



Strahlenhygienischer Jahresbericht 2016

Allgemeine Umweltradioaktivität
und
Umgebungsüberwachung
der kerntechnischen Anlagen
in Bayern



strahlung



Strahlenhygienischer Jahresbericht 2016

Allgemeine Umweltradioaktivität und Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern

Impressum

Strahlenhygienischer Jahresbericht 2016

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, Sigrid Richter, Thomas Pfau

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Juni 2017

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
2	Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität	9
2.1	Expositionspfad Wasser	10
2.2	Expositionspfad Land	13
2.3	Reststoffe und Abfälle	17
2.4	Zusammenfassung der allgemeinen Umweltradioaktivität	18
3	Überwachung kerntechnischer Anlagen	19
3.1	Umgebungsüberwachung	20
3.1.1	Umweltbereich Luft	20
3.1.2	Umweltbereich Niederschlag	23
3.1.3	Umweltbereich Boden	25
3.1.4	Umweltbereich Pflanzen/Bewuchs	26
3.1.5	Umweltbereich Futtermittel	27
3.1.6	Umweltbereich Ernährungskette Land	28
3.1.7	Umweltbereich Milch und Milchprodukte	30
3.1.8	Umweltbereich Oberirdische Gewässer	31
3.1.9	Umweltbereich Ernährungskette Wasser	33
3.1.10	Umweltbereich Trink- und Grundwasser	34
3.1.11	Zusammenfassung Umgebungsüberwachung	34
3.2	Brennelementzwischenlager	35
3.3	Messungen der technischen Gewässeraufsicht	38
3.3.1	Vorbemerkungen	38
3.3.2	Messergebnisse	38
3.3.2.1	Forschungsneutronenquelle München (FRM II)	38
3.3.2.2	Kernkraftwerke Isar 1 und 2 (KKI 1 und KKI 2)	39
3.3.2.3	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)	39
3.3.2.4	Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)	39
3.3.3	Zusammenfassende Beurteilung	39
3.4	Emissionen	40
3.5	Meteorologische Verhältnisse	42

3.6	Ausbreitungsrechnungen	43
3.6.1	Allgemeines	43
3.6.2	Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	44
4	Anhang	45
4.1	Abkürzungsverzeichnis	45
4.1.1	Kerntechnische Anlagen	45
4.1.2	Einheiten	45
4.1.3	Gesetze und Verordnungen	45
4.1.4	Sonstiges	45
4.2	Abbildungsverzeichnis	46
4.3	Tabellenverzeichnis	47

Vorwort

Radioaktivität kann 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“ → <https://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/strvgprobe>

Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern:

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

Allgemeine Informationen des LfU zum Thema Strahlung:

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

1 Einleitung

In der Natur kommen radioaktive Stoffe natürlicherweise in einer Vielzahl von Gesteinen und Mineralien vor. In diesem Bericht werden, mit Ausnahme des natürlichen Kalium-40 und der Uranisotope 234, 235 und 238, nur künstliche radioaktive Stoffe betrachtet, die aus der Nutzung der Kerntechnik stammen. Die im Rahmen der Untersuchungen am häufigsten nachgewiesenen radioaktiven Nuklide sind Cäsium-137 und Kalium-40. Ebenfalls gefunden werden 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 1986¹ gelangten große Mengen dieser Nuklide in die Umwelt. Während Cäsium-134 auf Grund seiner kurzen 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 sogenanntes 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 freigesetzt². Auf die Kernwaffenversuche sind auch die vereinzelt nachgewiesenen Aktivitäten von Plutonium zurückzuführen.

Jod-131 mit einer Halbwertszeit von acht 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 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.

Radioaktive Stoffe in der Umwelt tragen auf verschiedenen Wegen zu einer Strahlenexposition des Menschen bei (Expositionspfade; Abb. 1). Im Wesentlichen ist zu unterscheiden zwischen

- der Strahlenexposition von außen durch radioaktive Stoffe in der Luft und durch Ablagerung von radioaktiven Stoffen am Boden sowie
- der Strahlenexposition von innen durch Einatmen von kontaminierter Luft und durch Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper über Lebensmittel und Trinkwasser.

Über die Überwachung der Luft, die regelmäßige Beprobung von Boden und Wasser und die Untersuchung der Ernährungsketten „Wasser“ und „Land“ werden die einzelnen Expositionspfade betrachtet.

¹ Siehe auch: „Tschernobyl – Auswirkungen auf Bayern“ →

https://www.lfu.bayern.de/strahlung/tschernobyl_und_mehr/tschernobyl_bayern/index.htm

² Freisetzungen: Tschernobyl: $1,0 \times 10^{16}$ Bq, Kernwaffen: 6×10^{17} Bq (aus „Radioaktivität in Lebensmitteln“, J. F. Diehl, 2003, WILEY-VCH)

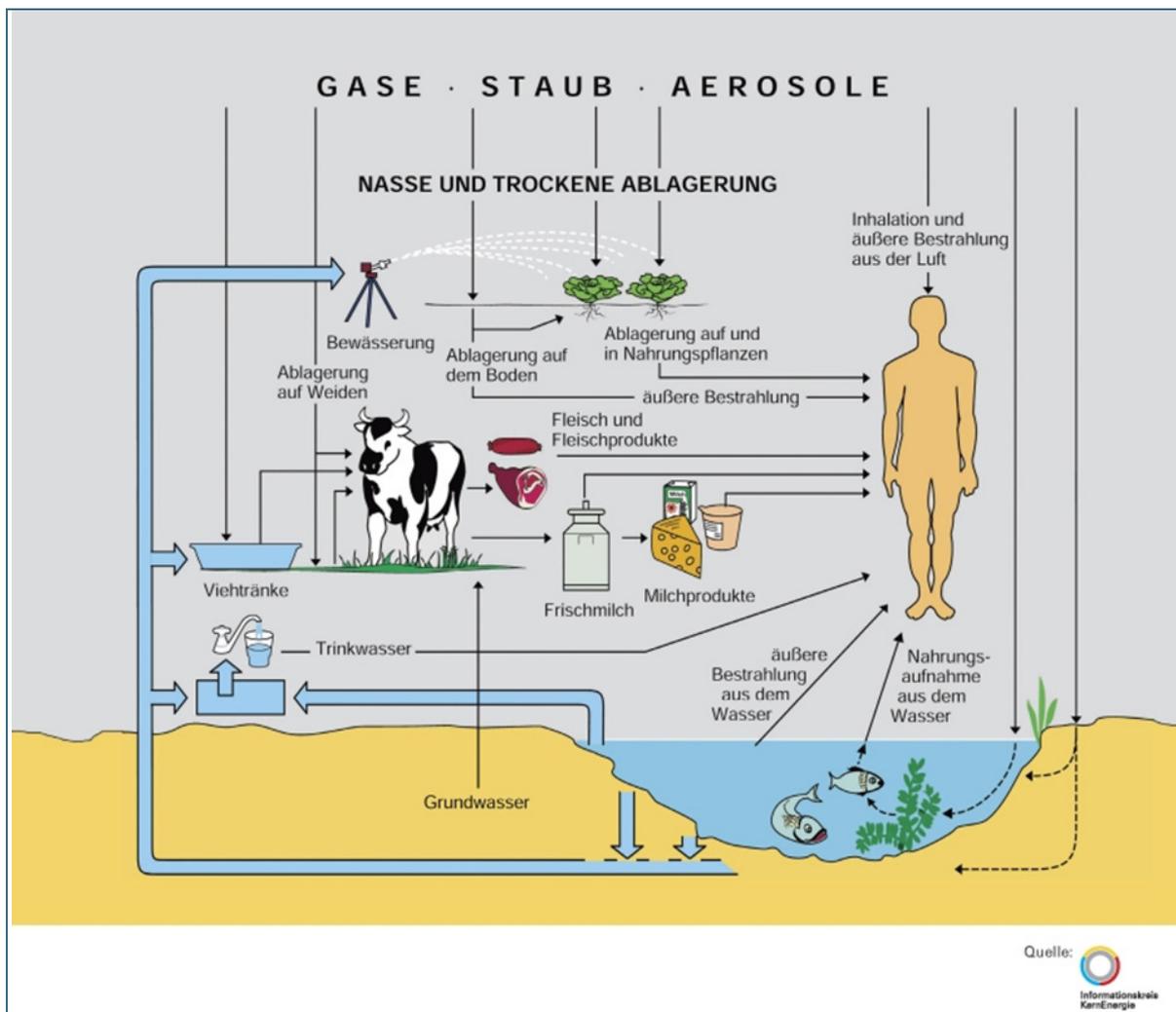


Abb. 1: Mögliche Ausbreitungs- oder Transportwege künstlicher radioaktiver Stoffe zum Menschen
Quelle: Informationskreis Kernenergie

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt findet im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) flächendeckend über ganz Deutschland statt. Für die Untersuchung der Luft sind das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der Deutsche Wetterdienst (DWD) zuständig. Unterstützt von weiteren Bundesbehörden, beispielsweise der Bundesanstalt für Gewässerkunde, untersuchen die Länder die Ernährungsketten „Land“ und „Wasser“ sowie Reststoffe und Abfälle. Die Ergebnisse der Überwachung nach Strahlenschutzvorsorgegesetz sind in Kapitel 2 zusammengefasst.

Zusätzlich werden gezielt die Umgebung „kerntechnischer Anlagen“ und die Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente an den Standorten der Kernkraftwerke überwacht. Dabei werden Untersuchungen von den Betreibern der kerntechnischen Anlagen sowie von unabhängigen Messstellen durchgeführt und vom LfU geprüft und bewertet. Die Messprogramme sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)“ festgelegt. Die Ergebnisse der Überwachung nach REI sind in Kapitel 3 zusammengefasst.

Weitere Informationen zu Grundlagen und zur Durchführung der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (Strahlenschutzvorsorge) und zur Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind auf der Internetseite des LfU zu finden:

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

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

2 Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität

Die Überwachung der Umweltradioaktivität wird im „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung - Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)“ geregelt. Dort sind die Aufgaben des Bundes und der Länder bestimmt. Die Messprogramme und die Vorgehensweise bei der Durchführung sind in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS)“ festgelegt.

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 (LfU) routinemäßig untersucht werden. Die Messergebnisse dieser Umweltproben sind im Hinblick auf die Wirkungswege der Radioaktivität auf die Bevölkerung in folgende Gruppen unterteilt:

- Expositionspfad Wasser (Gewässer, Trink- und Grundwasser, Abwasser, Fische),
- Expositionspfad Land (Boden, Nahrungs- und Futtermittel) und
- Reststoffe und Abfälle.

Zusätzlich zu den Vorgaben des Strahlenschutzvorsorgegesetzes werden im Rahmen der Lebensmittelüberwachung weitere Proben untersucht.

Die Probenahme wird von amtlichen Probenehmern durchgeführt. Ergänzend zu den heimischen Produkten werden auch importierte Produkte aus dem Handel untersucht. Die Messung der Proben führen die Messstellen des LfU in Augsburg und in Kulmbach durch.

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.

2.1 Expositionspfad Wasser

Im Expositionspfad Wasser werden Gewässer (Abb. 2) und Fische (Abb. 3) betrachtet.

