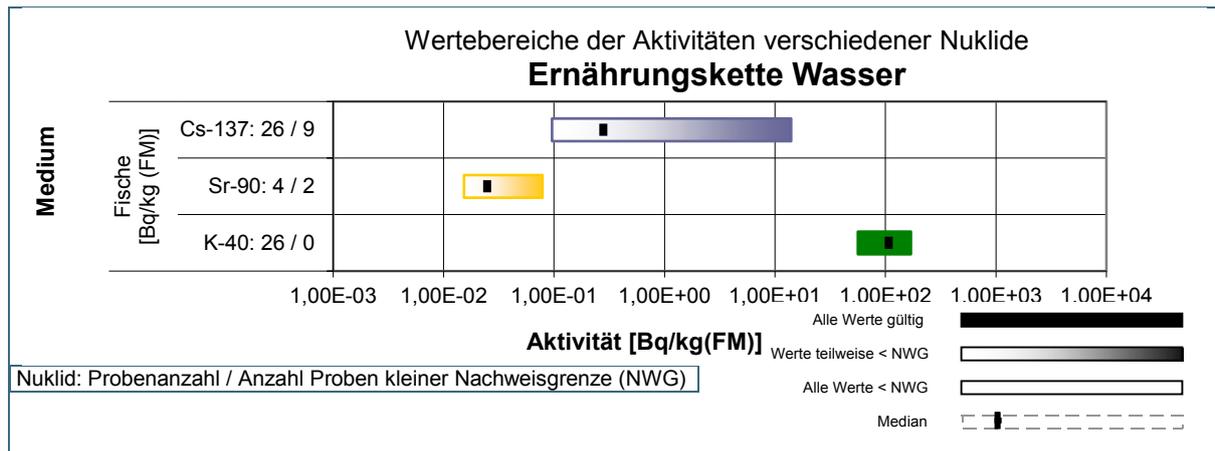


Abb. 7: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Wasser im Jahr 2015

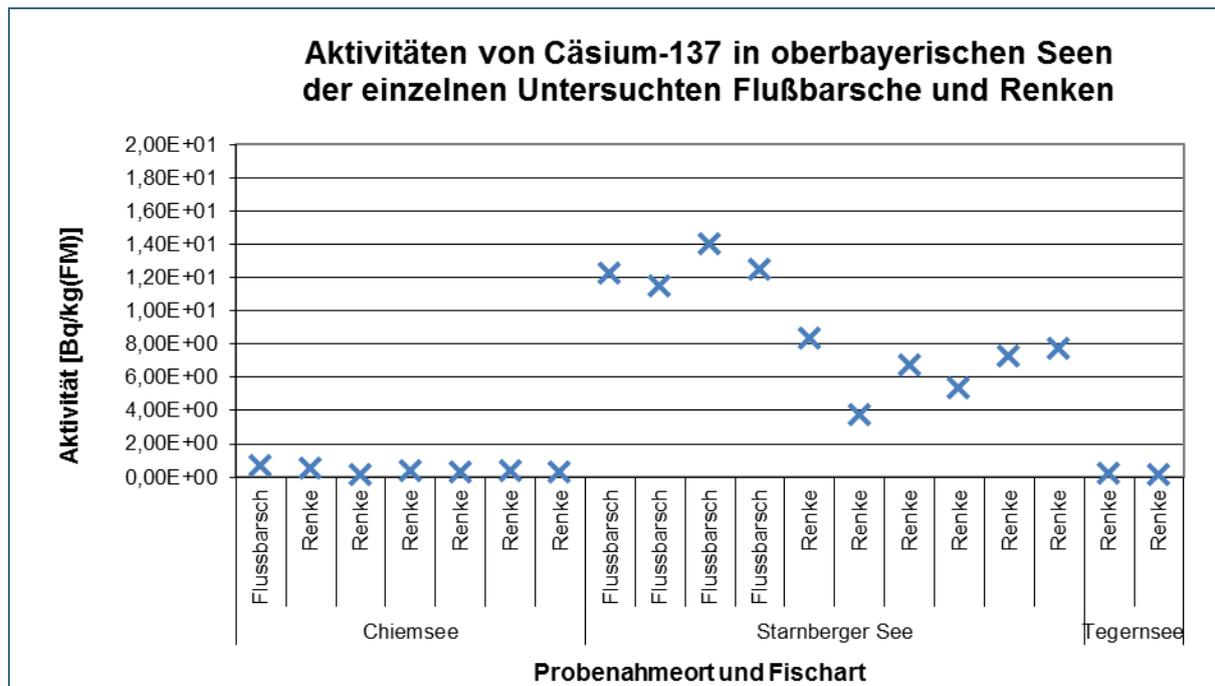


Abb. 8: Aktivitätsmesswerte (Cäsium-137) von 7 Flußbarschen und 14 Renken, die in den Jahren 2013 bis 2015 aus oberbayerischen Seen entnommen wurden

⁵ Quelle: 90 Jahre Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, Tätigkeitsbericht 1990, Kap. 11 Radiologie, S. 130-131

2.2.4 Reststoffe und Abfälle

Seit Juli 1986 gibt es in Bayern ein Sondermessprogramm zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes von Rückständen aus Müllverbrennungsanlagen, die zum Teil auch mit Klärschlamm beschickt werden. In der Übersicht (Abb. 9) sind die Ergebnisse von Messungen an Reststoffen dargestellt, die überwiegend als Rückstände anfallen und auf Reststoffdeponien gelagert werden. In diesen Rückständen werden Schadstoffe und auch Radionuklide angereichert.

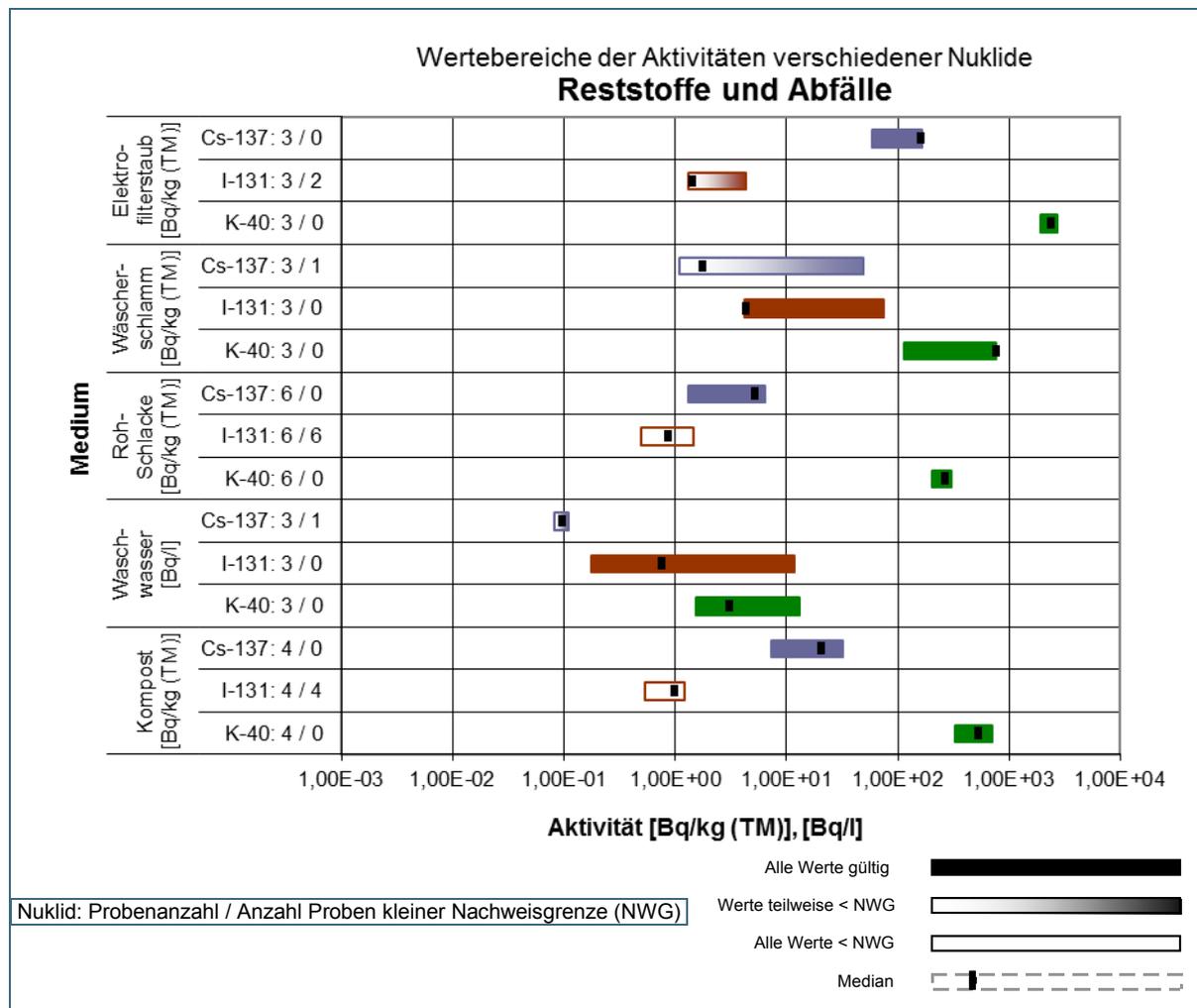


Abb. 9: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2015

Wie in den Umweltbereichen Abwasser und Klärschlamm wurde auch in den Rückständen aus Müll- bzw. Klärschlammverbrennungsanlagen Jod-131 nachgewiesen. In der Regel ist Jod-131 auf Anwendungen in der Nuklearmedizin zurückzuführen. Die Rückstände von Jod-131 in den Klärschlammverbrennungsanlagen stammen teils aus der Abwasserreinigung. Aber auch die direkte Verbrennung von Abfällen aus Kliniken mit nuklearmedizinischen Abteilungen kann zu messbaren Aktivitätswerten führen. Diesbezügliche Genehmigungen erlauben die Beseitigung radioaktiv kontaminierter Stoffe als konventionelle Abfälle (beispielsweise 2×10^6 Bq Jod-131 pro Tonne Abfall).

2.3 Zusammenfassende Bewertung der Messergebnisse

Die gemessenen Aktivitäten von Cäsium-137 in inländisch landwirtschaftlich erzeugten Nahrungsmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft weisen im Allgemeinen nur äußerst geringe Gehalte an künstlicher Radioaktivität auf.

