



Strahlenhygienischer Jahresbericht 202%

Allgemeine Umweltradioaktivität
und
Umgebungsüberwachung
der kerntechnischen Anlagen
in Bayern



strahlung



Strahlenhygienischer Jahresbericht 2021

Allgemeine Umweltradioaktivität und Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen in Bayern

Impressum

Strahlenhygienischer Jahresbericht 2021

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

LfU: Sigrid Richter, Thomas Pfau, Michael Bielz

Bildnachweis:

LfU

Stand:

Juni 2022

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden 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.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation 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 12 22 20 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	Expositionsprofil Wasser	10
2.2	Expositionsprofil Land	12
2.3	Reststoffe und Abfälle	16
2.4	Zusammenfassung Überwachung der Umweltradioaktivität	17
3	Überwachung kerntechnischer Anlagen	18
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	34
3.1.10	Umweltbereich Trink- und Grundwasser	35
3.1.11	Zusammenfassung Umgebungsüberwachung	35
3.2	Brennelementzwischenlager	36
3.3	Messungen der technischen Gewässeraufsicht	39
3.3.1	Vorbemerkungen	39
3.3.2	Messergebnisse	39
3.3.2.1	Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)	39
3.3.2.2	Kernkraftwerke Isar 1 und 2 (KKI 1 und KKI 2)	40
3.3.2.3	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)	40
3.3.2.4	Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)	40
3.3.3	Zusammenfassende Beurteilung	40
3.4	Emissionen	41

3.5	Meteorologische Verhältnisse	43
3.6	Ausbreitungsrechnungen	44
3.6.1	Allgemeines	44
3.6.2	Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	45
4	Anhang	46
4.1	Abkürzungsverzeichnis	46
4.1.1	Kerntechnische Anlagen	46
4.1.2	Zwischenlager	46
4.1.3	Einheiten	46
4.1.4	Gesetze und Verordnungen	46
4.1.5	Sonstiges	46
4.2	Abbildungsverzeichnis	47
4.3	Tabellenverzeichnis	48

Vorwort

Die strahlenhygienische Gesamtsituation wird in Deutschland von verschiedenen Institutionen mit großem technischem Aufwand erfasst. In Bayern nimmt das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) weite Teile dieser Aufgabe wahr.

Dieser Bericht gibt für das Bundesland 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“.

Die im Rahmen der Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität und der Umgebungsüberwachung der bayerischen kerntechnischen Anlagen ermittelten Einzelmessergebnisse der vergangenen Jahre sind auf der Internetseite des LfU abrufbar.

Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität:

- Link zu den Messwerten →
<https://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/strvgprobe>

Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Bayern:

- Link zu den Messwerten →
<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

Radioaktive Stoffe sind in der Umwelt überall anzutreffen, sie können natürlichen oder künstlichen Ursprungs sein. In diesem Bericht werden, mit Ausnahme des natürlichen Kalium-40 und der Uranisotope 234, 235 und 238, nur künstliche radioaktive Stoffe betrachtet. Diese stammen aus der Nutzung der Kerntechnik, von medizinischen Anwendungen oder sonstigen zivilisatorischen Quellen. Die im Rahmen der Untersuchungen am häufigsten nachgewiesenen radioaktiven Nuklide sind Cäsium-137 und Kalium-40. Ebenfalls regelmäßig 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 1986 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, ebenso wie Strontium-89 mit einer Halbwertszeit von rund 50 Tagen. Sie entstehen innerhalb weniger Minuten durch mehrfachen Zerfall aus primären Spaltprodukten und wurden in größeren Mengen vor allem bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl und bei den oberirdischen Kernwaffentests freigesetzt¹. Auf die Kernwaffenversuche sind auch die vereinzelt nachweisbaren Aktivitäten von Plutonium zurückzuführen.

Jod-131 mit einer Halbwertszeit von acht Tagen entsteht ebenfalls bei der Kernspaltung. Die größten Freisetzungen sind jedoch den medizinischen Anwendungen zuzuordnen, bei denen Jod-131 im Bereich der Diagnostik und Therapie eingesetzt wird. Zum Beispiel gelangt mit den Ausscheidungen der behandelten Patienten Jod-131 über die Kanalisation in die Umwelt.

Soweit die Messwerte der künstlichen Nuklide in diesem Bericht im Bereich der langjährigen Messreihen liegen, kann davon ausgegangen werden, dass sie als Folge des Tschernobyl-Unfalls, der Kernwaffenversuche, medizinischer Anwendungen und genehmigter Ableitungen auftreten.

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. Das natürliche radioaktive Isotop Kalium-40 mit einer Halbwertszeit von über einer Milliarde Jahren ist 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.

¹ Freisetzungen Strontium-89: Tschernobyl: 1,2E+17 Bq, Kernwaffen: 1,2E+19 Bq;
Freisetzungen Strontium-90: Tschernobyl: 1,0E+16 Bq, Kernwaffen: 6,0E+17 Bq
(aus „Radioaktivität in Lebensmitteln“, J. F. Diehl, 2003, WILEY-VCH)

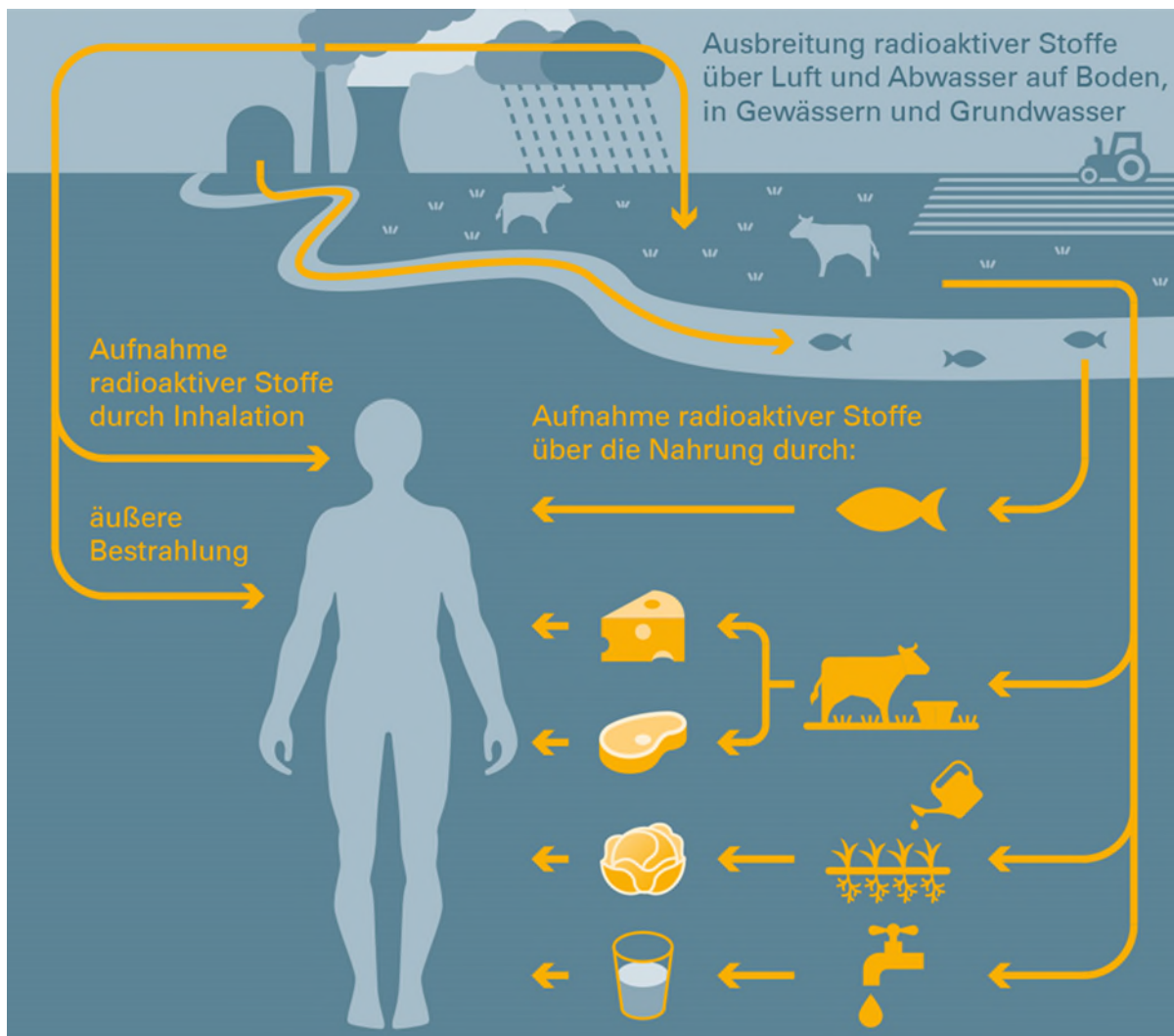


Abb. 1: Mögliche Transportwege radioaktiver Stoffe zum Menschen

Die einzelnen Expositionspfade werden über Messungen der Luft, die regelmäßige Beprobung von Boden und Wasser und die Untersuchung der Ernährungsketten „Wasser“ und „Land“ überwacht.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt findet flächendeckend in ganz Deutschland statt. Die rechtliche Grundlage bildet das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG). Für die Untersuchung der Luft sind das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der Deutsche Wetterdienst (DWD) zuständig. Unterstützt von weiteren Bundesbehörden untersuchen die Länder die Ernährungsketten „Land“ und „Wasser“ sowie Reststoffe und Abfälle. Die Ergebnisse der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt 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 überprüft 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 Umweltradioaktivität sowie zur Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind auf der Internetseite des LfU zu finden:

- Link zu „Überwachung der Umweltradioaktivität“ → https://www.lfu.bayern.de/strahlung/uew_radioaktivitaet_umwelt/index.htm

- Link zu „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 Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung - Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)“ 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 (AVV-IMIS)“ festgelegt.

Nach einem für jedes Bundesland festgelegten Mengengerüst werden Lebensmittel, Futtermittel und weitere Umweltproben an vorher festgelegten Probenentnahmeorten genommen. In Bayern werden rund 1.500 Proben vom LfU routinemäßig untersucht. Die Messergebnisse 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 werden im Rahmen der Lebensmittelüberwachung weitere Proben untersucht.

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

Beim Expositionspfad Wasser werden Gewässer (Abb. 2) und Fische (Abb. 3) untersucht.

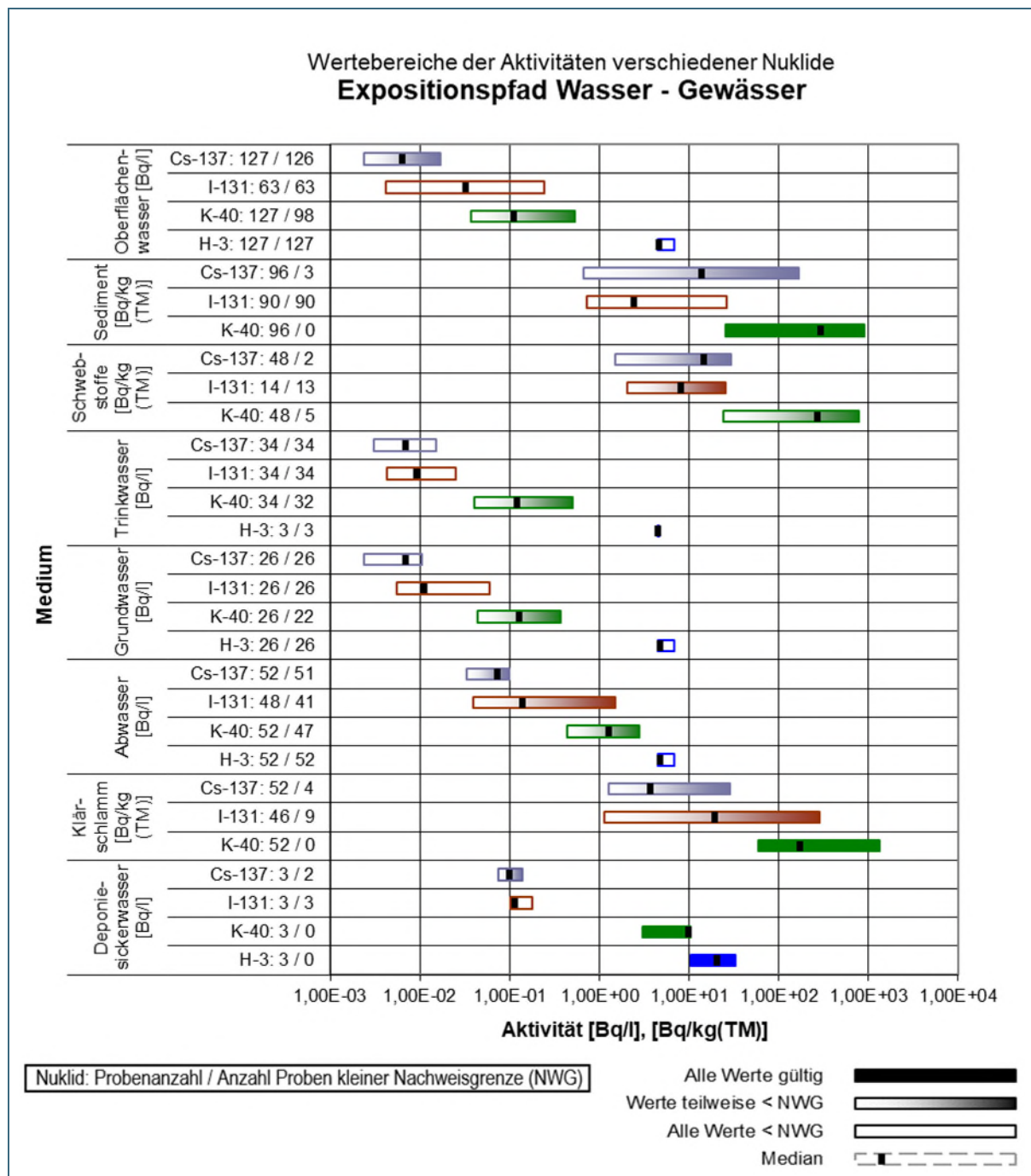


Abb. 2: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfad Wasser im Jahr 2021

Das Nuklid Cäsium-137 wurde lediglich in einer der 127 Oberflächenwasserproben nachgewiesen. Anders verhält es sich bei den untersuchten Sediment- und Schwebstoffproben. Hier wurde Cäsium-137 als Folge von Tschernobyl in nahezu allen Proben nachgewiesen. 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.

