



Bundesamt
für Strahlenschutz

Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der
tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG
und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle
sowie sonstigen Einrichtungen nach StrlSchG

Vorhaben 3621S72350

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
gGmbH

A. Günther

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz,
Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) und im Auftrag des Bundesamtes für
Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMUKN (Ressortforschungsplan) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: ePost@bfs.de

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

BfS-RESFOR-249/25

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2025071753266

Salzgitter, Juli 2025

Fortschreibung der Untersu-
chung und Bewertung der
tätigkeitsbezogenen Strahlen-
exposition in Anlagen nach
AtG und standortnahen
Zwischenlagern für radio-
aktive Abfälle sowie sonstigen
Einrichtungen nach StrlSchG

Fachlicher Abschlussbericht
zum Vorhaben 3621S72350

A. Günther

September 2024

Auftrags-Nr.: 820009

Anmerkung:

Dieser Bericht wurde von der Gesell-
schaft für Anlagen- und Reaktorsich-
erheit (GRS) gGmbH im Auftrag
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz (BMUV)
im Rahmen des Vorhabens
3621S72350 erstellt.

Der Auftraggeber behält sich alle
Rechte vor. Insbesondere darf die-
ser Bericht nur mit seiner Zustim-
mung zitiert, ganz oder teilweise ver-
vielfältigt werden bzw. Dritten
zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und
Meinung des Auftragnehmers wie-
der und muss nicht mit der Meinung
des Auftraggebers übereinstimmen.

Deskriptoren

Radiologischer Arbeitsschutz

Kurzfassung

Im Rahmen des Vorhabens 3621S72350 wurden die tätigkeitsbezogenen Strahlenexpositionen in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle erhoben und bewertet. Der vorliegende fachliche Abschlussbericht dokumentiert die wesentlichen Schwerpunkte des Vorhabens. Die Arbeiten wurden im Detail in einer Reihe von Einzelberichten zu den verschiedenen Themenbereichen dokumentiert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass sich die Kollektivdosis der in Betrieb bzw. Nachbetrieb befindlichen Anlagen in den letzten Jahren auf einem niedrigen Niveau stabilisiert hat, wobei allerdings die Gesamt-Jahreskollektivdosis in den einzelnen Jahren deutlichen Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind unter anderem durch revisionsfreie Jahre einerseits und den Umfang der jährlichen Revisionsarbeiten andererseits bedingt.

Die Strahlenexposition des Personals hat sich in den letzten Jahren generell insgesamt weiter verringert; dies ist sowohl durch den Trend der mittleren Personendosen als auch durch die Entwicklung in der Verteilung der anlagenbezogenen Individualdosen zu erkennen; dies gilt besonders beim Eigenpersonal, aber auch (wenngleich nicht in gleichem Umfang) für das Fremdpersonal.

Der Rückbau der in Stilllegung befindlichen Anlagen lässt sich mit deutlich niedrigeren Jahreskollektivdosen im Vergleich zum Leistungsbetrieb durchführen. Hier hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass sich mit der Durchführung einer Primärkreisdekontamination vor Beginn des Rückbaus diese weiter reduzieren lässt. Nach einer fallenden Tendenz der Gesamt-Jahreskollektivdosis aller in Stilllegung befindlichen Anlagen in den Jahren 2010 bis 2016 zeigt sich in den Jahren 2017 bis 2019 wieder ein Anstieg der Gesamt-Jahreskollektivdosis. Dies kann insbesondere auf die steigende Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen in diesen Jahren zurückgeführt werden: Seit dem Jahr 2017 haben elf weitere Anlagen ihre Stilllegungsgenehmigung erhalten und mit dem Rückbau begonnen. Je nach individuellen Abbaufortschritt tragen verschiedene Anlagen in einzelnen Jahren unterschiedlich stark zur Gesamt-Jahreskollektivdosis bei. Seit dem Jahr 2020 scheint sich die Gesamt-Jahreskollektivdosis auf einem relativ konstanten Niveau zu stabilisieren.

Die Gesamt-Jahreskollektivdosis aller Anlagen der Ver- und Entsorgung zeigt seit dem Jahr 2018 einen insgesamt fallenden Trend. Im Letzten Berichtsjahr 2022 liegt die Gesamt-Jahreskollektivdosis bei 40,12 Pers.mSv/a und damit deutlich unterhalb der Gesamt-Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke in Betrieb. Dabei tragen die einzelnen Anlagen auf Grund ihrer verschiedenen Tätigkeitsfelder unterschiedlich zu der Gesamt-Jahreskollektivdosis bei. Die jeweiligen Jahreskollektivdosen der einzelnen Anlagen liegen im Jahr 2022 in einem Bereich von etwa 0,1 Pers.mSv/a bis zu etwa 25 Pers.mSv/a.

Bei der Analyse der tätigkeitsbezogenen Daten erweist sich die mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung insbesondere bei der Analyse von Teiltätigkeiten weiterhin als gutes Werkzeug zum Vergleich der radiologischen Randbedingungen von Arbeiten sowie zur Identifizierung von möglicherweise ungünstigen Arbeitsbedingungen und Hinweisen zur möglichen Optimierung von Tätigkeiten. Die tätigkeitsbezogene Dosisleistung bestätigt dabei auch die anlagenspezifischen Unterschiede, die sich in den Dosisleistungsmessungen an ausgewählten Messpunkten der Anlagen widerspiegeln.

Zunehmend wird allerdings sichtbar, dass die Sammlung insbesondere von tätigkeitsbezogenen Daten für Anlagen in Stilllegung sich schwierig gestaltet.

Abstract

In the context of the project 3621S72350 task related occupational exposure in nuclear facilities according to AtG and in on-site storage facilities for radioactive waste and spent fuel were assessed and evaluated. This report summarized the work performed within the project; detailed results have been documented in reports dedicated to the special work field to be addressed.

The results of the project show that the total collective exposure of the plants in operation have stabilized on a low level, where the total annual collective exposure show significant changes from one year to the next. These changes are inter alia due to outage-free years on the one hand and high back-fitting activities on the other. But independently, the total occupational exposure of the staff has decreased within the last years; this is reflected by the trend in time of the mean personnel doses as well as of the distribution of the unit-related individual doses of the involved personnel. The trend of the dose distribution is significant for utility personnel, but is also visible for contracted personnel.

Dismantling of NPPs under decommissioning can be carried out with low annual collective doses compared to the doses during operation. The performance of a full system decontamination, which is routinely done in recent years before the beginning of dismantling works leads to a further reduction. After a decreasing trend of the total annual collective dose of all plants under decommissioning in the years 2010 to 2016, an increase of the total annual collective dose is shown again in the years 2017 to 2019. This can be attributed in particular to the increasing number of plants in decommissioning in these years: Since 2017, eleven more plants have received their decommissioning permits and started dismantling. Depending on the individual dismantling progress, different plants contribute differently to the total annual collective dose in individual years. Since 2020, the total annual collective dose appears to have stabilized at a relatively constant level.

The total annual collective dose of all fuel cycle facilities has shown an overall downward trend since 2018. In the last reporting year 2022, the total annual collective dose is 40,12 man.mSv/a and thus significantly below the total annual collective doses of the NPPs in operation or post-operation. Due to their different fields of activity, the individual facilities contribute differently to the total annual collective dose. The respective annual collective doses of the individual facilities range in the year 2022 from about 0.1 man.mSv/a to about 25 man.mSv/a.

As part of the analysis of dedicated tasks within this project, the mean task related dose rate has proven to be an excellent tool to compare the radiological work conditions of different NPPs and to identify radiological sensitive areas of work as well as of areas of potential improvement and optimization. The results support the knowledge on the different situations in the individual nuclear power plants, which are also reflected in the dose rates measured at dedicated measuring point. Within the last years it turns out that – in particular for nuclear power plants under decommissioning – the collection of task related exposure data becomes difficult.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik.....	3
3	Datenerhebung, Dokumentation und Analyse.....	7
3.1	Erhebung der Strahlenexpositionsdaten	7
3.2	Dokumentation der Strahlenexpositionsdaten.....	9
3.2.1	In Betrieb und Nachbetrieb befindliche Anlagen	9
3.2.2	In Stilllegung befindliche Anlagen	15
3.2.3	Anlagen der Ver- und Entsorgung.....	18
4	Ableitung von Optimierungsempfehlungen.....	23
4.1	Kernkraftwerke in Betrieb.....	23
4.2	Kernkraftwerke in Stilllegung	25
4.3	Kernkraftwerke im Nachbetrieb.....	27
5	Teilnahme am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch	29
6	Zusammenfassung	33
	Literaturverzeichnis.....	35
	Abbildungsverzeichnis.....	37
	Abkürzungsverzeichnis.....	39

1 Einleitung

Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Strahlenexposition in Deutschland entsteht während des Betriebs und bei Revisionsarbeiten in kerntechnischen Anlagen, bei Arbeiten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (im so genannten Nachbetrieb) und bei Arbeiten zur Stilllegung und dem Rückbau dieser Anlagen. Nach der endgültigen Abschaltung aller Leistungsreaktoren am 15. April 2023 erhält die Strahlenexposition bei Arbeiten im Nachbetrieb und bei der Stilllegung sowie dem Rückbau dieser Anlagen zunehmend an Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz im Bereich der Kerntechnik in Deutschland. Ebenso gewinnt der Betrieb standortnaher Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren an Bedeutung.

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung ermöglicht beträchtliche Dosisersparungen. Möglich wird dies auf der Basis von Empfehlungen zur Optimierung des radiologischen Arbeitsschutzes. Dies erfordert die Sammlung und vergleichende Analyse von Expositionsdaten aus den o. g. Arbeiten sowie von Informationen über die Erfahrungen mit den bisher durchgeführten Optimierungsmaßnahmen. Hierbei ist eine möglichst detaillierte Kenntnis der Ursachen für die Exposition des Personals unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind gezielte Analysen der in der Revision bzw. den einzelnen Stilllegungs- und Abbauabschnitten durchgeführten Arbeiten erforderlich, um die Zusammenhänge zwischen der Strahlenexposition der Beschäftigten und den die Exposition beeinflussenden Faktoren, wie z. B. der Anlagenauslegung, der Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung zu identifizieren und Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition im Sinne einer Optimierung zu untersuchen.

Zu berücksichtigen sind bei diesen Untersuchungen nicht nur die Exposition verursachenden Strahlenquellen, sondern auch die Durchführung der im Kontrollbereich anfallenden Tätigkeiten. Um Erkenntnisse zu einer weiteren Dosisreduktion ableiten zu können, müssen insbesondere Teilaspekte der durchgeführten Arbeiten analysiert werden. Zu diesen Teilaspekten gehören u. a. ergriffene Schutzmaßnahmen unterschiedlicher Art, aber auch die Arbeitsorganisation und weitergehende Informationen, z. B. die Auslegung der Anlage oder die bei den Arbeiten verwendeten Technologien. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang nicht nur die Untersuchung der einzelnen Teilarbeiten in den Anlagen, sondern auch die Übersicht über ggf. unterschiedliche Praktiken aufgrund der verschiedenen Randbedingungen in den einzelnen Anlagen, um auch den Informations-transfer zwischen den Anlagen über das bisherige bereits bestehende Maß hinaus zu

intensivieren. Aber nicht nur der Datenvergleich von inländischen Anlagen und deren jeweiligen Praktiken untereinander können zur Identifizierung von Maßnahmen zur Dosisersparnis dienen. Auch die Erfahrungen in vergleichbaren ausländischen Anlagen können dazu herangezogen werden. Hierfür kann insbesondere das ISOE-System (Information System on Occupational Exposure) der OECD/NEA (Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency) und der IAEA (Internationale Atomenergie-Organisation) genutzt werden.

Die Bundesaufsicht über die kerntechnische Sicherheit und den Strahlenschutz (§ 19 AtG /ATG 22/) obliegt dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Das vorliegende Vorhaben dient der Wahrnehmung der Aufgaben des BMUV bei der Bundesaufsicht. Um im Rahmen der Bundesaufsicht die Überwachung einer wirksamen Optimierung zu ermöglichen, sind kontinuierliche vergleichende quantitative Analysen der jährlich anfallenden Dosiswerte in den verschiedenen kerntechnischen Tätigkeitsbereichen erforderlich.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen des vorliegenden Vorhabens Daten zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition des beruflich exponierten Personals in Leistungskernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren in Betrieb und Nachbetrieb, Anlagen der Ver- und Entsorgung und in Stilllegung befindlichen bzw. stillgelegten Kernkraftwerken gesammelt und aufbereitet, um eine umfassende Grundlage für die Dokumentation und Beurteilung der Strahlenexposition des Personals von kerntechnischen Anlagen zu bilden. Aufgrund der langjährigen Arbeiten der GRS im Bereich der Strahlenexposition der Kernkraftwerke, lag bereits ein umfangreicheres Datenmaterial vor, welches um die Berichtsjahre 2020, 2021 und 2022 ergänzt wurde und die früheren Datenreihen fortsetzt. Um die Erfahrungen des radiologischen Arbeitsschutzes international auszutauschen, wurden im Rahmen des Vorhabens an einschlägigen Veranstaltungen und Sitzungen des ISOE teilgenommen.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden nun in den nachfolgenden Abschnitten zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Analysen wurden fortlaufend in verschiedenen Berichtsserien zur beruflichen Strahlenexposition in Kernkraftwerken in Betrieb, in Kernkraftwerken in Stilllegung und in Anlagen der Ver- und Entsorgung dokumentiert. Zu beachten ist hierbei, dass die Berichte aus Gründen des Datenschutzes der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

In Deutschland wird der Schutz beruflich exponierter Personen vor den Gefahren ionisierender Strahlung durch die Regelungen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) /SSG 22/ und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /SSV 24/ sichergestellt. Hierin wurden u. a. die Anforderungen der relevanten EU-Richtlinien zum Strahlenschutz, insbesondere auch der Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung /EUR 14/, umgesetzt. Nach § 8 Abs. 2 StrlSchG ist jede Exposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten. Dies entspricht dem sogenannten Optimierungsprinzip im Strahlenschutz (ALARA – As Low As Reasonable Achievable). Für eine erfolgreiche Optimierung des Strahlenschutzes ist die Kenntnis der Ursachen für die Exposition des Personals unabdingbar.