Im Gegensatz dazu werden im Fleisch wildlebender Tiere (Wildschwein, Rehwild) zum Teil noch höhere Cäsium-137-Werte gemessen. Bei Wildpilzen treten ebenfalls noch erhöhte Cäsium-137-Werte auf.

Wildfleisch und Wildpilze gehören nicht zu den Grundnahrungsmitteln und werden im Regelfall nur in relativ geringen Mengen verzehrt. Gegen den gelegentlichen Verzehr bestehen aus strahlenhygienischer Sicht keine Bedenken.

In den untersuchten Schwebstoff-, Sediment- und Klärschlammproben wird aufgrund der bekannten Anreicherung in diesen Umweltbereichen noch regelmäßig Cäsium-137 nachgewiesen. Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin angewandte kurzlebige Radionuklid Jod-131 wird öfter in den Abwasser- und Klärschlammproben gefunden.

Fazit

Aufgrund der Messergebnisse der im Jahre 2015 untersuchten Proben kann geschlossen werden, dass aus strahlenhygienischer Sicht keine Beeinträchtigung für die Gesundheit der Bevölkerung vorliegt.

- Link zu „Tschernobyl – Auswirkungen auf Bayern“ → http://www.lfu.bayern.de/strahlung/tschernobyl_und_mehr/tschernobyl_bayern/index.htm

- Link zu „Strahlenschutzvorsorge in Bayern“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/strahlenschutzvorsorge/index.htm>

3 Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen in Bayern

3.1 Maßnahmen zur Umgebungsüberwachung

Die radiologische Überwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen wird in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)“ geregelt. In den Anhängen A bis D der Richtlinie werden die erforderlichen Überwachungsmaßnahmen präzisiert und in Tabellen aufgelistet. Dabei wird zwischen der Überwachung im sogenannten "bestimmungsgemäßen Betrieb" und im "Störfall/Unfall" unterschieden. Diese Überwachungsmaßnahmen erfolgen sowohl durch den jeweiligen Genehmigungsinhaber als auch durch unabhängige Messstellen.

In Bayern kommen für Kernkraftwerke und weitere genehmigungsbedürftige Anlagen folgende Tabellen im Anhang A der REI zur Anwendung:

- Tabelle A1: Maßnahmen des Genehmigungsinhabers im bestimmungsgemäßen Betrieb
- Tabelle A2: Maßnahmen der unabhängigen Messstelle im bestimmungsgemäßen Betrieb
- Tabelle A3: Maßnahmen des Genehmigungsinhabers im Störfall/Unfall
- Tabelle A4: Maßnahmen der unabhängigen Messstelle im Störfall/Unfall

Dabei verlangt die REI, dass Maßnahmen zur Umgebungsüberwachung bei einem Störfall oder Unfall regelmäßig geübt werden.

Die Umgebung der Zwischenlager für Brennelemente wird in Bayern gemäß folgender Tabellen im Anhang C1 der REI durchgeführt:

- Tabelle C1.1: Maßnahmen des Genehmigungsinhabers im bestimmungsgemäßen Betrieb
- Tabelle C1.2: Maßnahmen der unabhängigen Messstelle im bestimmungsgemäßen Betrieb

Die Maßnahmen im Störfall oder Unfall nach Anhang C1 der REI kommen in Bayern bei Brennelementzwischenlagern nicht zur Anwendung, da diese durch die REI-Tabellen A3 und A4 der entsprechenden Kernkraftwerke abgedeckt werden.

- Link zu „Auf welcher Grundlage wird die Umgebungsüberwachung durchgeführt?“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/rei/grundlage/index.htm>

- Link zu „Wer misst bei der Umgebungsüberwachung?“ → http://www.lfu.bayern.de/strahlung/rei/wer_misst/index.htm

Die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen umfasst zehn Umweltbereiche, die zu überwachen sind:

- Luft (01)
- Niederschlag (02)
- Boden (03)
- Pflanzen / Bewuchs (04)
- Futtermittel (05)
- Ernährungskette Land (06)
- Milch und Milchprodukte (07)
- Oberirdische Gewässer (08)
- Ernährungskette Wasser (09)
- Trink- und Grundwasser (10)

Laut REI soll bei der Aufstellung der Messprogramme der Grundsatz beachtet werden, dass vom Genehmigungsinhaber bevorzugt der Nahbereich der Umgebung und die Primärmedien (Luft, Wasser, Boden) zu überwachen sind. Von der unabhängigen Messstelle sind bevorzugt die weitere Umgebung und jene Medien, die am Ende der ökologischen Ketten stehen (Nahrungsmittel, Trinkwasser) zu überwachen. Grundsätzlich sind Proben unabhängig voneinander zu entnehmen. Aus Gründen der Kontrolle und zum Vergleich sind einzelne, ausgewählte Medien von beiden zu überwachen.

- Link zu „Wie und was wird bei der Umgebungsüberwachung gemessen?“ → http://www.lfu.bayern.de/strahlung/rei/wie_was_gemessen/index.htm

In Bayern gab es im Jahr 2015, wie in den Vorjahren, keinen „Störfall/Unfall“, der entsprechende Messungen gemäß REI erforderlich gemacht hätte. Daher werden im Folgenden nur Messergebnisse der Umgebungsüberwachung im bestimmungsgemäßen Betrieb dargestellt.

3.2 Messungen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen

3.2.1 Messungen nach Anhang A der REI – bestimmungsgemäßer Betrieb

3.2.1.1 Umweltbereich Luft (01)

Im Umweltbereich Luft werden zwei Aspekte betrachtet. Einmal die direkte Strahlung, die von einer Anlage ausgehen könnte und zum Zweiten die Strahlung durch radioaktive Partikel, welche mit der Luft transportiert werden.

In der näheren Umgebung der Kernkraftwerke und der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) sind je nach Anlage zwei oder drei Messhäuschen aufgestellt, in denen eine Messapparatur für die Gamma-Ortsdosisleistung und ein Probensammler für Aerosole und Jod untergebracht sind. Ergänzt werden diese Messungen durch das vom LfU betriebene Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ).

- Link zu „Kernreaktor-Fernüberwachungssystem“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue/index.htm>

Die Gamma-Ortsdosisleistung, also die aus Gammastrahlung resultierende Dosis pro Zeit, in Mikrosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$), wird kontinuierlich gemessen und ist mit einer sogenannten Alarmschwelle gekoppelt. Ein Alarm wird ausgelöst, sobald die gemessene Gamma-Ortsdosisleistung $0,25 \mu\text{Sv/h}$ erreicht. Eine Übersicht zu den Messergebnissen zeigt Abb. 10. Die angegebenen Minimal- und Maximalwerte sind Mittelwerte über zehn Minuten.

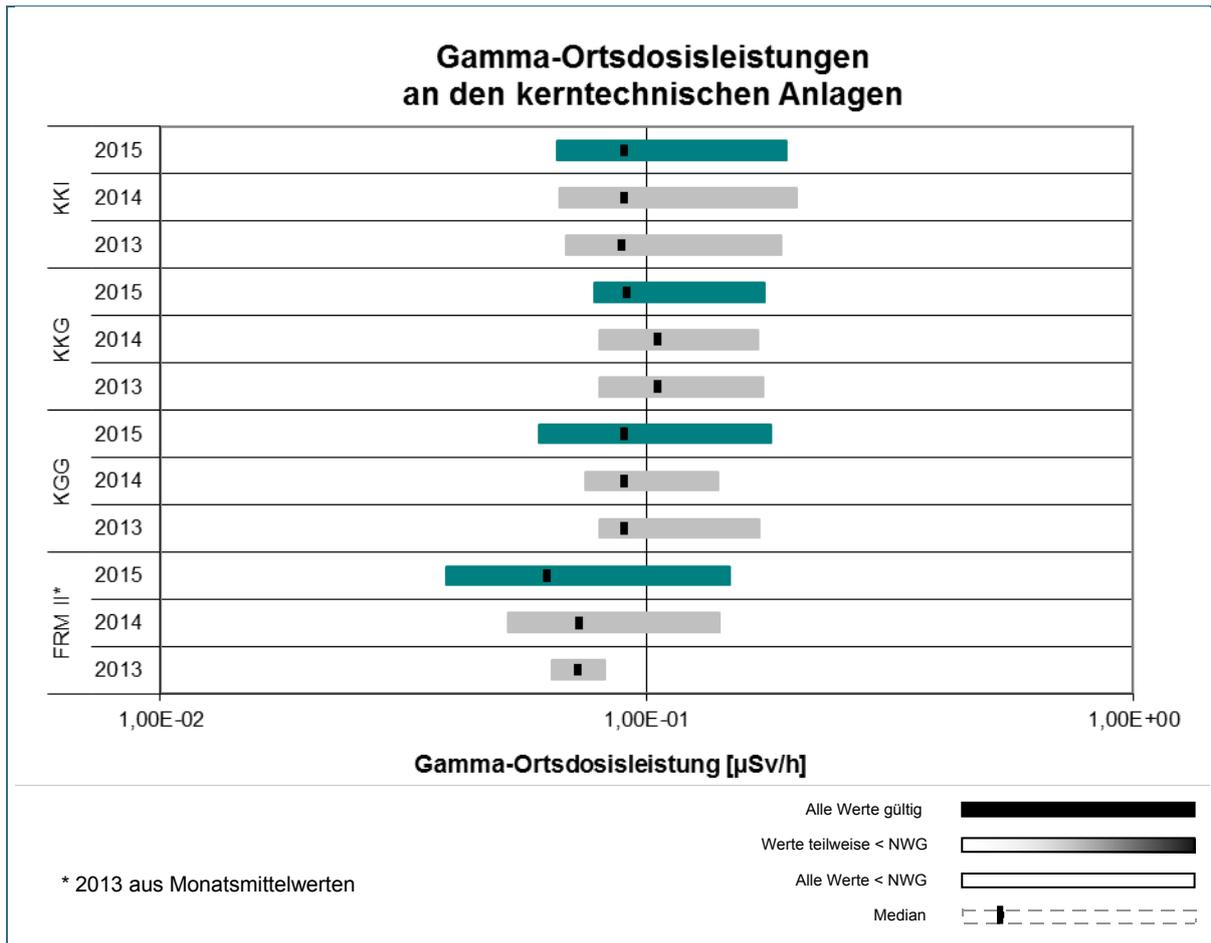


Abb. 10: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung an den kerntechnischen Anlagen (aus 10-Minuten-Messwerten) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1a im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013.

Zum Vergleich lassen sich die Messwerte der IfR -Stationen heranziehen, die verteilt in ganz Bayern errichtet sind. Im Jahr 2015 betrug der Mittelwert an diesen Stationen 0,10 µSv/h. Im Schwankungsbereich dieses Wertes lagen auch die Ergebnisse der Gamma-Ortsdosisleistung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen.