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 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.

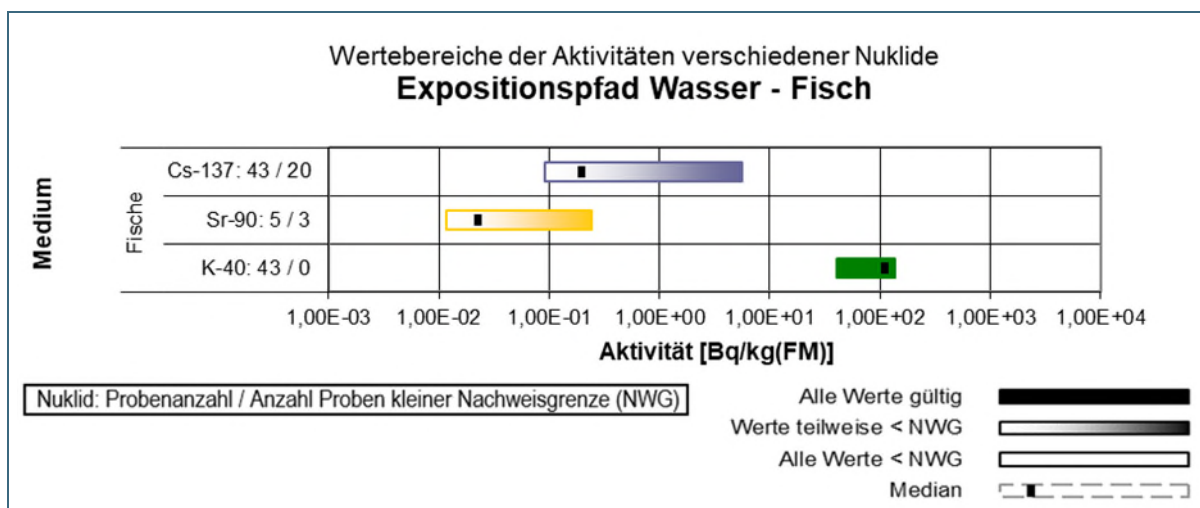


Abb. 3: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Wasser im Jahr 2021

Das nachgewiesene Cäsium-137 und Strontium-90 in Fischen ist auf die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl und oberirdische Kernwaffentests zurückzuführen.

2.2 Expositionspfad Land

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

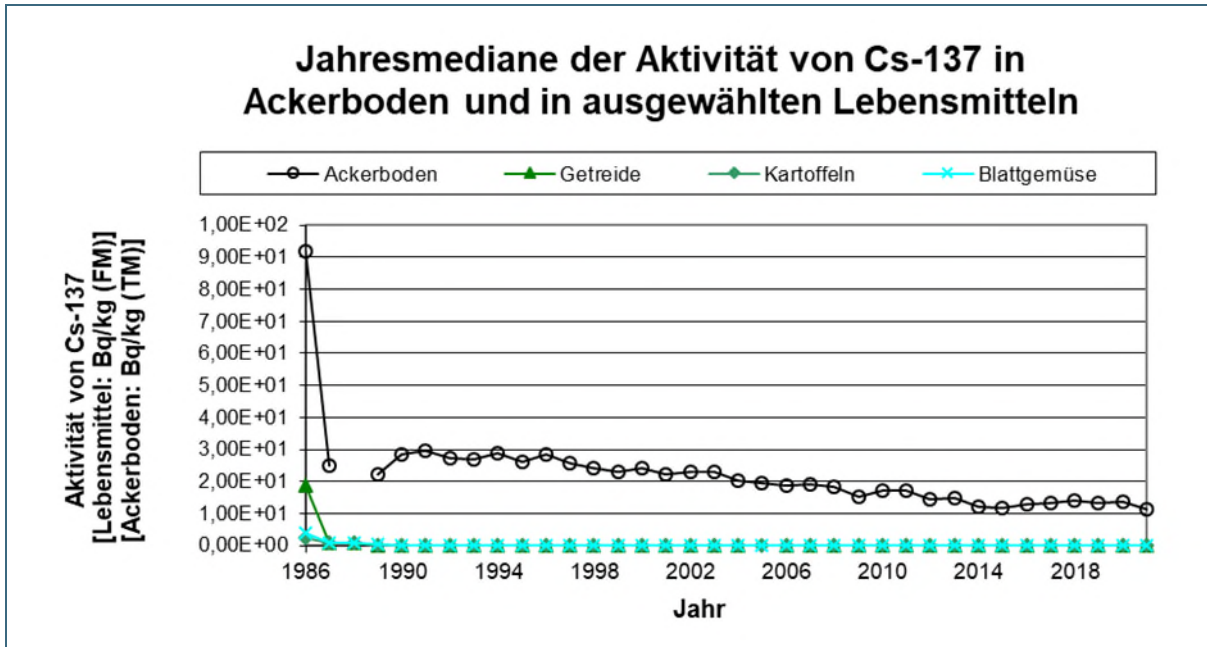


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor)

Eine Besonderheit stellen Lebensmittel aus dem Waldökosystem dar. Im Gegensatz zum Ackerboden finden 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. 5).

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. 5).

Zusätzlich zu den Stichproben von einzelnen Lebensmitteln wird auch sogenannte Gesamt- und Kleinkindernahrung beprobt. Die Untersuchung von Gesamtnahrung (verzehrfertige 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 Durchführungsverordnung (EU) 2020/1158 für Drittlanderzeugnisse

Bei importierten landwirtschaftlichen Erzeugnissen gilt für Milch und Milcherzeugnisse sowie Lebensmittel für Kleinkinder eine maximale Aktivität von 370 Bq/kg (FM), für alle anderen Erzeugnisse 600 Bq/kg (FM) für Cäsium-137. Dieser Höchstwert wird in Deutschland auch für die Verkehrsfähigkeit von Wildbret verwendet.

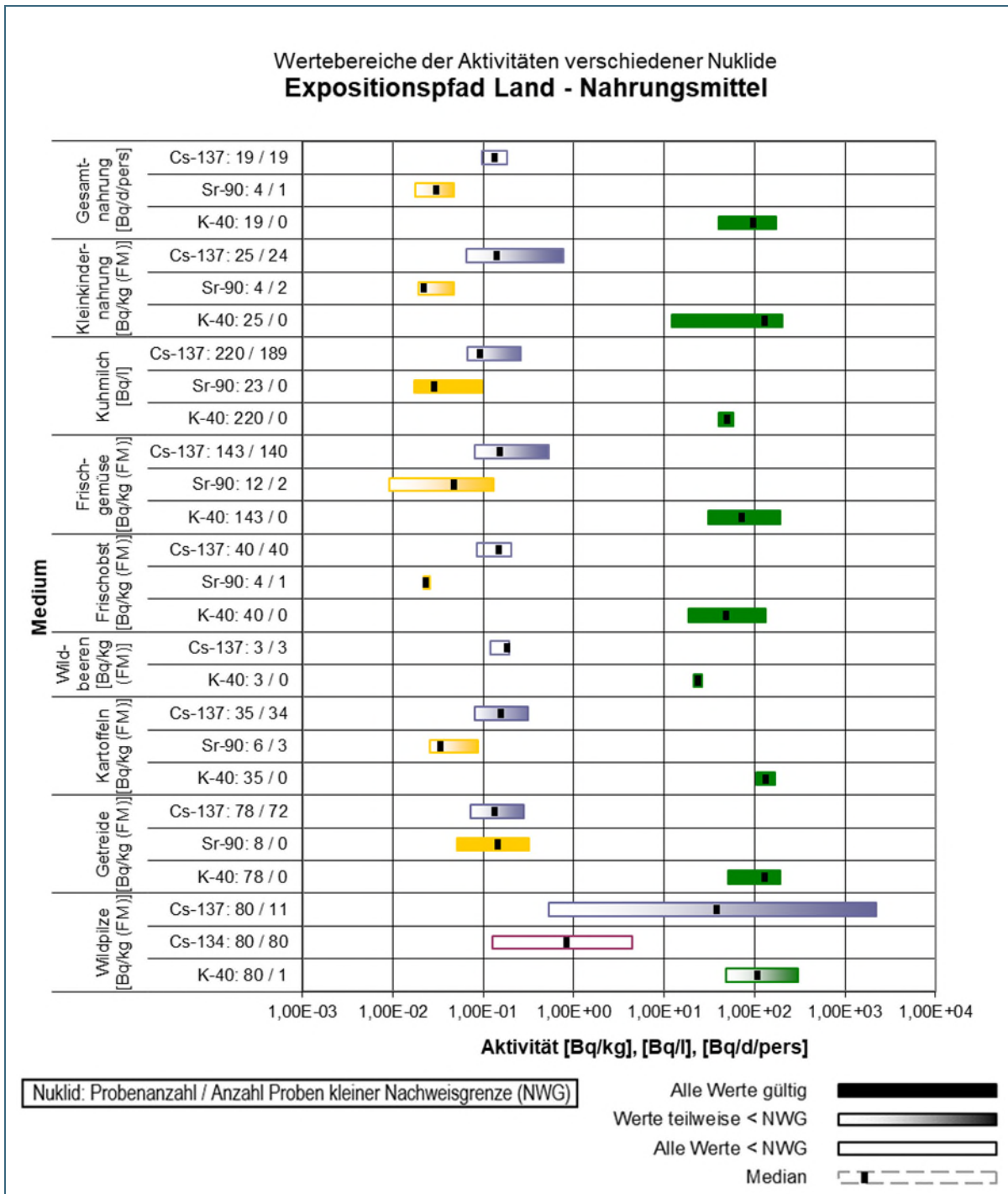


Abb. 5: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2021

Die unterschiedliche Belastung durch Cäsium-137 in Wald- und Ackerböden hat auch Auswirkungen auf die tierischen Lebensmittel (Abb. 6). 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 die Folge gering belasteter Futtermittel (Abb. 7).

Die für Wildfleisch vorliegenden Messdaten zeigen teilweise noch deutlich erhöhte Aktivitäten von Cäsium-137. Die große Streubreite der Messergebnisse vor allem bei Wildschweinen ist auf verschiedenen 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.