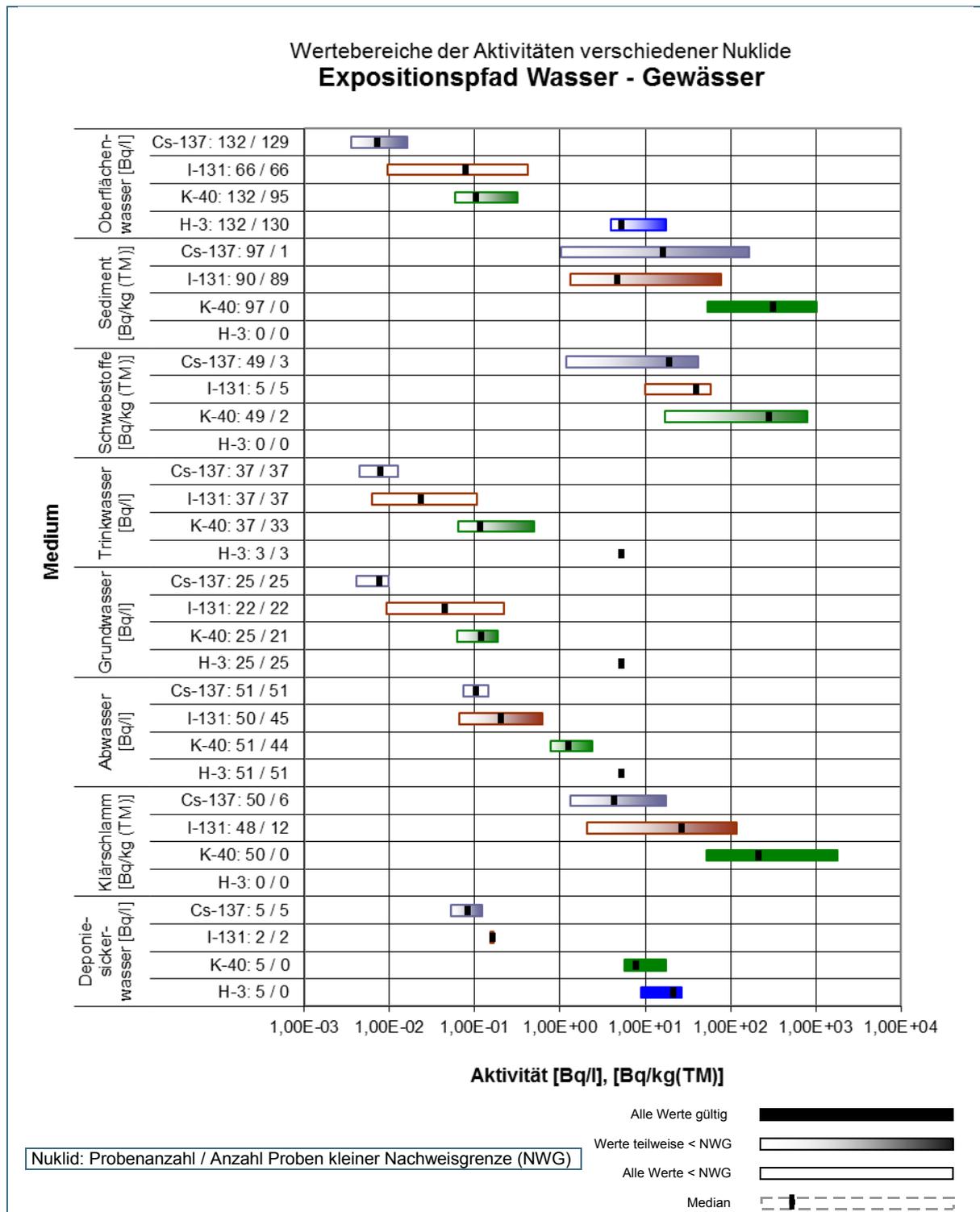


Abb. 2: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfad Wasser - Gewässer im Jahr 2016

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.

Die beiden Tritium-Befunde im Oberflächenwasser liegen im Bereich der Nachweisgrenze und beruhen 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 Tritium-Befunde 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.

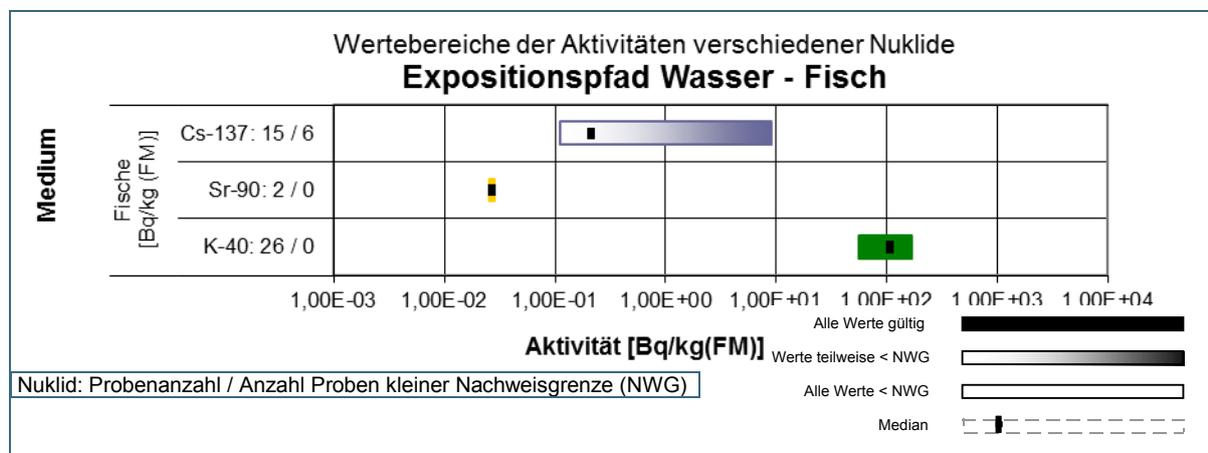


Abb. 3: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Wasser - Fisch im Jahr 2016

Die große Schwankung der Messergebnisse von Cäsium-137 in Fischen (Abb. 3) ist auf die besonderen örtlichen und morphologischen Gegebenheiten, wie zum Beispiel Abflussschwankungen, Feststofftransport und Wasseraustauschzeiten der einzelnen Seen zurückzuführen. Die Wasseraustauschzeiten³ 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. 4).

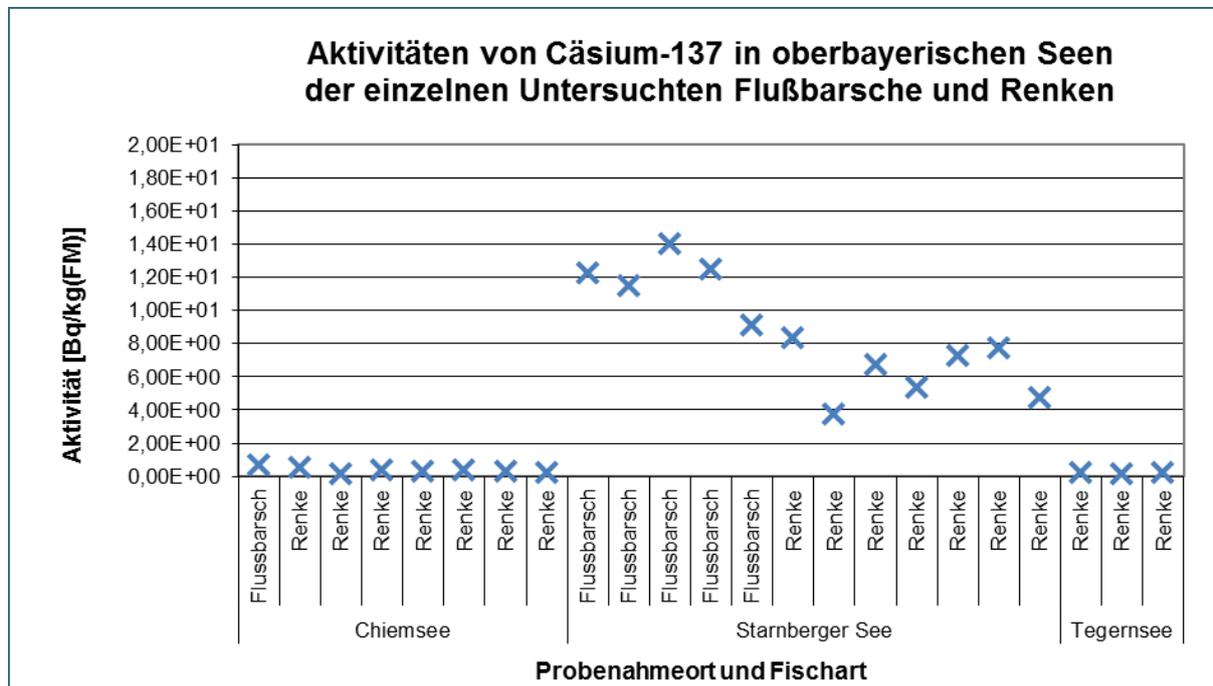


Abb. 4: Aktivitätsmesswerte (Cäsium-137) von sechs Flußbarschen und 17 Renken, die in den Jahren 2013 bis 2016 aus oberbayerischen Seen entnommen wurden

³ Quelle: 90 Jahre Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, Tätigkeitsbericht 1990, Kap. 11 Radiologie, S. 130-131

2.2 Expositionspfad Land

Da die Kontamination als Folge der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in den Ackerböden langsam aber stetig abnimmt (Abb. 5), ist in pflanzlichen Lebensmitteln Cäsium-137 nur noch gelegentlich in Spuren nachzuweisen. Dies zeigt sich insbesondere bei Frischgemüse, Kartoffeln und Getreide (Abb. 6).

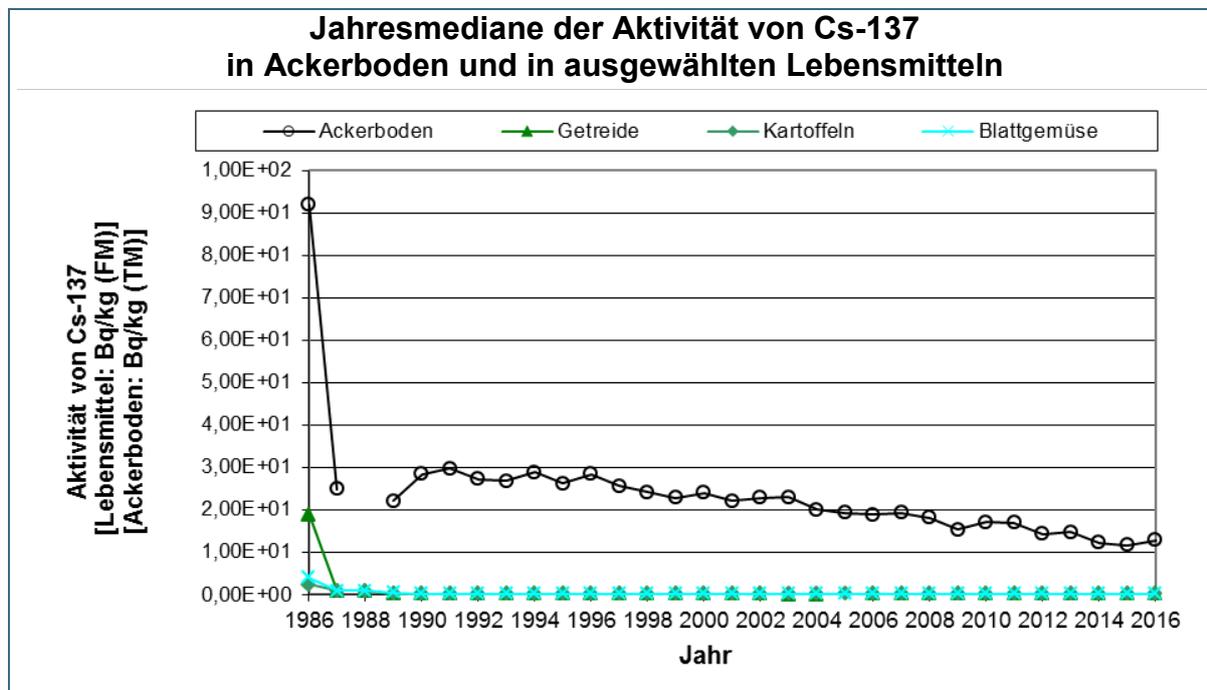


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor).