Die Strahlenexposition des Personals in kerntechnischen Anlagen wird neben den durch die Auslegung der Anlage gegebenen Grundbedingungen insbesondere durch das sog. Work Management, d. h. die Planung und Vorbereitung sowie die Bedingungen der Durchführung der Arbeiten, bestimmt. Die Beachtung und Nutzung dieser Einflussgrößen für die Optimierung der Strahlenexposition unter ALARA-Gesichtspunkten hat in den letzten Jahren auch im Ausland vermehrt an Bedeutung gewonnen. Dabei besteht eine Wechselwirkung zwischen den Anforderungen aus Auslegung und Work Management, da Anlagen mit ungünstiger Auslegung wesentlich höhere Anforderungen an den operationellen Strahlenschutz stellen als radiologisch gut ausgelegte, modernere Anlagen. Dies hat auch Auswirkungen auf die Stilllegung der entsprechenden Anlagen. Die Ermittlung der Einflussfaktoren, die Ableitung von Erfahrungen und der Transfer in den Betrieb bzw. die Stilllegung der Anlagen zur Verbesserung und Optimierung des Strahlenschutzes sind in diesem Zusammenhang wichtig.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zur beruflichen Exposition in deutschen Kernkraftwerken in Betrieb zeigen, dass im langfristigen Trend die mittlere Personendosis des in den einzelnen Anlagen eingesetzten Personals seit ca. Anfang der 1990er Jahre sinkt. Die Abschaltung älterer Anlagen (DWR-Anlagen der 2. Generation und SWR-Anlagen der Baulinie 69), die im Zusammenhang mit der 13. AtG-Novelle im Jahr 2011 ihr Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren, führte in den Jahren 2011 und 2012 zu einer weiteren Reduzierung der mittleren Personendosis. Dieser Trend zeigt sich auch anhand der Verteilung der individuellen Personendosen des Eigenpersonals

und der anlagenbezogenen Personendosen des Fremdpersonals: Eine Besetzung der Dosisintervalle oberhalb von 10 mSv trat für das Eigenepersonal letztmalig im Jahr 2010 auf, für das Fremdpersonal letztmalig im Jahr 2014. Weiterhin ist auch bei der Besetzung der Dosisintervalle größer als 5 mSv sowohl für das Eigen- als auch das Fremdpersonal ein seit 1990 insgesamt fallender Trend zu beobachten.

Mit der zunehmenden Anzahl in Stilllegung befindlicher Anlagen in Deutschland gewinnt auch der Strahlenschutz bei den entsprechenden Stilllegungsmaßnahmen an Bedeutung. Die Gesamt-Jahreskollektivdosis der in Stilllegung befindlichen Anlagen steigt seit dem Jahr 2017 deutlich an. Dieser deutliche Anstieg kann zum einen mit der steigenden Anzahl der zu berücksichtigenden Anlagen erklärt werden: In den Jahren 2017 bis 2022 erhielten elf Anlagen eine Stilllegungsgenehmigung. Zum anderen bestimmen aber auch die Konzepte zum Abbau sowie der Umfang und die Art der einzelnen Stilllegungsschritte die Strahlenexposition des eingesetzten Personals und damit auch die jeweilige Jahreskollektivdosis.

Die Erfahrungen bei der Stilllegung von Kernkraftwerken zeigen, dass der Ausbau großer Komponenten am Stück (z. B. Dampferzeuger, Reaktordruckbehälter) mit anschließender Abklinglagerung vor einer weiteren Zerlegung vorteilhaft sein kann, wenn die Dosisleistung eine Handhabung solcher Komponenten erlaubt. Hierdurch können z. B. Aufenthaltszeiten in radiologisch schwierigem Umfeld vermieden werden und bei einer späteren Zerlegung aufgrund der individuellen Gestaltungsmöglichkeiten des Zerlegeplatzes die radiologischen Erfordernisse der Komponenten optimal berücksichtigt werden.

Auch wird seit einigen Jahren in endgültig abgeschalteten Anlagen in der Regel eine umfassende Systemdekontaminationen durchgeführt, durch die das Dosisleistungsniveau nachhaltig verbessert werden kann und so die Strahlenexposition des Personals bei den folgenden Stilllegungsschritten verringert werden kann.

Auf internationaler Ebene wurden in der Vergangenheit verschiedene Erfahrungsberichte und Standards zum beruflichen Strahlenschutz erarbeitet. So veröffentlichte auch die IAEA im Jahr 2014 ihre internationalen Sicherheitsgrundnormen (BSS) /IAEA 14a/. Diese wurden parallel zu den europäischen grundlegenden Sicherheitsnormen (Richtlinie 2013/59/Euratom /EUR 14/) entwickelt und enthalten grundlegende Anforderungen u. a. an den beruflichen Strahlenschutz.

Das Dokument GSG-7 „Occupational Radiation Protection“ /IAEA 18a/ beschreibt, wie die Anforderungen der IAEO BSS in Bezug auf den beruflichen Strahlenschutz erfüllt werden können. Es enthält allgemeine Leitlinien für die Entwicklung von Strahlenschutzprogrammen am Arbeitsplatz sowie ausführliche Leitlinien für die Überwachung und Bewertung der Exposition von Arbeitnehmern durch externe Strahlenquellen und die Aufnahme von Radionukliden. Der Leitfaden spiegelt die aktuellen international anerkannten Grundsätze und empfohlenen bewährten Praktiken im Bereich des beruflichen Strahlenschutzes wider, wobei die konzeptionellen Änderungen und technologischen Weiterentwicklungen der letzten Jahre berücksichtigt wurden.

Einen Fokus auf den Strahlenschutz im Bereich der Stilllegung kerntechnischer Anlagen hat sich die ISOE WGDECOM gelegt. Diese im Jahr 2015 gegründete Arbeitsgruppe des ISOE hat sich zum Ziel gesetzt, Bereiche des betrieblichen Strahlenschutzes zu identifizieren, die für ein wirksames Management der beruflichen Exposition am wichtigsten sind. Weiterhin sollen Faktoren und Aspekte zusammengestellt werden, die eine Schlüsselrolle für das Erreichen einer guten Strahlenschutzpraxis bei der Stilllegung spielen (Wissen, Erfahrung, Technologie, gesetzliche Anforderungen und Leitlinien, Einbeziehung der Arbeitnehmer, Informationsaustausch und Vernetzung etc.), sowie ihre möglichen Auswirkungen auf die berufsbedingten Dosen analysiert und quantifiziert werden.

Das Dokument TECDOC-1954 „Occupational Radiation Protection during the Decommissioning of Nuclear Installations“ /IAEA 21/ enthält praktische Informationen zum beruflichen Strahlenschutz und Beispiele für bewährte Praktiken aus der Nuklearindustrie, zur Erfüllung der Anforderungen der IAEO BSS im Rahmen von Stilllegungsaktivitäten. Die in dem Dokument beschriebenen Informationen und Beispiele können bei der Planung neuer Stilllegungsprojekte und für Verbesserungen bei der Durchführung bestehender Stilllegungsprojekte hilfreich sein. Nützliche Anregungen für die Genehmigung und Überwachung von Stilllegungsprojekten werden ebenfalls gegeben.

Als speziell auf die Stilllegung bezogene Regelwerke und Leitfäden der IAEO sind die General Safety Requirements (GSR) Part 6 /IAEA 14b/ mit den unterstützenden Safety Guides /IAEA 06/, /IAEA 08/, /IAEA 18b/, /IAEA 19/ zu nennen, die ebenfalls auf Grundsätze des Strahlenschutzes bei der Stilllegung Bezug nehmen.

Auf der nationalen Ebene geben hier der Stilllegungsleitfaden /BMU 21/ sowie die Leitlinien der Entsorgungskommission Hinweise und Empfehlungen zum Strahlenschutz im Kontext der Stilllegung.

3 Datenerhebung, Dokumentation und Analyse

3.1 Erhebung der Strahlenexpositionsdaten

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland wurden im Vorhaben Daten zur Strahlenexposition von beruflich exponierten Personen und durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2020 bis 2022 erhoben, soweit sie der GRS zur Verfügung gestellt wurden.

Betrachtet wurden deutsche Leistungskernkraftwerke in Betrieb, Nachbetrieb – d. h. der Zeitraum zwischen endgültiger Abschaltung und Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung – und Stilllegung sowie Anlagen der Ver- und Entsorgung und – soweit Daten verfügbar sind – standortnahe Bereitstellungs- und Zwischenlager. Die erhobenen Daten stammten soweit möglich aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen, da diese eine Detailtiefe aufweisen, die erheblich über die verfügbaren Daten der amtlichen Messstellen und des Strahlenschutzregisters im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hinausgehen.

Für die Leistungskernkraftwerke wurden die während der jeweils zutreffenden Phasen Betrieb, Revision, Nachbetrieb sowie den Stilllegungsabschnitten durchgeführten Tätigkeiten und die damit einhergehenden Strahlenexpositionen soweit möglich erhoben.

Seit dem Austritt des VGB und damit der deutschen Betreiber von Leistungsreaktoren zum 31. März 2016 aus ISOE, konnte sich die GRS nicht mehr der bis zu diesem Zeitpunkt in ISOE hinterlegten Daten bedienen. Daher war die GRS auf andere Quellen angewiesen wie beispielsweise die Jahresberichte der Betreiber zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) oder dem Jahresbericht des VGB zu den Betriebsergebnissen der Kernkraftwerke. In Einzelfällen wurden schließlich mit Unterstützung der Anlagen weitere Unterlagen zugrunde gelegt.

Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurden die Daten der Expositionen des Eigen- und Fremdpersonals der Anlagen mit Hilfe eines zielgerichtet vorbereiteten Fragebogens unter Berücksichtigung der Tätigkeitsschwerpunkte gesammelt und aufbereitet. Allerdings war aufgrund der Bandbreite des Anlagenspektrums und der z. T. anders gelagerten Expositions- und Dosimetrie-Verhältnisse in diesen Anlagen der Informationsumfang im Vergleich zu dem der Kernkraftwerke eingeschränkt.

Die Daten liegen der GRS als langjährige Zeitreihen bis zum Berichtsjahr 2021 für die in Betrieb/Nachbetrieb bzw. Stilllegung befindlichen Anlagen sowie für die Anlagen der Ver- und Entsorgung vollständig vor. Für das Berichtsjahr 2022 fehlen noch Daten einiger Anlagen in Betrieb/Nachbetrieb (zwei) und Stilllegung (zwei).

Von Bedeutung für die Datenbereitstellung ist dabei für Kernkraftwerke u. a. der nahtlose Übergang der Daten beim Übergang vom Betrieb in den Nachbetrieb und in die Stilllegung. Es wurden Jahresberichte mit Übersichten über die Exposition aller Anlagen erstellt, die dem Dokumentationsumfang der Berichte der Vorläufervorhaben entsprechen und damit langjährige Zeitreihen der Exposition der in Betrieb bzw. in Stilllegung befindlichen Anlagen und der Anlagen der Ver- und Entsorgung darstellen. Für den Übersichtsbericht der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke wurde entsprechend dem Vorgehen seit 2003 auch in diesem Vorhaben die Darstellung der Exposition der deutschen Anlagen im internationalen Vergleich dokumentiert.

Die Berücksichtigung langjähriger Erfahrungen in der Datensammlung und Auswertung, die in der Vergangenheit in den Aufbau der ISOE-Datenbank-Software eingebracht werden konnte, gewährleistet einen ausreichenden Detaillierungsgrad der Daten zur Darstellung und Auswertung auch für die relevanten Tätigkeitsbereiche der in Betrieb befindlichen Anlagen. Der Einsatz standardisierter Software sollte gewährleisten, die erforderliche Standardisierung bzw. Harmonisierung der Datenerfassung im Hinblick auf einen internationalen Vergleich zu erreichen. Mit dem Austritt des VGB aus ISOE werden die Daten der deutschen Kernkraftwerke zwar nicht mehr von den Betreibern direkt in die Datenbank eingepflegt, die Betreiber sind aber im Rahmen der jährlichen Berichterstattung an die RSK weiterhin verpflichtet, Angaben zur Strahlenexposition des Personals gemäß der ISOE-Datenauswertung vorzunehmen, so dass die erfassten Daten und Informationen mit den Expositionsdaten der Vorläuferstudien in zeitlicher Kontinuität stehen und vergleichbar sind. Ebenso war auf diese Weise deren Vergleichbarkeit auf nationaler und internationaler Ebene (OECD/NEA) sichergestellt.