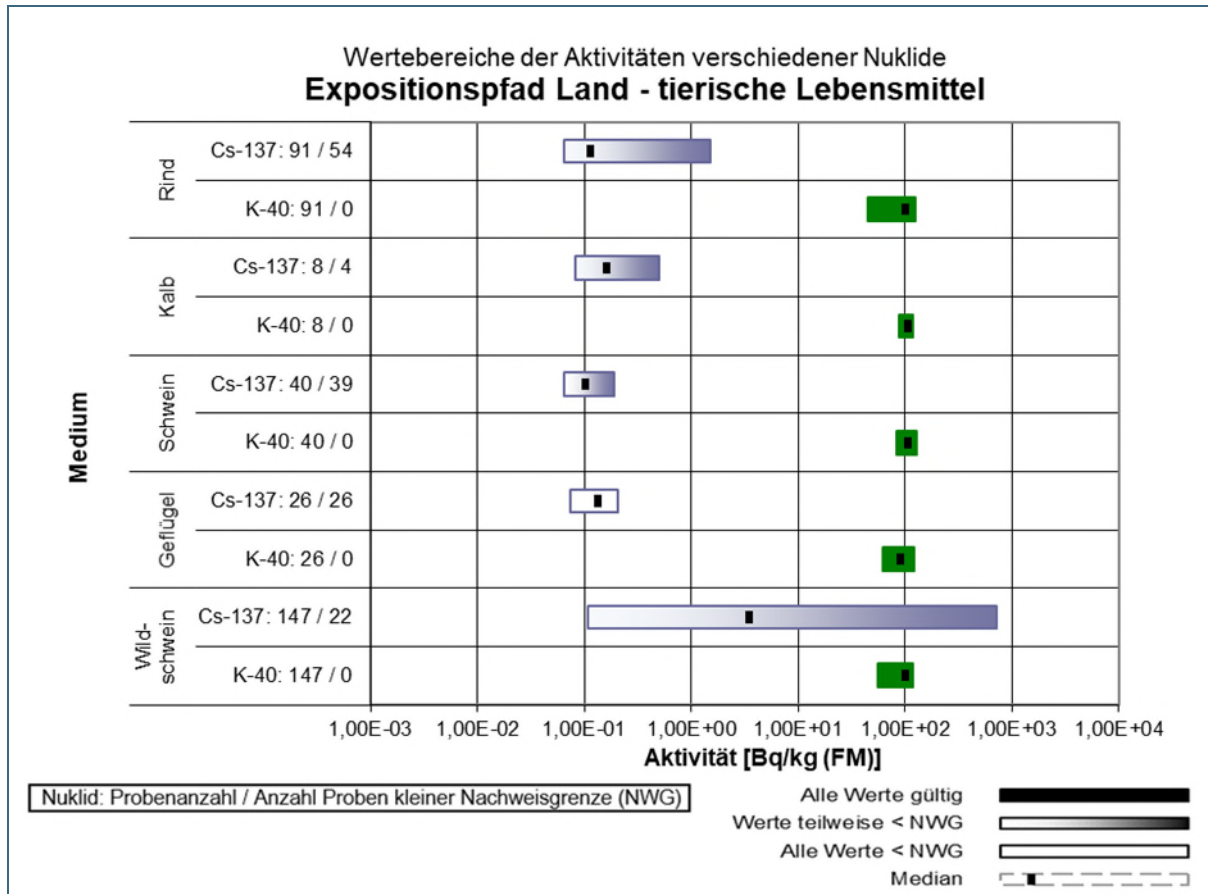


Abb. 6: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2021

Neben den Untersuchungen von Wildschweinen nach den Messprogrammen 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. Die qualifizierten Messstellen 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 der Messstellen und die Überwachung zur Einhaltung der Höchstwerte für Lebensmittel im Allgemeinen ist das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL).

- Link zum LGL „Radioaktivität in Lebensmitteln“ → <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/radioaktivitaet>

Entsprechend den rechtlichen Vorgaben ist bei der Hälfte der Grasproben (Futtermittel) auch eine Untersuchung auf Strontium-90 vorzunehmen. Hier wurde in allen untersuchten Proben Strontium-90 nachgewiesen (Abb. 7).

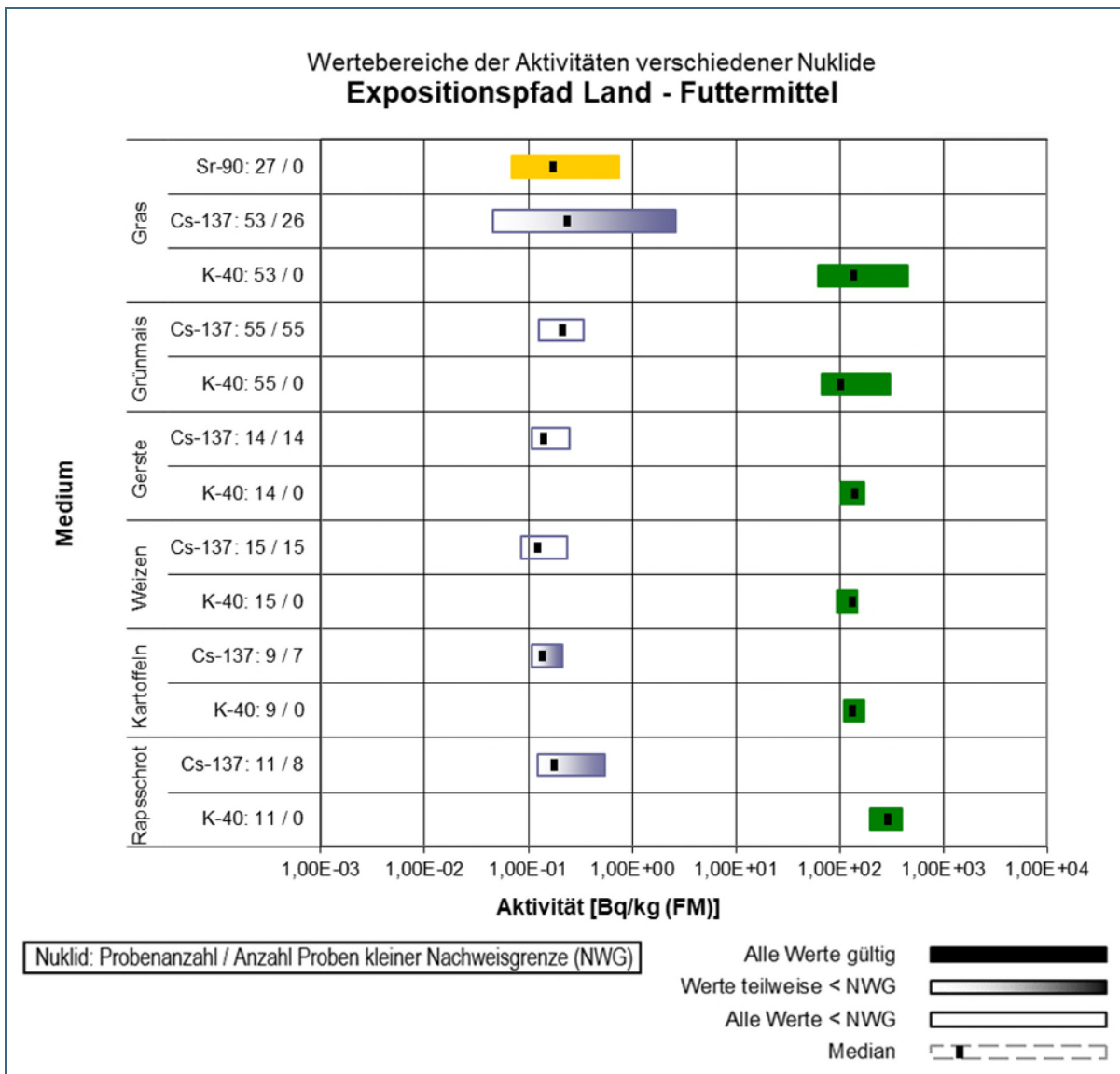


Abb. 7: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Futtermittel im Jahr 2021

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. 8) 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.

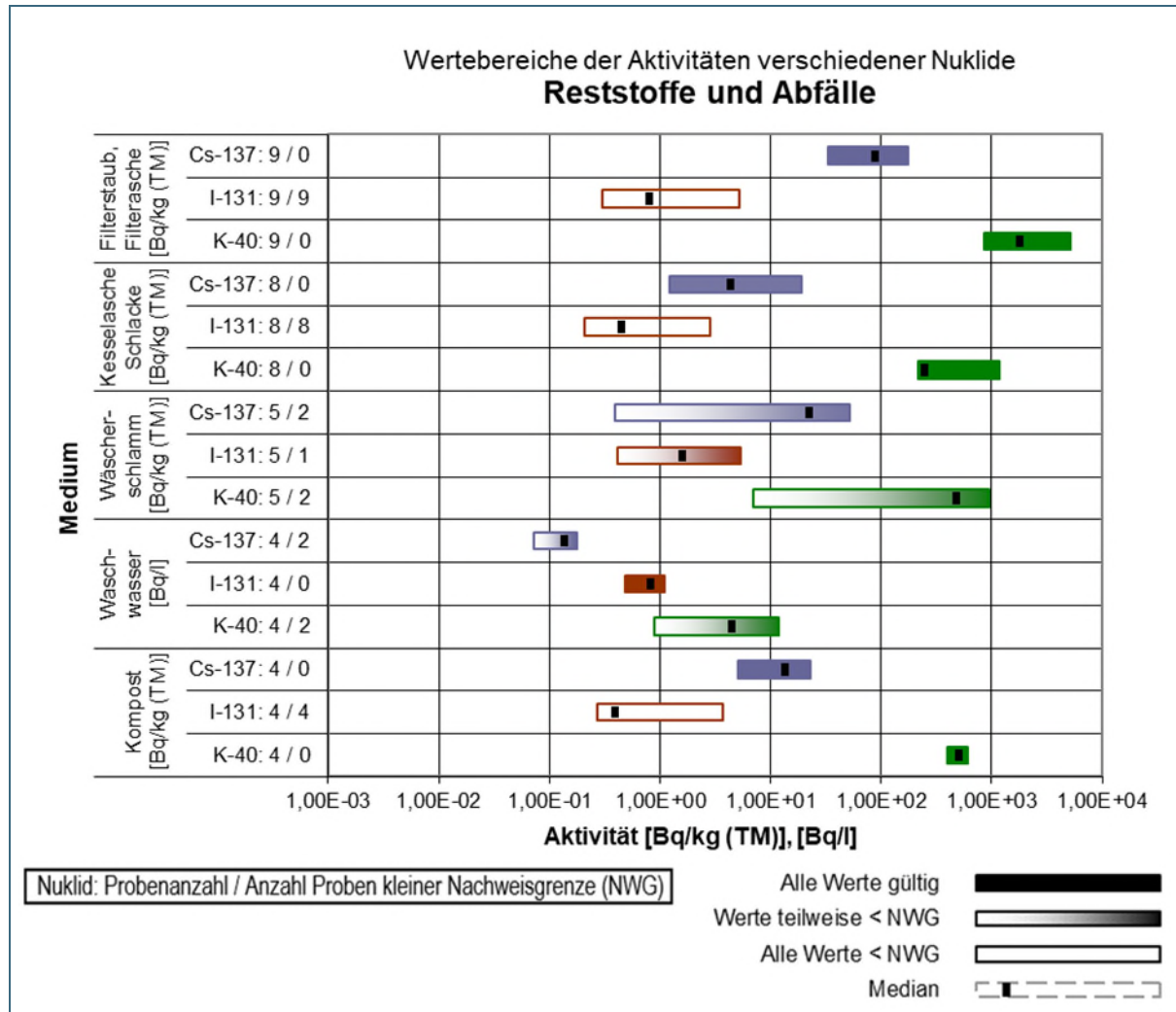


Abb. 8: Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2021

In den Rückständen aus Müll- bzw. Klärschlammverbrennungsanlagen wurde Jod-131 nachgewiesen. In der Regel ist dies, wie in den Umweltbereichen Abwasser und Klärschlamm, auf Anwendungen in der Nuklearmedizin zurückzuführen.

2.4 Zusammenfassung Überwachung der Umweltradioaktivität

Die Messungen inländischer, landwirtschaftlich erzeugter Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft weisen im Allgemeinen nur äußerst geringe Gehalte an künstlicher Radioaktivität auf.

Im Gegensatz dazu werden im Fleisch wildlebender Tiere (Wildschwein) und in Wildpilzen zum Teil noch erhöhte Cäsium-137-Werte gemessen. Wildfleisch und Wildpilze gehören nicht zu den Grundnahrungsmitteln und werden im Regelfall nur in relativ geringen Mengen verzehrt. Die hierdurch verursachte Strahlenbelastung fällt deswegen vergleichsweise niedrig aus.

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 2021 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 „Überwachung der Umweltradioaktivität in Bayern“ → https://www.lfu.bayern.de/strahlung/uew_radioaktivitaet_umwelt/index.htm

3 Überwachung kerntechnischer Anlagen

Die radiologische Überwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und der Brennelementzwischenlager wird in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)“ geregelt. Dabei sind bis zu 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 in Tab. 1 aufgeführten kerntechnischen Anlagen sowie die Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente an den Standorten der Kernkraftwerke Isar, Grafenrheinfeld und Gundremmingen (Tab. 2) 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	31.12.2017 31.12.2021
Siemens AG Standort Karlstein SAGK	Umgang mit Kernbrennstoffen	-	-
Framatome GmbH Forschungszentrum Erlangen-Süd FZE	Umgang mit Kernbrennstoffen	-	-
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz FRM II	Schwimmbadreaktor (2004)	20	-

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.