- Link zu „Immissionsmessnetz für Radioaktivität (IfR)“ → <http://www.lfu.bayern.de/strahlung/ifr/index.htm>

Zur natürlichen Umgebungsstrahlung tragen die kosmische Höhenstrahlung (Sonne, Weltall) und die Bodenstrahlung bei. Letztere entsteht durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe im Boden wie Kalium-40, Uran und Radon.

Die oben bereits genannten Probensammler für Aerosole und Jod verwenden spezielle Filter, durch die kontinuierlich Luft angesaugt wird. Diese Filter werden alle zwei Wochen gegen neue Filter ausgetauscht und im Labor ausgemessen. Die ausgewerteten Filter werden zusätzlich vierteljährlich von einer unabhängigen Messstelle nochmals gemessen. Bei keiner dieser Proben konnten Nuklide nachgewiesen werden, welche auf den Betrieb der Anlagen zurückgeführt werden können.

Die in der REI und in diesem Bericht als Gamma-Ortsdosis beschriebenen Werte sind eigentlich auch Dosisleistungen. Bei längeren Bezugszeiträumen (z. B. Jahr) ist es jedoch unüblich von Dosisleistung zu sprechen. Die Gamma-Ortsdosis wird mit Dosimetern bestimmt, welche integral (addierend) die Dosisbeiträge erfassen. Sie werden jeweils für ein Jahr in der Umgebung der Anlage, vom Anlagen-

3.2.1.2 Umweltbereich Niederschlag (02)

In der Luft befindliche radioaktive Stoffe bzw. Partikel können mit dem Niederschlag ausgewaschen werden (Washout-Effekt). Daher wird je nach Anlage an bis zu drei Orten in der Umgebung kontinuierlich der Niederschlag gesammelt und monatlich gammaspectrometrisch untersucht (Tab. 2). Die drei untersuchten Proben eines Quartals werden anschließend von einer unabhängigen Messstelle noch einmal als Mischprobe analysiert (Tab. 3).

Der gesammelte Niederschlag am Standort der AREVA in Erlangen wird zusätzlich auf alphastrahlende Nuklide untersucht. Dabei konnten keine künstlichen radioaktiven Substanzen nachgewiesen werden.

Die Untersuchung auf Tritium gehört bei der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) zum Pflichtprogramm, da der stillgelegte Forschungsreaktor München (FRM) noch Tritium enthält und die Umgebungsüberwachung des FRM II auch den FRM abdeckt. Wie in den Vorjahren auch wurde am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ Tritium nachgewiesen. Diese Werte (Tab. 4) sind auf den Washout-Effekt von tritiumhaltigem Wasserdampf aus der Abluft des FRM (Kaminhöhe 5,5 m) zurückzuführen (vgl. Abb. 12).

Tab. 2: Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A1, Punkt 2.0 (Betreiber) im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/m ²]	Minimum 2015 [Bq/m ²]	Maximum 2015 [Bq/m ²]	Median* 2014 [Bq/m ²]	Median* 2013 [Bq/m ²]
Kernkraftwerke Isar							
Co-60	36	36					
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Co-60	24	24					
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	24	24					
Co-60	24	24					
K-40	24	24					< 2,8E+01
AREVA Erlangen							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	3	< 6,4E+01	3,4E+01	< 1,7E+02	6,7E+01	< 1,2E+02
Cm-243/244	4	4					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4					
Pu-239/240	4	4					
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
C-14	24	24					
H-3	36	19	6,6E+02	< 7,2E+01	1,5E+04	5,4E+02	< 6,3E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 3: Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A2, Punkt 2.0 (Unabhängige Messstelle) im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/m ²]	Minimum 2015 [Bq/m ²]	Maximum 2015 [Bq/m ²]	Median* 2014 [Bq/m ²]	Median* 2013 [Bq/m ²]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	12					
Co-60	12	12					
K-40	12	4	9,3E+00	4,1E+00	2,3E+01	< 9,0E+00	< 9,3E+00
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	8	8					
Co-60	8	8					
K-40	8	8					
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	8	8					
Cs-134	8	8					
Co-60	8	8					
K-40	8	6	< 6,0E+00	3,4E+00	2,0E+01		
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	8	8					< 4,9E+00
Co-60	8	8					
C-14	8	8				< 1,8E+01	
H-3	12	4	1,4E+03**	< 4,0E+02**	1,8E+04**	1,3E+03**	1,1E+03**

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

**Der Niederschlag wird als Deposition angegeben, daher entspricht der Messwert der unabhängigen Messstelle je nach Messgenauigkeit ungefähr der Summe der 3 zugehörigen Monatsproben des Betreibers.

Tab. 4: Ergebnisse der Tritiumuntersuchung am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ nach REI Tabelle A1, Punkt 2.0 und Tabelle A2, Punkt 2.0 des FRM II im Jahr 2015

Monat	Genehmigungsinhaber Messwert [Bq/m ²]	Genehmigungsinhaber Quartal berechnet [Bq/m ²]	Unabhängige Messstelle Messwert [Bq/m ²]
Januar	9,3E+03	1,7E+04	1,8E+04
Februar	2,5E+03		
März	5,4E+03		
April	3,3E+03	1,9E+04	1,8E+04
Mai	9,4E+03		
Juni	6,8E+03		
Juli	9,3E+02	6,9E+03	8,1E+03
August	3,1E+03		
September	2,9E+03		
Oktober	4,4E+03	8,2E+03	8,4E+03
November	2,5E+03		
Dezember	1,3E+03		

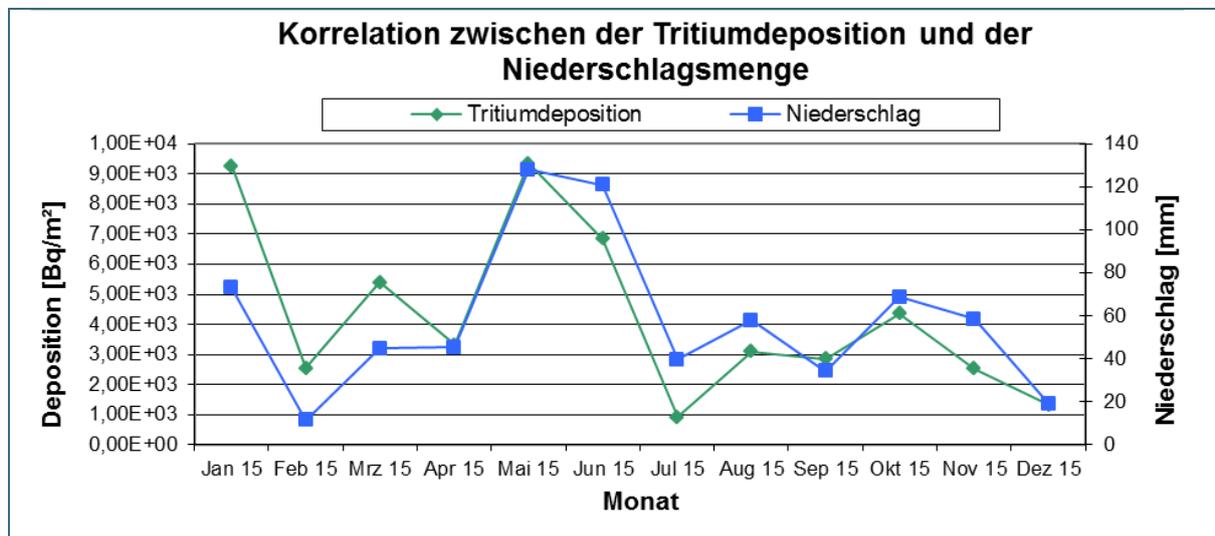


Abb. 12: Vergleich der Messwerte von Tritium und der Niederschlagsmenge am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz im Jahr 2015

3.2.1.3 Umweltbereich Boden (03)

An bis zu sechs Standorten je Anlage wird der Boden auf Radionuklide untersucht. Hierbei beproben sowohl die Betreiber der kerntechnischen Anlagen als auch die unabhängigen Messstellen Standorte entsprechend den hauptsächlich vorherrschenden Windrichtungen und je einen Referenzstandort in der Umgebung der Anlagen. Diese Untersuchungen finden halbjährlich statt.

In den Bodenproben aus der Umgebung der überwachten Anlagen wurden keine Radionuklide gefunden, die auf deren Betrieb zurückzuführen sind (Tab. 5). Die Messwerte von Cäsium-137 können durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl erklärt werden und liegen im Bereich der Vorjahreswerte.

Ergänzend zu den gammaspektrometrischen Untersuchungen wird bei den Anlagen der AREVA in Erlangen und der Siemens AG in Karlstein der Boden auch auf Alphastrahler untersucht. Auch hierbei konnten keine Radionuklide gefunden werden, die auf den Betrieb der Anlagen zurückzuführen sind.

Tab. 5: Übersicht über die Aktivitäten in Boden nach REI, Tabelle A1, Punkt 3.0 und Tabelle A2, Punkt 3.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]	Median* 2013 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	0	3,9E+01	9,6E+00	5,0E+01	3,1E+01	4,1E+01
Co-60	12	12					
K-40	12	0	2,4E+02	1,5E+02	5,3E+02	2,4E+02	2,4E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	10	0	4,6E+00	3,8E+00	8,5E+00	4,6E+00	4,3E+00
Co-60	10	10					
K-40	10	0	6,2E+02	5,0E+02	8,1E+02	6,6E+02	6,8E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	10	0	3,2E+01	2,5E+01	6,1E+01	3,3E+01	2,9E+01
Co-60	10	10					
K-40	10	0	3,7E+02	2,2E+02	5,4E+02	3,9E+02	3,6E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	0	9,3E+00	9,3E+00	9,3E+00	4,5E+00	1,0E+01
Co-60	2	2					
K-40	1	0	6,4E+02	6,4E+02	6,4E+02	4,6E+02	4,8E+02
Am-241	1	1					
AREVA Erlangen							
Cs-137	4	0	1,2E+01	7,0E+00	3,2E+01	1,1E+01	1,1E+01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	5,9E+02	4,2E+02	8,0E+02	7,1E+02	6,4E+02
Cm-243/244	4	4					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4					
Pu-239/240	4	2				1,4E-01	
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	0	3,1E+01	2,8E+01	3,6E+01	5,2E+01	3,0E+01
Co-60	4	4					
K-40	2	0	1,6E+02	7,8E+01	1,8E+02	1,6E+02	1,6E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.4 Umweltbereich Pflanzen/Bewuchs (04)

Zur Erfassung von Kontaminationen und Anreicherungen durch die Ablagerung von Radionukliden, ist neben dem Boden auch der Bewuchs zu überwachen. Dabei sollen bevorzugt Pflanzen beprobt werden, die auch als Futtermittel dienen. Durch diese Forderung der REI, wird in Bayern als Bewuchs Gras beprobt. Die Proben werden vom Betreiber der Anlage meist halbjährlich an denselben Stellen und zum selben Zeitpunkt wie die Bodenproben entnommen.