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. 6).

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. 6).

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 Drittlanderzeugnisse

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.

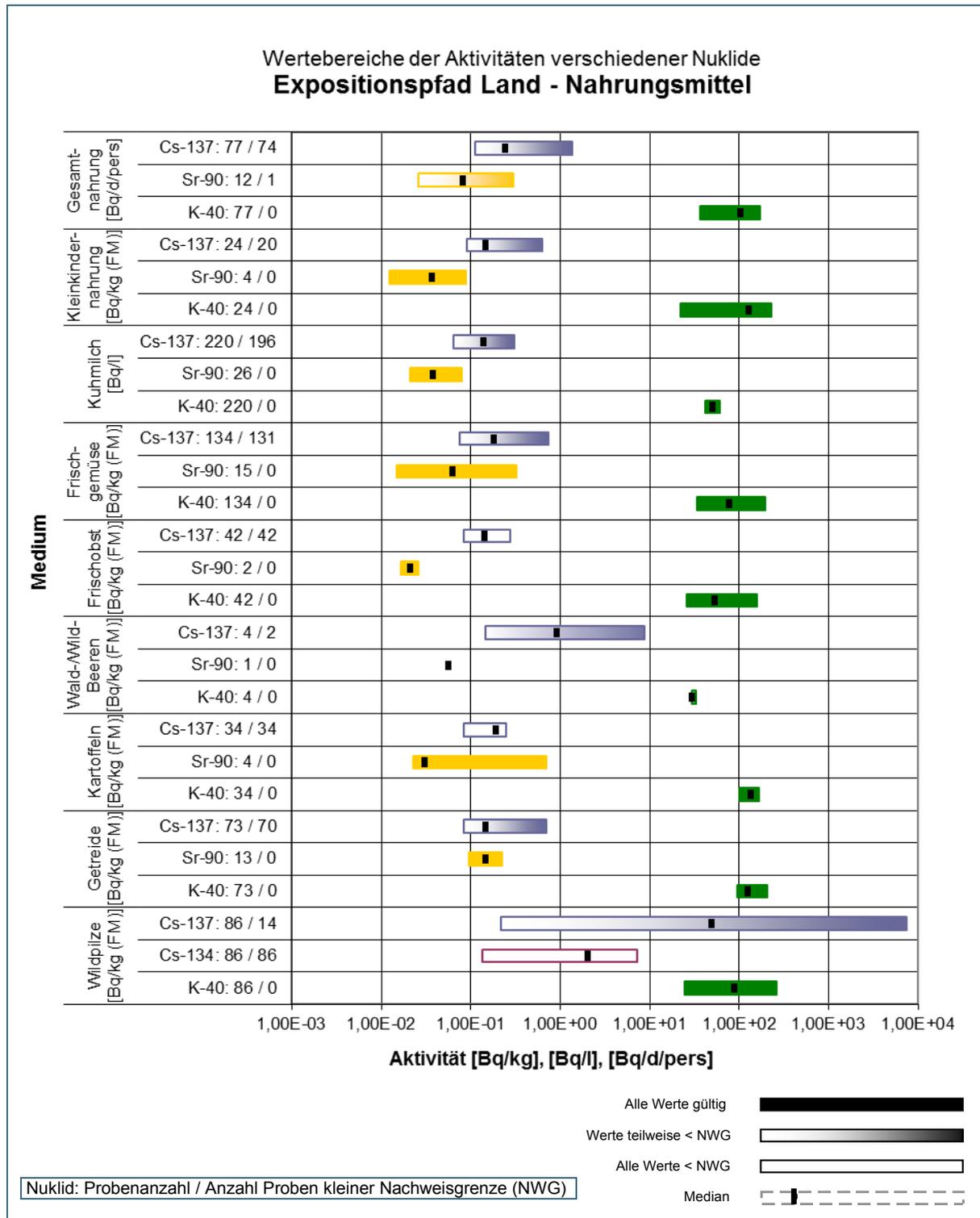


Abb. 6: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2016

Die unterschiedliche Belastung durch Cäsium-137 in Wald- und Ackerböden hat auch Auswirkungen auf die tierischen Lebensmittel (Abb. 7). 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. 8).

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.

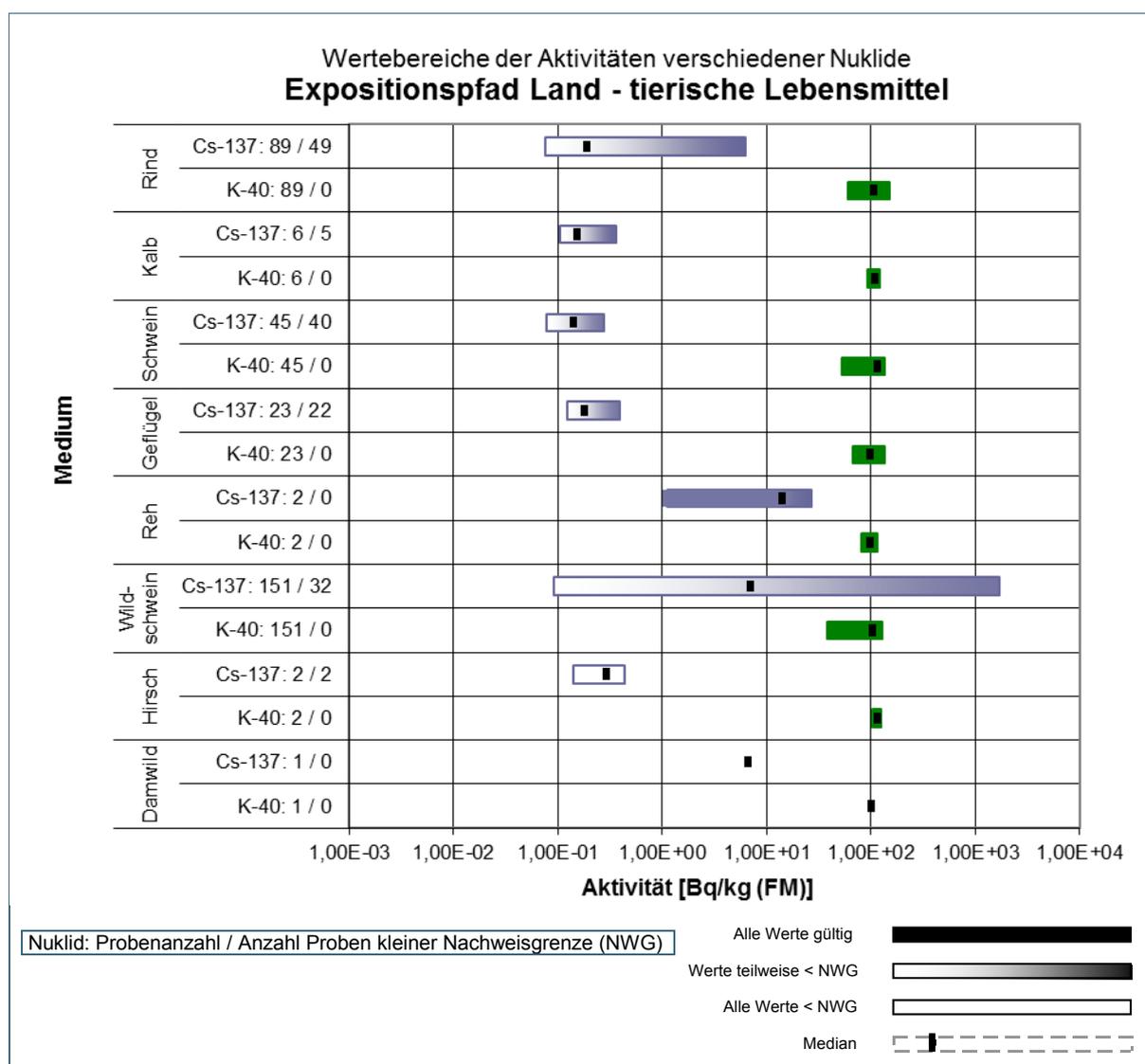


Abb. 7: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2016

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).

Entsprechend den rechtlichen Vorgaben ist bei der Hälfte der Grasproben (Futtermittel) auch eine Untersuchung auf Strontium-90 vorzunehmen. In allen untersuchten Grasproben wurde Strontium-90 nachgewiesen (Abb. 8).

