



Bern, 8. Dezember 2023

---

# **Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich**

Bericht des Bundesrates  
in Erfüllung des Postulates 18.4107,  
Kommission für Umwelt, Raumplanung und  
Energie des Ständerats vom 13. November 2018

---

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Ausgangslage.....	4
1.1.1 Hintergrund.....	4
1.1.2 Das Verfahren vor Bundesverwaltungsgericht und Bundesgericht.....	5
1.1.3 Die Entstehungsgeschichte des Postulates 18.4107 und Zielsetzung dieses Berichtes...5	
1.2 Das Postulat 18.4107.....	6
1.2.1 Inhalt des Postulats.....	6
1.2.2 Antrag des Bundesrats.....	6
1.2.3 Behandlung im Rat.....	6
<b>2 Überprüfungsbericht</b> .....	<b>6</b>
2.1 Vorgehen zur Wahl der Experten und der Überprüfungsinstitution.....	6
2.2 Vom Pflichtenheft zum Überprüfungsbericht.....	7
2.3 Zusammenfassung des Überprüfungsberichts.....	8
2.3.1 Kapitel 3 «Zusätzliche Informationen über die Fragen 1 und 2 hinaus».....	8
2.3.2 Kapitel 4 «Zugrundeliegende Logik der Kriterien zu geplanten Expositionssituationen».....	9
2.3.3 Kapitel 5 «Häufigkeiten von Störfällen und damit verbundene Dosiskriterien».....	10
2.3.4 Kapitel 6 «Gesundheitseffekte bei niedrigen Dosen».....	10
2.4 Würdigung der Experten.....	11
2.4.1 Vergleich der schweizerischen Gesetzgebung mit den internationalen Best Practices..	11
2.4.2 Vergleich des akzeptablen Risikos bei einem Kernkraftwerk mit jenem von anderen Quellen radioaktiver Strahlung.....	11
2.4.3 Aktuelle Diskussionen in der Wissenschaft betreffend niedrige Strahlendosen.....	12
2.4.4 Schlussfolgerungen des Überprüfungsberichtes.....	12
<b>3 Würdigung des Bundesrates</b> .....	<b>12</b>
<b>4 Beilagen</b> .....	<b>13</b>

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

# Zusammenfassung

Betreiber von Kernanlagen müssen im Rahmen der Störfallvorsorge gegenüber dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) darlegen, dass bei einem Störfall die vorgegebenen Dosiswerte eingehalten werden. Mit dieser Störfallanalyse weisen sie nach, dass ihre Anlage ausreichend sicher ist. Das Postulat 18.4107 UREK-S «Dosisgrenzwerte bei Kernanlagen, radioaktive Strahlung und Strahlenschutz» beauftragte den Bundesrat, die Störfallanalyse und -kategorien in der Strahlenschutzverordnung (StSV) und in der Kernenergieverordnung (KEV) durch unabhängige Fachexpertinnen und Fachexperten im Bereich Strahlenschutz und Medizin vertieft überprüfen zu lassen.

Das Bundesamt für Energie (BFE) setzte eine Expertengruppe ein, die sich aus den Präsidenten der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR), der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) und dem Leiter der Abteilung Strahlenschutz im Gesundheitsministerium von Luxemburg zusammensetzte. Diese stellte das Pflichtenheft für den Überprüfungsbericht zusammen und wählte das französische Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) als unabhängige Institution aus. Das IRSN ist die französische Fachorganisation für Forschung und Expertise zu nuklearen und radiologischen Risiken und verfügt über Kenntnisse in der Störfallanalyse bei Kernanlagen und zu den Gesundheitseffekten im Niedrigdosisbereich. Das IRSN ist zudem unabhängig vom schweizerischen Gesetzgeber.