Bei der Untersuchung der Pflanzen-/Bewuchsproben wurden keine Radionuklide, die aus dem Betrieb der Anlagen stammen, gefunden (Tab. 6). Das in den Bewuchsproben nachgewiesene Radionuklid Cäsium-137 ist auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen.

Tab. 6: Übersicht über die Aktivitäten in Pflanzen/Bewuchs nach REI, Tabelle A1, Punkt 4.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	4,1E-01	1,0E-01	1,2E+00	4,2E-01	4,0E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,2E+02	4,8E+01	2,1E+02	1,3E+02	1,6E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,6E+02	6,9E+01	2,6E+02	2,1E+02	1,6E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	0	1,4E-01	2,6E-02	2,4E-01	2,5E-01	2,7E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,4E+02	5,5E+01	1,6E+02	2,0E+02	1,8E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	1					
Co-60	1	1					
Am-241	1	1					
AREVA Erlangen							
Cs-137	2	0	6,0E-01	3,7E-01	8,2E-01	2,2E-01	
Co-60	2	2					
K-40	2	0	2,1E+02	1,3E+02	2,8E+02	1,8E+02	1,6E+02
Cm-243/244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	2					
Pu-238	2	2					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	2	1	7,9E-01	< 4,1E-01	1,2E+00	1,3E+00	
Co-60	2	2					
K-40	1	0	2,3E+02	1,7E+02	3,0E+02	3,5E+02	

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.5 Umweltbereich Futtermittel (05)

Wie im Umweltbereich Pflanzen/Bewuchs, welcher durch den Betreiber bearbeitet wird, werden auch von den unabhängigen Messstellen für den Umweltbereich Futtermittel Grasproben genommen. Diese Proben werden ebenfalls zumeist halbjährlich an denselben Stellen und zum selben Zeitpunkt wie die Bodenproben entnommen.

In den untersuchten Futtermitteln wurden keine Radionuklide, die aus dem Betrieb der Anlagen stammen, nachgewiesen (Tab. 7). Das in den Proben gemessene Radionuklid Cäsium-137 ist auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen.

Tab. 7: Übersicht über die Aktivitäten in Weide- und Wiesenbewuchs nach REI, Tabelle A2, Punkt 4.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	2,3E-01	6,7E-02	1,0E+00	1,5E-01	1,7E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,3E+02	7,4E+01	1,6E+02	1,5E+02	1,3E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	6	6					
Co-60	6	6					
K-40	6	0	2,3E+02	1,8E+02	2,9E+02	2,0E+02	2,4E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	0	1,1E-01	8,9E-02	3,3E-01	5,8E-01	2,5E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,3E+02	1,2E+02	1,6E+02	2,0E+02	1,2E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	1					2,3E-01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,9E+02	1,9E+02	1,9E+02	1,6E+02	3,2E+02
AREVA Erlangen							
Cs-137	2	1	1,4E-01	< 7,9E-02	2,1E-01	1,1E-01	2,8E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	2,5E+02	1,9E+02	3,1E+02	1,5E+02	2,2E+02
Cm-243/244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	2					
Pu-238	2	2					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	2	0	4,3E-01	3,1E-01	5,5E-01	9,1E-01	5,5E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	4,4E+02	1,6E+02	7,2E+02	1,9E+02	1,5E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.6 Umweltbereich Ernährungskette Land (06)

Die unabhängigen Messstellen untersuchen in der Umgebung meist halbjährlich an teilweise mehreren Standorten in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sogenannte erntefrische landwirtschaftliche Erzeugnisse, also Lebensmittel.

Radionuklide, die auf den Betrieb der Anlagen zurückzuführen sind, wurden nicht gefunden. Das nachgewiesene Strontium-90 ist auf den Fallout oberirdischer Kernwaffentests und den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen (Tab. 8, Tab. 9 und Tab. 10). Aus Letzterem stammt auch das nachgewiesene Cäsium-137.

Tab. 8: Übersicht über die Aktivitäten in Getreide nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	5	3	< 2,3E-02	1,9E-02	< 2,9E-02	2,7E-02	2,8E-02
Sr-90	5	3	< 1,4E-02	< 8,8E-03	1,5E-01	8,5E-02	6,8E-02
Co-60	5	5					
K-40	5	0	1,3E+02	9,4E+01	1,6E+02	1,2E+02	1,3E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,1E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	3	4,0E-02	< 2,8E-02	< 4,8E-02		
Sr-90	4	3	1,1E-02	< 6,1E-03	6,6E-02	9,5E-02	6,2E-02
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,2E+02	7,0E+01	1,6E+02	1,0E+02	1,1E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,4E-01	6,8E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 9: Übersicht über die Aktivitäten in Frischobst nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2					4,7E-02
Co-60	2	2					
K-40	2	0	7,6E+01	6,0E+01	9,2E+01	8,7E+01	6,7E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	1	4,9E-03	< 4,9E-03	5,0E-03	2,5E-02	2,1E-02
Co-60	2	2					
K-40	2	0	4,8E+01	4,5E+01	5,1E+01	4,0E+01	4,0E+01

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 10: Übersicht über die Aktivitäten in Frischgemüse nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	6,5E-02	6,5E-02	6,5E-02	6,0E-02	1,3E-01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	4,0E+01	4,0E+01	4,0E+01	4,5E+01	7,1E+01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	3	3					
Sr-90	3	2	< 3,9E-02	< 3,2E-02	5,3E-02	< 4,0E-02	4,6E-02
Co-60	3	3					
K-40	3	0	1,0E+02	5,4E+01	1,6E+02	7,8E+01	7,9E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	5,7E-02	5,7E-02	5,7E-02	4,6E-02	4,0E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	5,7E+01	5,7E+01	5,7E+01	1,0E+02	9,3E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1				7,2E-02	1,5E-01
Sr-90	1	0	5,9E-02	5,9E-02	5,9E-02	7,9E-02	7,4E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,2E+02	1,1E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.7 Umweltbereich Milch und Milchprodukte (07)

Während der Grünfütterzeit, von Mai bis Oktober, werden an bis zu drei Stellen pro Anlage monatlich Milchproben genommen und auf Jod untersucht. Zusätzlich wird eine Probe pro Halbjahr auf gammastrahlende Nuklide und Strontium getestet.

Das in den Vorjahren noch nachgewiesene Strontium-90 ist dem Fallout oberirdischer Kernwaffentests und dem Reaktorunfall in Tschernobyl zuzuordnen. Aus Letzterem stammt auch das Cäsium-137. Radionuklide, die auf den Betrieb der Anlagen zurückzuführen sind, konnten nicht nachgewiesen werden (Tab. 11).

Tab. 11: Übersicht über die Aktivitäten in Milch nach REI, Tabelle A2, Punkt 6.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/l]	Minimum 2015 [Bq/l]	Maximum 2015 [Bq/l]	Median* 2014 [Bq/l]	Median* 2013 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	0	4,9E-02	2,1E-02	5,7E-02	4,7E-02	4,1E-02
I-131	12	12					
Sr-90	4	4				< 9,8E-03	
Co-60	4	4					
K-40	4	0	4,9E+01	4,7E+01	5,0E+01	5,1E+01	5,0E+01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	6	6					
I-131	18	18					
Sr-90	6	6					< 2,0E-02
Co-60	6	6					
K-40	6	0	4,8E+01	4,5E+01	4,9E+01	5,2E+01	4,8E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	1	1,8E-02	1,3E-02	4,0E-02	2,1E-02	3,5E-02
I-131	18	18					
Sr-90	6	6				< 1,5E-02	
Co-60	6	6					
K-40	6	0	5,0E+01	4,7E+01	5,2E+01	5,1E+01	5,1E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	2	0	4,8E-02	4,4E-02	5,3E-02	4,5E-02	3,9E-02
Sr-90	2	2					2,2E-02
Co-60	2	2					
K-40	2	0	5,0E+01	4,9E+01	5,0E+01	4,6E+01	5,0E+01

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.8 Umweltbereich Oberirdische Gewässer (08)

Vor und nach den Einleitstellen kerntechnischer Anlagen werden die oberirdischen Gewässer quasi-kontinuierlich beprobt. Die durch die Probenentnahme entstandenen Mischproben werden vierteljährlich auf gammastrahlende Nuklide und Tritium untersucht. An den Standorten der Siemens AG in Karlstein und der AREVA in Erlangen, welche nicht direkt in ein Gewässer einleiten, wird das Abwasser vor der Einleitung in das örtliche Kanalnetz getestet. Bei diesen beiden Anlagen werden diese Abwässer zusätzlich auf alphastrahlende Nuklide untersucht.

Vor allem in den Rückgabekanälen konnten teilweise Nuklide gefunden werden, welche im Rahmen der genehmigten Ableitungen (siehe Kap. 3.4) abgegeben wurden (Tab. 12).