Da im Bereich der stillgelegten Anlagen ein international einheitliches Charakterisierungsschema für kerntechnische Tätigkeitsbereiche auf Grund der verschiedenen Abbaustrategien der Anlagen nicht erarbeitet werden kann, wurde diesbezüglich eine aktive Mitarbeit in den Gremien der verantwortlichen OECD/NEA, insbesondere der WGDECOM, unterstützt, um so den diesbezüglichen Erfahrungsaustausch zu gewährleisten (s. hierzu auch Abschnitt 5).

3.2 Dokumentation der Strahlenexpositionsdaten

Entsprechend dem Vorgehen der Vorläufervorhaben wurden die Daten im Rahmen von Überblicksberichten zur Dokumentation des Standes des betrieblichen Strahlenschutzes in der Bundesrepublik Deutschland zusammengefasst. Die Übersichtsberichte berücksichtigen jeweils die Verläufe aus früheren Jahren in angemessener Weise. Dabei wurden neben den Expositionen auch wichtige Arbeiten und Tätigkeiten mit höheren Expositionen in den Anlagen als Hintergrundinformation dargestellt. Unter Einbeziehung der bereits früher erhobenen langjährigen Zeitreihen konnten damit langfristige Trends bis zum Berichtsjahr 2022 dargestellt werden.

Bei den in Betrieb befindlichen Anlagen wurden alle deutschen Leistungskernkraftwerke mit vergleichbarem Tiefgang der Untersuchungen für alle Anlagen berücksichtigt. Bei den stillgelegten Anlagen wurden Übersichtsdaten zusammengestellt und als zeitliche Verläufe dargestellt, solange dosisrelevante Tätigkeiten während des Rückbaus durchgeführt werden. Die durch endgültige Abschaltung neu hinzukommenden Anlagen wurden in die Berichte zur Stilllegung aufgenommen, sobald eine Genehmigung auf Stilllegung erteilt wurde. Dabei wurde zur Darstellung des Überganges vom Betrieb, über den Nachbetrieb und in die Stilllegung die letzten Betriebsjahre angemessen berücksichtigt.

Die bezüglich der Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie standortnaher Bereitstellungs- und Zwischenlager erhobenen Daten wurden entsprechend der Verfügbarkeit der Daten in einem zweijährlichen Rhythmus dokumentiert.

Nachfolgend werden Auszüge der Ergebnisse für die im Vorhaben weitergeführten Zeitreihen bis zum Berichtsjahr 2022 wiedergegeben. Für darüberhinausgehende Ergebnisse wird auf die im Vorhaben erstellten GRS-A-Berichte verwiesen. Diese Berichte sind aus Gründen des Datenschutzes nicht öffentlich, so dass deren Inhalt nicht im Detail aufgeführt werden kann.

3.2.1 In Betrieb und Nachbetrieb befindliche Anlagen

Einen ersten Überblick über die Entwicklungen der letzten Jahre zeigt Abb. 3.2-1 zur Gesamt-Jahreskollektivdosis sowohl für das Eigen- (EP) als auch für das Fremdpersonal (FP). Nach einem deutlichen Abfall der Kollektivdosen in den Jahren 1995 bis 2001 schwanken in den Jahren 2001 bis 2010 vor allem die Einzelwerte für das Fremdper-

nal von Jahr zu Jahr relativ stark. Dieser Verlauf ist maßgeblich durch den Revisionsrhythmus insbesondere der älteren DWR-Anlagen (Generation 2) bestimmt. Im Jahr 2009 führten die langandauernden Revisionen in zwei Druckwasserreaktoren der 2. Generation vor allen Dingen beim hierbei verstärkt eingesetzten Fremdpersonal zu einem entsprechenden Anstieg der Kollektivdosen. Infolge der kürzeren und im Umfang wieder reduzierten Revisionen dieser Anlagen im Jahr 2010 sanken die Werte sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal wieder. Im Jahr 2011 ist eine weitere Reduktion der Kollektivdosen zu beobachten, was vor allem mit den Abschaltungen aufgrund der 13. AtG-Novelle vom 6. August 2011 und dem vorangegangenen Moratorium vom 15. März 2011 zusammenhängt. Seit dem Jahr 2017 ist ein insgesamt fallender Trend zu beobachten, was mit der zunehmenden Anzahl an Anlagen, die eine Stilllegungsge- nehmigung erhielten, erklärt werden kann.

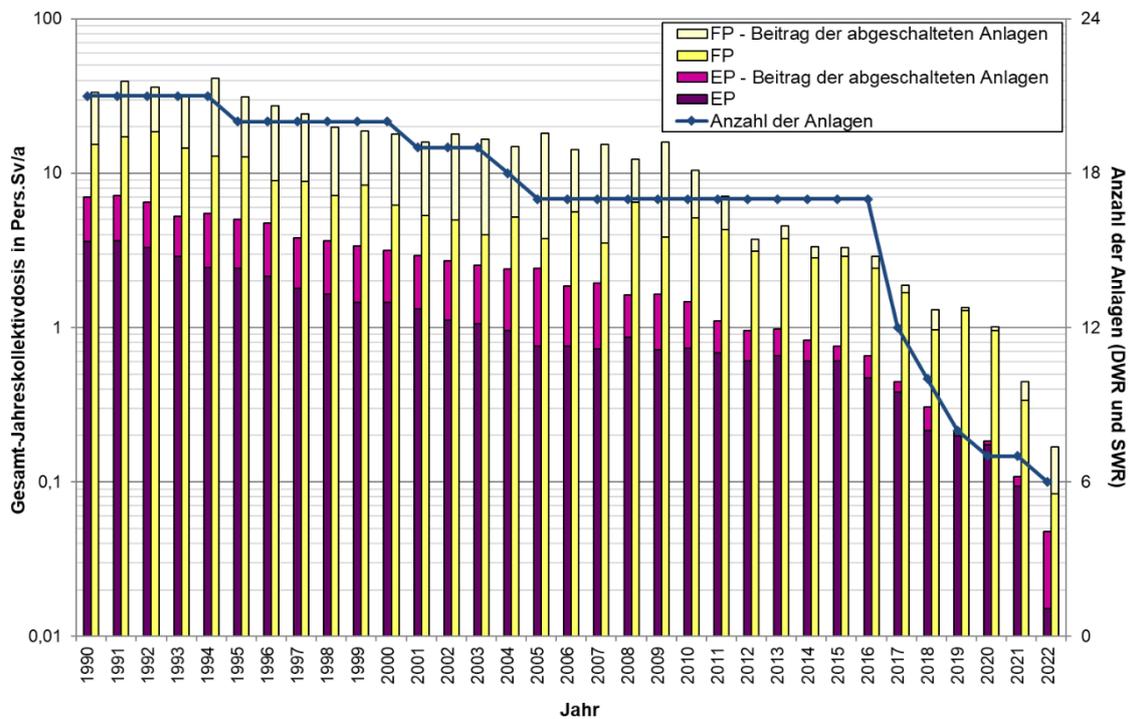


Abb. 3.2-1 Gesamt-Jahreskollektivdosen des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)

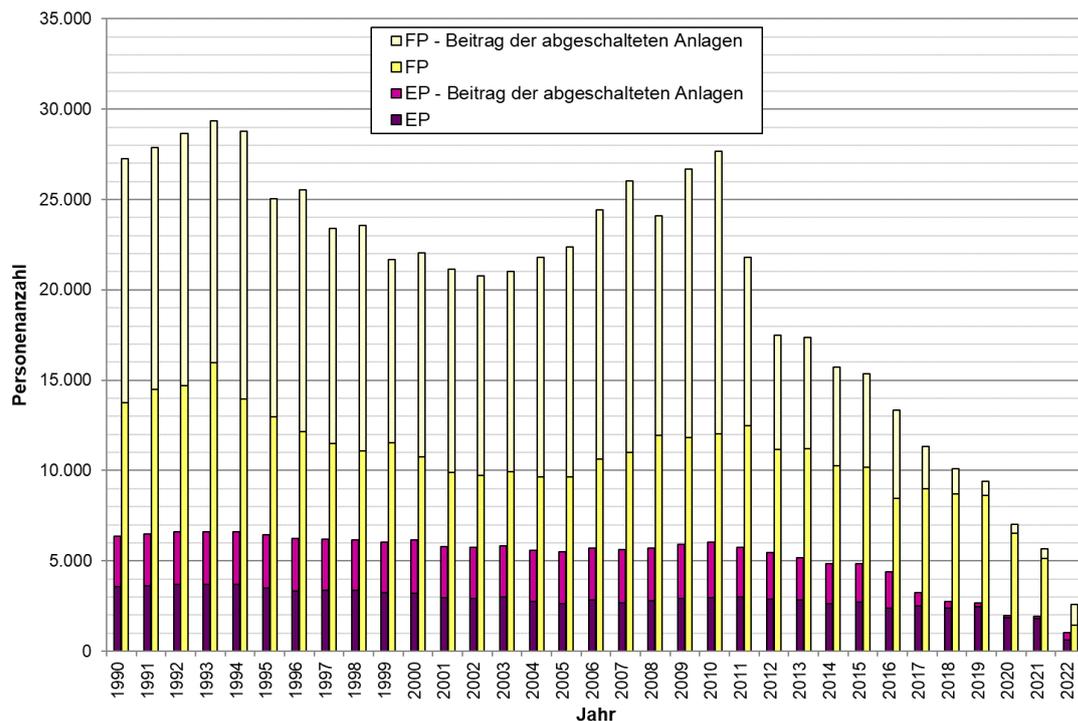


Abb. 3.2-2 Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)

Nachdem die Anzahl des Gesamtpersonals, insbesondere des Fremdpersonals, ab 1993 bis etwa 2002 gesunken war, konnte ab 2003 insgesamt ein Anstieg beobachtet werden (Abb. 3.2-2). Hierbei schwankte die Gesamtzahl des Eigenpersonals in den Jahren 2005 bis 2010 zwischen Werten von 5.511 und 6.055 Personen, wobei für das Jahr 2011 ein erneuter Rückgang auf 5.742 Personen zu verzeichnen war. Die Anzahl des Fremdpersonals schwankt stärker infolge der hohen Abhängigkeit vom Umfang der jährlich durchzuführenden Arbeiten während der Revisionen. Entsprechend ist auch der Anstieg zwischen 2008 und 2010 von 24.100 Personen auf 27.649 Personen auf die höhere Anzahl an Revisionen und Stillstände, das heißt auf personalintensivere Tätigkeiten in verschiedenen Anlagen, zurückzuführen. Seit 2011 sinkt die Zahl des Fremdpersonals deutlich, was mit den Abschaltungen im Zusammenhang mit der 13. AtG-Novelle zusammenhängt. Aber auch die Anzahl des Eigenpersonals nimmt seit 2011 stetig ab. Im Jahr 2022 sind die Personenzahlen mit 1.027 Personen an Eigenpersonal und 2.605 Personen an Fremdpersonal auf einem bisherigen Minimalwert, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Daten von zwei Anlagen für das Berichtsjahr 2022 noch nicht vorliegen.

Bei den Daten zur Anzahl des Fremdpersonals ist zu beachten, dass diese Daten Mehrfachzählungen für solche Personen beinhalten, die in einem Jahr in verschiedenen Kernkraftwerken tätig waren und entsprechend in den Daten der betrieblichen Dosimetrie jeder einzelnen Anlage gezählt werden.

Die Abb. 3.2-3 zeigt die Entwicklung der mittleren Personendosen des Eigen- und Fremdpersonals der im jeweiligen Berichtsjahr in Betrieb und seit 2011 im Nachbetrieb befindlichen Kernkraftwerke. Während die dargestellten Daten für das Eigenpersonal im Allgemeinen die mittlere Jahresindividualdosis angeben, geben sie für das Fremdpersonal die mittlere Personendosis für Tätigkeiten in einer einzelnen Anlage an; damit ist die mittlere Personendosis für Fremdpersonal, das während eines Jahres in mehreren Kernkraftwerken tätig ist, höher als in der Abbildung angegeben.