Das IRSN geht in seinem Überprüfungsbericht auf die Hintergründe und den Anwendungsbereich der schweizerischen Bestimmungen zur Störfallanalyse ein. Es beleuchtet die internationalen Empfehlungen zu den verschiedenen Dosiskriterien und ihren Funktionen. Das schweizerische System der Störfallanalyse entspreche den internationalen Empfehlungen. Weiter geht das IRSN auf die Gesundheitseffekte bei niedrigen Dosen ein und zeigt die neuesten Erkenntnisse seit Veröffentlichung des Berichtes des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 08.3475 Fehr «Niedrigstrahlung aus AKW. Studie» auf. Es unterstützt und konsolidiert die Schlussfolgerungen dieses Postulatsberichtes. Der Überprüfungsbericht des IRSN kommt zum Schluss, dass es wahrscheinlich keinen allgemeinen Schwellenwert für die Auslösung von Krebs gibt und dass die Verwendung eines Modells ohne Schwellenwert weiterhin gerechtfertigt ist. Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte und weitere Dosiskriterien stellen nach wie vor sicher, dass das Risiko für die Bevölkerung tragbar ist.

Die Expertengruppe kommt in ihrer Würdigung des Überprüfungsberichtes des IRSN zum Schluss, dass dieser die schweizerische Gesetzgebung und die damit verbundenen Dosiswerte nicht in Frage stellt. Der Bundesrat kommt zum Schluss, dass die Vorgaben des Ständerates zur unabhängigen Erstellung sowie zum Inhalt des Berichtes eingehalten wurden. Als Fazit hält er fest, dass die geltenden Regelungen in der Kernenergiegesetzgebung für die Störfallanalyse international breit abgestützt sind und es keinen gesetzgeberischen Handlungsbedarf für eine allfällige weitere Anpassung gibt.

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

### 1.1.1 Hintergrund

Betreiber von Kernanlagen müssen im Rahmen der Störfallvorsorge nachweisen, dass ihre Anlagen auch bei Störfällen sicher sind. Sie müssen gegenüber dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) insbesondere darlegen, dass bei einem Störfall die vorgegebenen Dosiswerte eingehalten werden. Mit dieser Störfallanalyse weisen sie nach, dass ihre Anlage ausreichend gegen verschiedene angenommene Störfälle geschützt ist. Die Betreiber müssen sicherstellen, dass die in der Gesetzgebung festgelegten Dosiswerte für Personen aus der Bevölkerung nicht überschritten werden.

Im Jahr 2012 wies die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) darauf hin, dass bei den damals vorgegebenen Dosiswerten Klärungsbedarf bestehe.<sup>1</sup> Weil die Praxis des ENSI unbestritten war und trotz unklarem Wortlaut der einschlägigen Bestimmungen Rechtssicherheit herrschte, verzichtete der Bundesrat vorerst auf eine Anpassung der gesetzlichen Grundlagen.

Anwohnerinnen und Anwohner der KKW Beznau 1 und 2 sowie Umweltorganisationen verlangten im Jahr 2015 in einem an das ENSI gerichteten Gesuch, dass bei Störfällen, die aus Naturereignissen resultieren, ein deutlich strengerer Dosiswert angewendet werden müsste, als dies in der Praxis der Fall war. Als Konsequenz hätten nicht nur die KKW Beznau 1 und 2, sondern mutmasslich alle KKW vorläufig ausser Betrieb genommen werden müssen.

Das ENSI stellte mit Verfügung vom 27. Februar 2017 fest, dass die Haltung der Gesuchstellenden weder der bisherigen Praxis der Aufsichts- und Bewilligungsbehörden noch der ursprünglichen Regelungsabsicht des Bundesrates entspricht. Allerdings zeigte das Verfahren vor dem ENSI auf, dass gesetzgeberischer Handlungsbedarf gegeben war, um den unklaren Wortlaut von Artikel 8 der Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV; SR 732.11) über die deterministische Störfallanalyse und von Artikel 44 KEV über die vorläufige Ausserbetriebnahme von KKW sowie von zwei gestützt darauf erlassenen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)<sup>2</sup> anzupassen.

Anfang 2018 legte der Bundesrat eine Revision betreffend Störfallanalysen vor. Diese sah vor, dass eine Unterscheidung zwischen naturbedingten und technisch bedingten Störfällen gemacht wird. Während technisch bedingte Störfälle (z. B. Systemausfälle) eine diskrete, d. h. eine einzige, definierte Eintretenswahrscheinlichkeit haben, ergibt sich bei Naturereignissen (z. B. Erdbeben und Hochwasser) die Häufigkeit aus dem Schweregrad des Ereignisses. Aus diesem Grund wurde eine Sonderregelung geschaffen, die der bisherigen Praxis des ENSI bei den Störfallanalysen von Kernkraftwerken sowie der ursprünglichen Regelungsabsicht des Bundesrates entspricht. Bei Naturereignissen sollen die Ereignisse mit einer Häufigkeit von einmal pro 1'000 Jahren und einmal pro 10'000 Jahren betrachtet werden. Dabei sei bei den Naturereignissen eine Dosis von 1 bzw. 100 Millisievert (mSv) nachzuweisen.