Aufgrund des fortgeschrittenen Rückbaus am Standort Karlstein der Siemens AG wurde das Programm zur Umgebungsüberwachung reduziert. Es finden nur noch Messungen der Ortsdosisleistung am Anlagenzaun statt.

Tab. 2: Brennelemente-Zwischenlager in Bayern

Zwischenlager	Behälterstellplätze (genehmigt)	Belegung zum 31.12.2021	Jahr der Inbetriebnahme	Genehmigt bis
Brennelemente-Zwischenlager Isar (BZI)	152	79	2007	2047
Brennelemente-Zwischenlager Grafenrheinfeld (BZR)	88	54	2006	2046
Brennelemente-Zwischenlager Gundremmingen (BZM)	192	103	2006	2046

Bei den Zwischenlagern wurden nur die Überwachungsmaßnahmen durchgeführt, die nicht bereits durch die Überwachung des jeweiligen Kernkraftwerks am Standort abgedeckt sind.

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 von einer unabhängigen Messstelle vierteljährlich gemessen. Bei keiner dieser Proben konnten Nuklide nachgewiesen werden, welche auf den Betrieb der Anlagen zurückgeführt werden können.

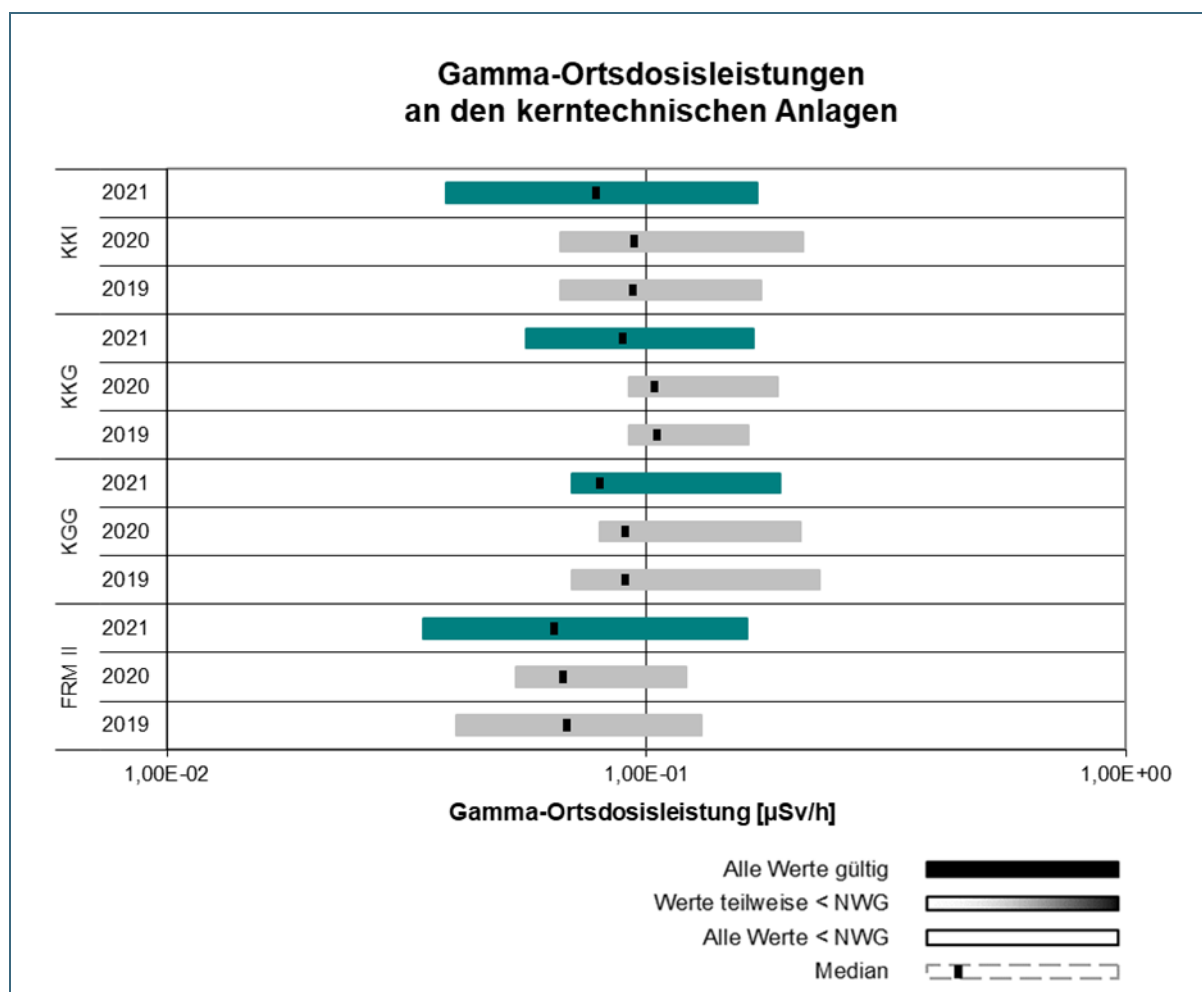


Abb. 9: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung an den kerntechnischen Anlagen (aus 10-Minuten-Messwerten) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1a im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019

Die Gamma-Ortsdosisleistung (Abb. 9), also die aus Gammastrahlung resultierende Dosis pro Zeit, in Mikrosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$), wird kontinuierlich gemessen und ist mit einer 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 (Immissionsmessnetz für Radioaktivität) heranziehen, die verteilt in ganz Bayern errichtet sind. Im Jahr 2021 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 2021 bei rund $0,9 \text{ mSv}$ ($= 0,10 \mu\text{Sv/h} \times 24 \text{ Stunden} \times 365 \text{ Tage}$). Die Messergebnisse der Gamma-Ortsdosis nach REI (Abb. 10) lagen somit im Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung.

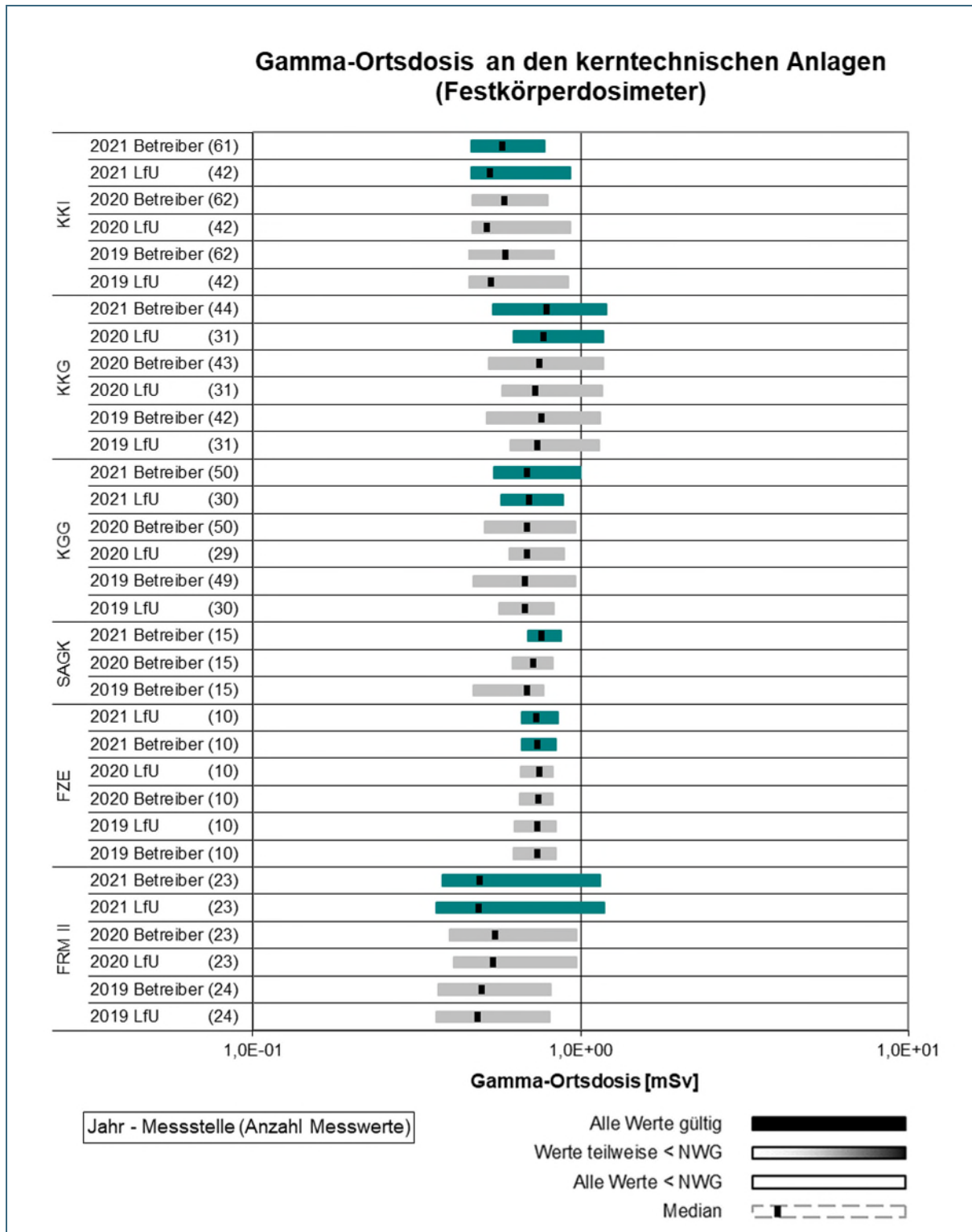


Abb. 10: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosis (Jahresdosis von Festkörperdosimetern) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1b und Tabelle A2, Punkt 1.1 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019

3.1.2 Umweltbereich Niederschlag

In der Luft befindliche radioaktive Stoffe können mit dem Niederschlag ausgewaschen werden (Washout-Effekt). Daher wird je nach kerntechnischer Anlage an bis zu drei Orten in der Umgebung kontinuierlich der Niederschlag gesammelt und monatlich gamma-spektrometrisch untersucht (Tab. 3). Die drei untersuchten Proben eines Quartals werden anschließend von einer unabhängigen Messstelle noch einmal als Mischprobe analysiert (Tab. 4). An den Standorten der Kernkraftwerke konnten keine künstlichen Radionuklide im Niederschlag nachgewiesen werden.

Der gesammelte Niederschlag am Standort der Framatome in Erlangen wird zusätzlich auf alpha-strahlende Nuklide untersucht. Dabei konnten keine künstlichen radioaktiven Substanzen nachgewiesen werden.

Bei der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) wird ein besonderes Augenmerk auf Tritium gelegt, da der stillgelegte Forschungsreaktor München (FRM) noch Tritium enthält und die Umgebungsüberwachung des FRM II auch den FRM abdeckt. Wie in den Vorjahren wurde vor allem am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ Tritium nachgewiesen. Diese Werte (Tab. 5) sind auf den Washout-Effekt von tritiumhaltigem Wasserdampf aus der Abluft des FRM (Kaminhöhe 5,5 m) zurückzuführen. Auch an anderen Stationen konnte gelegentlich Tritium nachgewiesen werden. Ein Beitrag durch die genehmigten Emissionen von FRM II ist nicht auszuschließen.

Tab. 3: Aktivität im **Niederschlag** nach REI, Tabelle A1, Punkt 2.0 (**Betreiber**) im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/m ²]	Minimum 2021 [Bq/m ²]	Maximum 2021 [Bq/m ²]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/m ²]	Median ¹⁾ 2019 [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					
Framatome Erlangen							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	4					
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	24					
Co-60	24	24					
K-40	24	15	3,4E+01	<1,4E+01	1,8E+02	4,7E+01	4,3E+01
C-14	24	24					
H-3	36	27	3,5E+02	<1,4E+02	3,6E+03	7,4E+02	2,7E+02

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 4: Aktivität im **Niederschlag** nach REI, Tabelle A2, Punkt 2.0 (**unabhängige Messstelle**) im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/m ²]	Minimum 2021 [Bq/m ²]	Maximum 2021 [Bq/m ²]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/m ²]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/m ²]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	12					
Co-60	12	12					
K-40	12	2	1,1E+01	<2,9E+00	1,6E+01	7,6E+00	8,0E+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	5	6,6E+00	<2,5E+00	1,7E+01	6,0E+00	8,0E+00
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	8	8					
Co-60	8	8					
C-14	8	8					
K-40	8	6	4,4E+01	<2,4E+01	8,8E+01		
H-3	12	6	1,4E+03 ²⁾	<5,4E+02	9,4E+03	1,1E+03 ²⁾	9,4E+02 ²⁾

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

²⁾ 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. 5: Ergebnisse der Tritium-Untersuchung am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ nach REI Tabelle A1, Punkt 2.0 und Tabelle A2, Punkt 2.0 des FRM II im Jahr 2021

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

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. 6). 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 der Anlage der Framatome in Erlangen der Boden auch auf Alphastrahler untersucht.