Tab. 12: Übersicht über die Aktivitäten in Oberflächenwasser nach REI, Tabellen A1, Punkt 5.0 und Tabelle A2, Punkt 7.1 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/l]	Minimum 2015 [Bq/l]	Maximum 2015 [Bq/l]	Median* 2014 [Bq/l]	Median* 2013 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
K-40	12	2	9,5E-02	4,9E-02	1,1E-01	7,3E-02	1,0E-01
H-3	24	16	< 7,4E+00	< 3,0E+00	2,6E+02	< 8,5E+00	< 8,3E+00
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
K-40	12	11	< 3,9E-01	< 3,3E-01	< 1,3E+00	< 3,9E-01	3,5E-01
H-3	24	16	< 1,0E+01	< 6,8E+00	7,9E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	40	36	< 1,8E-02	< 2,1E-03	< 3,4E-02	1,8E-02	
Co-60	40	36	< 1,7E-02	< 1,8E-03	< 3,4E-02	1,9E-02	< 1,8E-02
K-40	40	21	3,9E-01	< 5,7E-02	< 4,8E-01	3,6E-01	3,5E-01
H-3	40	32	< 5,9E+00	< 3,0E+00	1,5E+02	< 6,3E+00	< 5,9E+00
Siemens AG Karlstein**							
Cs-137	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	8,1E-01	8,1E-01	8,1E-01	8,8E-01	****
H-3	1	1					
AREVA Erlangen***							
Cs-137	4	4					
I-131	3	0	1,8E-01	1,3E-01	2,1E-01	1,9E-01	
Co-60	4	4					
K-40	4	0	5,5E-01	3,1E-01	1,0E+00	3,3E-01	****
Cm-244	4	4					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4				1,4E-03	
Pu-239/240	4	4				7,8E-04	
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	20	20					
Co-60	20	19	< 5,8E-03	< 4,3E-03	< 5,0E-02	< 5,7E-03	
K-40	20	12	1,1E-01	7,8E-02	1,4E+00	< 8,7E-02	****
C-14	20	20				< 1,1E-01	
H-3	20	12	< 3,0E+00	< 3,0E+00	1,3E+02	< 3,0E+00	< 3,8E+00
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	2					
Pu-238	2	2					

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

**Abwasser bei Übergabe an das Kanalnetz

***Abwasser bei Übergabe an das Kanalnetz und aus Kläranlage

****Keine Daten vorhanden

In diesem Umweltbereich wird nicht nur das Wasser, sondern auch das Sediment untersucht. Dieses wird in sogenannten Sedimentsammelkästen kontinuierlich gesammelt und ebenfalls vierteljährlich ausgemessen.

Bei den Anlagen der Siemens AG in Karlstein und der AREVA in Erlangen, die in das örtliche Kanalnetz ableiten, befinden sich diese Sammelkästen vor der Übergabe an das öffentliche Kanalnetz. Dort wird sogenanntes Kanalsediment beprobt.

Durch die bekannte Anreicherung in den Sedimenten konnten teilweise Nuklide aus der genehmigten Ableitung nachgewiesen werden (Tab. 13). Die aus den gemessenen Aktivitäten resultierende Dosis unterschreitet den Dosisgrenzwert nach § 47 der Strahlenschutzverordnung bei weitem.

Tab. 13: Übersicht über die Aktivitäten in Sediment nach REI, Tabelle A2, Punkt 7.2 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]	Median* 2013 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	8	0	3,3E+01	2,1E+01	3,8E+01	3,2E+01	3,6E+01
I-131	3	0	2,9E+01	2,8E+01	5,4E+01	2,5E+01	1,7E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	2,7E+02	2,2E+02	3,0E+02	2,6E+02	2,7E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	8	0	2,0E+01	1,8E+01	2,4E+01	2,1E+01	2,0E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	7,6E+02	6,4E+02	8,1E+02	7,5E+02	7,7E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	12	0	3,7E+01	1,2E+01	7,5E+01	4,4E+01	3,5E+01
I-131	2	0	2,2E+01	2,2E+01	2,2E+01	3,5E+01	
Co-60	12	9	< 3,3E-01	< 1,2E-01	3,1E+00	< 4,9E-01	< 3,4E-01
Mn-54	2	0	4,5E-01	2,0E-01	7,0E-01	7,0E-01	3,6E-01
K-40	12	0	3,4E+02	3,2E+02	3,9E+02	3,4E+02	4,5E+02
Siemens AG Karlstein**							
Cs-137	3	0	7,0E-01	3,0E-01	2,8E+00	7,2E-01	9,0E-01
I-131	0	0				5,2E+01	
Co-60	3	3					
K-40	3	0	3,6E+02	1,1E+02	5,5E+02	3,1E+02	3,6E+02
AREVA Erlangen***							
Cs-137	10	0	3,8E+00	1,7E+00	7,4E+00	4,1E+00	4,1E+00
I-131	3	0	2,0E+01	6,1E+00	2,1E+01	1,2E+01	
Co-60	10	5	9,6E-01	< 4,6E-01	7,1E+00	< 4,9E-01	< 7,5E-01
K-40	10	0	5,1E+02	1,5E+02	6,6E+02	5,4E+02	4,4E+02
Cm-244	6	6					
Cm-243/244	4	4					
Cm-242	10	10					
Am-241	10	7	< 1,2E-01	< 7,3E-02	7,9E-01	< 1,0E-01	
Pu-239/240	10	8	< 1,8E-01	< 1,1E-01	2,7E-01	< 1,1E-01	2,6E-01
Pu-238	10	10					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	12	0	8,1E+00	3,5E+00	2,4E+01	1,1E+01	6,3E+00
I-131	1	0	3,5E+00	3,5E+00	3,5E+00	3,7E+01	
Co-60	12	11	< 1,0E-01	< 7,7E-02	4,8E-01	< 1,2E-01	
K-40	12	0	1,2E+02	8,2E+01	3,1E+02	1,3E+02	1,3E+02
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	1	3,2E-01	1,8E-01	4,5E-01		
Pu-238	2	2					

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

**Klärschlamm bzw. Kanalsediment.

***Klärschlamm bzw. Kanalsediment; enthält als Sonderprogramm den Punkt A.1:7.2 als Untersuchung des Betreibers.

3.2.1.9 Umweltbereich Ernährungskette Wasser (09)

Die unabhängigen Messstellen untersuchen in den Gewässern meist halbjährlich an teilweise mehreren Orten in der Nähe der Einleitungen kerntechnischer Anlagen auch die Ernährungskette über den Wasserpfad. Hierzu zählen Fische und Wasserpflanzen.

Durch die bekannte Anreicherung in Wasserpflanzen konnten hier teilweise künstliche Nuklide nachgewiesen werden (Tab. 14), die von den genehmigten Ableitungen herrühren. Bei den Fischen waren in keiner Probe künstliche Radionuklide nachweisbar, welche auf den Betrieb der kerntechnischen Anlagen zurückzuführen sind (Tab. 15). Die aus den gemessenen Aktivitäten resultierende Dosis unterschreitet den Dosisgrenzwert nach § 47 der Strahlenschutzverordnung bei weitem. Das Cäsium-137 in beiden Tabellen ist auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen, Jod-131 auf medizinische Anwendungen.

Tab. 14: Übersicht über die Aktivitäten in Wasserpflanzen im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]	Median* 2013 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	0	7,0E+00	7,0E+00	7,0E+00	7,8E+00	1,9E+01
I-131	1	0	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	5,0E+01	1,5E+01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	3,1E+02	3,1E+02	3,1E+02	3,6E+02	3,5E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	0	4,3E+00	1,6E+00	7,0E+00	3,0E+00	1,8E+00
I-131	2	0	2,8E+00	2,2E+00	3,3E+00	2,9E+00	
Co-60	2	0	4,7E-01	4,6E-01	4,7E-01	3,0E-01	5,2E-01
K-40	2	0	9,5E+02	9,4E+02	9,5E+02	9,4E+02	7,9E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	0	6,6E+00	3,2E+00	1,0E+01	1,1E+00	1,6E+00
I-131	2	0	1,2E+00	1,0E+00	1,2E+00		
Co-60	2	2					
K-40	2	0	5,9E+02	5,0E+02		6,4E+02	5,4E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	0	9,3E+00	4,7E+00	1,0E+01	3,7E+00	4,2E+00
I-131	3	0	6,0E+00	8,3E-01	1,8E+02	2,6E+00	6,3E+00
Co-60	4	2	< 2,1E-01	1,54E-01	6,6E-01		
Mn-54	1	0	3,5E-01	3,5E-01	3,5E-01		
K-40	4	0	2,6E+02	1,7E+02	3,4E+02	5,3E+02	4,9E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 15: Übersicht über die Aktivitäten in Fischen nach REI, Tabelle A2, Punkt 8.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2015	Anzahl <NWG 2015	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2015 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]	Median* 2013 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	2	< 1,4E-01	1,4E-01	2,0E-01	1,6E-01	1,7E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,1E+02	8,6E+01	1,2E+02	1,1E+02	1,2E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	4	4					< 1,6E-01
Co-60	4	4					< 1,5E-01
K-40	4	0	1,4E+02	1,2E+02	1,4E+02	1,1E+02	1,2E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	0	2,1E-01	1,2E-01	4,6E-01	1,7E-01	2,0E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	9,2E+01	5,7E+01	1,2E+02	1,1E+02	1,1E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1				3,8E-01	1,9E-01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,4E+02

*Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

3.2.1.10 Umweltbereich Trink- und Grundwasser (10)

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen wird in der Regel vierteljährlich das Trink- und Grundwasser an bis zu 15 Stellen pro Anlage untersucht. Vereinzelt gibt es auch jährliche und halbjährliche Beprobungsintervalle. Diese Untersuchungen werden sowohl vom Betreiber (Tabelle A1, Punkt 6.0) als auch von der unabhängigen Messstelle (Tabelle A2, Punkt 9.0) durchgeführt.

In einem Fall konnte im Grundwasser Cäsium-137 in Spuren nachgewiesen werden.

3.2.2 Zusammenfassung REI – Tabellen A1 und A2

Bei den Untersuchungen nach der REI, Tabellen A1 (Betreiber) und A2 (unabhängige Messstellen) konnten vereinzelt Nuklide gefunden werden, welche auf den Betrieb der Anlagen zurückzuführen sind. Diese sind hauptsächlich im Wasserpfad und dort in den Rücklaufkanälen zu finden.

Während das Radionuklid Cäsium-137 auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen ist, stammen die Konzentrationen von Strontium-90 zusätzlich auch aus dem Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche.

Insgesamt ist eine Überschreitung der Grenzwerte nach § 47 der Strahlenschutzverordnung dabei auszuschließen.

Fazit

Aus den Ergebnissen der gemäß REI, Tabellen A1 und A2, durchgeführten Probenahmen und Messungen in der Umgebung der bayerischen kerntechnischen Anlagen ist eine Überschreitung der Grenzwerte nach § 47 der Strahlenschutzverordnung auszuschließen.

3.2.3 Messungen nach Anhang C1 der REI – Brennelementzwischenlager

Wie bei den kerntechnischen Anlagen wird auch bei den Brennelementzwischenlagern an den jeweiligen Standorten kontinuierlich die Gammastrahlung überwacht. Zusätzlich erfolgt auch eine Messung der Neutronenstrahlung. Die angegebenen Minimal- und Maximalwerte sind auch hier Mittelwerte über 10 Minuten. Die Messergebnisse der Ortsdosisleistungen zeigen, dass kein Einfluss der Zwischenlager auf die Umgebung nachweisbar ist (vgl. Abb. 13 und Abb. 14).