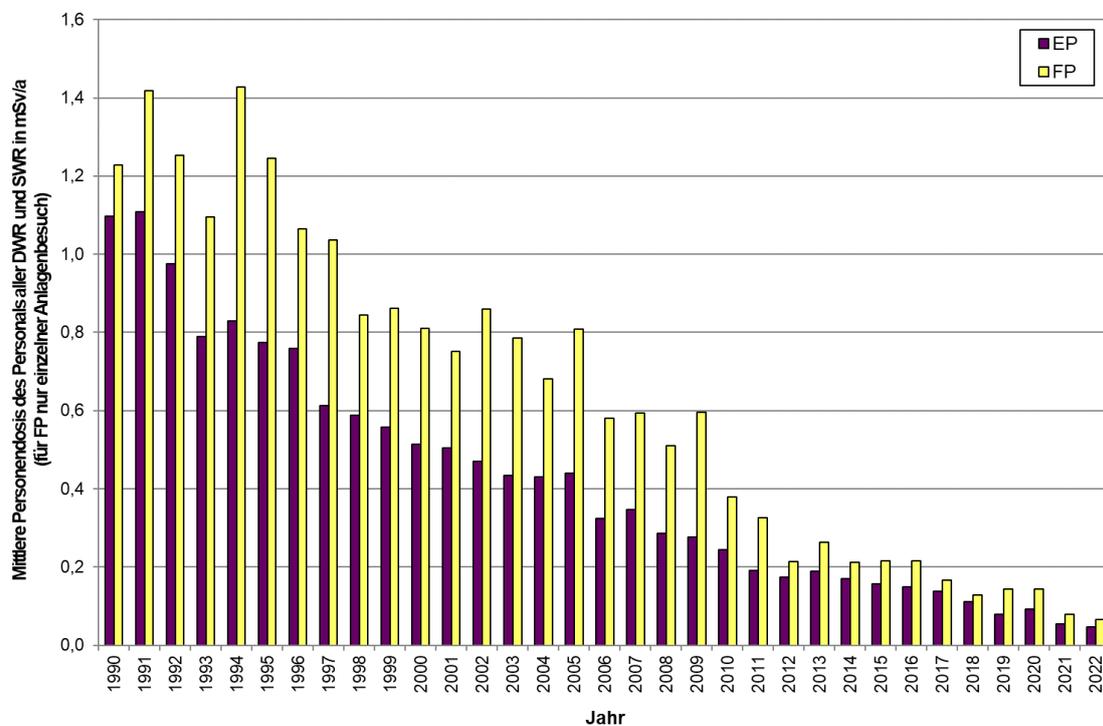


Abb. 3.2-3 Entwicklung der mittleren Personendosis des Eigen- (EP) und des Fremdpersonals (FP) in mSv/a (für das Fremdpersonal: in mSv/Anlagenbesuch) (DWR und SWR)

Insgesamt zeigt sich sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal ein abnehmender Trend der mittleren Personendosen bis 2012. Beim Fremdpersonal sind stärkere Schwankungen als beim Eigenpersonal zu beobachten, die, wie schon erwähnt, vor allem auf die unterschiedlichen Umfänge der Revisionstätigkeiten in den einzelnen Anla-

gen zurückzuführen sind. Insbesondere wird diese Kenngröße bis 2011 stark von einzelnen Anlagen mit höherem Expositionsniveau (z. B. einzelner DWR der 2. Generation) beeinflusst, so dass Änderungen in den Tätigkeiten sich entsprechend auswirken können. In den Jahren 2011 und 2012 sanken die mittleren Personendosen weiter, was vor allem mit der Abschaltung der älteren Anlagen (DWR-Anlagen der 2. Generation und SWR-Anlagen der Baulinie 69) zusammenhängt. In den Jahren 2012 bis 2016 liegen die mittleren Personendosen bei Werten um die 0,2 mSv/a. Im Jahr 2022 werden mit 0,05 mSv/a (EP) und 0,07 mSv/a (FP) bisherige Minimalwerte erreicht.

Der insgesamt zu beobachtende Trend bei der mittleren Personendosis kann auch anhand der Verteilung der individuellen Personendosen des Eigenpersonals und der anlagenbezogenen Personendosen des Fremdpersonals nachvollzogen werden. Abb. 3.2-4 und Abb. 3.2-5 zeigen den Verlauf der Besetzungshäufigkeit von Intervallen zu Dosen höher als 5 mSv. Der Anteil des Personals mit Dosen > 5 mSv nimmt im langfristigen Trend ab. Für das Eigenpersonal lässt sich von 2011 bis 2013 und für das Fremdpersonal von 2013 bis 2014 ein leichter Anstieg des Anteils des Personals mit Dosen > 5 mSv feststellen. Seitdem scheinen die Besetzungszahlen wieder zu sinken. Weiterhin wurden für das Eigenpersonal seit 2010 keine Individualdosen mehr oberhalb von 10 mSv gemeldet. Auch für das Fremdpersonal wurden seit 2015 keine Individualdosen oberhalb von 10 mSv gemeldet. Im Jahr 2020 wurden letztmalig für das Fremdpersonal Individualdosen oberhalb von 5 mSv gemeldet, während für das Eigenpersonal im Jahr 2018 letztmalig Individualdosen über 5 mSv gemeldet wurden.

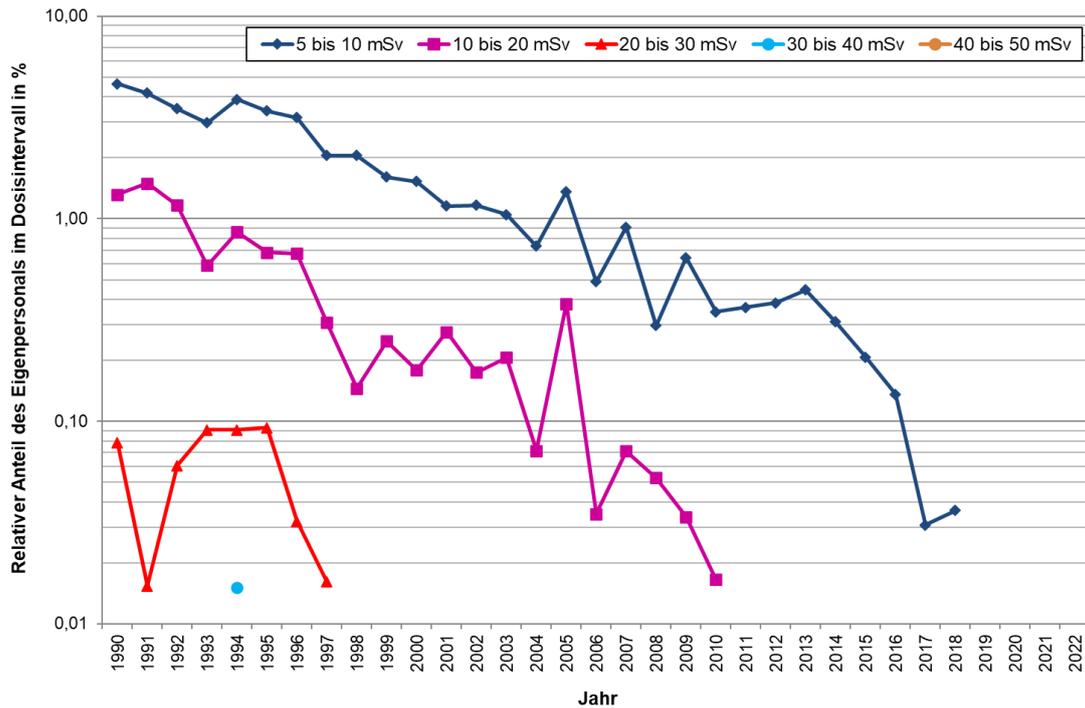


Abb. 3.2-4 Verteilung der Individualdosis des Eigenpersonals der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR) seit 1990

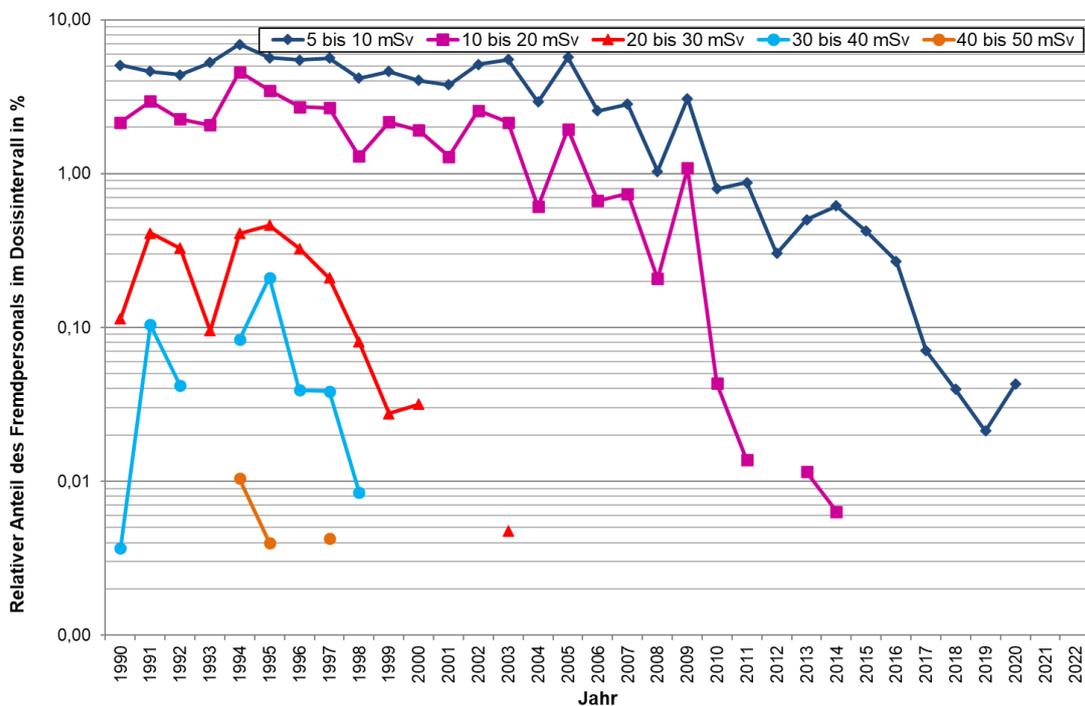


Abb. 3.2-5 Verteilung der anlagenbezogenen Personendosis des Fremdpersonals der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)

3.2.2 In Stilllegung befindliche Anlagen

Die Übersicht über die Gesamt-Jahreskollektivdosen der letzten Jahre für die stillgelegten Anlagen ist in Abb. 3.2-6 dargestellt. Eine Anlage gilt in diesem Sinne als in Stilllegung befindlich ab dem Zeitpunkt, an dem eine Stilllegungsgenehmigung erteilt wird. Als erstes Stilllegungsjahr gilt hierbei dasjenige Jahr, in dem sich die Anlage mehr als sechs Monate im obigen Sinne in Stilllegung befunden hat. Die acht Anlagen, die mit Inkrafttreten der 13. AtG-Novelle im Jahr 2011 ihre Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren, gelten in diesem Sinne nicht ab dem Jahr 2011 als in Stilllegung, sondern bis zum Jahr 2017 als im Nachbetrieb befindlich, da die ersten Stilllegungsgenehmigungen erst in diesem Jahr erteilt wurden.

Bis 1993 befanden sich nur drei Anlagen in Stilllegung. Der Anstieg der Gesamt-Jahreskollektivdosis in den Jahren 1994 und 1995 wird durch die zusätzlichen drei erstmalig berücksichtigten Anlagen dominiert. Der Rückgang 1996 beruht im Wesentlichen auf geringeren Dosisbeiträgen zweier Anlagen in diesem Jahr. Von 1998 bis 2003 wird die Gesamt-Jahreskollektivdosis im Wesentlichen durch vier Anlagen bestimmt.

Insgesamt sinkt die Gesamt-Jahreskollektivdosis von 1998 bis 2001 und steigt 2002 erstmalig wieder an. Gegenüber 2001 steigt die Gesamt-Jahreskollektivdosis von etwa 0,08 Pers.Sv/a auf 1,57 Pers.Sv/a im Folgejahr. Etwa 50 % der Gesamt-Jahreskollektivdosis 2002 gehen dabei auf die Tätigkeiten in einer Anlage zurück, die im Kontext des dort verfolgten, zeitnahen direkten Abbaus der Anlage und des Anlagentyps sowie der Betriebszeit zu sehen sind. 2003 sinkt die Gesamt-Jahreskollektivdosis wieder gegenüber den Vorjahren auf 0,99 Pers.Sv/a und passt sich in den seit 1998, mit Ausnahme des Jahres 2002, anhaltenden Trend leicht sinkender Gesamt-Jahreskollektivdosen ein. Wesentlich zur Abnahme der Gesamt-Jahreskollektivdosis trägt 2003 gegenüber 2002 die Reduktion in der Jahreskollektivdosis einer Anlage um 0,54 Pers.Sv/a bei, die über die unterschiedlichen Arbeitsprogramme der Jahre 2002 und 2003 nachvollziehbar erscheint. Die Dosisbeiträge in den beiden Folgejahren bleiben bei den einzelnen Anlagen auf etwa gleichem Niveau, was sich auch in der Gesamt-Jahreskollektivdosis widerspiegelt.

In den Folgejahren 2006 und 2007 zeigt die Gesamt-Jahreskollektivdosis einen insgesamt steigenden Trend. Dieser wird verursacht sowohl durch die hinzukommenden Stilllegungen zweier Anlagen, die in den Jahren 2006 bzw. 2007 erstmalig beitragen, als auch durch die Arbeitsprogramme der anderen Anlagen.

In den Jahren 2007 bis 2014 zeigt sich dann wieder ein insgesamt fallender Trend. Dieser ist im Wesentlichen auf das Fortschreiten der Stilllegungsprojekte in zwei Anlagen zurückzuführen. Der Wegfall zweier Anlagen fällt aufgrund der schon vorher geringen Dosisbeiträge kaum ins Gewicht. Im Jahr 2010 fanden maßgebliche Arbeiten am Reaktordruckbehälter (RDB) und den RDB Einbauten bei zwei Anlagen statt, weshalb in diesem Jahr die Kollektivdosis von dem fallenden Trend abweicht.