Hierbei wurde bei zwei Proben Plutonium-239/240 in geringer Konzentration nachgewiesen, das auf frühere Kernwaffentests zurückzuführen ist.

Tab. 6: Übersicht über die Aktivitäten in **Boden** nach REI, Tabelle A1, Punkt 3.0 und Tabelle A2, Punkt 3.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	12	0	3,0E+01	8,9E+00	4,4E+01	3,2E+01	3,8E+01
Co-60	12	12					
K-40	12	0	2,3E+02	1,4E+02	5,2E+02	2,5E+02	2,4E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	10	0	4,4E+00	6,7E-01	7,6E+00	4,4E+00	4,2E+00
Co-60	10	10					
K-40	10	0	6,4E+02	5,3E+02	8,7E+02	7,0E+02	6,3E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	10	0	3,2E+01	1,6E+01	5,2E+01	2,8E+01	3,1E+01
Co-60	10	10					
K-40	10	0	4,0E+02	2,2E+02	5,3E+02	4,0E+02	4,1E+02
Framatome Erlangen							
Cs-137	4	0	1,2E+01	4,8E+00	1,6E+01	1,2E+01	9,8E+00
Co-60	4	4					
K-40	4	0	7,6E+02	7,1E+02	9,0E+02	6,8E+02	5,8E+02
Cm-244	2	2					
Cm-243/244	2	2					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4					
Pu-239/240	4	2	1,4E-01	7,4E-02	<3,3E-01	2,1E-01	
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	1	2,7E+01	<1,7E-01	4,0E+01	1,6E+01	3,2E+01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,6E+02	1,5E+02	2,5E+02	1,1E+02	1,3E+02

¹⁾ 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. 7). Das in den Bewuchsproben nachgewiesene Radionuklid Cäsium-137 ist auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen.

Tab. 7: Übersicht über die Aktivitäten in **Pflanzen/Bewuchs** nach REI, Tabelle A1, Punkt 4.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	1,8E-01	8,3E-02	1,5E+00	2,3E-01	2,2E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,3E+02	1,2E+02	1,7E+02	1,5E+02	1,5E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	2,6E+02	1,9E+02	6,0E+02	2,3E+02	2,2E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	4	9,2E-02	<4,8E-02	1,4E-01	8,8E-02	9,0E-02
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,3E+02	9,1E+01	1,6E+02	1,4E+02	9,7E+01
Framatome Erlangen							
Cs-137	2	0	2,4E-01	1,8E-01	3,0E-01	2,6E-01	6,4E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,8E+02	1,8E+02	1,9E+02	1,9E+02	2,3E+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					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,5E+02	1,0E+02	2,0E+02	1,2E+02	9,5E+01

¹⁾ 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

Von den unabhängigen Messstellen werden für den Umweltbereich Futtermittel Grasproben genommen. Diese Proben werden 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. 8). Das in den Proben gemessene Radionuklid Cäsium-137 ist auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen.

Tab. 8: Übersicht über die Aktivitäten in **Weide- und Wiesenbewuchs** nach REI, Tabelle A2, Punkt 4.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	6	0	1,6E-01	3,9E-02	4,7E-01	1,7E-01	2,6E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,2E+02	7,0E+01	1,7E+02	1,1E+02	1,3E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	6	6					
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,8E+02	1,4E+02	2,0E+02	1,9E+02	1,9E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	0	4,1E-01	7,0E-02	5,7E-01	1,2E-01	1,9E-01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,4E+02	1,1E+02	1,7E+02	1,1E+02	1,5E+02
Framatome Erlangen							
Cs-137	2	1	1,5E-01	<4,0E-02	2,7E-01	3,8E-01	4,6E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,7E+02	1,7E+02	1,8E+02	1,7E+02	2,4E+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	9,4E-02	3,4E-02	1,5E-01	3,1E-01	1,5E-01
Co-60	2	2					
K-40	2	0	5,4E+01	1,5E+01	9,3E+01	1,0E+02	1,0E+02

¹⁾ 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 meist halbjährlich an teilweise mehreren Standorten in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen erteffrische 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. 9, Tab. 10 und Tab. 11). Aus Letzterem stammt auch das nachgewiesene Cäsium-137.

Tab. 9: Übersicht über die Aktivitäten in **Getreide** nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	5	4	2,3E-02	2,1E-02	3,3E-02	3,0E-02	4,2E-02
Sr-90	5	2	6,0E-02	<7,9E-03	1,3E-01	6,8E-02	4,9E-02
Sr-89	5	5					
Co-60	5	5					
K-40	5	0	1,1E+02	8,0E+01	1,2E+02	1,2E+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	1,2E+02	1,2E+02	1,1E+02	1,3E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	4	3	2,2E-02	<2,2E-02	1,6E-01		2,1E-02
Sr-90	4	2	4,1E-02	<8,7E-03	1,0E-01	2,4E-02	2,6E-02
Sr-89	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,0E+02	8,1E+01	1,5E+02	9,4E+01	9,2E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	0	3,4E-02	3,4E-02	3,4E-02		
Sr-90	1	0	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	8,9E-02	3,2E-02
Sr-89	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	1,4E+02	1,4E+02	1,4E+02	1,3E+02	1,4E+02

¹⁾ 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 **Frischobst** nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	6,3E+01	5,6E+01	6,9E+01	6,4E+01	7,22E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	2					
Sr-90	2	1	5,3E-03	<5,1E-03	5,6E-03	1,2E-02	1,11E-02
Sr-89	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	4,1E+01	3,4E+01	4,7E+01	3,8E+01	4,8E+01

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

Tab. 11: Übersicht über die Aktivitäten in **Frischgemüse** nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	3,5E-02	3,5E-02	3,5E-02	1,0E-01	7,8E-02
Sr-89	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	7,3E+01	7,3E+01	7,3E+01	4,0E+01	4,4E+01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	3	3					
Sr-90	3	3					3,8E-02
Co-60	3	3					
K-40	3	0	8,8E+01	5,6E+01	1,3E+02	5,6E+01	8,3E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	1	0	4,5E-02	4,5E-02	4,5E-02		
Sr-90	1	0	5,8E-02	5,8E-02	5,8E-02	4,8E-02	4,0E-02
Sr-89	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	8,9E+01	8,9E+01	8,9E+01	9,8E+01	8,7E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					
Sr-90	1	0	5,9E-02	5,9E-02	5,9E-02	3,7E-02	4,3E-02
Sr-89	1	1					
Co-60	1	1					
K-40	1	0	9,6E+01	9,6E+01	9,6E+01	1,1E+02	8,1E+01

¹⁾ 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. 12).

Tab. 12: Übersicht über die Aktivitäten in **Milch** nach REI, Tabelle A2, Punkt 6.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/l]	Minimum 2021 [Bq/l]	Maximum 2021 [Bq/l]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/l]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	0	3,4E-02	2,3E-02	5,1E-02	3,4E-02	5,9E-02
I-131	12	12					
Sr-90	4	0	1,9E-02	1,1E-02	2,2E-02	1,5E-02	1,7E-02
Sr-89	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	4,7E+01	3,5E+01	5,0E+01	5,0E+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	4,5E+05	5,0E+01	4,8E+01	4,8E+01
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	3	2,0E-02	1,6E-02	2,4E-02	2,1E-02	1,8E-02
I-131	18	18					
Sr-90	6	0	1,1E-02	8,0E-03	2,5E-02	1,2E-02	1,4E-02
Sr-89	6	6					
Co-60	6	6					
K-40	6	0	5,2E+01	5,0E+01	5,6E+01	5,2E+01	5,2E+01
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	2	0	4,3E-02	1,8E-02	6,9E-02	7,6E-02	1,7E-01
Sr-90	2	0	1,3E-02	9,1E-03	1,6E-02	1,1E-02	1,3E-02
Sr-89	2	2					
Co-60	2	2					
K-40	2	0	5,1E+01	5,0E+01	5,2E+01	5,1E+01	4,3E+01

¹⁾ 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. Am Standort der Framatome in Erlangen, welcher nicht direkt in ein Gewässer einleitet, wird das Abwasser vor der Einleitung in das örtliche Kanalnetz beprobt. Bei dieser Anlage wird das Abwasser zusätzlich auf alphastrahlende Nuklide untersucht. In den Rückgabekanälen der überwachten Anlagen konnten teilweise Nuklide gefunden werden, welche im Rahmen der genehmigten Ableitungen (siehe Kap. 3.4) abgegeben wurden (Tab. 13).

Tab. 13: Übersicht über die Aktivitäten in **Oberflächenwasser** nach REI, Tabellen A1, Punkt 5.0 und Tabelle A2, Punkt 7.1 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/l]	Minimum 2021 [Bq/l]	Maximum 2021 [Bq/l]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/l]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/l]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	8	8					
Co-60	16	16					
K-40	8	0	9,0E-02	3,8E-02	1,9E-01	7,3E-02	7,7E-02
H-3	16	8	7,4E+01	<4,4E+00	4,2E+02	6,5E+00	6,5E+00
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	12	12					
Co-60	24	24					
K-40	12	12				4,5E-01	
H-3	24	18	1,0E+01	<5,8E+0	8,9E+01	1,0E+01	9,9E+00
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	40	40					1,7E-02
Co-60	40	40					
K-40	40	19	3,5E-01	5,3E-02	<5,4E-01	3,4E-01	3,9E-01
H-3	40	32	5,6E+00	<4,4E+00	6,8E+01	5,6E+00	5,8E+00
Framatome Erlangen ²⁾							
Cs-137	4	4					
I-131	2	0	7,3E-02	7,0E-02	7,5E-02	6,5E-02	7,8E-02
Co-60	4	4					
K-40	4	0	7,2E-01	3,8E-01	9,1E-01	4,5E-01	3,0E-01
Cm-244	4	4					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	4					
Pu-239/240	4	4					8,9E-04
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	20	20					
Co-60	20	20					5,2E-03
K-40	20	2	1,2E-01	7,3E-02	1,1E+00	7,8E-02	1,1E-01
C-14	20	19	1,5E-01	<1,4E-01	4,7E+00	1,5E-01	
H-3	20	12	4,6E+00	<3,7E+00	1,1E+02	3,7E+00	3,4E+00
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	3	3					
Pu-239/240	3	3					
Pu-238	3	3					

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

²⁾ Abwasser vor Übergabe an das öffentliche 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 der Anlage der Framatome in Erlangen, die in das örtliche Kanalnetz ableitet, 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. 14). Die aus den gemessenen Aktivitäten resultierende Dosis unterschreitet den Dosisgrenzwert nach § 99 Strahlenschutzverordnung bei Weitem.

Tab. 14: Übersicht über die Aktivitäten in **Sediment** nach REI, Tabelle A2, Punkt 7.2 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	8	0	1,7E+01	1,2E+01	2,7E+01	1,8E+01	2,0E+01
I-131 ²⁾	4	0	1,5E+01	8,7E+00	3,6E+01	1,6E+01	1,7E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	2,0E+02	1,7E+02	3,3E+02	1,9E+02	2,1E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	8	0	1,4E+01	1,1E+01	1,6E+01	1,5E+01	1,5E+01
Co-60	8	8					
K-40	8	0	7,3E+02	6,3E+02	7,9E+02	6,6E+02	6,8E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen ⁴⁾							
Cs-137	11	0	2,0E+01	5,7E+00	5,7E+01	2,9E+01	2,5E+01
I-131 ²⁾	0	0				1,2E+01	2,8E+01
Co-60	11	9	2,3E-01	<8,6E-02	4,3E-01	2,6E-01	2,4E-01
K-40	11	0	2,9E+02	2,3E+02	4,0E+02	2,9E+02	3,0E+02
Framatome Erlangen (Kanalsediment) ³⁾							
Cs-137	12	1	9,1E+00	<4,E-01	2,6E+01	6,7E+00	3,9E+00
Co-60	12	6	7,8E+00	<3,5E-01	9,6E+01	6,9E+00	1,3E+00
K-40	12	0	5,2E+02	3,4E+02	6,5E+02	4,8E+02	3,8E+02
Cm-244	2	2				2,1E-01	1,2E-01
Cm-243/244	4	1	1,8E-01	1,4E-01	2,8E-01		
Cm-242	6	6					
Am-241	6	0	4,4E+00	1,2E+00	1,7E+00	7,6E+00	6,3E+00
Pu-239/240	6	0	1,4E+00	3,1E-01	2,9E+00	2,2E+00	1,9E+00
Pu-238	6	0	2,1E+00	9,8E-01	3,8E+00	2,6E+00	2,3E+00
Ag-108m	4	0	3,7E+00	1,3E+00	7,3E+00	2,2E+00	
Framatome Erlangen (Klärschlamm) ³⁾							
Cs-137	4	4	2,2E+00	1,8E+00	6,4E+00	3,1E+00	2,7E+00
I-131 ²⁾	4	0	1,6E+01	9,6E+00	3,3E+01	1,6E+01	1,7E+01
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,3E+02	1,2E+02	1,9E+02	1,3E+02	1,5E+02
Cm-244	4	4					
Cm-242	4	4					
Am-241	4	3	8,1E-02	<5,7E-02	<9,6E-02		
Pu-239/240	4	3	1,2E-01	<6,5E-02	2,0E-01		
Pu-238	4	4					
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	12	0	5,3E+00	1,2E+00	2,0E+01	5,0E+00	7,3E+00
Co-60	12	12					
K-40	12	0	9,6E+01	6,0E+01	2,3E+02	9,4E+01	1,0E+02
Cm-244	2	2					
Cm-242	2	2					
Am-241	2	2					
Pu-239/240	2	1	2,4E-01	5,7E-02	<4,2E-01	3,2E-01	2,7E-01
Pu-238	2	2					

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

²⁾ Wird nur berichtet, wenn das Nuklid nachgewiesen wurde.