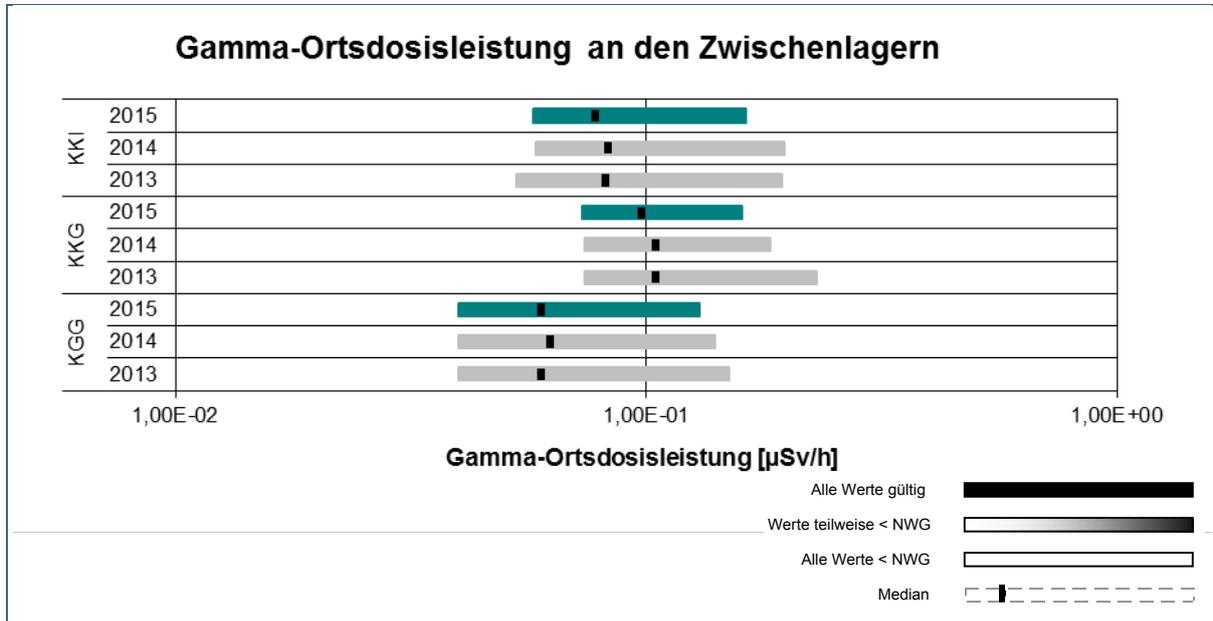


Abb. 13: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013

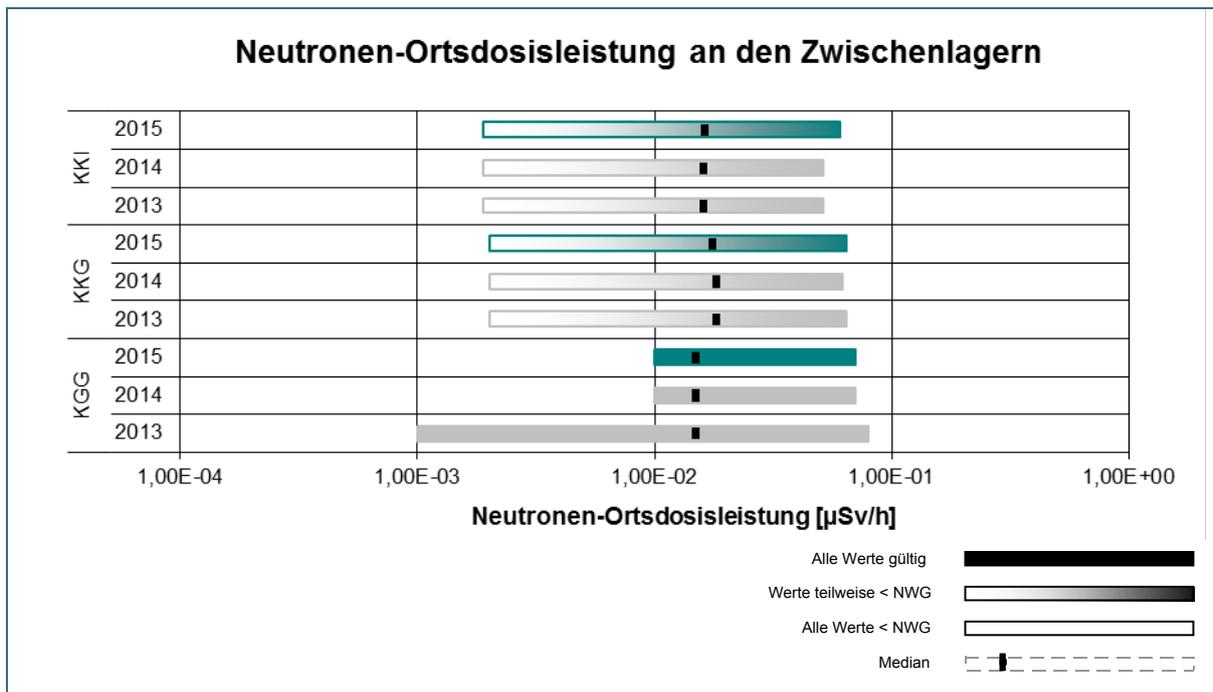


Abb. 14: Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013

3.3 Messungen der technischen Gewässeraufsicht

3.3.1 Vorbemerkungen

Abwassereinleitungen in Gewässer stellen nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) eine Benutzung dar, für die eine behördliche Erlaubnis zu erteilen ist. Genehmigungsbehörden sind die Kreisverwaltungsbehörden (KVB). In den von der KVB erteilten wasserrechtlichen Bescheiden sind Auflagen und Bedingungen für die Einleitung festgelegt. Für die Genehmigung der Einleitung radioaktiver Stoffe in Gewässer gelten die Anforderungen des § 47 „Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe“ der StrlSchV).

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) ist gemäß der 2. Änderung der Verwaltungsvorschriften zum Vollzug des Wasserrechts (VwVBayWG – Teil: Zuständigkeit und Verfahren) die zuständige Behörde für Fragen der Radiologie und des Strahlenschutzes in wasserrechtlichen Verfahren. Die Aufgaben der technischen Gewässeraufsicht sind im Bayerischen Wassergesetz und im Handbuch technische Gewässeraufsicht beschrieben. Das LfU überwacht die Einhaltung der radiologischen Bescheidaufgaben und untersucht Proben aus der Umgebung der Anlagen.

3.3.2 Messergebnisse

In der Umgebung von kerntechnischen Anlagen werden einmal jährlich Wasserproben entnommen und auf ihren Radioaktivitätsgehalt hin gemessen. Dies sind:

- Kernkraftwerke Isar 1 und 2 (KKI 1 und KKI 2)
- Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)
- Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)
- Forschungsneutronenquelle München (FRM II)

Die Ergebnisse der untersuchten Proben sind im Folgenden (Tab. 16 bis Tab. 19) dargestellt.

3.3.2.1 Forschungsneutronenquelle München (FRM II)

Tab. 16: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse FRM II im Jahr 2015; Angaben in Bq/l

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	Cs-137
Grundwasserpegel G5	24.09.2015	<5,2	0,069	<0,060	<0,0037	<0,012	<0,0030	<0,0030
Grundwasserpegel G7	24.09.2015	<5,2	<0,040	<0,081	<0,016	<0,013	<0,0032	<0,0032
Grundwasserpegel G10	24.09.2015	<5,2	0,053	<0,059	<0,0036	<0,013	<0,0035	<0,0034
Grundwasserpegel G10a	24.09.2015	<5,2	0,042	<0,053	<0,012	0,013	<0,0025	<0,0024
Grundwasserpegel G11	24.09.2015	<5,2	0,059	<0,044	<0,0027	<0,0044	<0,0024	<0,0023
Grundwasserpegel G14	24.09.2015	<5,2	0,14	<0,083	<0,016	<0,012	<0,0031	<0,0032
Grundwasserpegel G17	24.09.2015	<5,2	0,055	<0,058	<0,0036	<0,015	<0,0035	<0,0033
Grundwasserpegel G18	24.09.2015	<5,2	0,078	<0,042	<0,013	<0,0093	<0,0026	<0,0024
Niederschlagswasser Dachablauf R9 (H-3)	24.09.2015	92						
Niederschlagswasser Ab- luftkamin FRM II (H-3)*	Jan 15	5,46E+03			Jul 15	3,00E+03		
	Feb 15	3,24E+03			Aug 15	2,34E+03		
	Mrz 15	6,62E+03			Sep 15	2,31E+03		
	Apr 15	1,12E+04			Okt 15	1,33E+03		
	Mai 15	3,45E+03			Nov 15	2,21E+03		
	Jun 15	2,76E+03			Dez 15	4,84E+04		

* vgl. Kap. 3.2.1.2 Umweltbereich Niederschlag (02)

3.3.2.2 Kernkraftwerke Isar 1 und 2 (KKI 1 und KKI 2)

Tab. 17: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2015; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	I-131	Cs-137
Grundwasserpegel B-3	09.09.2015	<5,2	0,086	<0,12	<0,017	<0,016	<0,0031	<0,0067	<0,0033
Grundwasserpegel B-60/5	09.09.2015	<5,2	0,076	<0,052	<0,013	0,014	<0,0024	<0,0051	<0,0024
Grundwasserpegel B-60/47	09.09.2015	<5,2	0,096	<0,048	<0,010	<0,010	<0,0027	<0,0071	<0,0025
Grundwasserpegel B-60/61	09.09.2015	<5,2	0,076	<0,070	<0,015	<0,014	<0,0036	<0,010	<0,0034
Grundwasserpegel B-42	09.09.2015	<5,2	0,08	<0,15	<0,020	<0,013	<0,0046	<0,0073	<0,0046
Häusliches Abwasser	09.09.2015	<5,2	<1,0	<1,9	<0,12	<0,32	<0,075	<0,11	<0,085
Klärschlamm [Bq/kg(TM)]	09.09.2015	-	141	59	10	47	<2,3	270	12,1
Häusliches Abwasser*	23.07.2015	<5,2	<1,1	<2,4	<0,15	<0,39	<0,10	<0,18	<0,10
Klärschlamm* [Bq/kg(TM)]	23.07.2015	-	155	84	5,9	59	<0,44	<1,2	12,1

*während Revision beprobt

3.3.2.3 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)

Tab. 18: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2015; Angaben in Bq/l