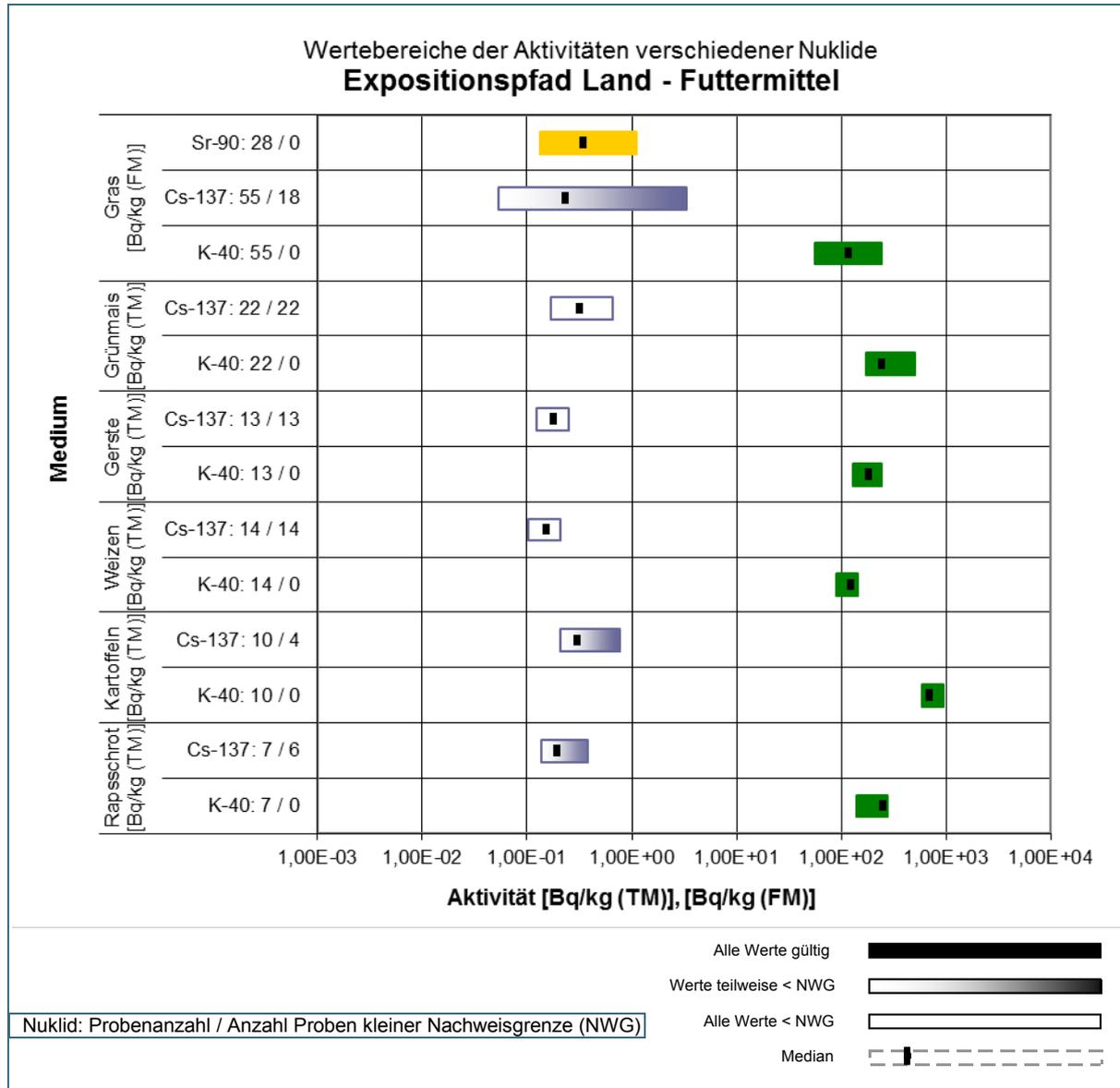


Abb. 8: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfad Land – Futtermittel im Jahr 2016

2.3 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.

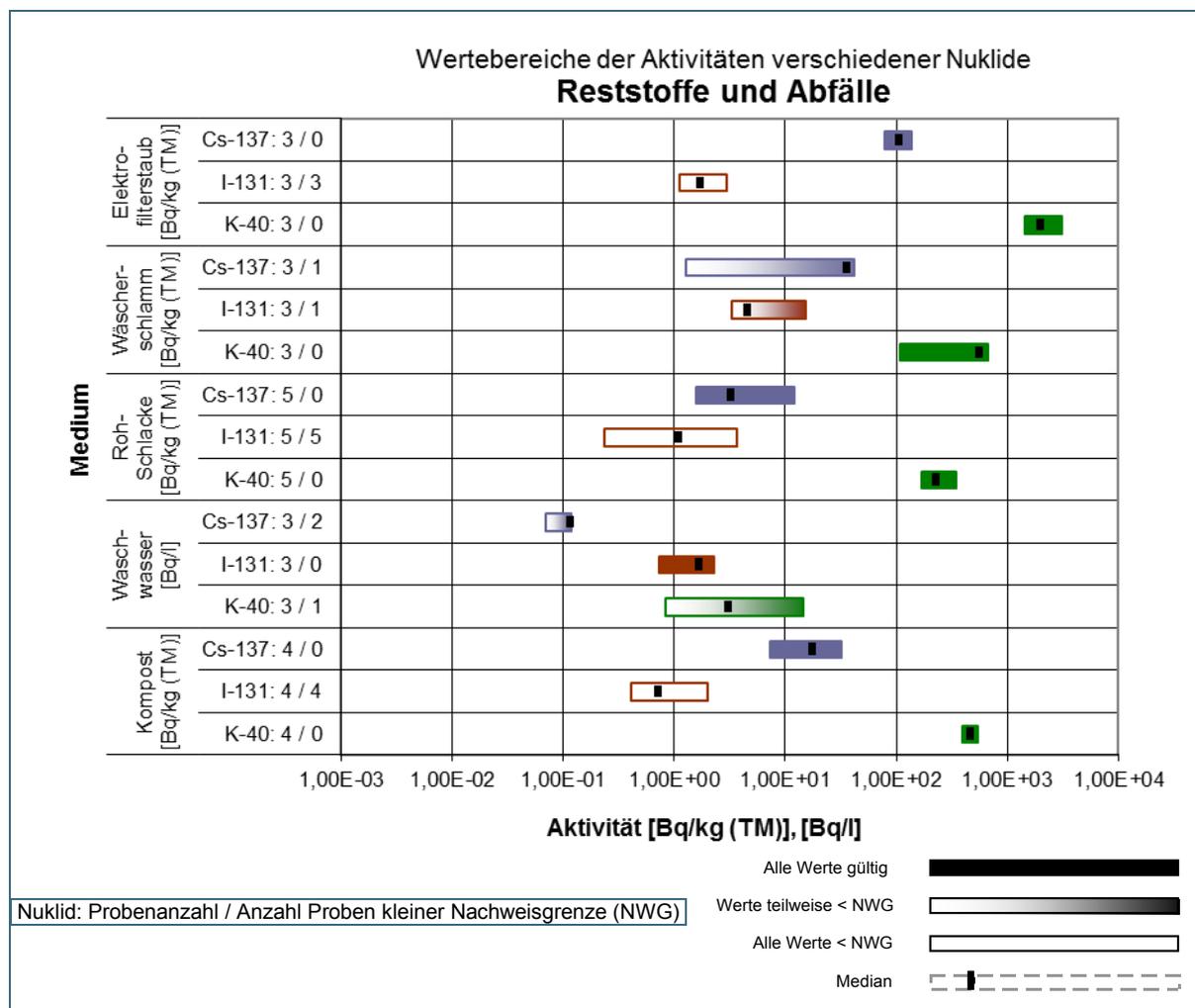


Abb. 9: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2016

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 geringfügig radioaktiv kontaminierter Stoffe als konventionelle Abfälle.

2.4 Zusammenfassung der allgemeinen Umweltradioaktivität

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, so dass die zusätzliche Strahlenbelastung vergleichsweise gering ist.

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 2016 untersuchten Proben, ist aus strahlenhygienischer Sicht davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung für die Bevölkerung besteht.

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

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

3 Überwachung kerntechnischer Anlagen

Die radiologische Überwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen wird in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)“ geregelt. Dabei sind zehn Umweltbereiche zu überwachen:

- Luft
- Niederschlag
- Boden
- Pflanzen / Bewuchs
- Futtermittel
- Ernährungskette Land
- Milch und Milchprodukte
- Oberirdische Gewässer
- Ernährungskette Wasser
- Trink- und Grundwasser

In Bayern werden die unten (Tab. 1) aufgeführten kerntechnischen Anlagen und die Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente an den Standorten der Kernkraftwerke Grafenrheinfeld, Gundremmingen und Isar nach REI überwacht.

Tab. 1: Kerntechnische Anlagen in Bayern

Anlage	Typ / Jahr der Inbetriebnahme SWR: Siedewasserreaktor DWR: Druckwasserreaktor	Thermische Leistung [MW]	Ende Leistungsbetrieb (geplant)
Kernkraftwerke Isar KKI 1 KKI 2	SWR (1977) DWR (1988)	2575 3950	17.03.2011 (2022)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld KKG	DWR (1981)	3765	27.06.2015
Kernkraftwerk Gundremmingen KGG Block B Block C	SWR - 72 (1984) SWR - 72 (1985)	3840 3840	(2017) (2021)
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	

Bei den Brennelementzwischenlagern werden nur die Überwachungsmaßnahmen durchgeführt, die nicht bereits durch die Überwachung des jeweiligen Kernkraftwerks am Standort abgedeckt sind. Die Überwachungsmaßnahmen erfolgen sowohl durch den jeweiligen Genehmigungsinhaber als auch durch unabhängige Messstellen. Zusätzlich werden die zulässigen Ableitungen mit Abwasser und Abluft überwacht, die meteorologischen Verhältnisse betrachtet und die maximal mögliche Dosis durch Ableitungen auf Basis von Ausbreitungsrechnungen abgeschätzt.

3.1 Umgebungsüberwachung

3.1.1 Umweltbereich Luft

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

In der näheren Umgebung der Kernkraftwerke und der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) sind je nach Anlage zwei bis 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“ → <https://www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue/index.htm>

Die 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.

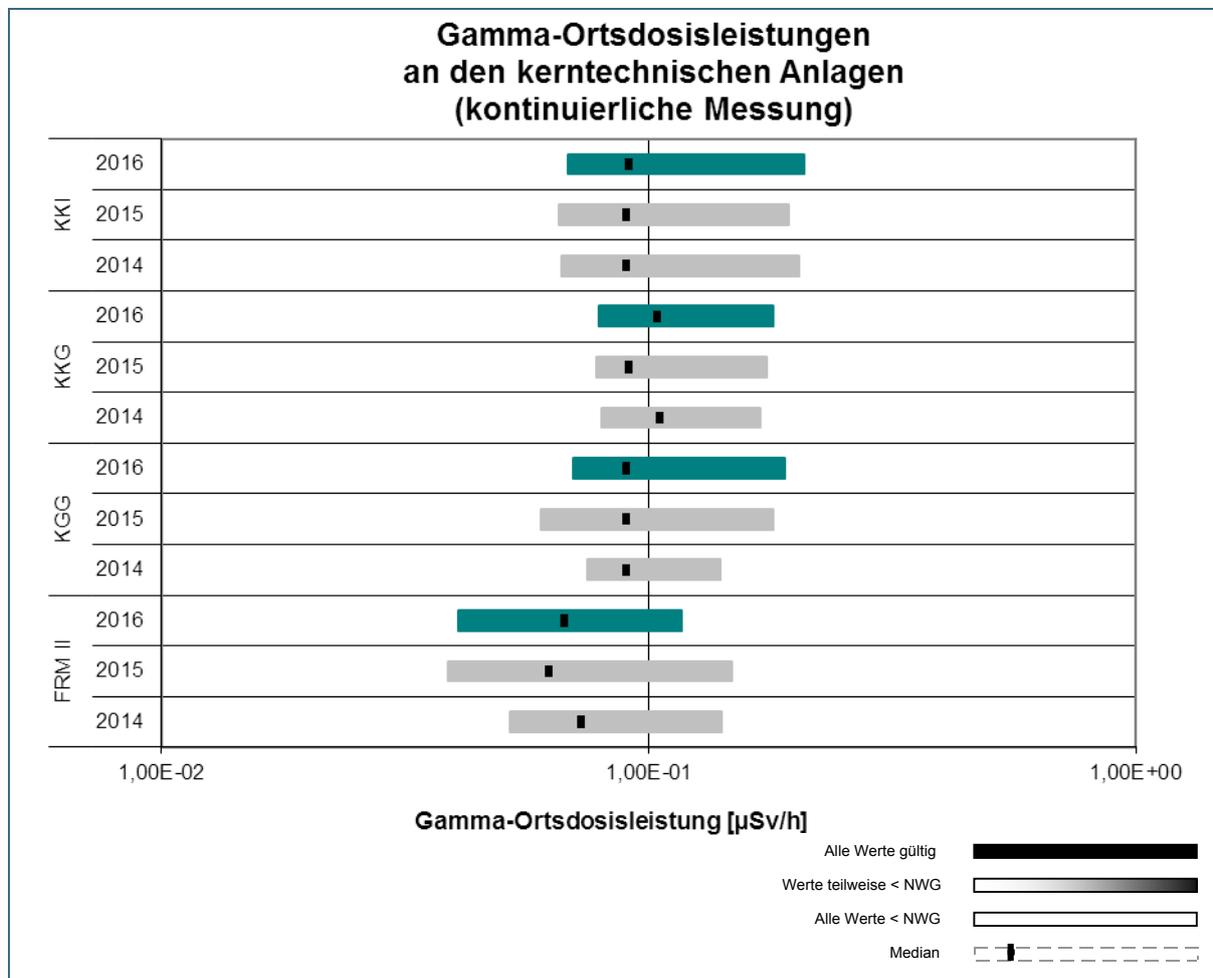


Abb. 10: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung an den kerntechnischen Anlagen (aus 10-Minuten-Messwerten) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1a im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014.