³⁾ Kanalsediment vor Übergabe an das öffentliche Kanalnetz und Klärschlamm; enthält als Sonderprogramm den Punkt A.1.7.2 als Untersuchung des Betreibers.

⁴⁾ Enthält eine halbjährliche Probe (normalerweise quartalsweise), weil aufgrund von Hochwasser eine Probenahme nicht möglich war.

3.1.9 Umweltbereich Ernährungskette Wasser

Die unabhängigen Messstellen untersuchen in den Gewässern meist halbjährlich an teilweise mehreren Orten in der Nähe der Einleitungen der kerntechnischen 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. 15), 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. 16). Das Cäsium-137 in beiden Tabellen ist auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen, Jod-131 auf medizinische Anwendungen. Die aus den gemessenen Aktivitäten resultierende Dosis unterschreitet den Dosisgrenzwert nach § 99 Strahlenschutzverordnung bei Weitem.

Tab. 15: Übersicht über die Aktivitäten in **Wasserpflanzen** im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(TM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(TM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(TM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(TM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	1	0	9,0E+00	9,0E+00	9,0E+00	6,7E+00	7,1E+00
I-131 ²⁾	1	0	6,5E+00	6,5E+00	6,5E+00	1,0E+01	6,8E+00
Co-60	1	0	3,0E+00	3,0E+00	3,0E+00	1,0E+00	2,1E+00
K-40	1	0	8,5E+02	8,5E+02	8,5E+02	5,2E+02	3,9E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	1	0	9,3E-01	9,3E-01	9,3E-01	3,1E+00	2,1E+00
I-131 ²⁾	0	0				2,5E+00	6,5E-01
Co-60	1	1					5,5E-01
K-40	1	0	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	9,1E+02	9,5E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	2	0	4,7E+00	3,8E+00	5,6E+00	1,6E+00	1,6E+00
I-131 ²⁾	0	0				8,6E-01	2,4E+00
Co-60	2	2					
K-40	2	0	1,3E+03	5,1E+02	2,1E+03	6,9E+02	1,4E+03
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	4	0	5,8E+00	2,3E+00	7,1E+00	1,7E+00	3,0E+00
I-131 ²⁾	4	0	1,6E+00	6,3E-01	2,3E+01	1,1E+00	6,5E+00
Co-60	4	3	2,2E-01	<1,6E-01	<4,4E-01		
K-40	4	0	3,1E+02	2,5E02	7,9E+02	5,0E+02	5,3E+02

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

²⁾ Wird nur berichtet, wenn das Nuklid nachgewiesen wurde.

Tab. 16: Übersicht über die Aktivitäten in **Fischen** nach REI, Tabelle A2, Punkt 8.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.

Nuklid	Probenanzahl 2021	Anzahl <NWG 2021	Median ¹⁾ 2021 [Bq/kg(FM)]	Minimum 2021 [Bq/kg(FM)]	Maximum 2021 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2020 [Bq/kg(FM)]	Median ¹⁾ 2019 [Bq/kg(FM)]
Kernkraftwerke Isar							
Cs-137	4	2	2,6E-01	<1,2E-01	2,8E-01		
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,2E+02	7,2E+01	1,4E+02	1,1E+02	1,1E+02
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld							
Cs-137	4	4					
Co-60	4	4					
K-40	4	0	1,22E+02	8,7E+01	1,2E+02	1,1E+02	1,1E+02
Kernkraftwerk Gundremmingen							
Cs-137	6	4	1,6E-01	9,4E-02	1,7E-01	1,7E-01	2,0E-01
Co-60	6	6					
K-40	6	0	1,1E+02	4,5E+01	1,3E+02	1,2E+02	1,2E+02
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz							
Cs-137	1	1					1,7E-01
Co-60	1	1					
K-40	1	0	6,4E+01	6,4E+01	6,4E+01	9,7E+01	7,2E+01

¹⁾ Nachweisgrenzen bei der Berechnung des Median als Messwert berücksichtigt. Liegen die Messwerte aller Proben unterhalb der Nachweisgrenze, werden keine Werte angegeben.

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. Im Jahr 2021 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

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 § 99 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 § 80 Strahlenschutzgesetz und § 99 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 zehn Minuten. Die Messergebnisse der Ortsdosisleistungen zeigen, dass kein Einfluss der Zwischenlager auf die Umgebung nachweisbar ist (vgl. Abb. 11 und Abb. 12).

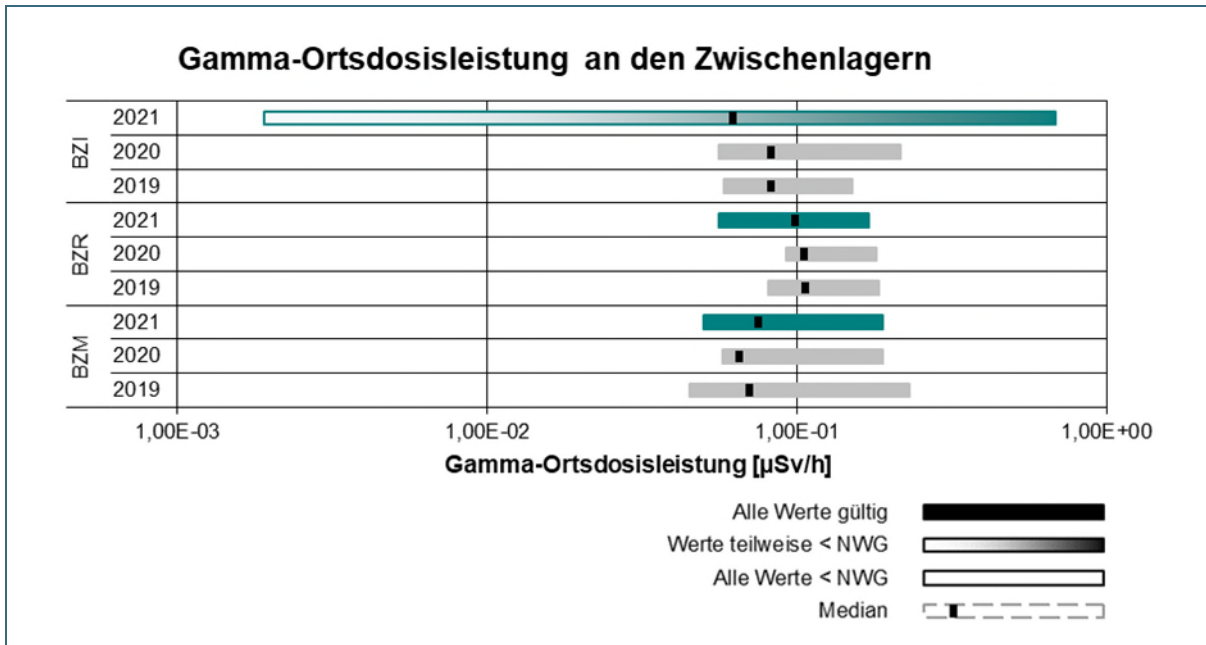


Abb. 11: Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelement-zwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019

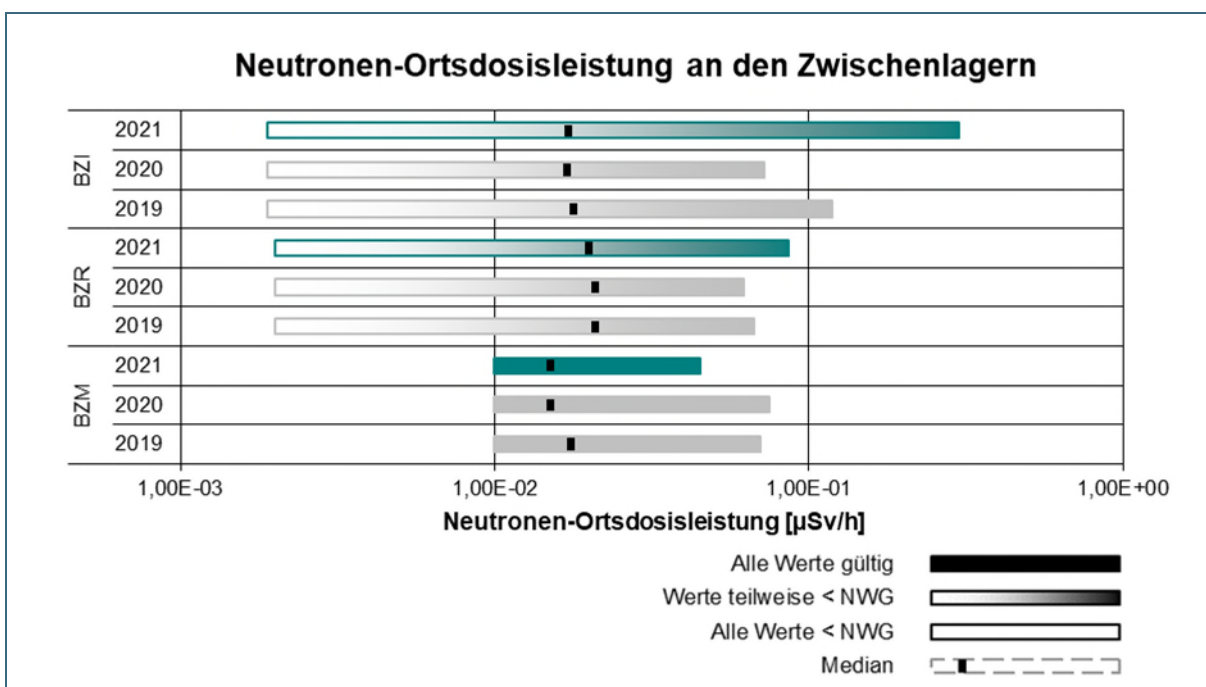


Abb. 12: Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelement-zwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019