Auch wenn die Vorlage die bisherige Praxis abbildete, so war sie in der öffentlichen Vernehmlassung dennoch sehr umstritten. Der Bundesrat setzte die revidierte Kernenergieverordnung mit den präzisierten Vorgaben zu den Störfallanalysen schliesslich per 1. Februar 2019 in Kraft.

<sup>1</sup> Bericht der KNS «Reaktorkatastrophe von Fukushima, Folgemaassnahmen in der Schweiz» (KNS-AN-2435), März 2012, S. 27.

<sup>2</sup> Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken vom 16. April 2008 (Ausserbetriebnahmeverordnung; SR 732.114.5); Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (Gefährdungsannahmenverordnung; SR 732.112.2).

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

### 1.1.2 Das Verfahren vor Bundesverwaltungsgericht und Bundesgericht

Gegen die Verfügung des ENSI vom 27. Februar 2017 reichten die Gesuchstellenden Beschwerde beim Bundesverwaltungsgericht ein. Darin verlangten sie die Aufhebung der Verfügung und namentlich die Feststellung, die Anwendung eines Dosiswerts von 100 mSv für durch Naturereignisse ausgelöste Störfälle mit einer Häufigkeit grösser gleich  $10^{-4}$  pro Jahr sei widerrechtlich. Das Bundesverwaltungsgericht wies die Beschwerde der Gesuchstellenden mit Urteil vom 22. Januar 2019 im Verfahren A-1969/2017 vollumfänglich ab, soweit es darauf eintrat. Das Bundesverwaltungsgericht bestätigte insbesondere den unklaren Wortlaut betreffend die Zuordnung des 10'000-jährlichen Erdbebens und kam durch Auslegung zum Schluss, dass dieses der Störfallkategorie 3 (Dosiswert von 100 mSv) zuzuordnen sei. Mit Blick auf die internationalen Regelwerke stufte das Bundesverwaltungsgericht das Sicherheitsniveau als gut ein.

Die Beschwerdeführenden erhoben anschliessend beim Bundesgericht Beschwerde in öffentlich-rechtlichen Angelegenheiten gegen das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts. Das Bundesgericht führte im Urteil vom 25. März 2021 im Verfahren 2C\_206/2019 unter anderem ebenfalls eine Auslegung der massgebenden Ordnungsbestimmungen durch und bestätigte die Zuordnung des 10'000-jährlichen Erdbebens zur Störfallkategorie 3. Damit bestätigte es auch die Praxis des ENSI betreffend Dosiswerte für Erdbeben und die Präzisierungen, die Gegenstand der umstrittenen Teilrevision der Kernenergieverordnung war.

### 1.1.3 Die Entstehungsgeschichte des Postulates 18.4107 und Zielsetzung dieses Berichtes

Während der Vernehmlassung der Kernenergieverordnungsrevision reichte Ständerat Damian Müller das Postulat 18.3175 «Dosisgrenzwerte bei Kernkraftwerken» ein. Der Ständerat entschied am 14. Juni 2018, das Postulat an die Kommission für Umwelt, Raumplanung, Energie und Kommunikation des Ständerates (UREK-S) zur Vorprüfung zu überweisen. Die Kommission führte daraufhin Anhörungen mit Vertretungen der Kernkraftwerkbetreiber, des ENSI sowie Fachpersonen aus den Bereichen des Bevölkerungsschutzes, des Strahlenschutzes und des Bundesamtes für Justiz durch.