Die Gamma-Ortsdosisleistung (Abb. 10), 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. Die angegebenen Minimal- und Maximalwerte sind Mittelwerte über zehn Minuten. Zum Vergleich lassen sich die Messwerte der IfR -Stationen heranziehen, die verteilt in ganz Bayern errichtet sind. Im Jahr 2016 betrug der Mittelwert an diesen Stationen $0,10 \mu\text{Sv/h}$. Im Schwankungsbereich dieses Wertes, der auf der natürlichen Strahlung beruht, lagen auch die Ergebnisse der Gamma-Ortsdosisleistung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen.

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

Zusätzlich zur Messung der Gamma-Ortsdosisleistung in den Messhäuschen wird die Gamma-Ortsdosis mit Dosimetern bestimmt, welche integral (addierend) die Dosisbeiträge erfassen. Sie werden jeweils für ein Jahr in der Umgebung der Anlage, vom Anlagenzaun bis zu einer Entfernung von zehn Kilometern, ausgelegt. Nach einem Jahr werden sie gegen neue Dosimeter ausgetauscht und die eingesammelten im Labor ausgewertet. Die Gamma-Ortsdosis wird in Millisievert (mSv) angegeben.

Zum Vergleich: Der Jahresmittelwert der Gamma-Ortsdosis der bayerischen IfR-Stationen lag im Jahr 2016 bei rund $0,9 \text{ mSv}$ ($= 0,10 \mu\text{Sv/h} \times 24 \text{ Stunden} \times 365 \text{ Tage}$).

Die Messergebnisse der Gamma-Ortdosis nach REI (Abb. 11) lagen somit im Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung.

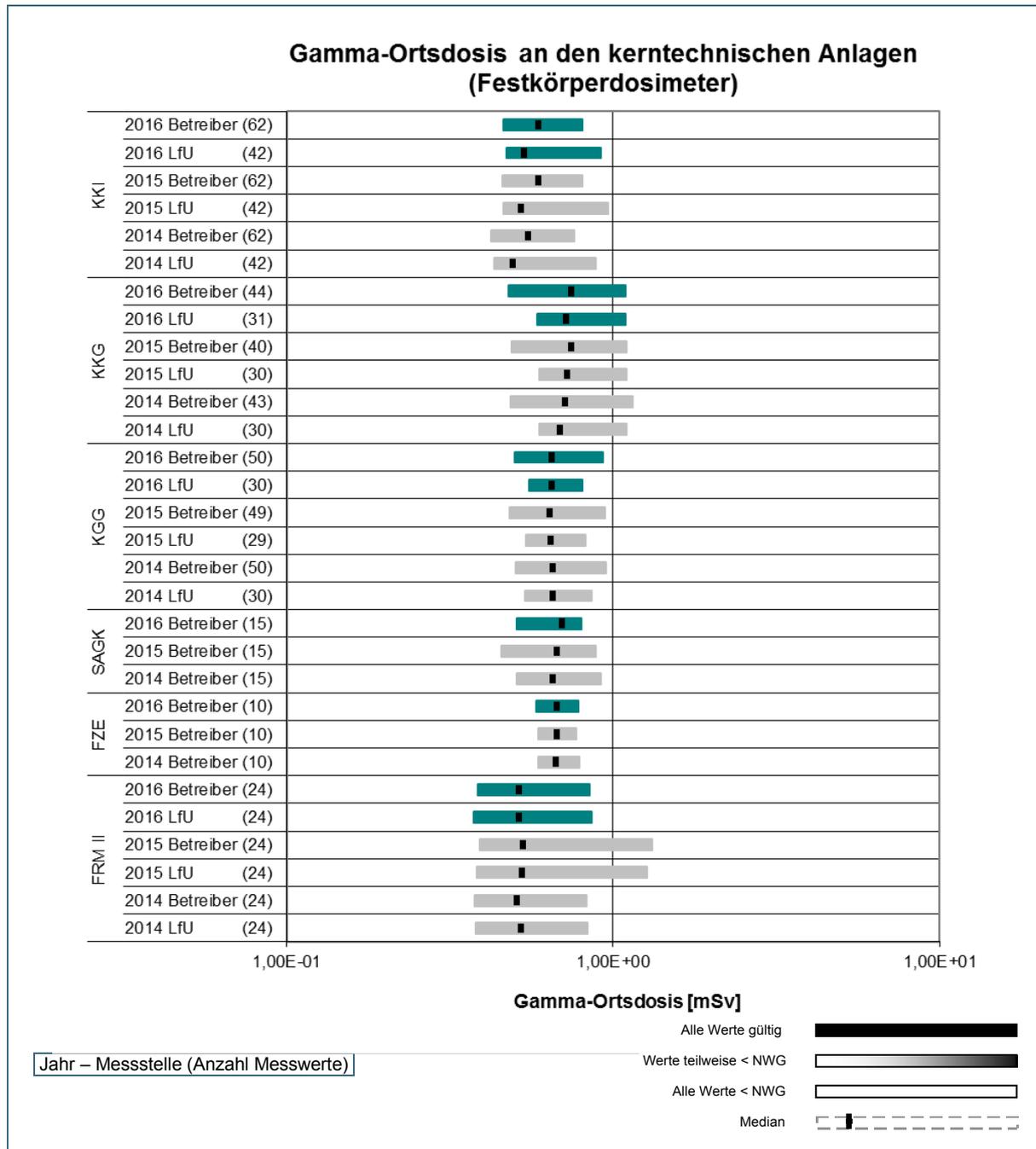


Abb. 11: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosis (Jahresdosis von Festkörperdosimetern) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1b und Tabelle A2, Punkt 1.1 im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014.

3.1.2 Umweltbereich Niederschlag

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 gammaspektrometrisch untersucht (Tab. 2). Die drei untersuchten Proben eines Quartals werden anschließend von einer unabhängigen Messstelle noch einmal als Mischprobe analysiert (Tab. 3). An den Standorten der Kernkraftwerke konnten keine künstlichen Radionuklide im Niederschlag nachgewiesen werden.

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 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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/m ²]	Minimum 2016 [Bq/m ²]	Maximum 2016 [Bq/m ²]	Median* 2015 [Bq/m ²]	Median* 2014 [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	22	< 2,7E+01	< 3,0E+00	6,2E+01		
AREVA Erlangen							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	4				< 6,4E+01	6,7E+01
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	24	21	< 3,5E+00	< 2,0E+00	< 6,0E+00		
Co-60	24	24					
C-14	24	24					
H-3	36	18	< 6,2E+02	< 2,1E+01	7,8E+03	6,6E+02	5,4E+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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/m ²]	Minimum 2016 [Bq/m ²]	Maximum 2016 [Bq/m ²]	Median* 2015 [Bq/m ²]	Median* 2014 [Bq/m ²]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	12					
Co-60	12	12					
K-40	12	6	< 1,3E+01	3,0E+00	2,6E+01	9,3E+00	< 9,0E+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	7	< 8,4E+00	< 5,1E+00	< 1,9E+01	< 6,0E+00	
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	8	8					
Co-60	8	8					
C-14	8	8					< 1,8E+01
H-3	12	4	1,3E+03**	< 3,8E+02**	2,1E+04**	1,4E+03**	1,3E+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 2016

Monat	Genehmigungsinhaber Messwert [Bq/m ²]	Genehmigungsinhaber Quartal berechnet [Bq/m ²]	Unabhängige Messstelle Messwert [Bq/m ²]
Januar	7,4E+03	1,5E+04	1,4E+04
Februar	3,3E+03		
März	4,0E+03		
April	7,8E+03	2,1E+04	2,1E+04
Mai	6,1E+03		
Juni	7,6E+03		
Juli	2,8E+02	1,2E+04	1,3E+04
August	3,8E+03		
September	5,0E+03		
Oktober	4,2E+03	6,6E+03	7,9E+03
November	2,1E+03		
Dezember	1,6E+03		

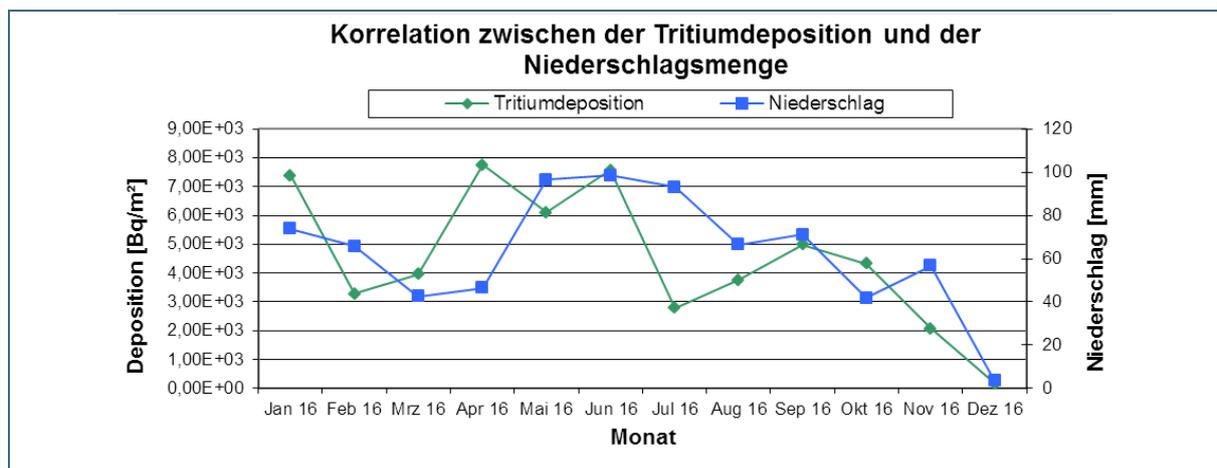


Abb. 12: Vergleich der Messwerte von Tritium und der Niederschlagsmenge am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz im Jahr 2016

3.1.3 Umweltbereich Boden

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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(TM)]	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	0	3,4E+01	1,2E+01	4,7E+01	3,9E+01	3,1E+01
Co-60	12	12					
K-40	12	0	2,3E+02	1,4E+02	5,4E+02	2,4E+02	2,4E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	10	0	4,0E+00	3,4E+00	2,6E+01	4,6E+00	4,6E+00
Co-60	10	10					
K-40	10	0	6,9E+02	3,5E+02	8,1E+02	6,2E+02	6,6E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	10	0	3,3E+01	2,0E+01	4,4E+01	3,2E+01	3,3E+01
Co-60	10	10					
K-40	10	0	3,7E+02	9,0E+01	5,4E+02	3,7E+02	3,9E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	0	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	9,3E+00	4,5E+00
Co-60	2	2					
K-40	1	0	7,4E+02	7,4E+02	7,4E+02	6,4E+02	4,6E+02
Am-241	1	1					
AREVA Erlangen							
Cs-137	4	0	1,2E+01	5,0E+00	3,7E+01	1,2E+01	1,1E+01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	5,6E+02	4,7E+02	8,9E+02	5,9E+02	7,1E+02
Cm-244	2	2					
Cm-243/244	2	2					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4					
Pu-239/240	4	4					1,4E-01
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	0	1,1E+02	3,1E+01	2,1E+02	3,1E+01	5,2E+01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,3E+02	1,2E+02	1,4E+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.