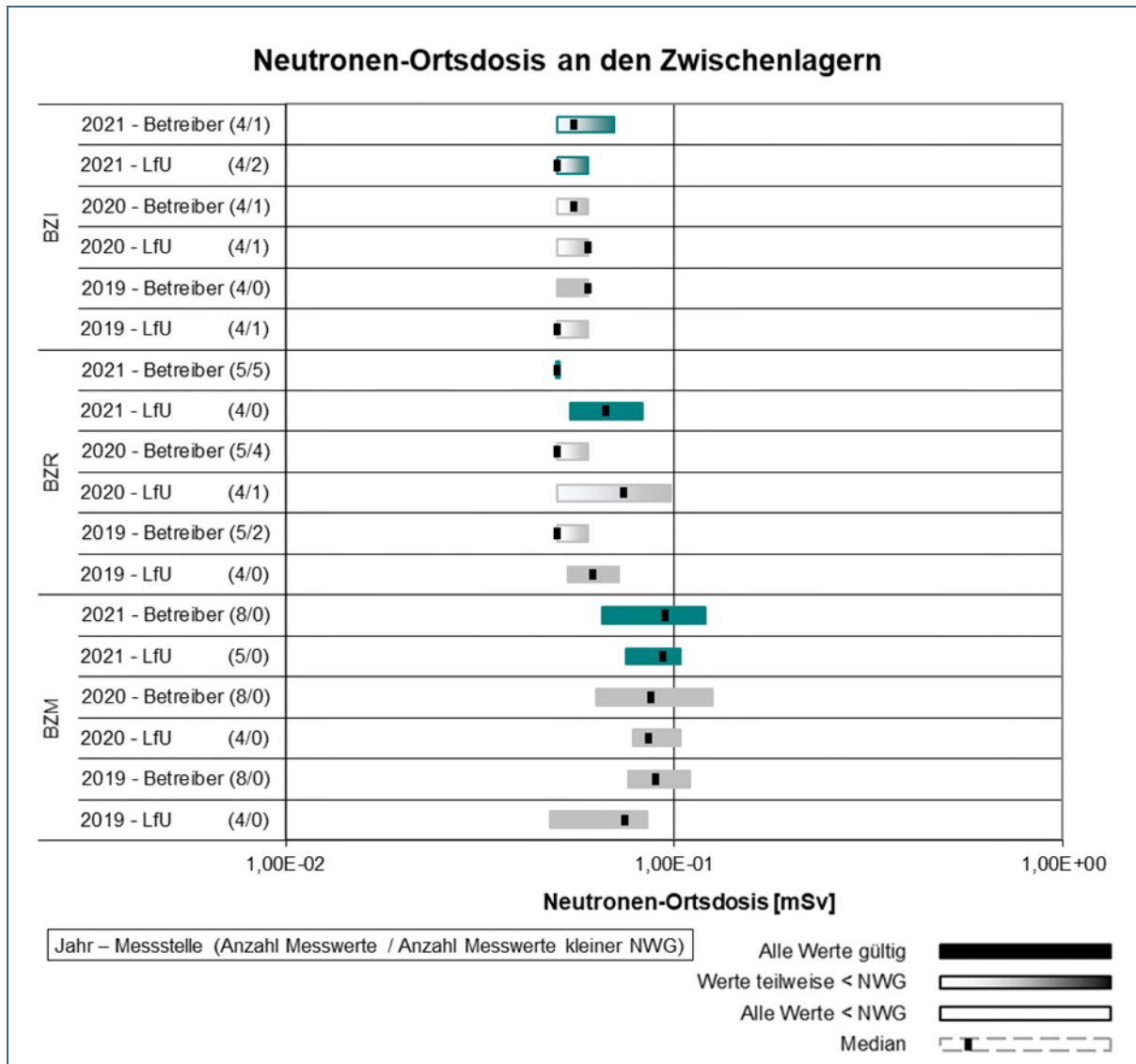


Abb. 14: Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosis (N-OD) an den Brennelementzwischenlagern gem. REI, Tabelle C.1.1, Punkt 1.4 und Tabelle C.1.2, Punkt 1.2 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019

Fazit

Die Messergebnisse für die Brennelementzwischenlager nach REI, Tabelle C.1.1 (Betreiber) und Tabelle C.1.2 (unabhängige Messstelle) zeigen Messwerte im Bereich der natürlichen Untergrundstrahlung. Ein Einfluss auf die Umgebung ist nicht zu erkennen.

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 § 99 „Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe“ der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV).

Das LfU ist gemäß der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Wasserrechts (VWWas) die zuständige Behörde für Fragen der Radiologie und des Strahlenschutzes in wasserrechtlichen Verfahren. Die Aufgaben der technischen Gewässeraufsicht sind im Bayerischen Wassergesetz (BayWG) und im Handbuch technische Gewässeraufsicht beschrieben. Das LfU überwacht die Einhaltung der radiologischen Bescheidsauflagen und untersucht Proben aus der Umgebung der Anlagen.

3.3.2 Messergebnisse

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

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

Die Ergebnisse der untersuchten Proben sind im Folgenden (Tab. 17 bis Tab. 20) dargestellt. In der Klärschlammprobe der Kläranlage Berggrheinfeld konnte das Nuklid Co-60 nachgewiesen werden, das dem Kernkraftwerk Grafenrheinfeld zuzurechnen ist. Durch die im Rückbau in der Anlage tätigen Personen können kleinste Mengen Co-60 über die Ausgangsmonitore aus dem Kontrollbereich herausgetragen werden und über die Waschbecken und Duschen in die öffentliche Kanalisation gelangen. Der ermittelte Messwert für Co-60 liegt mit 1,5 Bq/kg (TM) im Bereich der Nachweisgrenze:

3.3.2.1 Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

Tab. 17: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse FRM II im Jahr 2021; Angaben in Bq/l

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Co-60	Ru-103	I-131	Cs-134	Cs-137	Ce-144
Grundwasserpegel G5	14.10.2021	<4,5	0,091	<0,0071	<0,0063	<0,0091	<0,0055	<0,0069	<0,033
Grundwasserpegel G7	14.10.2021	<4,5	<0,048	<0,0033	<0,0036	<0,0059	<0,0031	<0,0034	<0,032
Grundwasserpegel G10	14.10.2021	<4,4	<0,062	<0,0047	<0,0045	<0,0064	<0,0040	<0,0045	<0,022
Grundwasserpegel G10a	14.10.2021	<4,5	<0,083	<0,0043	<0,0045	<0,0069	<0,0040	<0,0049	<0,027
Grundwasserpegel G11	14.10.2021	<4,5	0,063	<0,0043	<0,0045	<0,0073	<0,0037	<0,0040	<0,021
Grundwasserpegel G14	14.10.2021	<4,4	<0,080	<0,0042	<0,0047	<0,0089	<0,0040	<0,0053	<0,030
Grundwasserpegel G17	14.10.2021	<4,4	<0,097	<0,0047	<0,0054	<0,0094	<0,0045	<0,0057	<0,031
Grundwasserpegel G18	14.10.2021	<4,5	<0,084	<0,0073	<0,0067	<0,011	<0,0054	<0,0069	<0,033
Niederschlagswasser Dachablauf FRM R9 *)	14.10.2021	31	<0,91	<0,073	<0,081	<0,16	<0,077	0,051	<0,46
Niederschlagswasser im Abluftkamin FRM II **)	14.10.2021	1400	<0,98	<0,080	<0,091	<0,18	<0,082	<0,092	<0,52

*) vgl. Kap. 3.1.2 Umweltbereich Niederschlag

***) mit Kondenswasser aus genehmigten Abgaben über Abluftkamin

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

Tab. 18: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2021; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Co-60	Ru-103	I-131	Cs-134	Cs-137	Ce-144
Grundwasserpegel B-3	23.08.2021	<5,6	<0,17	<0,0090	<0,0088	<0,017	<0,0088	<0,0089	<0,053
Grundwasserpegel B-42	23.08.2021	<5,6	<0,27	<0,010	<0,0097	<0,019	<0,0095	<0,010	<0,058
Grundwasserpegel B-60/5	23.08.2021	<5,6	<0,15	<0,0079	<0,0080	<0,015	<0,0077	<0,0076	<0,044
Grundwasserpegel B-60/47	23.08.2021	<5,7	<0,21	<0,010	<0,0095	<0,012	<0,0098	<0,0097	<0,059
Grundwasserpegel B-60/61	23.08.2021	<5,6	<0,19	<0,010	<0,0087	<0,012	<0,0097	<0,0094	<0,058
Häusliches Abwasser *)	28.09.2021	<6,0	<1,3	<0,075	<0,068	<0,12	<0,076	<0,074	<0,39
Klärschlamm *) [Bq/kg TM]	23.08.2021	-	197	<1,5	<1,3	<3,0	<1,4	8,3	<6,1

*) Klärschlamm und häusliches Abwasser aus Kläranlage Essenbach

3.3.2.3 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)

Tab. 19: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2021; Angaben in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Co-60	Ru-103	I-131	Cs-134	Cs-137	Ce-144
Grundwasserpegel B5	04.08.2021	<5,6	<0,27	<0,011	<0,0091	<0,014	<0,0099	<0,010	<0,051
Grundwasserpegel B10	04.08.2021	<5,7	0,22	<0,0067	<0,0064	<0,010	<0,0075	<0,0067	<0,042
Grundwasserpegel B11	04.08.2021	<5,5	<0,27	<0,012	<0,011	<0,020	<0,0096	<0,011	<0,056
Grundwasserpegel B12	04.08.2021	<5,5	<0,24	<0,010	<0,0088	<0,017	<0,0096	<0,0097	<0,048
Grundwasserpegel B13	04.08.2021	<5,6	<0,59	<0,016	<0,017	<0,031	<0,016	<0,018	<0,11
Häusliches Abwasser	04.08.2021	<5,6	<1,6	<0,079	<0,074	<0,11	<0,080	<0,082	<0,48
Klärschlamm *) [Bq/kg(TM)]	04.08.2021	-	262	1,5	<0,83	<1,3	<0,91	3,1	<6,4

*) Klärschlamm aus Kläranlage Berggrheinfeld

3.3.2.4 Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)

Tab. 20: Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2021; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)

Probenahme	Datum	H-3	K-40	Co-60	Ru-103	I-131	Cs-134	Cs-137	Ce-144
Grundwasserpegel B 202	16.06.2021	<4,6	0,29	<0,0075	<0,0062	<0,0080	<0,0059	<0,0075	<0,036
Grundwasserpegel B 210	16.06.2021	<4,6	<0,091	<0,0061	<0,0060	<0,0089	<0,0055	<0,0060	<0,032
Grundwasserpegel B 211	16.06.2021	<4,6	<0,084	<0,0044	<0,0046	<0,0078	<0,0039	<0,0047	<0,028
Grundwasserpegel B 213	16.06.2021	<4,6	0,12	<0,0093	<0,0082	<0,013	<0,0074	<0,0094	<0,043
Grundwasserpegel B 214	16.06.2021	<4,6	0,072	<0,0047	<0,0049	<0,0093	<0,0041	<0,0045	<0,023
Häusliches Abwasser *)	16.06.2021	<4,6	<0,77	<0,040	<0,044	<0,090	<0,036	<0,046	<0,24
Klärschlamm *) [Bq/kg(TM)]	16.06.2021	-	132	<0,89	<0,94	<1,9	<0,80	21	<4,7

*) Klärschlamm und häusliches Abwasser aus Kläranlage Offingen

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 die jeweiligen Genehmigungswerte.

Die Emissionsabgaben sind in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 21 und Tab. 22) in Bezug zum Genehmigungswert aufgeführt. Dieser Genehmigungswert beruht auf dem Grenzwert des § 99 Strahlenschutzverordnung (vgl. Kapitel 3.6).

Tab. 21: Emissionen mit dem **Abwasser** der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2017 bis 2021

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2021	2020	2019	2018	2017
Kernkraftwerk Isar 1 (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02
Tritium	1,85E+13	0,25	0,06	0,34	1,08	1,57
Kernkraftwerk Isar 2 (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,50E+10	< 0,01	< 0,01	< NWG	< NWG	< NWG
Tritium	4,80E+13	54,2	45,8	43,8	45,8	27,1
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (DWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	5,55E+10	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,13
Tritium	4,07E+13	1,62	0,69	0,43	0,04	0,73
Kernkraftwerk Gundremmingen (SWR)						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	1,10E+11	0,09	0,16	0,40	0,50	0,12
Tritium	3,70E+13	3,08	2,69	3,86	4,68	1,06
Framatome Erlangen Bau 34						
Gamma-/Betastrahler	2,00E+08	0,71	0,71	0,38	0,54	0,99
Tritium	1,00E+12	0,16	0,60	0,01	0,05	0,04
Gesamt-Alpha	7,00E+06	2,39	2,81	2,99	3,29	5,39
Summe einzelner Alpha-Strahler	2,00E+07	0,33	0,20	0,38	0,15	0,35
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Spalt- und Aktivierungsprodukte	2,00E+09	0,48	0,65	1,9	2,60	7,00
Tritium	2,00E+11	32,0	10,0	23,0	5,00	65,0

Tab. 22: Emissionen mit der **Abluft** der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2017 bis 2021