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	I-131	Cs-137
Grundwasserpegel B5	23.06.20	<5,2	0,31	<0,061	<0,015	<0,012	<0,0031	<0,018	<0,003
Grundwasserpegel B10	23.06.20	<5,2	0,21	<0,061	<0,0037	<0,012	<0,0031	<0,023	<0,003
Grundwasserpegel B11	23.06.20	<5,2	0,26	<0,076	<0,015	<0,011	<0,0037	<0,020	<0,003
Grundwasserpegel B12	23.06.20	<5,2	0,33	<0,060	<0,0037	<0,015	<0,0036	<0,025	<0,003
Grundwasserpegel B13	23.06.20	<5,2	0,121	<0,038	<0,012	0,0083	<0,0024	<0,014	<0,002
Häusliches Abwasser	04.05.20	<5,2	<1,7	<3,0	<0,18	<0,45	<0,10	<0,17	<0,13
Häusliches Abwasser*	15.03.20	14,3	<1,0	<1,2	<0,082	<0,21	<0,056	<0,051	<0,051
Häusliches Abwasser**	27.10.20	5,7	1,3	<1,6	<0,10	<0,33	<0,091	<0,15	<0,085
Klärschlamm [Bq/kg(TM)]	18.06.20	-	277	<83	<11	25	<3,2	<4,4	6,6

*während Brennelementwechsel beprobt; **während Nachbetriebsphase beprobt

3.3.2.4 Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)

Tab. 19: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2015; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	I-131	Cs-137
Grundwasserpegel B 201	21.05.2015	<5,2	0,13	<0,063	<0,0039	<0,012	<0,0030	<0,0060	<0,0030
Grundwasserpegel B 210	21.05.2015	<5,2	0,075	<0,040	<0,0025	<0,0091	<0,0026	<0,053	<0,0024
Grundwasserpegel B 211	21.05.2015	<5,2	<0,060	<0,063	<0,0039	0,013	<0,0030	<0,066	<0,0032
Grundwasserpegel B 213	21.05.2015	<5,2	<0,073	<0,063	<0,0039	<0,014	<0,0036	<0,072	<0,0034
Grundwasserpegel B 214	21.05.2015	<5,2	0,070	<0,044	<0,0027	<0,0090	<0,0026	<0,32	<0,0023
Häusliches Abwasser	22.10.2015	<5,2	1,4	<2,1	<0,13	<0,43	<0,10	<0,17	<0,10
Klärschlamm	22.10.2015	-	132	<140	<8,6	42	<4,0	<10	9,6
Häusliches Abwasser*	08.04.2015	<5,2	0,6	<1,4	<0,083	<0,23	<0,056	<0,060	<0,059
Klärschlamm* [Bq/kg(TM)]	08.04.2015	-	93	<67	<4,1	26	<3,5	195	9,5

*während Revision beprobt

3.3.3 Zusammenfassende Beurteilung

Fazit

Die vom LfU im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht untersuchten Proben zeigen keine Auffälligkeiten gegenüber den Vorjahren. Durch die anlagenbezogenen Abwassereinleitungen sind aus strahlenhygienischer Sicht keine Beeinträchtigungen der Gewässer feststellbar.

3.4 Emissionen

Neben den Untersuchungen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen werden auch direkt die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser überwacht. Anlagenbedingt werden die Genehmigungswerte unterschiedlich ausgeschöpft. In Siedewasserreaktoren (SWR) gibt es systembedingt andere Abgabewerte als in Druckwasserreaktoren (DWR).

Die Jahresemissionen liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte. Die Emissionsabgaben sind in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 20 und Tab. 21) in Bezug zum Genehmigungswert aufgeführt. Dieser Genehmigungswert beruht auf dem Grenzwert nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (vgl. Kapitel 3.6).

Tab. 20: Emissionen mit dem Abwasser der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2011 bis 2015

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2015	2014	2013	2012	2011
Kernkraftwerk Isar 1 (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02
Tritium	1,85E+13	0,17	0,07	0,05	0,14	1,35
Kernkraftwerk Isar 2 (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,50E+10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Tritium	4,80E+13	37,50	52,08	45,83	47,92	50,00
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,55E+10	0,03	0,03	0,02	0,04	0,12
Tritium	4,07E+13	10,56	34,42	39,95	51,38	36,61
Kernkraftwerk Gundremmingen (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,49	0,36	0,19	0,32	0,36
Tritium	3,70E+13	10,81	6,59	10,38	9,32	9,81
AREVA Erlangen Bau 34						
Gammastrahler	2,00E+08	0,48	0,33	0,25	0,61	3,04
Tritium	1,00E+12	0,10	0,06	0,07	0,08	0,12
Gesamt-Alpha	7,00E+06	2,43	2,70	0,73	2,74	1,22
Gesamt-Beta	2,00E+08	0,59	0,84	0,52	1,10	0,99
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	2,00E+09	2,40	6,00	2,70	3,35	7,00
Tritium	2,00E+11	26,00	14,5	1,30	1,43	4,00
Gesamt-Alpha	2,00E+09	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG

Tab. 21: Emissionen mit der Abluft der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2011 bis 2015

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2015	2014	2013	2012	2011
Kernkraftwerk Isar 1						
Edelgase	1,1E+15 ¹⁾	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	0,02
Jod	1,1E+10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	0,02
Aerosole	3,7E+10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Tritium	1,1E+15 ¹⁾	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Kohlenstoff-14	1,1E+15 ¹⁾	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Kernkraftwerk Isar 2						
Edelgase	1,1E+15 ¹⁾	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Jod	1,1E+10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Aerosole	3,0E+10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Tritium	1,1E+15 ¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Kohlenstoff-14	1,1E+15 ¹⁾	0,06	0,04	0,01	0,03	0,03
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld						
Edelgase	1,11E+15 ²⁾	<0,01	0,06	0,01	<0,01	0,01
Jod	1,63E+10	<NWG	<0,01	<NWG	<NWG	<0,01
Aerosole	3,70E+10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
Tritium	1,11E+13	1,73	1,48	1,30	1,32	1,75
Kohlenstoff-14	1,11E+15 ²⁾	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Kernkraftwerk Gundremmingen						
Edelgase	1,85E+15	0,18	0,16	0,17	0,16	0,56
Jod-131	2,20E+10	0,14	0,15	0,13	0,10	0,04
Aerosole	3,70E+10	<0,01	<0,01	<0,01	<NWG	<0,01
Tritium	2,20E+13	3,15	1,87	3,24	3,12	2,89
Kohlenstoff-14	³⁾	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
AREVA Erlangen Bau 34						
Edelgase	9,00E+11	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,03
Jod-123	1,00E+10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Jod-129	1,50E+06	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Jod-131	1,00E+08	0,06	0,17	<NWG	0,45	0,32
Aerosole	2,00E+09	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Tritium	7,00E+10	0,69	0,71	0,44	0,44	0,50
Kohlenstoff-14	3,00E+10	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Edelgase	2,0E+13	1,80	1,45	2,55	1,83	0,24
Jod	1,5E+08	<NWG	<NWG	0,01	0,02	<NWG
Aerosole	2,0E+06	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Tritium	3,0E+12	14,00	14,33	18,67	14,70	21,00
Kohlenstoff-14	2,0E+10	24,50	20,00	23,00	96,00	11,00
Forschungsreaktor München FRM						
Tritium	3,0+10 ⁴⁾	1,90	0,53	6,91	7,60	10,00
Kohlenstoff-14	--- ⁵⁾			<NWG	<NWG	3,28

1) Genehmigungswert gilt für die Summe aus Edelgas, Tritium und Kohlenstoff-14

2) Genehmigungswert gilt für die Summe aus Edelgas und Kohlenstoff-14

3) Kein Genehmigungswert festgesetzt, wie bei KKI und KKG Edelgasgrenzwert angesetzt

4) Genehmigungswert von 2015

5) Entfällt seit 11.08.2014

3.5 Meteorologische Verhältnisse

Die Beschreibung der meteorologischen Verhältnisse an den Standorten erfolgt mit einer Ausbreitungsstatistik, welche mit den im Berichtszeitraum gemessenen meteorologischen Daten des Kernreaktor-Fernüberwachungssystems des LfU erstellt wurde.

Danach ergibt sich für die 12 Ausbreitungssektoren (1 Sektor = 30 Grad) folgende Verteilung des Niederschlages und der Häufigkeit der Ausbreitungsrichtung (AR):

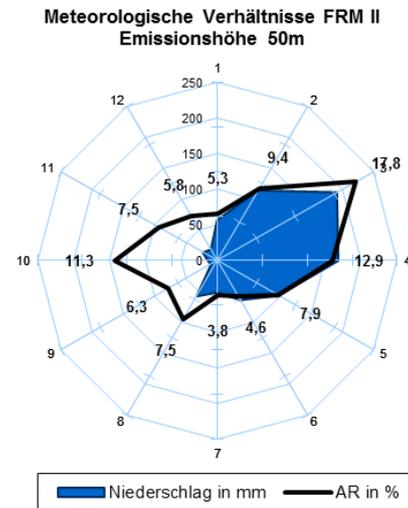
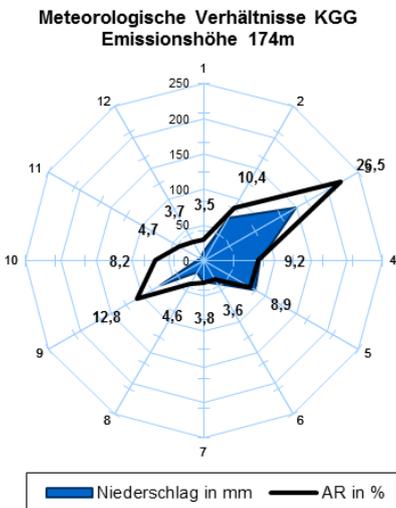
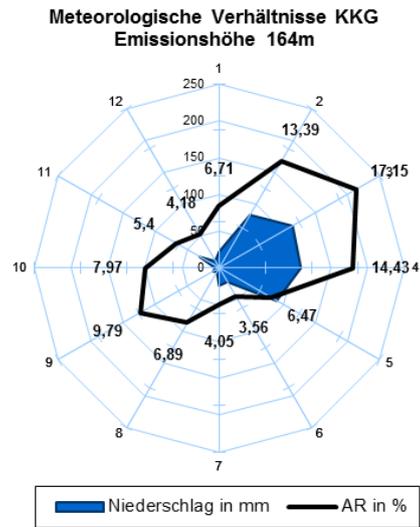
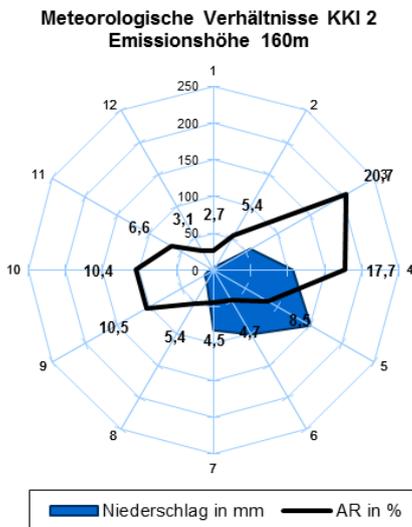
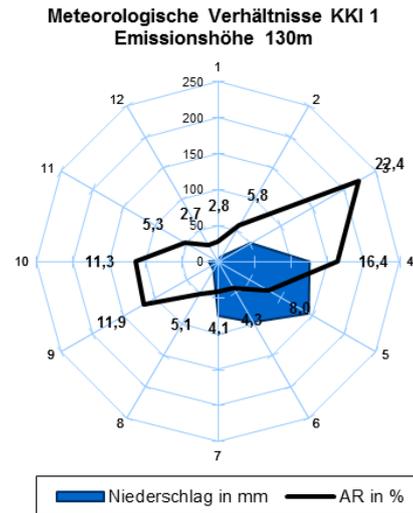