Die UREK-S kam zum Schluss, ein umfassender Bericht - wie vom Postulat 18.3175 gefordert - sei sachdienlich. Allerdings müsse die Betrachtung ausgeweitet werden. Die Verhältnisse der in der Revision der KEV festgehaltenen Dosiswerte sollen in Bezug auf Bundeserlasse und -konzepte im Bereich Strahlenschutz aufgezeigt werden. Zudem sollen Vergleiche mit internationalen Empfehlungen und Grenzwerten sowie Erkenntnisse aus der Wissenschaft zu ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich miteinbezogen werden. Für diesen Auftrag an den Bundesrat reichte die Kommission ein neues Postulat ein: 18.4107 Po. UREK-S «Dosisgrenzwerte bei Kernanlagen, radioaktive Strahlung und Strahlenschutz». Gleichzeitig empfahl sie dem Ständerat die Ablehnung des Postulates 18.3175. In der Beratung vom 18. März 2019 zog der Verfasser des Postulates 18.3175 dieses zugunsten des Kommissionspostulates zurück. Letzteres nahm der Ständerat an. Der Kommissionssprecher formulierte unter anderem die Erwartung, dass zur Erarbeitung eines Überprüfungsberichtes eine unabhängige Expertenkommission unter Leitung des Bundesamtes für Energie (BFE) beauftragt werde. Dabei werde es unumgänglich sein, auch ausländische Expertinnen und Experten beizuziehen. Das BFE kam dieser Erwartung nach und liess vom französischen Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) einen Überprüfungsbericht erstellen, der anschliessend von drei Experten gewürdigt wurde.

Ziel des vorliegenden Berichts in Erfüllung des Postulates 18.4107 ist es, den Überprüfungsbericht sowie die Würdigung der Experten zusammenzufassen und anschliessend auf den gesetzgeberischen Handlungsbedarf für eine Revision der Kernenergieverordnung einzugehen.

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

### 1.2 Das Postulat 18.4107

#### 1.2.1 Inhalt des Postulats

Die UREK-S reichte das Postulat 18.4107 mit dem Titel «Dosisgrenzwerte bei Kernanlagen, radioaktive Strahlung und Strahlenschutz» am 13. November 2018 im Ständerat ein.

##### Eingereichter Text

Der Bundesrat wird beauftragt, durch unabhängige Fachexperten im Bereich Strahlenschutz und Medizin einen Prüfbericht ausarbeiten zu lassen, in dem die Konsequenzen der vorgesehenen Änderungen im Rahmen der Teilrevision vom 10. Januar 2018 der Kernenergieverordnung, der UVEK-Ausserbetriebnahmeverordnung und der UVEK-Gefährdungsannahmenverordnung für die Bevölkerung umfassend aufgezeigt werden.

Unter anderem sind dabei die Verhältnisse der neu vorgeschlagenen Grenzwerte für die Ausserbetriebnahme von Kernanlagen in Bezug auf Bundeserlasse und -konzepte im Bereich Strahlenschutz und damit zusammenhängender Notfallmassnahmen aufzuzeigen und Vergleiche mit internationalen Empfehlungen und Grenzwerten sowie Erkenntnissen aus der Wissenschaft zu ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich zu ziehen.

Im Weiteren soll der Bericht die Entwicklung der Belastungen durch die verschiedenen Quellen radioaktiver Strahlung aufzeigen sowie die Verhältnismässigkeit zwischen dem Schutz der Bevölkerung vor radioaktiver Strahlung und dem gesellschaftlichen Nutzen der Anwendung von Technologien, bei denen Radioaktivität auftritt, darstellen.

Schliesslich sind die Strahlenschutzkonzepte der Schweiz mit internationalen Empfehlungen, Prinzipien und Standards zu vergleichen.

#### 1.2.2 Antrag des Bundesrats

Der Bundesrat beantragte am 13. Februar 2019 die Annahme des Postulats.

#### 1.2.3 Behandlung im Rat

Der Ständerat nahm das Postulat 18.4107 am 18. März 2019 an.