3.1.4 Umweltbereich Pflanzen/Bewuchs

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. In Bayern wird daher 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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	4,0E-01	1,4E-01	1,5E+00	4,1E-01	4,2E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,4E+02	1,1E+02	1,8E+02	1,2E+02	1,3E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,4E+02	1,0E+02	2,0E+02	1,6E+02	2,1E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	2	1,5E-01	4,7E-02	3,6E-01	1,4E-01	2,5E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,1E+02	5,6E+01	1,2E+02	1,4E+02	2,0E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	1					
Co-60	1	1					
Am-241	1	1					
AREVA Erlangen							
Cs-137	2	2				6,0E-01	2,2E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,5E+02	1,4E+02	1,6E+02	2,1E+02	1,8E+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	2				7,9E-01	1,3E+00
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,7E+02	1,4E+02	2,1E+02	2,3E+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.

3.1.5 Umweltbereich Futtermittel

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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	1,9E-01	3,4E-02	4,3E-01	2,3E-01	1,5E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,5E+02	1,2E+02	1,9E+02	1,3E+02	1,5E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	6	6					
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,8E+02	1,4E+02	3,0E+02	2,3E+02	2,0E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	0	2,3E-01	1,1E-01	1,5E+00	1,1E-01	5,8E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,5E+02	1,4E+02	2,9E+02	1,3E+02	2,0E+02
Siemens AG Karlstein							
Cs-137	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,4E+02	1,4E+02	1,4E+02	1,9E+02	1,6E+02
AREVA Erlangen							
Cs-137	2	1	1,3E-01	< 3,3E-02	2,3E-01	1,4E-01	1,1E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,8E+02	1,6E+02	1,9E+02	2,5E+02	1,5E+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	1,0E-01	8,8E-02	1,1E-01	4,3E-01	9,1E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,4E+02	1,2E+02	1,6E+02	4,4E+02	1,9E+02

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

3.1.6 Umweltbereich Ernährungskette Land

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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	5	2	< 3,1E-02	1,8E-02	1,7E-01	< 2,3E-02	2,7E-02
Sr-90	5	2	9,6E-02	< 1,1E-02	1,9E-01	< 1,4E-02	8,5E-02
Co-60	5	5					
K-40	5	0	1,3E+02	1,3E+02	1,5E+02	1,3E+02	1,2E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,2E+02	1,1E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	4				4,0E-02	
Sr-90	4	2	3,8E-02	< 9,0E-03	1,5E-01	1,1E-02	9,5E-02
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,0E+02	7,8E+01	1,1E+02	1,2E+02	1,0E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,2E-01	1,4E-01
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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	6,9E+01	4,9E+01	8,8E+01	7,6E+01	8,7E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2				4,9E-03	2,5E-02
Co-60	2	2					
K-40	2	0	4,9E+01	4,7E+01	5,1E+01	4,8E+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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	6,5E-02	6,0E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	6,2E+01	6,2E+01	6,2E+01	4,0E+01	4,5E+01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	3	3					
Sr-90	3	3				< 3,9E-02	< 4,0E-02
Co-60	3	3					
K-40	3	0	7,8E+01	6,2E+01	8,3E+01	1,0E+02	7,8E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	3,5E-02	3,5E-02	3,5E-02	5,7E-02	4,6E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	5,7E+01	1,0E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					7,2E-02
Sr-90	1	1				5,9E-02	7,9E-02
Co-60	1	1					
K-40	1	0	8,4E+01	8,4E+01	8,4E+01	1,1E+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.

3.1.7 Umweltbereich Milch und Milchprodukte

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 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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/l]	Minimum 2016 [Bq/l]	Maximum 2016 [Bq/l]	Median* 2015 [Bq/l]	Median* 2014 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	0	7,7E-02	4,9E-02	1,1E-01	4,9E-02	4,7E-02
I-131	12	12					
Sr-90	4	3	< 8,4E-03	< 7,7E-03	2,8E-02		< 9,8E-03
Co-60	4	4					
K-40	4	0	5,0E+01	4,8E+01	5,0E+01	4,9E+01	5,1E+01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	6	6					
I-131	18	18					
Sr-90	6	6					
Co-60	6	6					
K-40	6	0	4,8E+01	4,0E+01	5,8E+01	4,8E+01	5,2E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	2	1,5E-02	< 1,2E-02	6,8E-02	1,8E-02	2,1E-02
I-131	18	18					
Sr-90	6	6					< 1,5E-02
Co-60	6	6					
K-40	6	0	5,0E+01	4,8E+01	5,4E+01	5,0E+01	5,1E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	2	1	4,1E-02	< 1,7E-02	6,4E-02	4,8E-02	4,5E-02
Sr-90	2	1	2,6E-02	< 7,6E-03	4,4E-02		
Co-60	2	2					
K-40	2	0	4,9E+01	4,8E+01	5,0E+01	5,0E+01	4,6E+01

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

3.1.8 Umweltbereich Oberirdische Gewässer

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 die 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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/l]	Minimum 2016 [Bq/l]	Maximum 2016 [Bq/l]	Median* 2015 [Bq/l]	Median* 2014 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
K-40	12	2	7,0E-02	4,2E-02	1,2E-01	9,5E-02	7,3E-02
H-3	24	16	< 6,0E+00	< 3,0E+00	2,6E+02	< 7,4E+00	< 8,5E+00
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
K-40	12	12				< 3,9E-01	< 3,9E-01
H-3	24	19	< 1,0E+01	< 7,7E+00	2,1E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	40	36	< 1,7E-02	< 2,9E-03	< 3,6E-02	< 1,8E-02	1,8E-02
Co-60	40	36	< 1,9E-02	< 2,9E-03	< 3,4E-02	< 1,7E-02	1,9E-02
K-40	40	20	3,6E-02	4,6E-02	< 5,0E-01	3,9E-01	3,6E-01
H-3	40	32	< 5,4E+00	< 3,0E+00	1,4E+02	< 5,9E+00	< 6,3E+00
Siemens AG Karlstein**							
Cs-137	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	8,4E-01	8,4E-01	8,4E-01	8,1E-01	8,8E-01
H-3	1	1					
AREVA Erlangen***							
Cs-137	4	4					
I-131	2	0	6,7E-02	4,7E-02	8,6E-02	1,8E-01	1,9E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	3,9E-01	3,3E-01	4,8E-01	5,5E-01	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	18	< 5,6E-03	< 4,7E-03	< 4,6E-02	< 5,8E-03	< 5,7E-03
K-40	20	15	< 1,0E-01	6,7E-02	< 5,9E-01	1,1E-01	< 8,7E-02
C-14	20	20					< 1,1E-01
H-3	20	12	< 3,2E+00	< 3,2E+00	1,5E+02	< 3,0E+00	< 3,0E+00
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	3	3					
Pu-239/240	3	3					
Pu-238	3	3					

*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

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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(TM)]	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	8	0	3,1E+01	2,4E+01	4,1E+01	3,3E+01	3,2E+01
I-131	3	0	1,7E+01	1,6E+01	4,4E+01	2,9E+01	2,5E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	2,8E+02	2,4E+02	3,2E+02	2,7E+02	2,6E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	8	0	2,1E+01	1,9E+01	2,3E+01	2,0E+01	2,1E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	7,6E+02	7,2E+02	8,2E+02	7,6E+02	7,5E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	12	0	3,9E+01	1,5E+01	7,6E+01	3,7E+01	4,4E+01
I-131	0	0				2,2E+01	3,5E+01
Co-60	12	9	< 3,6E-01	< 1,7E-01	4,6E+00	< 3,3E-01	< 4,9E-01
Mn-54	0	0				4,5E-01	7,0E-01
K-40	12	0	3,4E+02	2,4E+02	4,0E+02	3,4E+02	3,4E+02
Siemens AG Karlstein**							
Cs-137	3	2	< 9,4E-01	< 7,8E-01	2,0E+00	7,0E-01	7,2E-01
I-131	0	0					5,2E+01
Co-60	3	3					
K-40	3	0	3,4E+02	9,8E+01	5,5E+02	3,6E+02	3,1E+02
AREVA Erlangen***							
Cs-137	10	0	3,5E+00	1,4E+00	6,5E+00	3,8E+00	4,1E+00
I-131	4	0	2,3E+01	1,3E+01	4,4E+01	2,0E+01	1,2E+01
Co-60	10	4	9,7E-01	< 4,6E-01	3,3E+00	9,6E-01	< 4,9E-01
K-40	10	0	4,7E+02	1,5E+02	5,7E+02	5,1E+02	5,4E+02
Cm-244	6	6					
Cm-243/244	4	4					
Cm-242	10	10					
Am-241	10	9	< 1,3E-01	< 6,2E-02	5,7E-01	< 1,2E-01	< 1,0E-01
Pu-239/240	10	8	< 1,5E-01	< 7,0E-02	3,6E-01	< 1,8E-01	< 1,1E-01
Pu-238	10	10					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	12	0	8,9E+00	3,5E+00	1,9E+01	8,1E+00	1,1E+01
I-131	1	0	1,6E+01	1,6E+01	1,6E+01	3,5E+00	3,7E+01
Co-60	12	12				< 1,0E-01	< 1,2E-01
K-40	12	0	1,3E+02	8,8E+01	1,7E+02	1,2E+02	1,3E+02
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	2				3,2E-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.

3.1.9 Umweltbereich Ernährungskette Wasser

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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(TM)]	Median* 2015 [Bq/kg(TM)]	Median* 2014 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	0	9,8E+00	9,8E+00	9,8E+00	7,0E+00	7,8E+00
I-131	1	0	2,2E+01	2,2E+01	2,2E+01	1,1E+01	5,0E+01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	7,1E+02	7,1E+01	7,1E+01	3,1E+02	3,6E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	0	5,3E+00	1,9E+00	8,7E+00	4,3E+00	3,0E+00
I-131	2	1	1,6E+00	< 1,5E+00	1,6E+00	2,8E+00	2,9E+00
Co-60	2	0	2,3E-01	2,2E-01	2,3E-01	4,7E-01	3,0E-01
K-40	2	0	7,3E+02	6,1E+02	8,4E+02	9,5E+02	9,4E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	0	6,9E+00	5,2E+00	8,8E+00	6,6E+00	1,1E+00
I-131	1	0	9,2E-01	9,2E-01	9,2E-01	1,2E+00	
Co-60	2	1	6,6E-01	< 4,4E-01	8,9E-01		
K-40	2	0	6,6E+02	4,7E+02	8,5E+02	5,9E+02	6,4E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	0	5,7E+00	4,5E+00	9,0E+00	9,3E+00	3,7E+00
I-131	4	0	1,7E+01	1,9E+00	3,5E+02	6,0E+00	2,6E+00
Co-60	4	3	< 2,4E-01	< 2,1E-01	4,7E-01	< 2,1E-01	
Mn-54	0	0				3,5E-01	
K-40	4	0	3,1E+02	2,3E+02	3,7E+02	2,6E+02	5,3E+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 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2016	Anzahl <NWG 2016	Median* 2016 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2016 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2016 [Bq/kg(FM)]	Median* 2015 [Bq/kg(FM)]	Median* 2014 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	2	1,8E-01	< 1,4E-01	8,6E-01	< 1,4E-01	1,6E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,2E+02	1,1E+02	1,3E+01	1,1E+02	1,1E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld**							
Cs-137	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,4E+02	1,3E+02	1,4E+02	1,4E+02	1,1E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	3	2,0E-01	< 1,3E-01	2,7E-01	2,1E-01	1,7E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,1E+02	5,9E+01	1,2E+02	9,2E+01	1,1E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					3,8E-01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02

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

**Wegen Hochwasser konnten nur 2 von 4 Fischproben genommen werden.

3.1.10 Umweltbereich Trink- und Grundwasser

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 als auch von der unabhängigen Messstelle durchgeführt. In einem Fall konnte im Grundwasser Cäsium-137 in Spuren nachgewiesen werden.