Für die Jahre 2015 und 2016 ergibt sich eine Stabilisierung der Jahreskollektivdosen auf dem Niveau des Vorjahres. In den Jahren 2017 bis 2020 stieg die Jahreskollektivdosis erneut an. Der Grund hierfür liegt in zehn hinzukommenden Stilllegungen. Die Summe der Kollektivdosen hängt dabei deutlich von der Höhe der Einzelbeiträge ab, die wiederum durch den jeweiligen Abbauschritt, den Abklingzeitraum, die Art und Geschwindigkeit des Abbaus sowie die radiologisch relevante Charakteristik der Anlage bestimmt wird. Seit dem Jahr 2020 zeigt sich eine Stabilisierung der Jahreskollektivdosen auf Werte zwischen 1,34 und 1,37 Pers.Sv, wobei im Jahr 2022 noch eine weitere Anlage in Stilllegung hinzukam.

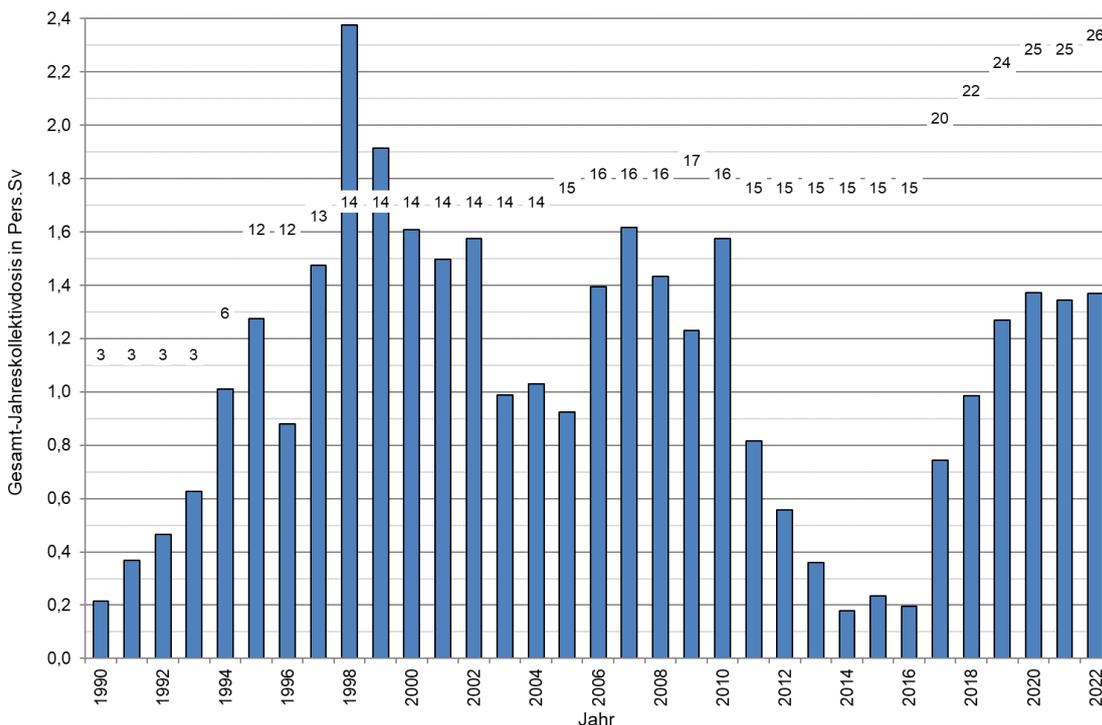


Abb. 3.2-6 Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen

In Abb. 3.2-7 ist die Gesamt-Jahreskollektivdosis aufgeteilt nach Eigen- und Fremdpersonal dargestellt. Die oben genannte Reduktion der Jahreskollektivdosis in den Jahren

bis 2014 zeigt sich sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal. Generell besteht ein Einfluss durch ein Hinzukommen von in Stilllegung befindlicher Anlagen auf die Gesamt-Jahreskollektivdosis vor allem in den Jahren 1994, 1995, 1997, 1998, 2006, 2017, 2018, 2019 und 2020; dieser wird aber nur dann merklich, wenn die neu hinzugekommenen Anlagen einen nennenswerten Beitrag zur Gesamt-Jahreskollektivdosis liefern. So sind beispielsweise die Beiträge der beiden seit 1994 in Stilllegung befindlichen Anlagen so gering, dass sie als Beitrag im Vergleich zu den tätigkeitsbedingten Änderungen der Jahreskollektivdosisbeiträge der anderen Anlagen nicht relevant sind. Ein Wegfall von Anlagen aus der Betrachtung, wie 2010 und 2011, hat nur noch einen geringen Einfluss auf die Gesamt-Jahreskollektivdosis, da sich durch den Fortschritt des Stilllegungsprojekts das radioaktive Inventar in diesen Anlagen schon vorher deutlich reduziert hat.

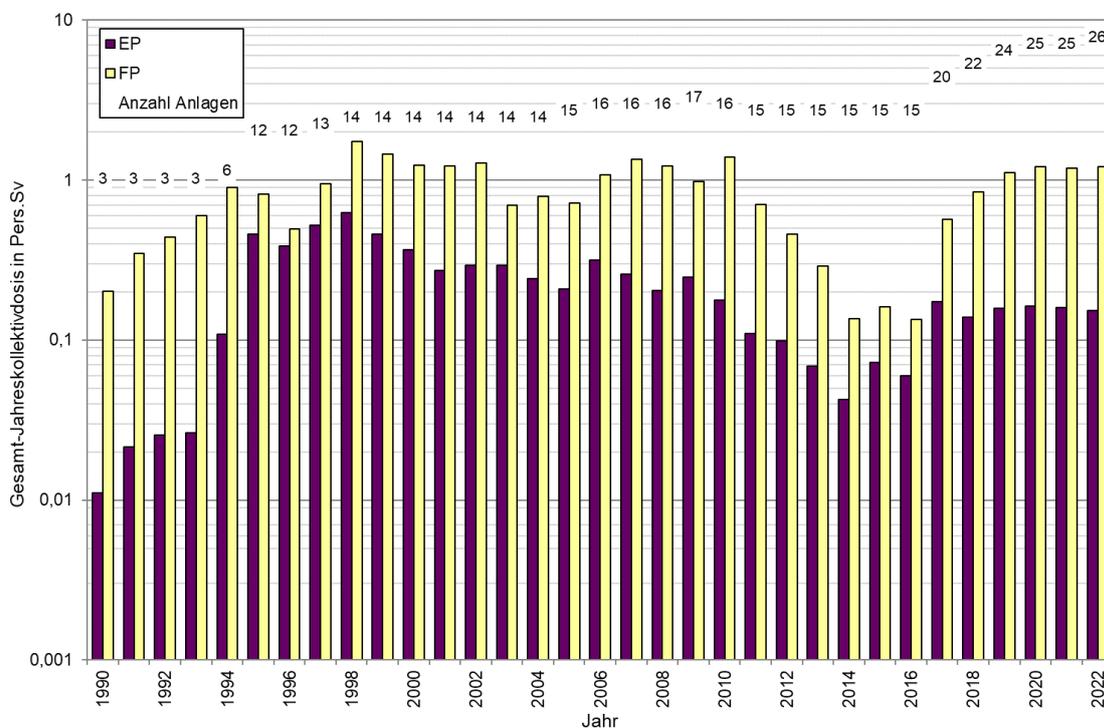


Abb. 3.2-7 Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen

Abb. 3.2-8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Personenzahlen für das gesamte Personal sowie für das Eigen- und Fremdpersonal in den für das jeweilige Jahr als in Stilllegung klassifizierten Anlagen. Für das Fremdpersonal ist anzumerken, dass die Anzahl jeweils anlagenbezogen betrachtet wird. Personen, die in mehreren Anlagen tätig sind, werden daher mehrfach gezählt. Die Gesamtanzahl der in den in Stilllegung befindlichen Anlagen tätigen Personen stieg in den Jahren 2017, 2018 und 2019 aufgrund der insgesamt

neun hinzugekommenen Anlagen deutlich an. Waren im Jahr 2016 nur 2.924 Personen in den in Stilllegung befindlichen Anlagen tätig, so waren es 2019 12.040 Personen. Dieser Trend setzt sich in den Folgejahren 2020 bis 2022, in denen nochmals zusätzlich zwei Anlagen in Stilllegung hinzukamen nicht fort. Eine einheitliche Tendenz hinsichtlich der Beiträge der einzelnen Anlagen zur Anzahl des Gesamtpersonals ist im Jahr 2022 nicht zu erkennen und aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweise und des Standes hinsichtlich der Stilllegung auch nicht zu erwarten.

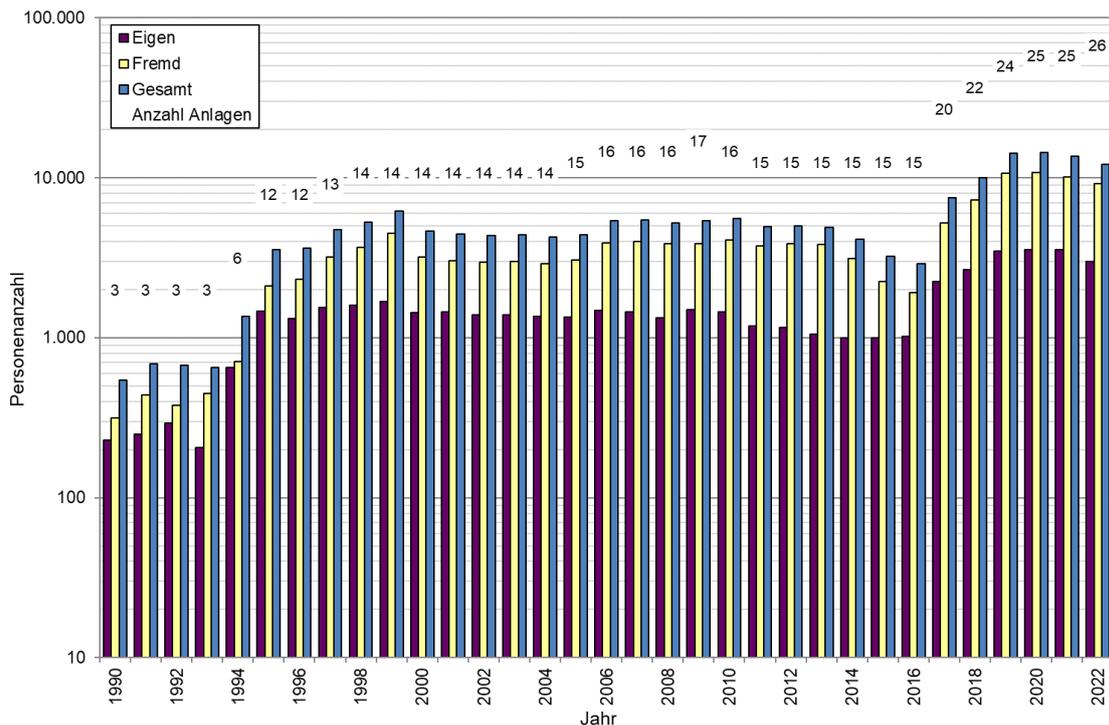


Abb. 3.2-8 Entwicklung der Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- und Fremdpersonals der im jeweiligen Jahr in Stilllegung befindlichen Anlagen

3.2.3 Anlagen der Ver- und Entsorgung

Auf der Grundlage der von den Betreibern bereitgestellten Daten zur Strahlenexposition in Anlagen der Ver- und Entsorgung geben die für die Jahre 2020, 2021 und 2022 erstellten Berichte einen Überblick über die Strahlenexposition des Personals. Die Berichte fassen – im Gegensatz zur Dokumentation der Daten der Kernkraftwerke – die Daten der in Betrieb befindlichen Anlagen und der stillgelegten bzw. diesbezüglich in Vorbereitung befindlichen Anlagen zusammen; damit werden Anlagen zur Brennelementherstellung, zur Urananreicherung sowie zur Lagerung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente und ein Endlager für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle berücksichtigt.

Abb. 3.2-9 zeigt den Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis aller Anlagen seit 1994. Zu beachten ist hierbei, dass jahresabhängig die Anzahl der berücksichtigten Anlagen schwankt. Nach dem Abschluss der Rückbauarbeiten zweier Anlagen sind ab dem Jahr 2006 Kollektivdosen zu beobachten, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Schwankungen in den Jahren ab 2006 können auf unterschiedliche Tätigkeitsumfänge in den verschiedenen Anlagen zurückgeführt werden.