## 2 Überprüfungsbericht

### 2.1 Vorgehen zur Wahl der Experten und der Überprüfungsinstitution

Der Kommissionssprecher formulierte anlässlich der Beratung des Postulats im Ständerat die Erwartung, dass zur Erarbeitung eines Überprüfungsberichtes eine unabhängige Expertenkommission unter Leitung des BFE beauftragt werde. Deshalb haben das BFE, das Bundesamt für Gesundheit (BAG) sowie die Präsidenten der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR) und der KNS sich auf folgendes Vorgehen geeinigt:

- Die Präsidenten der KSR und der KNS nehmen Einsitz im Komitee zur Erfüllung des Postulats. Die beiden Präsidenten wählen eine dritte Person, die ebenfalls Einsitz im Komitee nimmt.
- Das Komitee definiert das Pflichtenheft für die Ausarbeitung eines Prüfberichts, wobei es sich an den vorne zitierten Aussagen im Entwurf der Stellungnahme des Bundesrates zum Postulat orientiert. Die Definition des Pflichtenhefts steht in der alleinigen Verantwortung des Komitees.
- Das Komitee prüft, welches (ausländische) Institut mit der Erstellung des Prüfberichts beauftragt werden soll. Dabei ist darauf zu achten, dass das Institut über alle für die Erstellung des

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

Prüfberichts erforderlichen Kompetenzen verfügt und möglichst unabhängig ist. Das Komitee ersucht dieses Institut um die Erstellung einer Offerte für die Ausarbeitung des Prüfberichts.

- Nach Eingang der Offerte des ausgewählten Instituts orientiert das Komitee das BFE, um das weitere Vorgehen zu besprechen. Sobald alle Fragen geklärt sind, schliesst das BFE den Vertrag mit dem ausgewählten Institut betreffend Ausarbeitung des Prüfberichts ab.
- Nach (und allenfalls auch während) der Erstellung des Prüfberichts durch das ausgewählte Institut prüft das Komitee diesen Bericht auf Plausibilität hin und erstellt anschliessend einen Begleittext dazu. Danach reicht das Komitee den Prüfbericht sowie den Begleittext dem BFE ein.
- Die Rolle des BFE besteht bei der Erfüllung des Postulats im Wesentlichen in der Begleitung des Komitees (Sekretariat).

Das dritte Komiteemitglied bzw. der dritte Experte konnte 2019 in der Person des Leiters Abteilung Strahlenschutz im Gesundheitsministerium von Luxemburg gefunden werden.

Im Frühjahr 2020 fand ein Treffen zwischen den drei Experten und dem BFE sowie dem BAG statt. Dabei diskutierten die Sitzungsteilnehmer einen Entwurf für ein Pflichtenheft und potenzielle Auftragnehmer für den Überprüfungsbericht. Sie einigten sich auch auf einen Zeitplan. Dieser wurde jedoch bald darauf aufgrund der Covid-19-Pandemie deutlich verzögert.

Im Sommer 2020 gab einer der Experten, der ehemalige Präsident der KNS, seinen Rücktritt bekannt. Seine Position wurde mit einem Mitglied der KNS neu besetzt. In der neuen Zusammensetzung einigten sich die Experten schliesslich auf das französische Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) als geeigneten Auftragnehmer. Das IRSN verfügt sowohl über Kenntnisse in der Störfallanalyse bei Kernanlagen als auch zu Gesundheitseffekten im Niedrigdosisbereich und ist unabhängig vom schweizerischen Gesetzgeber. Das Institut ist eine technisch-wissenschaftliche Sachverständigenorganisation, die über 1'800 Angestellte zählt. Es ist die französische Fachorganisation für Forschung und Expertise zu nuklearen und radiologischen Risiken.

In der Zwischenzeit bereinigten die Experten den Entwurf des Pflichtenhefts für den Überprüfungsbericht. Nachdem das IRSN sich 2021 bereiterklärte, den Auftrag auszuführen, tauschten sich die Experten mit dem IRSN zur Klärung von offenen Fragen aus.

## 2.2 Vom Pflichtenheft zum Überprüfungsbericht

Im März 2021 definierten die Experten zusammen mit dem IRSN den Umfang der Einladung zur Offertstellung («call for tender») mit dem Pflichtenheft bzw. den zu klärenden Fragen, dem Vorgehen und den Meilensteinen.