3.1.11 Zusammenfassung Umgebungsüberwachung

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 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).

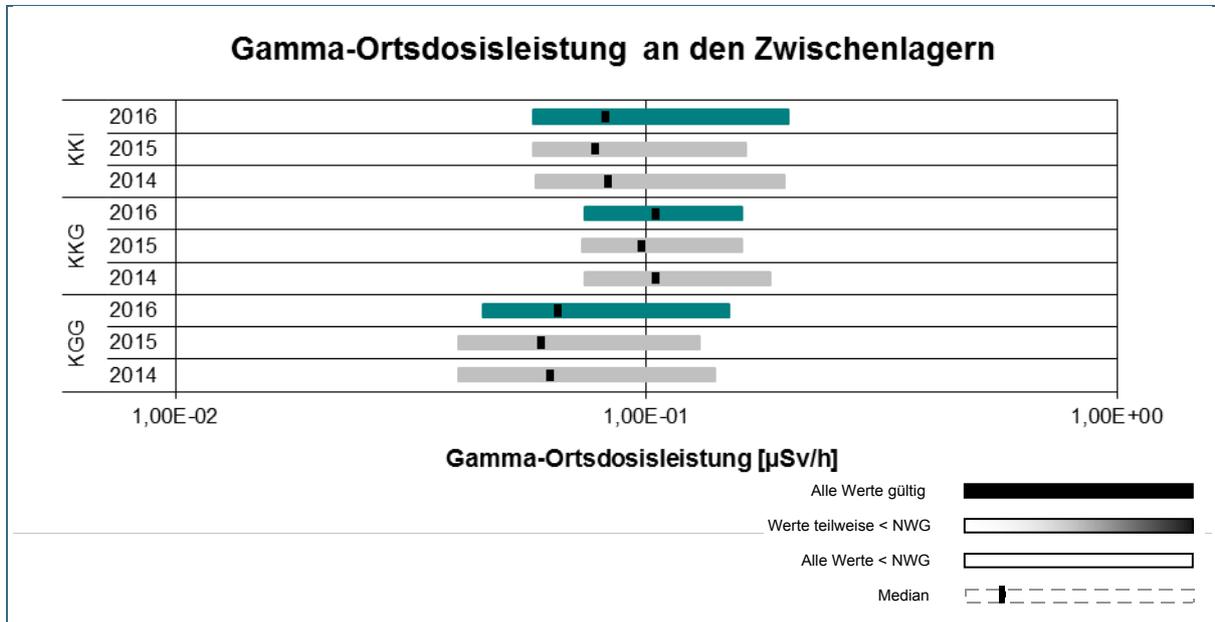


Abb. 13: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014

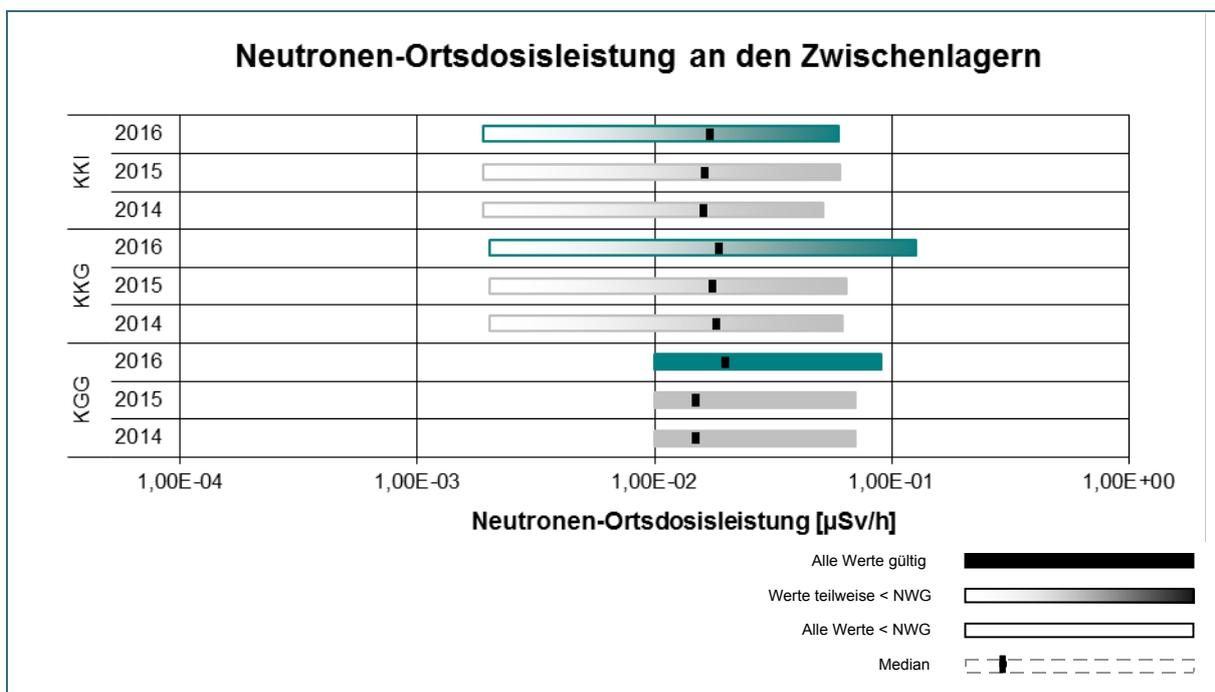


Abb. 14: Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014

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 Strahlenschutzverordnung (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 2016; Angaben in Bq/l

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	I-131	Cs-137
Grundwasserpegel G5	20.09.2016	<5,2	0,10	<0,073	<0,0045	<0,017	<0,0042	<0,0069	<0,0042
Grundwasserpegel G7	20.09.2016	<5,2	<0,063	<0,085	<0,027	<0,020	<0,0050	<0,025	<0,0050
Grundwasserpegel G10	20.09.2016	<5,2	<0,060	<0,089	<0,024	<0,017	<0,0043	<0,022	<0,0041
Grundwasserpegel G10a	20.09.2016	<5,2	<0,062	<0,092	<0,024	<0,018	<0,0039	<0,020	<0,0040
Grundwasserpegel G11	20.09.2016	<5,2	0,069	<0,093	<0,024	<0,014	<0,0032	<0,031	<0,0039
Grundwasserpegel G14	20.09.2016	<5,2	0,13	<0,076	<0,0047	<0,014	<0,0035	<0,0065	<0,0036
Grundwasserpegel G17	20.09.2016	<5,2	0,052	<0,072	<0,0045	<0,014	<0,0039	<0,30	<0,0036
Grundwasserpegel G18	20.09.2016	<5,2	0,065	<0,11	<0,031	<0,020	<0,0055	<0,040	<0,0056
Niederschlagswasser Dachablauf R9*	20.09.2016	64							
Niederschlagswasser Abluftkamin FRM II (H-3)	Jan 16		2,00E+03		Jul 16		2,08E+03		
	Feb 16		4,35E+03		Aug 16		5,01E+03		
	Mrz 16		7,72E+03		Sep 16		7,54E+03		
	Apr 16		5,17E+03		Okt 16		5,16E+02		
	Mai 16		5,38E+03		Nov 16		1,01E+04		
	Jun 16		2,34E+03		Dez 16		1,47E+02		

* vgl. Kap. 3.1.2 Umweltbereich Niederschlag

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

Tab. 17: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2016; 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	14.09.2016	<5,2	0,098	<0,083	<0,031	<0,017	<0,0044	<0,69	<0,0045
Grundwasserpegel B-60/5	14.09.2016	<5,2	0,049	<0,093	<0,0057	0,016	<0,0040	-	<0,0041
Grundwasserpegel B-60/47	14.09.2016	<5,2	0,068	<0,079	<0,017	<0,013	<0,0036	<0,59	<0,0033
Grundwasserpegel B-60/61	14.09.2016	<5,2	0,08	<0,084	<0,021	<0,012	<0,0028	<0,076	<0,0035
Grundwasserpegel B-42	14.09.2016	<5,2	0,12	<0,078	<0,023	<0,017	<0,0040	<0,57	<0,0041
Häusliches Abwasser*)	28.07.2016	<5,2	<1,4	<3,1	<0,19	<0,47	<0,11	<0,71	<0,13
Häusliches Abwasser	19.10.2016	-	<1,2	<2,3	<0,61	<0,37	<0,088	<0,19	<0,095
Klärschlamm*) [Bq/kg(TM)]	28.07.2016	-	449	83	3,3	62	<0,44	<2,9	24
Klärschlamm [Bq/kg(TM)]	19.10.2016	-	159	<152	<18	74	<2,8	<20	8,4

*während Revision beprobt

3.3.2.3 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)

Tab. 18: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2016; Angaben in Bq/l

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Ra-226	U-235	Ac-228	Co-60	I-131	Cs-137
Grundwasserpegel B5	20.07.2016	<5,2	0,26	<0,066	<0,0041	<0,013	<0,0030	<0,0054	<0,0031
Grundwasserpegel B10	20.07.2016	<5,2	0,24	<0,063	<0,0039	<0,015	<0,0038	<0,0073	<0,0036
Grundwasserpegel B11	20.07.2016	<5,2	0,24	<0,075	<0,015	<0,014	<0,0037	<0,0056	<0,0037
Grundwasserpegel B12	20.07.2016	<5,2	0,30	<0,065	<0,0040	<0,012	<0,0031	<0,012	<0,0030
Grundwasserpegel B13	20.07.2016	<5,2	0,35	<0,044	<0,013	0,010	<0,0026	<0,013	<0,0024
Häusliches Abwasser *)	23.05.2016	<5,2	<1,2	<2,3	<0,14	<0,35	<0,093	<0,094	<0,087
Häusliches Abwasser **)	10.10.2016	<5,2	<1,4	<2,6	<0,73	<0,30	<0,073	<0,13	<0,093
Klärschlamm [Bq/kg(TM)]	29.08.2016	-	250	<67	<6,3	24	<1,9	<6,0	5,4

*1. Halbjahr; **2. Halbjahr

3.3.2.4 Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)