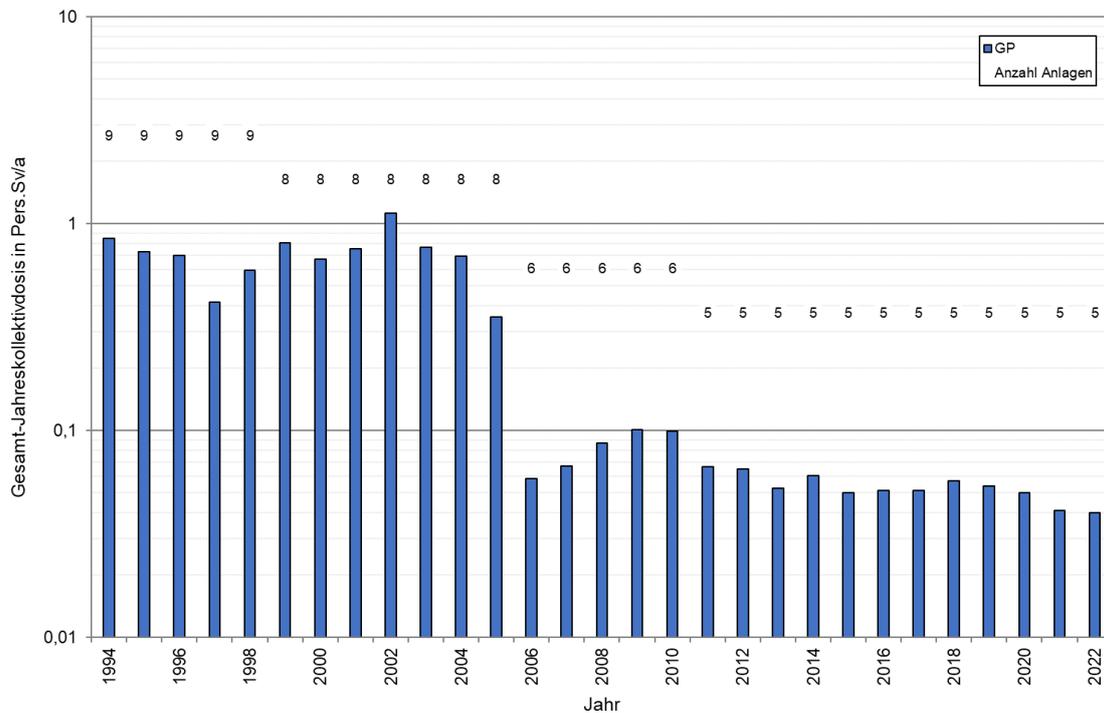


Abb. 3.2-9 Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung

- bis 1998: ALKEM, ANF, ERAM, NUKEM, RBU-I, RBU-II, URENCO, ZLA, ZLG
- bis 2005: ALKEM, ANF, ERAM, NUKEM, RBU-I, URENCO, ZLA, ZLG
- bis 2010: ANF, ERAM, NUKEM, URENCO, ZLA, ZLG
- ab 2011: ANF, ERAM, URENCO, ZLA, ZLG

Der beschriebene Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis des Gesamtpersonals für alle Anlagen wird in den Jahren ab 2006 im Wesentlichen durch die Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigenpersonals bestimmt, welche im Vergleich zu der des Fremdpersonals deutlich höhere Werte aufweist (vgl. Abb. 3.2-10). Die Gesamt-Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals ist, hauptsächlich bedingt durch den Abschluss der Rückbauarbeiten zweier Anlagen im Jahr 2006, erheblich gesunken. Der Verlauf der Gesamt-Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals nach 2006 wird dominiert durch eine Anlage, die die größte Anzahl des Fremdpersonals der hier betrachteten Anlagen stellt.

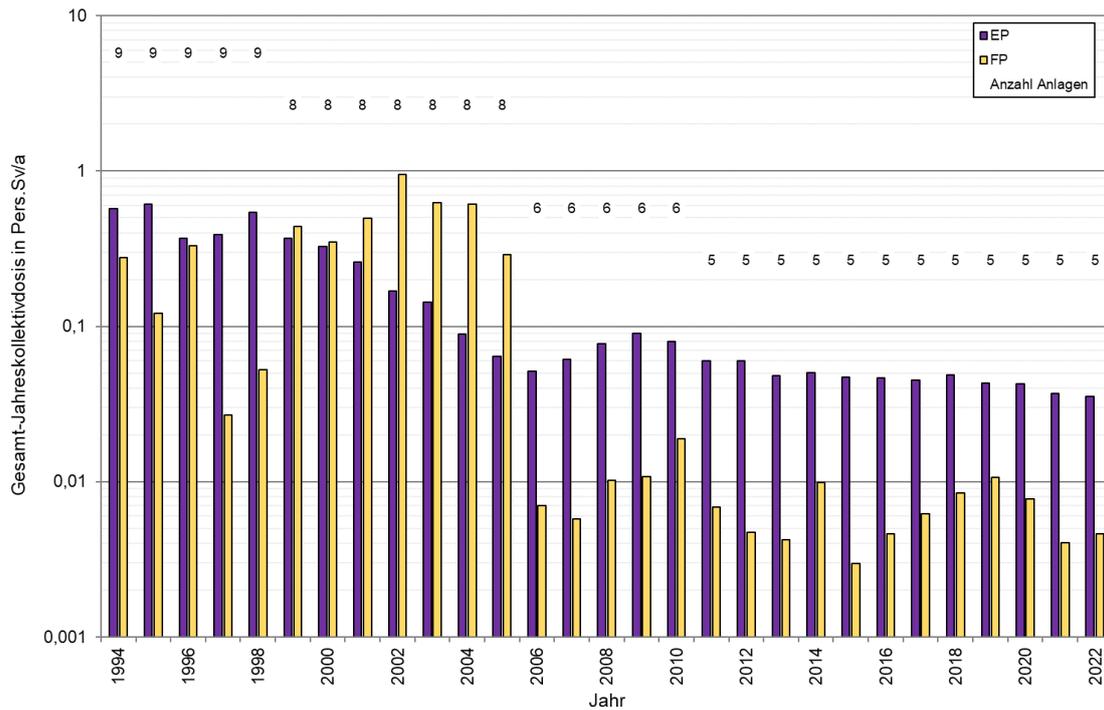


Abb. 3.2-10 Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung

Insgesamt ist festzustellen, dass seit dem Jahr 2016 die Gesamtkollektivdosen mit weniger als 60 Pers.mSv/a über alle betrachteten Anlagen im Vergleich zu den Kernkraftwerken niedrig sind. Somit tragen die Anlagen der Ver- und Entsorgung im Vergleich zu den Kernkraftwerken wenig zur Strahlenexposition des Personals in Deutschland bei.

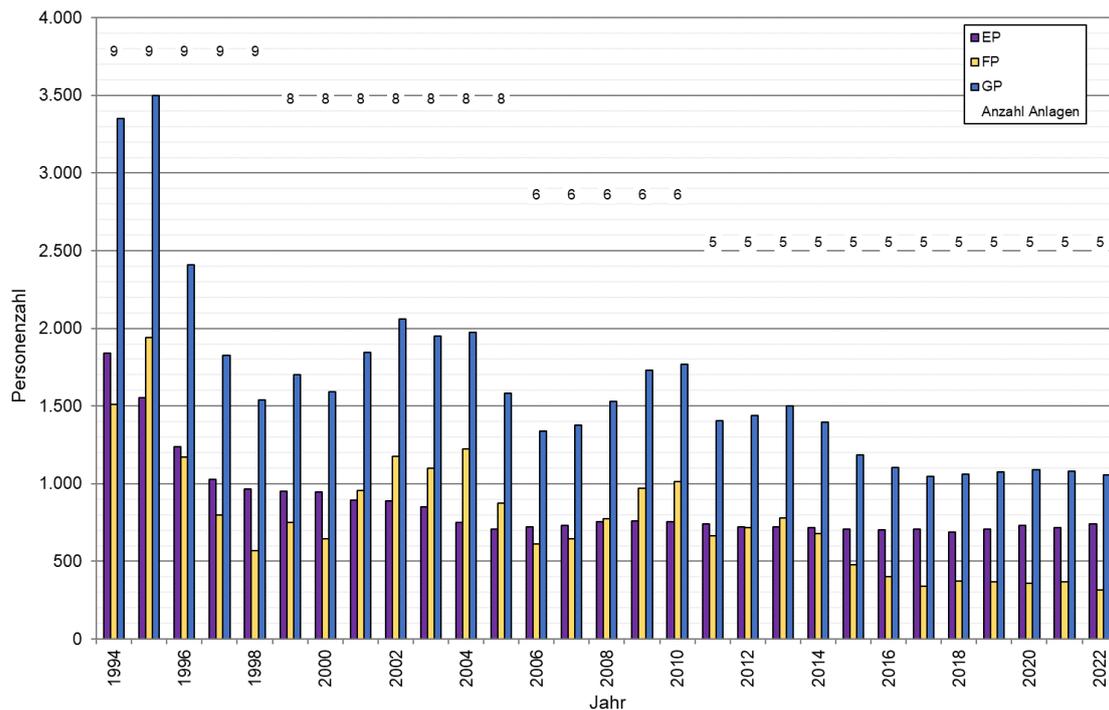


Abb. 3.2-11 Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- (EP), Fremd- (FP) und Gesamtpersonals (GP) der Anlagen der Ver- und Entsorgung

Nach der Verringerung der Personenzahl des Eigenpersonals in den Jahren bis 2005 (Abb. 3.2-11), blieb diese in den Folgejahren bis zum Jahr 2022 in etwa auf gleichem Niveau zwischen etwa 700 und 760 Personen.

Die Gesamtpersonenzahl des eingesetzten Fremdpersonals ist seit 2013 von 780 Personen (2013) auf 680 Personen (2014) und weiter auf 338 Personen (2017) gesunken (s. Abb. 3.2-11). Dieser Verlauf wurde im Wesentlichen durch eine Anlage bestimmt. Die Personenzahl des Fremdpersonals sank in dieser Anlage von 633 Personen (2013) über 215 Personen (2016) auf 159 Personen (2017), während die Veränderungen in den anderen Anlagen demgegenüber eher gering ausfallen.

Seit dem Jahr 2017 bleibt die Gesamtpersonenzahl auf einem ähnlichen Niveau.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Daten der Anlagen der Ver- und Entsorgung eine Orientierung über die Situation in den Anlagen und über die Trends der Exposition erlauben; diese sind jedoch – insbesondere aufgrund der Unterschiede der Aufgaben und der Prozesse in den Anlagen – nicht geeignet, Vergleiche der Expositionen zwischen den einzelnen Anlagen durchzuführen.

4 Ableitung von Optimierungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Analysen in diesem Bereich sollten — unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus mehreren Anlagen als Querschnittsinformation — für die Ableitung von Hinweisen und Vorschlägen zur weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes herangezogen werden. Dabei waren insbesondere auch sog. „good practices“ — also strahlenschutztechnisch gewinnbringende Praktiken — zu identifizieren und zu kommunizieren.

Abzudecken waren bei diesen Untersuchungen sowohl die gewählten Betriebsmittel und Arbeitsplanungen bei den in Betrieb befindlichen Anlagen als auch die Stilllegungs- und Abbau-Techniken bei den in Stilllegung befindlichen Anlagen. Wichtige Einzelmaßnahmen beim Rückbau oder ggf. identifizierte besondere Vorkommnisse waren entsprechend zu berücksichtigen.

4.1 Kernkraftwerke in Betrieb

Bereits frühzeitig wurden in vielen wichtigen Bereichen dosisintensiver Tätigkeiten in kerntechnischen Anlagen Maßnahmen mit der Zielsetzung ergriffen, die Exposition des Personals zu reduzieren. Hierzu gehören die Umrüstung auf schnell handhabbare Kassetten-Isolierungen, Optimierung des Gerüstbaus, Optimierung der Handhabung von temporären Abschirmungen und nicht zuletzt der Austausch von Kobalt-haltigen Materialien in unterschiedlichem Umfang in älteren Anlagen. Diese Maßnahmen trugen mit zur langfristigen Reduktion der Kollektivdosen in den verschiedenen Anlagen bei; während sie bei den DWR der 3. und 4. Generation frühzeitig und grundlegend zu günstigen radiologischen Ausgangssituationen führten, konnten einige dieser Maßnahmen in älteren Anlagen nur teilweise umgesetzt werden, so dass die Expositionen nur zum Teil reduziert werden konnten.

Bereits in den Vorgängervorhaben wurde über Maßnahmen zur Reduktion der Dosisleistung insbesondere in älteren Anlagen der DWR mittels Programmen zur Dosierung von abgereichertem Zink berichtet. Durch die Zinkdosierung wird die Belegung der mit Kühlmittel benetzten Oberflächen mit Co-60 reduziert und damit die Dosisleistung in diesen Bereichen erniedrigt. Auch während des nunmehr abgeschlossenen Vorhabens setzten die Betreiber die Zinkdosierung mit entsprechenden Auswirkungen auf die Strahlenexposition des Personals fort; allerdings ist anzumerken, dass die Einflüsse auf der Ebene der Jahreskollektivdosen des Personals aufgrund weiterer Einflussfaktoren wie

z. B. des Revisionsumfangs nicht ohne Weiteres direkt zu identifizieren sind. Als Indikatoren für den Erfolg werden daher vorwiegend Messungen der Dosisleistung an ausgewählten Messpunkten herangezogen.

Ebenfalls wurde in den Vorgängervorhaben bereits darüber berichtet, dass in den deutschen Anlagen das schrittweise Abfahren der Reaktoren vor einer Revision (so genannter „Soft Shutdown“) gängige Praxis ist, um die Ablösung von Ablagerungen an den Brennelementen („CRUD“) zu vermeiden, die ansonsten in die Primärkreislaufkomponenten eingetragen werden und zu zusätzlichen Dosisleistungen führen. Ein weiteres Beispiel betrifft einen Siedewasserreaktor, bei dem als Folge einer Optimierung des Kernabbrandes die Dampffuchte angestiegen war; dies führte zu einer entsprechenden Zunahme radioaktiver Aerosole in der Turbine und entsprechender Zunahmen der Dosisleistung im Maschinenhaus; als Maßnahme wurde die Fahrweise angepasst, um die Dampffuchte wieder zu senken.