Die zu prüfenden Fragen lauteten wie folgt:<sup>3</sup>

- 1) Wie steht die schweizerische Strahlenschutzgesetzgebung im Vergleich zu internationalen Best Practices da?
  - Die allgemeine Strahlenschutzstrategie der Schweiz wird mit internationalen Empfehlungen (z.B. ICRP, EU-BSS) verglichen.
  - Die international verwendeten Dosiskriterien (z.B. Dosisgrenzwerte, Referenzwerte, numerische Schutzkriterien) werden vorgestellt und ihre Anwendung in der Schweiz wird kritisch analysiert.
  - Die Unterscheidung zwischen «Risikoassessment» (Störfallanalyse) und «Risikomanagement» wird erläutert und diskutiert.

<sup>3</sup> Die massgeblichen Fragen wurden im Original auf Englisch formuliert und finden sich im Dokument «Call for Tender», Version 11.03.2021 im Anhang 1 des Überprüfungsberichtes.

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

- Die Strategie des Risikomanagements in mindestens einem Land mit einem mit der Schweiz vergleichbaren Wirtschaftsniveau und laufenden Kraftwerken wird vorgestellt. Zur Veranschaulichung wird eine Auswahl von Unfallszenarien für laufende Anlagen mit Eintrittshäufigkeiten pro Jahr zwischen  $10^{-3}$  und  $10^{-6}$  mit den daraus resultierenden geschätzten Notfall-Expositionssituationen vorgestellt. Es wird ein Vergleich mit dem Vorgehen in der Schweiz angestellt, wobei der Schwerpunkt auf den Vorschriften für die Entscheidungsfindung liegt. Die Umsetzung des Konzepts der potenziellen Exposition sollte ebenfalls diskutiert werden. Die Diskussion soll sich auf die Strahlenschutzverordnung (insbesondere Art. 123 zur Störfallanalyse bei der Auslegung von Betrieben) und deren Umsetzung für Kernanlagen in der Kernenergieverordnung (insbesondere Art. 8 über die Anforderungen an den Schutz gegen Störfälle) konzentrieren.
- 2) Wie kann man das Niveau des akzeptablen Risikos eines Kernkraftwerks mit anderen Quellen der Verbreitung von Radioaktivität und externen Bestrahlungen vergleichen?
- Die Höhe des Risikos, wenn möglich ausgedrückt in Form von Schaden und Häufigkeit des Auftretens, sollte verglichen werden mit unterschiedlichen Praktiken und Expositionssituationen. Beispiele für andere Quellen von Radionukliden sind heisse Zellen in Forschungseinrichtungen, die Industrie im Allgemeinen, die Inhalation von Radon sowie Krankenhäuser.
  - Im Bericht werden auch die möglichen Dosen im Falle eines nuklearen Unfalls mit den Dosen verglichen, die jährlich an die Bevölkerung abgegeben werden. Dieser Punkt wird unter somatischen und psychologischen Gesichtspunkten angegangen.
- 3) Wie sehen die aktuellen Diskussionen in Wissenschaft und Forschung über die geringe Dosis ionisierender Strahlung aus?
- Als Antwort auf das Postulat 08.3475 Fehr wurde am 2. März 2018 ein ausführlicher Bericht über die Auswirkungen niedriger Dosen auf den Menschen und die Risikobewertung veröffentlicht. Die im Rahmen dieser Ausschreibung gestellte Frage sollte sich nur auf Informationen beziehen, die sich in den letzten drei Jahren seit der Veröffentlichung dieses Postulatsberichts entwickelt haben, sowie auf den Bedarf an Daten oder Forschung zur Verringerung von Unsicherheiten.

Die Offerte bzw. der technische und finanzielle Vorschlag («technical and financial proposal») des IRSN lag Ende 2021 in definitiver Form vor. Der erste Entwurf des Überprüfungsberichtes lag im November 2022 vor. Nach einer Bereinigung mit den Experten übermittelte IRSN den definitiven Überprüfungsbericht im März 2023. Die Experten würdigten den Überprüfungsbericht und stellten ihre Schlussfolgerungen dem BFE im Juni 2023 mit dem Begleitbericht zu.

## 2.3 Zusammenfassung des Überprüfungsberichts

Der Überprüfungsbericht besteht aus sechs Kapiteln. Die Kapitel 1 und 2 enthalten eine kurze Zusammenfassung des Hintergrunds und des Auftrags, die oben ausführlich erläutert wurden. Die Kapitel 3 bis 6 werden im Folgenden zusammengefasst.