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2015

3.6 Ausbreitungsrechnungen

Ausbreitungsrechnungen beschreiben den Transport radioaktiver Stoffe mit der Luft bzw. mit dem Wasser. Bei luftgetragendem Transport erfolgt die Berücksichtigung der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit, der Turbulenz in der Atmosphäre sowie des Niederschlags. Im Wasserpfad findet vor allem die Strömungsgeschwindigkeit und die Durchmischung ihre Berücksichtigung.

3.6.1 Allgemeines

Nach Verlassen der Anlage (Emission) werden die radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre transportiert (Transmission) und gelangen anschließend in das Ökosystem (Immission). Beim Transport erfolgt gleichzeitig eine Verdünnung, so dass dadurch der unmittelbare Nachweis künstlicher Radionuklide in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen selbst bei hohem Messaufwand oft nur schwer oder sogar überhaupt nicht möglich ist. Daher wird anhand der erfassten und bilanzierten Emissionen über den Abluft- und Abwasserpfad in Verbindung mit den meteorologischen bzw. hydrologischen Daten eine rechnerische Abschätzung der Strahlenexposition in der Umgebung durchgeführt.

Diese Abschätzung erfolgt mit Rechenprogrammen, welche den Vorgaben der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung folgen. Hierbei wird die effektive Dosis für eine Referenzperson ermittelt, die sich das ganze Jahr an der ungünstigsten Einwirkungsstelle aufhält und sich nur von Nahrungsmitteln von dieser Stelle ernährt. Diese Programme summieren dazu die Beiträge aller relevanten Radionuklide über alle Expositionspfade auf. Damit wird sichergestellt, dass die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition die tatsächliche Strahlenexposition nicht unterschätzt.

Die berechneten Dosiswerte werden mit den Grenzwerten nach § 47 Abs. 1 StrlSchV verglichen. Danach ist für die Ableitungen mit der Luft oder dem Wasser folgender Grenzwert für die effektive Dosis im Kalenderjahr einzuhalten:

Grenzwert nach § 47 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	
Effektive Dosis	0,3 mSv

Bei einer Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass der Mensch durch das Vorhandensein natürlicher Radioaktivität einer ständigen Strahlenexposition ausgesetzt ist (äußere terrestrische und kosmische Strahlung, natürliche Radionuklide im Körper wie Kohlenstoff-14, Kalium-40 und Folgeprodukte des Radons). Diese natürliche Radioaktivität führt in der Bundesrepublik Deutschland zu einer Strahlenexposition des Menschen von durchschnittlich etwa 2,1 mSv (effektive Dosis) pro Jahr.

3.6.2 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnung der **maximal möglichen Dosis** durch die genehmigten Ableitungen der kerntechnischen Anlagen sind in Tab. 22 für einzelne Altersgruppen dargestellt. Die Ergebnisse sind in **Prozent des Grenzwertes** angegeben.

Tab. 22: Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2015 für die Strahlenexpositionen auf dem Luft- und Wasserpfad in Prozent des Grenzwertes

Anlage	Pfad	Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in % des Grenzwertes nach Altersgruppen					
		< 1 Jahr	1- 2 Jahre	2- 7 Jahre	7- 12 Jahre	12-17 Jahre	Erwachsene
KKI 1	Luft	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	Wasser	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KKI 2	Luft	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	Wasser	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KKG	Luft	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	Wasser	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KGG	Luft	1	1	1	1	1	1
	Wasser	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
FRM II	Luft	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	Wasser	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Fazit

Aus den Ergebnissen der berechneten Strahlenexposition, die mit den bilanzierten Abgaben durchgeführt wurden, ergibt sich, dass eine Überschreitung des Grenzwertes für die effektive Dosis nach § 47 StrlSchV in der Umgebung der betrachteten bayerischen kerntechnischen Anlagen sicher ausgeschlossen werden kann.

4 Anhang

4.1 Abkürzungsverzeichnis

4.1.1 Kerntechnische Anlagen

KKI 1	Kernkraftwerk Isar 1
KKI 2	Kernkraftwerk Isar 2
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KGG	Kernkraftwerk Gundremmingen
FRM	Forschungsreaktor München
FRM II	Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz
SAGK	Siemens AG, Standort Karlstein
FZE	AREVA GmbH, Forschungszentrum Erlangen-Süd

4.1.2 Einheiten

Bq	Becquerel
Bq/m ³	Becquerel pro Kubikmeter
Bq/m ²	Becquerel pro Quadratmeter
Bq/l	Becquerel pro Liter
Bq/kg	Becquerel pro Kilogramm
Bq/kg (TM)	Becquerel pro Kilogramm Trockenmasse
Bq/kg (FM)	Becquerel pro Kilogramm Feuchtmasse
Bq/d/Pers.	Becquerel pro Tag pro Person
Bq/a	Becquerel pro Jahr

Sv	Sievert
mSv	Millisievert
nSv/h	Nanosievert pro Stunde
µSv/h	Mikrosievert pro Stunde
mSv/a	Millisievert pro Jahr

TM	Trockenmasse
FM	Frischmasse

4.1.3 Gesetze und Verordnungen

AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren – Atomgesetz
StrlSchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen - Strahlenschutzverordnung
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
StrVG	Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung - Strahlenschutzvorsorgegesetz

4.1.4 Sonstiges

IfR	Bayerisches Immissionsmessnetz für Radioaktivität
KFÜ	Bayerisches Kernreaktor-Fernüberwachungssystem

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Mögliche Ausbreitungs- oder Transportwege künstlicher radioaktiver Stoffe zum Menschen Quelle: Informationskreis Kernenergie	8
Abb. 2:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Wasser im Jahr 2015.	13
Abb. 3:	Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor).	14
Abb. 4:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2015.	15
Abb. 5:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2015	16
Abb. 6:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Futtermittel im Jahr 2015	17
Abb. 7:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Wasser im Jahr 2015	18
Abb. 8:	Aktivitätsmesswerte (Cäsium-137) von 7 Flussbarschen und 14 Renken, die in den Jahren 2013 bis 2015 aus oberbayerischen Seen entnommen wurden	18
Abb. 9:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2015	19
Abb. 10:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung an den kerntechnischen Anlagen (aus 10-Minuten-Messwerten) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1a im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013.	23
Abb. 11:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosis (Jahresdosis von Festkörperdosimetern) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1b und Tabelle A2, Punkt 1.1 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013.	24
Abb. 12:	Vergleich der Messwerte von Tritium und der Niederschlagsmenge am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz im Jahr 2015	26
Abb. 13:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013	37
Abb. 14:	Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013	37
Abb. 15:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosis (G-OD) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.2 und Tabelle C1.2, Punkt 1.1 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013.	38
Abb. 16:	Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosis (N-OD) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C.1.1, Punkt 1.4 und Tabelle C.1.2, Punkt 1.2 im Jahr 2015 im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2013	39
Abb. 17:	Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2015	44

4.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kerntechnische Anlagen in Bayern	9
Tab. 2:	Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A1, Punkt 2.0 (Betreiber) im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	25
Tab. 3:	Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A2, Punkt 2.0 (Unabhängige Messstelle) im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	26
Tab. 4:	Ergebnisse der Tritiumuntersuchung an einem Messpunkt nach REI Tabelle A1, Punkt 2.0 und Tabelle A2, Punkt 2.0 am FRM II (Messpunkt „FRM-Dachablauf“) im Jahr 2015	26
Tab. 5:	Übersicht über die Aktivitäten in Boden nach REI, Tabelle A1, Punkt 3.0 und Tabelle A2, Punkt 3.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	27
Tab. 6:	Übersicht über die Aktivitäten in Pflanzen/Bewuchs nach REI, Tabelle A1, Punkt 4.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	28
Tab. 7:	Übersicht über die Aktivitäten in Weide- und Wiesenbewuchs nach REI, Tabelle A2, Punkt 4.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	29
Tab. 8:	Übersicht über die Aktivitäten in Getreide nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	30
Tab. 9:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischobst nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	30
Tab. 10:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischgemüse nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	31
Tab. 11:	Übersicht über die Aktivitäten in Milch nach REI, Tabelle A2, Punkt 6.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	32
Tab. 12:	Übersicht über die Aktivitäten in Oberflächenwasser nach REI, Tabellen A1, Punkt 5.0 und Tabelle A2, Punkt 7.1 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	33
Tab. 13:	Übersicht über die Aktivitäten in Sediment nach REI, Tabelle A2, Punkt 7.2 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	34
Tab. 14:	Übersicht über die Aktivitäten in Wasserpflanzen im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	35
Tab. 15:	Übersicht über die Aktivitäten in Fischen nach REI, Tabelle A2, Punkt 8.0 im Jahr 2015. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2014 und 2013 angegeben.	36
Tab. 16:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse FRM II im Jahr 2015; Angaben in Bq/l	40
Tab. 17:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2015; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	41
Tab. 18:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2015; Angaben in Bq/l	41

Tab. 19:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2015; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	41
Tab. 20:	Emissionen mit dem Abwasser der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2011 bis 2015	42
Tab. 21:	Emissionen mit der Abluft der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2011 bis 2015	43
Tab. 22:	Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2015 für die Strahlenexpositionen auf dem Luft- und Wasserpfad in Prozent des Grenzwertes	46