Während in der Vergangenheit in allen Anlagen eher Dekontaminationen von Teilsystemen durchgeführt wurden, haben in den letzten Jahren einige Anlagen damit begonnen, vollständige Systemdekontamination des Primärkreislaufes vorzunehmen. Hierdurch wird die Ortsdosisleistung während der aktuellen Revision, aber auch während zukünftiger Revisionen günstig beeinflusst. Planungswerte von mehreren Personen-Sievert werden hier als Dosisersparungen genannt. Hierbei ist zu beachten, dass die Funktionsfähigkeit aller Komponenten durch die bei der Dekontamination verwendeten Chemikalien nicht beeinflusst werden darf.

Im Zusammenhang mit der Systemdekontamination des Primärkreislaufes sei auf folgenden Aspekt hingewiesen: international wurde über Erfahrungen in Südkorea mit einer neuen Anlage berichtet, in der konsequent bereits vor der nuklearen Inbetriebnahme Zink dem Primärkreislaufmedium zugesetzt wurde. In dieser Anlage habe sich in den ersten Betriebsjahren ein Dosisleistungsniveau eingestellt, das demjenigen von DWR der 3. und 4. Generation vergleichbar sei, obschon die Auslegung nicht diesen Generationen entspräche.

Bereits in dem Vorgängervorhaben wurde über den internationalen Trend berichtet, so genannte ALARA-Komitees einzurichten. Bereits seit vielen Jahren gehörten Strahlenschutzausschüsse oder Strahlenschutzkomitees in den meisten deutschen Anlagen zu den internen Institutionen, die bereichsübergreifend über Maßnahmen jenseits klassi-

scher Strahlenschutzmaßnahmen zur Verbesserung des Strahlenschutzes beraten haben. Heute sind diese Ausschüsse und Komitees – teilweise unter Verwendung anderer Begriffe – in jeder Anlage vorhanden. Auch ein internationaler Austausch wird praktiziert. Die Komitees entsprechen einem in der IWRS II berücksichtigten Grundkonzept, nach dem eine frühzeitige Beteiligung aller von Änderungs- und Instandhaltungs- oder Reparaturmaßnahmen betroffenen Fachgebiete, einschließlich Strahlenschutz, zu einem frühen Planungszeitpunkt erforderlich ist, um den Strahlenschutz zu optimieren.

Wie bereits im Vorgängervorhaben berichtet, werden im Rahmen der bereichsübergreifenden Bemühungen auch Fragen zur Durchführung wiederkehrender Prüfungen angesprochen. Durch entsprechende Planung können insbesondere bei vor- und nachbereitenden Tätigkeiten Synergien im Sinne einer Expositionsreduzierung realisiert werden. Allerdings ergeben sich aus genehmigungstechnischen Vorgaben und Vorgaben des Regelwerkes zu Prüfzyklen und Umfang der einzelnen Prüfungen Einschränkungen für die Möglichkeiten einer quasi freien Planung. Um hier im Sinne des ALARA-Prinzips ein Optimum ohne jegliche Beeinträchtigung der nuklearen Sicherheit zu erreichen, bedarf es nicht nur der anlageninternen Planung, sondern auch der intensiven Absprache mit den zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und den jeweiligen Sachverständigen.

Einen Einfluss auf die Exposition des Personals sowohl bei Betrieb als auch bei Stilllegung haben nicht zuletzt auch die Arbeitsplanung und der Arbeitsumfang. Zentral ist hierbei das Planungsverfahren nach der IWRS II-Richtlinie, das unter anderem einen systematischen Erfahrungsrückfluss fordert. Beispiele aus der Praxis verschiedener Anlagen zeigen, dass die Erfahrungen bei einzelnen Tätigkeiten (z. B. Wartung der Hauptkühlmittelpumpe) u. a. bei der Festsetzung von Planungswerten für eine Wiederholung berücksichtigt und hierdurch sukzessive Verbesserungen angestrebt werden. Eine Vielzahl der während einer Revision durchzuführenden Arbeiten erfolgt im Rahmen des routinemäßigen und nicht des speziellen Planungsverfahrens, so dass hier ein entsprechender Erfahrungsrückfluss angezeigt wäre, um Beiträge für eine weitere Dosisreduktion identifizieren zu können.

4.2 Kernkraftwerke in Stilllegung

Bereits seit einigen Jahren werden in stillgelegten Anlagen systematisch umfassende Systemdekontaminationen durchgeführt, durch die das Dosisleistungsniveau nachhaltig

verbessert werden kann. Im Vergleich zu Systemdekontaminationen bei Anlagen in Betrieb sind hierbei die sicherheitstechnischen Anforderungen im Allgemeinen geringer, so dass stärker abtragende Verfahren eingesetzt werden können.

Ebenfalls als Maßnahmen, auch des Strahlenschutzes, ist die Entnahme von unzerlegten Großkomponenten bis hin zu vollständigen Reaktordruckbehältern zu beobachten. Diese Vorgehensweisen erlauben die Zerlegung und Bearbeitung unter optimierten Bedingungen und stellen eine Möglichkeit zur Vermeidung von Strahlenexpositionen dar. Durch eine Abklinglagerung vor der weiteren Bearbeitung kann die Exposition bei der Zerlegung weiter verringert werden. Ob allerdings eine Strahlenexposition vermieden werden kann, ergibt sich nur aus der Analyse des Einzelfalles und hängt u. a. auch davon ab, ob fernhantiert zerlegt werden muss bzw. wird oder ob das Personal Zerlegearbeiten in unmittelbarer Nähe zur Komponente vornimmt. Eine datenmäßige Erfassung der Dosisersparung ist allerdings auf Grundlage der derzeitigen Expositionsdaten nicht möglich. Einerseits liegen die Planungsdaten für eine in-situ-Zerlegung nicht vor; andererseits wird die bei einer ex-situ Zerlegung anfallende Dosis nur dann im Dosimetriesystem des Anlagenbetreibers erfasst, wenn die Komponente am Standort zerlegt wird; bei langjähriger Zwischenlagerung über die Stilllegung hinaus oder bei Zerlegung in einer externen Anlage eines Dienstleisters findet die Dosis keinen Eingang in die Expositionsdaten der stillgelegten Anlagen.

Es hat sich allerdings gezeigt, dass aus dem Leistungsbetrieb bekannte, wiederkehrende bzw. Routine-Tätigkeiten in der Stilllegung bezüglich des radiologischen Arbeitsschutzes an Bedeutung gewinnen, da nur ein kleiner Teil der Kollektivdosis in der Stilllegung durch einzelne dosisintensive Abbautätigkeiten verursacht wird.

Eine Untersuchung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition des Personals bei Stilllegungs- und Rückbaumaßnahmen mit Hinblick auf mögliche Optimierungen des Strahlenschutzes ist kaum möglich, da der GRS hierzu nur sehr vereinzelt Daten vorliegen. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Nutzung von standortübergreifenden Erfahrungsrückflüssen zur Bestimmung konkreter Maßnahmen des Strahlenschutzes (Errichtung von Abschirmungen, Wahl der Verfahren, etc.) eine „good practice“ zur Vermeidung und Reduzierung von Expositionen bei Tätigkeiten der Stilllegung darstellt. Neben dieser grundsätzlichen Empfehlung stellt beispielsweise die Nutzung eines digitalen Zwillings bei der Planung von Tätigkeiten und der Auswahl der entsprechend zu ergreifenden Strahlenschutzmaßnahmen eine Vorgehensweise dar, die zur Optimierung des Strahlenschutzes in der Stilllegung beitragen kann.

4.3 Kernkraftwerke im Nachbetrieb

Bei den Anlagen, die seit dem Jahr 2011 ihre Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren haben, ist mit Beginn des Nachbetriebs eine deutliche Reduzierung der Jahreskollektivdosen zu beobachten. Analog zu den Anlagen in Stilllegung werden bei diesen Anlagen vermehrt eine Systemdekontamination des Primärkreises vor Beginn des Rückbaus durchgeführt, um das Dosisleistungsniveau nachhaltig zu verbessern und die Strahlenexposition des Personals während des Rückbaus zu verringern.

5 Teilnahme am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch

Im Hinblick auf die hohe Bedeutung des europäischen und internationalen Erfahrungsrückflusses zum Strahlenschutz in kerntechnischen Anlagen wurde ein intensiver Kontakt, Erfahrung- und Datenaustausch auf europäischer und internationaler Ebene, vor allem durch eine intensive Mitarbeit im ISOE der OECD/NEA und IAEO gehalten. Wichtig ist dieses Vorgehen insbesondere mit Hinblick darauf, dass die Ergebnisse des Erfahrungsaustauschs in die Bewertung der internationalen Strahlenschutzpraxis einfließen können und Erfahrungen aus der deutschen Praxis in die Arbeit internationaler Organisationen eingebracht werden können.

Zum Vergleich der Ergebnisse des Strahlenschutzes auf nationaler und internationaler (OECD/EU-) Ebene ist eine möglichst einheitliche Kategorisierungen der Tätigkeitsbereiche und Tätigkeiten erforderlich. Dementsprechend wurden im Rahmen der bestehenden Kontakte zu diesen Gremien weitere Beiträge zur Harmonisierung dieser Bereiche geleistet.

Durch Auswertung der verfügbaren internationalen Daten konnte eine Einordnung der DWR- und SWR-Anlagen der Bundesrepublik in die internationale Situation durch Vergleich der Kollektivdosen und der Daten der Dosis pro erzeugter Energie vorgenommen werden. Ende 2013 wurden die „Terms of References“ von ISOE dahingehend geändert, dass die ISOE-Datenbank für die Behörden vollständig geöffnet wurde und damit auch der tätigkeitsbezogene Teil international für Behörden einsehbar gemacht wurde. Auf einen internationalen Vergleich der Daten zu Schwerpunkten der tätigkeitsbezogenen Dosimetrie musste allerdings verzichtet werden, da in diesem Bereich die Datenverfügbarkeit aufgrund begrenzter Eintragungen auf internationaler Ebene relativ begrenzt ist.

Aufgrund der hohen Bedeutung des Fortschreibens der in ISOE bereits enthaltenen tätigkeitsbezogener Daten aus der Betriebsphase der Kernkraftwerke auch für die Stilllegungsphase, d. h. zur Sicherstellung eines konsistenten Übergangs, wurde seitens ISOE in der Vergangenheit versucht, eine international harmonisierte Kategorisierung auch für die Stilllegung im Rahmen der Working Group on Data Analysis (WGDA) im ISOE zu erarbeiten und zu etablieren. Bereits 2007 und 2008 erarbeitete eine Unterarbeitsgruppe einen Vorschlag bzgl. stilllegungsrelevanter Informationen, die bei der Datenerfassung zur Strahlenexposition in stillgelegten Kernkraftwerken berücksichtigt werden sollten. Damit sollte sichergestellt werden, dass die in ISOE erfassten Stilllegungs-

daten bestmöglich die Grundlage für zielgerichtete Auswertungen bilden. Auf seiner Jahressitzung im November 2008 hatte das ISOE Management Board (MB) den angesprochenen Vorschlag im Grundsatz genehmigt, allerdings vor einer DV-technischen Realisierung die erneute, abschließende Abstimmung des Vorschlags mit den Betreibern der stilllegenden Kernkraftwerke im ISOE gefordert.

Im Rahmen der Vorläufervorhaben erörterte die GRS mit Vertretern deutscher stillgelegter Kernkraftwerke intensiv den Vorschlag auf einem Workshop im Mai 2010. Die hier vertretene deutsche Stilllegungspraxis empfahl dabei auf Grundlage ihrer Erfahrungen wesentliche Änderungen hinsichtlich des Detaillierungsgrades der zu sammelnden Expositionsdaten, um ein Sammeln von nicht-interpretationsfähigen Daten bei gleichzeitig sehr hohem Aufwand zu vermeiden. Die Ergebnisse des deutschen Prozesses wurden von der Unterarbeitsgruppe aufgegriffen und waren in eine wesentliche Überarbeitung des Vorschlags eingegangen, der dem ISOE Management Board in seiner Jahressitzung Ende 2011 erneut vorgelegt und vom ISOE Management Board zur DV-technischen Umsetzung genehmigt wurde.

Im Rahmen der Sitzung der WGDA im April 2012 wurden erste Schritte zur DV-technischen Umsetzung der Sammlung der stilllegungsbezogenen Expositionsdaten erörtert. Die neue Struktur der Datenerfassungssoftware wurde zunächst als EXCEL-Dateien umgesetzt und sollte in einer zweijährigen Testphase erprobt werden, bevor es in die WEB-basierte Datenerfassungssoftware des ISOE eingebaut werden sollte. Nach Abschluss der Testphase wurde auf der Sitzung der WGDA im November 2014 auf Drängen einiger Länder beschlossen, zunächst bei der bisherigen Datenerfassungssoftware zu bleiben und die Diskussion einer Überarbeitung in die auf der MB-Sitzung neu gegründete ISOE-Arbeitsgruppe „Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM)“ zu verlagern. Da es schwierig erscheint, eine gemeinsame Basis an Detaildaten zu finden, die von den einzelnen Mitgliedsländern mit vertretbarem Aufwand und unter Beteiligung der Betreiber erhoben werden können, arbeitete die WGDECOM an einem alternativen Ansatz: Es wurde ein Fragebogen erarbeitet, der wesentliche Daten zur tätigkeitsbezogenen Exposition abfragt und darüber hinaus einen Überblick über die radiologisch relevanten Randbedingungen bei der Stilllegung der befragten Anlage liefern soll. Die erfassten Daten sollen als Fallbeispiel nutzbar sein, um typische Expositionen unter verschiedenen Voraussetzungen abschätzen und bewerten zu können. Darüber hinaus können die Fallbeispiele dazu dienen, passende Referenzanlagen als potenzielle Ansprechpartner zu

identifizieren. Das vormals angedachte Aufsetzen und Nutzen einer Datenbank für tätigkeitsbezogene Expositionsdaten in der Stilllegung wird von der Unterarbeitsgruppe aufgrund der unzureichend detaillierten Datenlage (ähnlich wie in Deutschland) als nicht umsetzbar erachtet. Die GRS hat die aktive Unterstützung der WGDECOM im Rahmen des laufenden Vorhabens weitergeführt.