Tab. 19: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2016; 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	07.06.2016	<5,2	0,15	<0,075	<0,0046	<0,018	<0,0044	<0,023	<0,0043
Grundwasserpegel B 210	07.06.2016	<5,2	<0,062	<0,083	<0,0051	<0,014	<0,0036	<0,0088	<0,0037
Grundwasserpegel B 211	07.06.2016	<5,2	0,067	<0,067	<0,0041	<0,016	<0,0039	<0,096	<0,0039
Grundwasserpegel B 213	07.06.2016	<5,2	0,07	<0,088	<0,0054	<0,017	<0,0039	<0,10	<0,0041
Grundwasserpegel B 214	07.06.2016	<5,2	<0,047	<0,090	<0,025	<0,016	<0,0045	<0,010	<0,0045
Häusliches Abwasser *)	03.05.2016	<5,2	1,9	<3,1	<0,19	<0,46	<0,11	<0,15	<0,13
Häusliches Abwasser	16.11.2016	<5,2	<1,6	<2,5	<0,15	<0,40	<0,10	<0,16	<0,11
Klärschlamm *) [Bq/kg(TM)]	03.05.2016	-	161	<81	<5,7	41	<4,3	126	7,2
Klärschlamm [Bq/kg(TM)]	16.11.2016	-	109	<96	<20	28	<4,8	<6,9	7,6

*während Revision beprobt

3.3.3 Zusammenfassende Beurteilung

Fazit

Die vom LfU im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht untersuchten Proben zeigen keine Auffälligkeiten. 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 2012 bis 2016

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2016	2015	2014	2013	2012
Kernkraftwerk Isar 1 (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,02	0,01	< 0,01	0,01	0,02
Tritium	1,85E+13	0,31	0,17	0,07	0,05	0,14
Kernkraftwerk Isar 2 (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,50E+10	< 0,01	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Tritium	4,80E+13	22,92	37,50	52,08	45,83	47,92
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,55E+10	0,15	0,03	0,03	0,02	0,04
Tritium	4,07E+13	2,55	10,56	34,42	39,95	51,38
Kernkraftwerk Gundremmingen (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,47	0,49	0,36	0,19	0,32
Tritium	3,70E+13	7,08	10,81	6,59	10,38	9,32
AREVA Erlangen Bau 34						
Gammastrahler	2,00E+08	0,23	0,48	0,33	0,25	0,61
Tritium	1,00E+12	0,14	0,10	0,06	0,07	0,08
Gesamt-Alpha	7,00E+06	3,67	2,43	2,70	0,73	2,74
Gesamt-Beta	2,00E+08	0,48	0,59	0,84	0,52	1,10
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	2,00E+09	2,95	2,40	6,00	2,70	3,35
Tritium	2,00E+11	2,4	26,00	14,5	1,30	1,43
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 2012 bis 2016

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2016	2015	2014	2013	2012
Kernkraftwerk Isar 1						
Edelgase	1,1E+15 ¹⁾	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Jod	1,1E+10	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
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⁾	0,03	0,02	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	0,01	0,02
Kohlenstoff-14	1,1E+15 ¹⁾	0,01	0,06	0,04	0,01	0,03
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld						
Edelgase	1,11E+15 ²⁾	< NWG	< 0,01	0,06	0,01	< 0,01
Jod	1,63E+10	< NWG	< NWG	< 0,01	< NWG	< NWG
Aerosole	3,70E+10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tritium	1,11E+13	1,99	1,73	1,48	1,30	1,32
Kohlenstoff-14	1,11E+15 ²⁾	< 0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
Kernkraftwerk Gundremmingen						
Edelgase	1,85E+15	0,24	0,18	0,16	0,17	0,16
Jod-131	2,20E+10	0,18	0,14	0,15	0,13	0,10
Aerosole	3,70E+10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< NWG
Tritium	2,20E+13	0,75	3,15	1,87	3,24	3,12
Kohlenstoff-14	³⁾	< 0,01	0,05	0,05	0,06	0,05
AREVA Erlangen Bau 34						
Edelgase	9,00E+11	< NWG	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04
Jod-123	1,00E+10	< NWG	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Jod-129	1,50E+06	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Jod-131	1,00E+08	0,59	0,06	0,17	< NWG	0,45
Aerosole	2,00E+09	< 0,01	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Tritium	7,00E+10	0,46	0,69	0,71	0,44	0,44
Kohlenstoff-14	3,00E+10	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Edelgase	2,0E+13	1,35	1,80	1,45	2,55	1,83
Jod	1,5E+08	< NWG	< NWG	< NWG	0,01	0,02
Aerosole	2,0E+06	0,50	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Tritium	3,0E+12	19,67	14,00	14,33	18,67	14,70
Kohlenstoff-14	2,0E+10	30,50	24,50	20,00	23,00	96,00
Forschungsreaktor München FRM						
Tritium	3,0+10 ⁴⁾	1,53	1,90	0,53	6,91	7,60
Kohlenstoff-14	--- ⁵⁾				< NWG	< NWG

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 2015/2016

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):

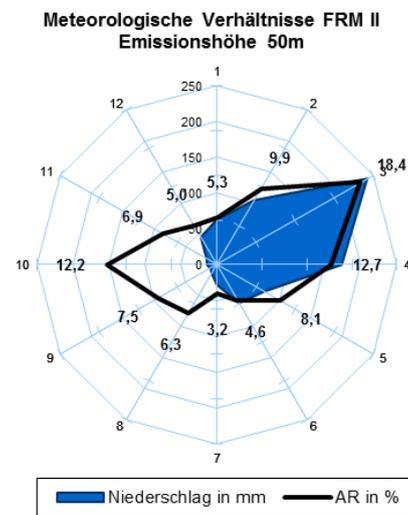
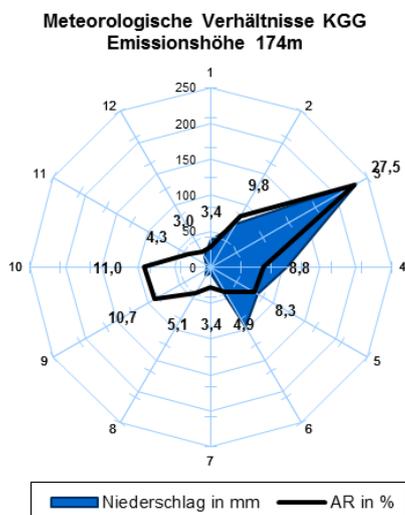
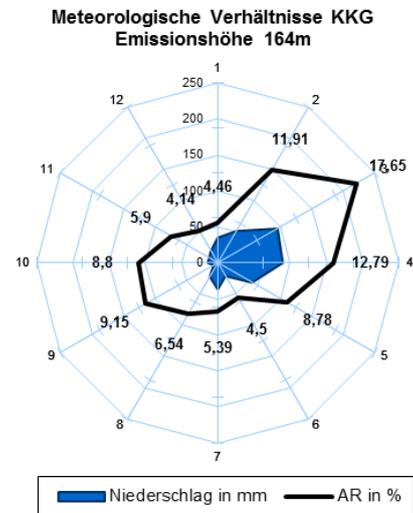
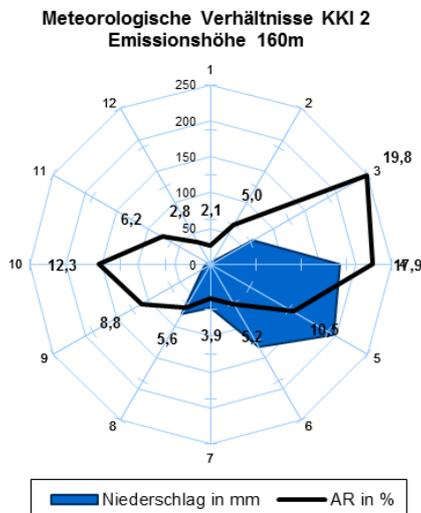
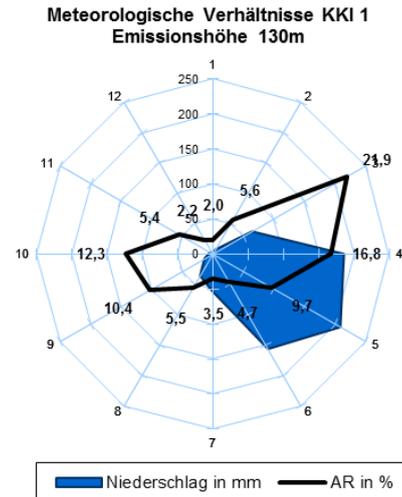


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2016

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 2016 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	7
Abb. 2:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Wasser im Jahr 2016.	10
Abb. 3:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Wasser im Jahr 2016	11
Abb. 4:	Aktivitätsmesswerte (Cäsium-137) von 6 Flussbarschen und 17 Renken, die in den Jahren 2013 bis 2016 aus oberbayerischen Seen entnommen wurden	12
Abb. 5:	Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor).	13
Abb. 6:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2016.	14
Abb. 7:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2016	15
Abb. 8:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Futtermittel im Jahr 2016	16
Abb. 9:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2016	17
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 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014.	20
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 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014.	22
Abb. 12:	Vergleich der Messwerte von Tritium und der Niederschlagsmenge am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz im Jahr 2016	24
Abb. 13:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014	35
Abb. 14:	Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014	35
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 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014.	36
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 2016 im Vergleich zu den Vorjahren 2015 und 2014	37
Abb. 17:	Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2016	42

4.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kerntechnische Anlagen in Bayern	19
Tab. 2:	Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A1, Punkt 2.0 (Betreiber) im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	23
Tab. 3:	Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag nach REI, Tabelle A2, Punkt 2.0 (Unabhängige Messstelle) im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	24
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 2016	24
Tab. 5:	Übersicht über die Aktivitäten in Boden nach REI, Tabelle A1, Punkt 3.0 und Tabelle A2, Punkt 3.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	25
Tab. 6:	Übersicht über die Aktivitäten in Pflanzen/Bewuchs nach REI, Tabelle A1, Punkt 4.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	26
Tab. 7:	Übersicht über die Aktivitäten in Weide- und Wiesenbewuchs nach REI, Tabelle A2, Punkt 4.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	27
Tab. 8:	Übersicht über die Aktivitäten in Getreide nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	28
Tab. 9:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischobst nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	28
Tab. 10:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischgemüse nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	29
Tab. 11:	Übersicht über die Aktivitäten in Milch nach REI, Tabelle A2, Punkt 6.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	30
Tab. 12:	Übersicht über die Aktivitäten in Oberflächenwasser nach REI, Tabellen A1, Punkt 5.0 und Tabelle A2, Punkt 7.1 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	31
Tab. 13:	Übersicht über die Aktivitäten in Sediment nach REI, Tabelle A2, Punkt 7.2 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	32
Tab. 14:	Übersicht über die Aktivitäten in Wasserpflanzen im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	33
Tab. 15:	Übersicht über die Aktivitäten in Fischen nach REI, Tabelle A2, Punkt 8.0 im Jahr 2016. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2015 und 2014 angegeben.	34
Tab. 16:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse FRM II im Jahr 2016; Angaben in Bq/l	38
Tab. 17:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2016; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	39
Tab. 18:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2016; Angaben in Bq/l	39

Tab. 19:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2016; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	39
Tab. 20:	Emissionen mit dem Abwasser der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2012 bis 2016	40
Tab. 21:	Emissionen mit der Abluft der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2012 bis 2016	41
Tab. 22:	Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2016 für die Strahlenexpositionen auf dem Luft- und Wasserpfad in Prozent des Grenzwertes	44