Parameter	Genehmigungswert [Bq/a]	Abgabe in Prozent des Genehmigungswertes				
		2021	2020	2019	2018	2017
Kernkraftwerk Isar 1						
Edelgase ³⁾ , Tritium, Kohlenstoff- 14	1,0E+15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tritium ¹⁾		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kohlenstoff-14 ¹⁾		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Aerosole	3,0E+10	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Kernkraftwerk Isar 2						
Edelgase, Tritium, Kohlenstoff- 14	1,1E+15	0,17	0,15	0,23	0,08	0,06
Tritium ¹⁾		0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Kohlenstoff-14 ¹⁾		0,01	0,03	0,09	0,01	0,02
Jod	1,1E+10	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Aerosole	3,0E+10	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld						
Edelgase ³⁾ , Tritium, Kohlenstoff- 14	1,11E+15	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Tritium ¹⁾		0,01	0,01	0,01	0,02	1,46 ²⁾
Kohlenstoff-14 ¹⁾		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Aerosole	3,70E+10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Kernkraftwerk Gundremmingen						
Edelgase	1,85E+15	0,34	0,35	0,48	0,93	0,45
Tritium	2,20E+13	0,68	0,39	0,38	0,26	0,43
Jod-131	2,20E+10	0,30	0,56	0,40	0,39	0,31
Aerosole	3,70E+10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Technologiezentrum Gundremmingen TZG						
Tritium	1,00E+11	0,95	1,88	11,6	13,3	1,41
Jod-131	5,00E+05	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Framatome Erlangen Bau 34						
Edelgase	1,00E+12	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tritium	7,00E+10	0,16	0,18	0,10	0,07	0,15
Kohlenstoff-14	3,00E+10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Jod-123	1,00E+10	< NWG	< NWG	< 0,01	0,02	< 0,01
Jod-129	1,50E+06	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Jod-131	1,00E+08	< NWG	0,02	0,75	0,70	0,65
Aerosole	2,00E+09	< 0,01	< NWG	< NWG	< 0,01	< NWG
Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz						
Edelgase	2,0E+13	< NWG	1,25	0,44	2,90	3,25
Tritium	3,0E+12	22,7	5,67	5,0	18,0	53,3
Kohlenstoff-14	2,0E+10	5,0	115	5,0	14,0	42,5
Jod-131	1,5E+08	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG
Aerosole	2,0E+06	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	1,55
Forschungsreaktor München FRM						
Tritium	3,0E+10	0,31	0,40	0,43	0,60	1,20
Aerosole	1,0E+06	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG	< NWG

¹⁾ Anteil von Tritium bzw. Kohlenstoff-14 am Genehmigungswert, der für die Summe aus Edelgas, Tritium und Kohlenstoff-14 gilt

²⁾ Abgabe in Prozent des bis 2017 gültigen Genehmigungswertes für Tritium von 1,11E+13

³⁾ Edelgase werden mit Kernbrennstofffreiheit nicht mehr bilanziert

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 zwölf Ausbreitungssektoren (ein Sektor = 30 Grad) folgende Verteilung des Niederschlages und der Häufigkeit der Ausbreitungsrichtung (AR):

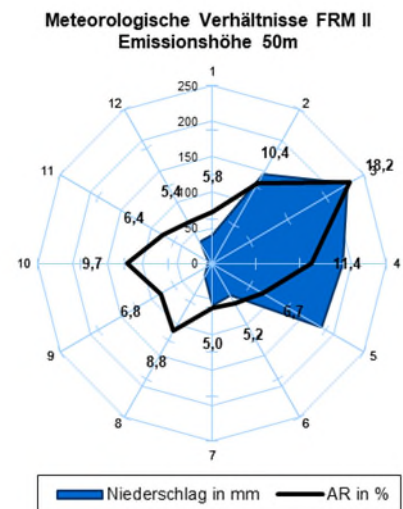
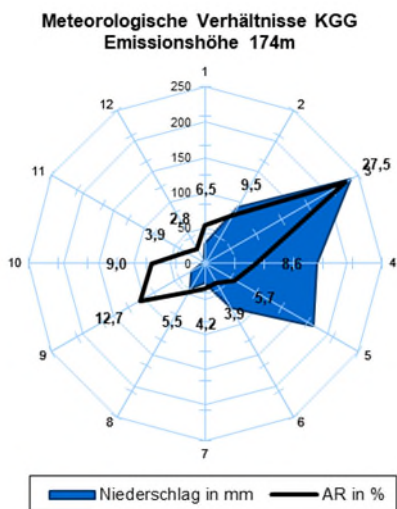
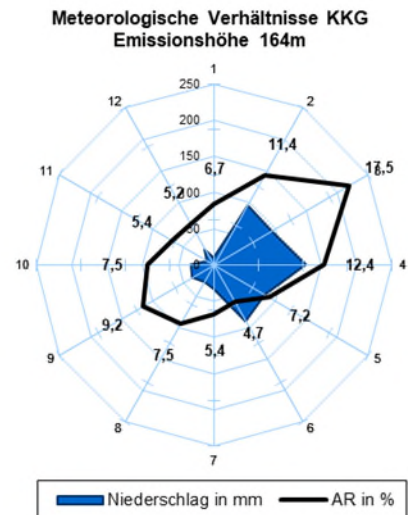
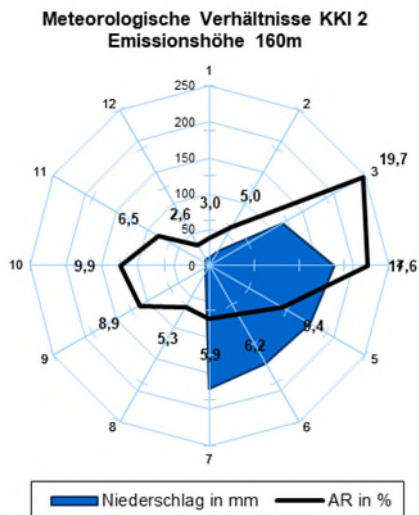
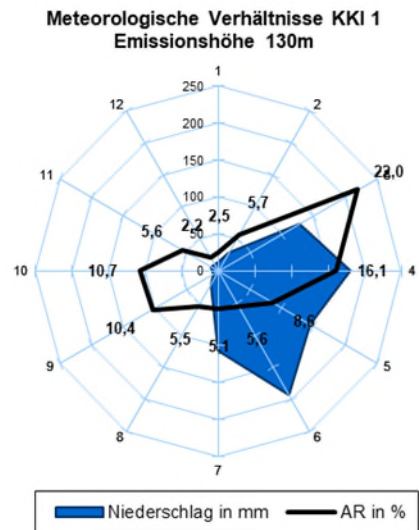


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2021

3.6 Ausbreitungsrechnungen

Ausbreitungsrechnungen beschreiben den Transport radioaktiver Stoffe mit der Luft bzw. mit dem Wasser. Bei luftgetragenen Transport erfolgt die Berücksichtigung der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit, der Turbulenz in der Atmosphäre sowie des Niederschlags. Im Wasserpfad findet vor allem der mittlere Abfluss des Flusses 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 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.

Die Abschätzung für den Luftpfad erfolgt mit Rechenprogrammen, welche der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) zu § 101 Strahlenschutzverordnung (2018) folgen. Für den Wasserpfad wurde letztmalig nach den Vorgaben der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (2001) gerechnet.

Es wird die effektive Dosis für eine repräsentative Person ermittelt. Die Berechnungsprogramme summieren die Beiträge aller relevanten Radionuklide über alle Expositionspfade auf. Damit wird sichergestellt, dass die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition die potentiell mögliche Strahlenexposition nicht unterschätzt.

Die berechneten Dosiswerte werden mit den Grenzwerten nach § 99 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 § 99 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	
Effektive Dosis der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser bedingten Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr	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 für den Luftpfad in Tab. 23, für den Wasserpfad in Tab. 24 mit den einzelnen Altersgruppen dargestellt. Die Ergebnisse sind **in Prozent des Grenzwertes** angegeben. Für den Standort Isar (KKI) wird beim Luftpfad die maximale Exposition mit einer Rechnung ermittelt, welche die Emissionen der beiden Kernkraftwerke KKI 1 und KKI 2 berücksichtigt.

Tab. 23: Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2021 für die Strahlenexpositionen auf dem **Luftpfad** in Prozent des Grenzwertes

Anlage	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	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KKG	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KGG	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
FRM II	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Tab. 24: Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2021 für die Strahlenexpositionen auf dem **Wasserpfad** in Prozent des Grenzwertes

Anlage	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	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KKI 2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KKG	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KGG	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
FRM II	< 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 § 80 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und § 99 Strahlenschutzverordnung (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	Framatome GmbH, Forschungszentrum Erlangen-Süd

4.1.2 Zwischenlager

BZI	Brennelemente-Zwischenlager Isar
BZR	Brennelemente-Zwischenlager Grafenrheinfeld
BZM	Brennelemente-Zwischenlager Gundremmingen

4.1.3 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

4.1.4 Gesetze und Verordnungen

AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren – Atomgesetz
StrlSchG	Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung – Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen - Strahlenschutzverordnung
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen

4.1.5 Sonstiges

IfR	Bayerisches Immissionsmessnetz für Radioaktivität
KFÜ	Bayerisches Kernreaktor-Fernüberwachungssystem

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Mögliche Transportwege radioaktiver Stoffe zum Menschen	7
Abb. 2:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Wasser im Jahr 2021	10
Abb. 3:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Wasser im Jahr 2021	11
Abb. 4:	Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Cäsium-137 in Ackerboden und ausgewählten landwirtschaftlichen Produkten (für das Jahr 1988 liegen keine Messwerte für Ackerboden vor)	12
Abb. 5:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Nahrungsmittel (ohne tierische Lebensmittel) im Jahr 2021	13
Abb. 6:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – tierische Lebensmittel im Jahr 2021	14
Abb. 7:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten des Expositionspfads Ernährungskette Land – Futtermittel im Jahr 2021	15
Abb. 8:	Wertebereiche der in Bayern gemessenen Aktivitäten von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2021	16
Abb. 9:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung an den kerntechnischen Anlagen (aus 10-Minuten-Messwerten) gem. REI, Tabelle A1, Punkt 1.1a im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	20
Abb. 10:	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 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	22
Abb. 11:	Übersicht über die Wertebereiche der Gamma-Ortsdosisleistung (G-ODL) an den Brennelement-zwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.1 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	36
Abb. 12:	Übersicht über die Wertebereiche der Neutronen-Ortsdosisleistung (N-ODL) an den Brennelement-zwischenlagern gem. REI, Tabelle C1.1, Punkt 1.3 im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	36
Abb. 13:	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 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	37
Abb. 14:	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 2021 im Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2019	38
Abb. 15:	Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsrichtung (AR) in % sowie die Niederschlagsmenge in mm pro Sektor der überwachten kerntechnischen Anlagen im Jahr 2021	43

4.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kerntechnische Anlagen in Bayern	18
Tab. 2:	Brennelemente-Zwischenlager in Bayern	19
Tab. 3:	Aktivität im Niederschlag nach REI, Tabelle A1, Punkt 2.0 (Betreiber) im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	23
Tab. 4:	Aktivität im Niederschlag nach REI, Tabelle A2, Punkt 2.0 (unabhängige Messstelle) im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	24
Tab. 5:	Ergebnisse der Tritium-Untersuchung am Messpunkt „FRM-Dachablauf“ nach REI Tabelle A1, Punkt 2.0 und Tabelle A2, Punkt 2.0 des FRM II im Jahr 2021	24
Tab. 6:	Übersicht über die Aktivitäten in Boden nach REI, Tabelle A1, Punkt 3.0 und Tabelle A2, Punkt 3.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	25
Tab. 7:	Übersicht über die Aktivitäten in Pflanzen/Bewuchs nach REI, Tabelle A1, Punkt 4.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	26
Tab. 8:	Übersicht über die Aktivitäten in Weide- und Wiesenbewuchs nach REI, Tabelle A2, Punkt 4.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	27
Tab. 9:	Übersicht über die Aktivitäten in Getreide nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	28
Tab. 10:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischobst nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	28
Tab. 11:	Übersicht über die Aktivitäten in Frischgemüse nach REI, Tabelle A2, Punkt 5.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	29
Tab. 12:	Übersicht über die Aktivitäten in Milch nach REI, Tabelle A2, Punkt 6.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	30
Tab. 13:	Übersicht über die Aktivitäten in Oberflächenwasser nach REI, Tabellen A1, Punkt 5.0 und Tabelle A2, Punkt 7.1 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	31
Tab. 14:	Übersicht über die Aktivitäten in Sediment nach REI, Tabelle A2, Punkt 7.2 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	33
Tab. 15:	Übersicht über die Aktivitäten in Wasserpflanzen im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	34
Tab. 16:	Übersicht über die Aktivitäten in Fischen nach REI, Tabelle A2, Punkt 8.0 im Jahr 2021. Zum Vergleich sind die Mediane der Vorjahre 2020 und 2019 angegeben.	35
Tab. 17:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse FRM II im Jahr 2021; Angaben in Bq/l	39
Tab. 18:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKI im Jahr 2021; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	40
Tab. 19:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KKG im Jahr 2021; Angaben in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	40
Tab. 20:	Technische Gewässeraufsicht: Überwachungsergebnisse KGG im Jahr 2021; Wasser in Bq/l, Klärschlamm in Bq/kg(TM)	40

Tab. 21:	Emissionen mit dem Abwasser der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2017 bis 2021	41
Tab. 22:	Emissionen mit der Abluft der überwachten kerntechnischen Anlagen in Prozent des Genehmigungswertes in den Jahren 2017 bis 2021	42
Tab. 23:	Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2021 für die Strahlenexpositionen auf dem Luftpfad in Prozent des Grenzwertes	45
Tab. 24:	Berechnete maximal mögliche effektive Dosis in 2021 für die Strahlenexpositionen auf dem Wasserpfad in Prozent des Grenzwertes	45



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