Ergänzend zu den o. g. Auswertungen und Teilnahmen wurden die deutschen Interessen durch regelmäßige Teilnahme an den jährlichen Sitzungen des ISOE Management Boards (MB) vertreten und gewahrt.

Zum weiteren internationalen Austausch fanden Teilnahmen an dem i. d. R. zweijährlich stattfindenden europäischen ISOE Symposium im Jahr 2022 und 2024 statt. Die GRS war bei beiden Veranstaltungen im Programmkomitee vertreten.

Weiterhin fanden am Rande der ISOE Symposien ISOE Regulatory-Body Representatives Meetings statt. Üblicherweise werden bei solchen Treffen aktuelle Themen, die die Aufsichtsbehörden international betreffen, diskutiert (z. B. aktuelle Dosisgrenzwerte in Bezug auf die Augenlinse, Anforderungen an die Ausbildung von KKW-Personal etc.). Thema des Treffens im Jahr 2022 waren bedeutende Ereignisse im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz von Arbeitskräften in Kernkraftwerken und im Jahr 2024 wurde sich über gesetzliche Anforderungen und bewährte Verfahren zur Kontrolle von Kontaminationsverschleppungen in Kernkraftwerken ausgetauscht.

Zum nationalen Erfahrungsaustausch wurden an den TÜV SÜD Seminaren zu aktuellen Entwicklungen im Strahlenschutz im Juni 2022, 2023 und 2024 teilgenommen. Themen dieser Veranstaltungen waren u. a. Gesetze und Regelwerk, radiologischer Arbeitsschutz sowie die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens 3621S72350 wurde die in Vorläufervorhaben begonnene Datensammlung, Dokumentation und Analyse der Daten zur beruflichen Strahlenexposition weitergeführt und die Ergebnisse in thematischen Berichten dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass sich die Kollektivdosis der in Betrieb befindlichen Anlagen in den letzten Jahren immer weiter verringert hat und sich insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau befindet. Durch die Abschaltung von insgesamt vierzehn Leistungsreaktoren seit dem Jahr 2011 bis zum Berichtsjahr 2022 in Folge des Unfalls in Fukushima, hat sich die Jahreskollektivdosis in diesen Anlagen seitdem weiter reduziert. So ist die Gesamt-Jahreskollektivdosis vom Jahr 2011 zum Jahr 2021¹ um 93 % gesunken. Die Strahlenexposition des Personals hat sich insgesamt verringert. Dies ist sowohl durch den Trend der mittleren Personendosen (Reduzierung der mittleren Gesamt-Personendosis bei Betrachtung aller Anlagen in Betrieb/Nachbetrieb vom Jahr 2011 zum Jahr 2021 um 77 %) als auch durch die Entwicklung in der Verteilung der anlagenbezogenen Individualdosen zu erkennen. .

Der Abbau der in Stilllegung befindlichen Anlagen lässt sich mit niedrigeren Jahreskollektivdosen im Vergleich zum Anlagenbetrieb durchführen. Die Gesamt-Jahreskollektivdosis aller in Stilllegung befindlichen Anlagen stieg aber in den Berichtsjahren 2017 bis 2020 deutlich an. Der Grund hierfür liegt in zehn hinzukommenden Stilllegungen. Die Summe der Kollektivdosen hängt dabei deutlich von der Höhe der Einzelbeiträge ab, die wiederum durch den jeweiligen Abbauschnitt, den Abklingzeitraum, die Art und Geschwindigkeit des Abbaus sowie die radiologisch relevante Charakteristik der Anlage bestimmt wird. Seit dem Jahr 2020 zeigt sich eine Stabilisierung der Jahreskollektivdosen auf Werte zwischen 1,34 und 1,37 Pers.Sv, wobei im Jahr 2022 noch eine weitere Anlage in Stilllegung hinzukam.

Werden alle Anlagen in Betrieb/Nachbetrieb und Stilllegung betrachtet, zeigt sich auch hier eine deutliche Reduzierung der Gesamt-Jahreskollektivdosen und der Strahlenexposition des Gesamtpersonals. So kann für den Zeitraum von dem Jahr 2011 bis zum Jahr 2021 eine Reduzierung der Gesamt-Jahreskollektivdosis um 78 % und der mittleren

¹ Es wurde das Jahr 2021 gewählt, da für das Jahr 2022 noch nicht alle Daten vorliegen.

Personendosen um 66 % beobachtet werden. Während der Anteil der Anlagen in Betrieb/Nachbetrieb an der Gesamt-Jahreskollektivdosis im Jahr 2011 noch bei 98 % lag, ist dieser im Jahr 2021 nur noch bei 28 %.

Für die einzelnen betrachteten Anlagen der Ver- und Entsorgung liegen die jeweiligen Jahreskollektivdosen im Berichtsjahr 2022 mit (teilweise deutlich) weniger als 30 Pers.mSv/a im Vergleich zu den Kernkraftwerken auf einem sehr niedrigen Niveau.

Es wurde bei den Auswertungen nochmals deutlich, dass mit Hinblick auf die endgültige Abschaltung aller Leistungsreaktoren zum 15. April 2023 insbesondere die Verfolgung der bestehenden Tendenzen bei den in Stilllegung befindlichen Anlagen unter Gesichtspunkten laufender und künftiger Verbesserungsmaßnahmen weiterverfolgt werden sollte. Hierbei sollten die sich abzeichnenden Entwicklungen wie die zunehmende Durchführung einer Primärkreisdekontamination aber auch der Umstand, dass aus dem Leistungsbetrieb bekannte, wiederkehrende bzw. Routine-Tätigkeiten in der Stilllegung bezüglich des radiologischen Arbeitsschutzes an Bedeutung gewinnen, weiterverfolgt werden und die bisherigen Daten weiter erfasst werden, um eine Kontinuität in den Daten, insbesondere hinsichtlich der tätigkeitsbezogenen Informationen, für die weitere Ableitung von Erfahrungen sicherzustellen. Auch Betriebserfahrungen bei Störungen in der Stilllegung sollten zukünftig weiterhin analysiert werden.

Im Rahmen der Durchführung des vorliegenden Vorhabens wurde die Mitarbeit an der seitens ISOE eingerichteten Arbeitsgruppe WGDECOM weitergeführt, die sich spezifisch mit den Expositionsdaten bei Abbaumaßnahmen und solchen aus Behandlung und Transport von radioaktiven Abfällen und Ableitungen aus der Stilllegung befasst. Vor dem Hintergrund der endgültigen Abschaltung aller deutschen Leistungsreaktoren zum 15. April 2023 sollte eine aktive Teilnahme an dieser Arbeitsgruppe im Rahmen eines Folgevorhabens weiter angestrebt werden.

Literaturverzeichnis

- /ATG 22/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung von 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert 4. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2153).
- /BMU 21/ BASE, Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (Hrsg.): Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 Atomgesetz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), 53 S., 16. September 2021.
- /EUR 14/ Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom (Richtlinie 2013/59/Euratom) in der Fassung vom 5. Dezember 2013 (Amtsblatt der Europäischen Union), zuletzt geändert 6. Februar 2014 (Amtsblatt der Europäischen Union 2014, Nr. L 13, S. 1–73).
- /IAEA 06/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, Safety Guide WS-G-5.1. IAEA Safety Standards: Vienna, Austria, 2006.
- /IAEA 08/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Guide No. WS-G-5.2. IAEA Safety Standards, WS-G-5.2: Vienna, Austria, 2008.
- /IAEA 14a/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series, GSR Part 3: Wien, 2014.
- /IAEA 14b/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements Part 6 No. GSR Part 6. IAEA Safety Standards, GSR Part 6: Vienna, Austria, 2014.

- /IAEA 18a/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Occupational Radiation Protection, General Safety Guide No. GSG-7. IAEA Safety Standards: Vienna, Austria, 2018.
- /IAEA 18b/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide No. SSG-47. IAEA Safety Standards, SSG-47: Vienna, Austria, 2018.
- /IAEA 19/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, Specific Safety Guide No. SSG-49. IAEA Safety Standards: Wien, 2019.
- /IAEA 21/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Occupational Radiation Protection during the Decommissioning of Nuclear Installations, Main Aspects of Management, Planning and Conduct. IAEA TECDOC, TECDOC-1954: Wien, Österreich, 2021.
- /SSG 22/ Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) in der Fassung von 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15).
- /SSV 24/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) (StrlSchV) in der Fassung von 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), zuletzt geändert 17. April 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 132).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.2-1	Gesamt-Jahreskollektivdosen des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)	10
Abb. 3.2-2	Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)	11
Abb. 3.2-3	Entwicklung der mittleren Personendosis des Eigen- (EP) und des Fremdpersonals (FP) in mSv/a (für das Fremdpersonal: in mSv/Anlagenbesuch) (DWR und SWR).....	12
Abb. 3.2-4	Verteilung der Individualdosis des Eigenpersonals der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR) seit 1990	14
Abb. 3.2-5	Verteilung der anlagenbezogenen Personendosis des Fremdpersonals der in Betrieb und Nachbetrieb befindlichen Leistungsreaktoren (DWR und SWR)	14
Abb. 3.2-6	Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen	16
Abb. 3.2-7	Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der in Stilllegung befindlichen Anlagen	17
Abb. 3.2-8	Entwicklung der Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- und Fremdpersonals der im jeweiligen Jahr in Stilllegung befindlichen Anlagen	18
Abb. 3.2-9	Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung.....	19
Abb. 3.2-10	Logarithmisch dargestellte Gesamt-Jahreskollektivdosis des Eigen- (EP) und Fremdpersonals (FP) und Anzahl der Anlagen der Ver- und Entsorgung	20
Abb. 3.2-11	Gesamtzahl des eingesetzten Eigen- (EP), Fremd- (FP) und Gesamtpersonals (GP) der Anlagen der Ver- und Entsorgung.....	21

Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As Low As Reasonable Achievable
ALKEM	Siemens Brennelementewerk Hanau, Betriebsteil: MOX-Verarbeitung (Alpha-Chemie-Metallurgie)
ANF	Advanced Nuclear Fuels GmbH/Lingen
AP	Arbeitspaket
AtG	Atomgesetz
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
DV	Datenverarbeitung
DWR	Druckwasserreaktor
EP	Eigenpersonal
EU	Europäische Union
FP	Fremdpersonal
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
ISOE	Information System on Occupational Exposure
MB	ISOE Management Board
NUKEM	RD Hanau GmbH, bis 11.10.06 NUKEM Hanau GmbH (Nuklear-Chemie und Metallurgie)
NPP	Nuclear Power Plant
OECD/NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
RBU-I	Reaktor-Brennelement Union Werk I, Siemens Brennelementewerk Hanau, Betriebsteil: U-Verarbeitung
RBU-II	Reaktor-Brennelement Union Werk II, Siemens Brennelementewerk Hanau, Standort: Karlstein

RDB	Reaktordruckbehälter
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
Sv	Sievert
SWR	Siedewasserreaktor
UAG	Urananreicherungsanlage Gronau, URENCO Deutschland GmbH
VGB	VGB PowerTech e. V., europäischer Fachverband (ehemals „Vereinigung der Großkesselbesitzer“)
WGDA	Working Group on Data Analysis (Arbeitsgruppe des ISOE)
WGDECOM	Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (Arbeitsgruppe des ISOE)
ZLA	Zwischenlager Ahaus (früher Transportbehälterlager Ahaus TBL-A, davor GNS Werk Ahaus und davor Brennelementezwischenlager Ahaus BZA)
ZLG	Zwischenlager Gorleben (früher Transportbehälterlager Gorleben TBL-G, davor GNS Werk Gorleben und davor Brennelementelager Gorleben BLG)

Verteiler zum Abschlussbericht im Forschungsvorhaben 3621S72350

Berichtstitel: Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle sowie sonstigen Einrichtungen nach StrlSchG

GRS-A-4144

Nur PDF-Version:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Referat S II 3, SI13@bmu.bund.de 1 x

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

BfS Fachgebiet MB4 (Martin Dommert), mdommert@bfs.de 1 x

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

ZD2-Eingang, ZD2-Eingang@bfs.de 1 x

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Geschäftsführer (STJ, SEN) 2 x

Bereichsleiter (THI, KSE) 2 x

Abteilungsleiter (STL) 1 x

Autoren (GUA) 2 x

Projektcontrolling (VLA) 1 x

TECDO (NIT, WEV) 2 x

Gesamt **13 x**