### 2.3.1 Kapitel 3 «Zusätzliche Informationen über die Fragen 1 und 2 hinaus»

Das IRSN leitet das Kapitel ein mit einem Überblick über die französischen Praktiken und Vorschriften betreffend das akzeptierte Risiko von Kernkraftwerken. Ein wichtiger Unterschied zur Situation in der Schweiz ist, dass die französischen Vorgaben kein Ausserbetriebnahmekriterium kennen, das an die radiologische Dosis gebunden ist.

In Frankreich muss der Inhaber einer Betriebsbewilligung für Kernkraftwerke sicherstellen, dass die Risiken so tief wie möglich und wirtschaftlich vertretbar gehalten werden. Konkret sind bei einem Störfall die Freisetzung radioaktiver Stoffe und deren Folgen für Mensch und Umwelt so gering wie vernünftigerweise möglich zu halten. Insbesondere muss die geschätzte Häufigkeit einer Kernschmelze so

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

niedrig wie vernünftigerweise praktikabel und in jedem Fall seltener als  $10^{-5}$  pro Jahr sein, unter Berücksichtigung aller möglichen Arten von Störfällen (ausser böswilliger Handlungen). Schliesslich dürfen Unfälle nicht zu einer weitreichenden Kontamination und langfristiger Verschmutzung der Umwelt führen.

Der Inhaber einer Betriebsbewilligung hat einen Sicherheitsnachweis zu führen, in dem die radiologischen Folgen abgeschätzt werden. Dabei werden nicht vordefinierte Dosiswerte als Akzeptanzkriterien verwendet, sondern die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt müssen nach einem Störfall so gering wie vernünftigerweise möglich bleiben. Die für diese Betrachtung relevanten Kriterien beziehen sich insbesondere auf den Zustand der Barrieren zwischen der Radioaktivität und der Umwelt. Werden diese Kriterien in den Störfallstudien eingehalten, so werden grundsätzlich auch die radiologischen Ziele eingehalten. Dennoch kann die Bewertung der radiologischen Folgen nützliche Beurteilungselemente für die Einhaltung der Ziele des Sicherheitsnachweises liefern.

Ferner geht IRSN in diesem Kapitel detailliert auf den Prozess der 4. Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) der französischen 900 MWe-Klasse ein.

### 2.3.2 Kapitel 4 «Zugrundeliegende Logik der Kriterien zu geplanten Expositionssituationen»

In diesem Kapitel geht der Überprüfungsbericht auf die Hintergründe und den Anwendungsbereich von Art. 123 der Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (StSV; SR 814.501) und dessen Gegenstück in der Kernenergieverordnung ein. Diese Artikel beziehen sich auf geplante Expositionssituationen von bewilligten Anlagen im Sinne der Publikation 103 der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP)<sup>4</sup>.

Die Internationale Atomenergieorganisation und die Europäische Kommission<sup>5</sup> definieren die Schwelle für die Ausnahme von einer Melde- bzw. Bewilligungspflicht für Tätigkeiten oder für eine Quelle in Bezug auf die regulatorischen Folgen, weil unterhalb eines bestimmten Risikoniveaus die Ausübung einer behördlichen Aufsicht ineffizient wäre. Der Bericht gibt einen Überblick über die verschiedenen Dosiskriterien, die graduell für eine Anlage in einer geplanten Expositionssituation gelten:

- Befreiungsgrenzen und Freigrenzen: Diese Werte legen die Schwelle fest, unterhalb der eine behördliche Aufsicht nicht erforderlich ist und ineffizient wäre, weil das Risikoniveau tief ist. Die Aktivitätswerte je Radionuklid wurden mit einem Dosiskriterium von  $10 \mu\text{Sv}$  pro Jahr ermittelt.
- Dosisgrenzwerte: Für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt der Dosisgrenzwert für Erwachsene  $20 \text{ mSv}$  pro Jahr. Für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung ist der Dosisgrenzwert tiefer. Er ist auf  $1 \text{ mSv}$  pro Jahr festgesetzt.
- Dosisrichtwert: Dosisrichtwerte sind Optimierungsinstrumente und sollen immer niedriger sein als der jeweilige Dosisgrenzwert. In der Regel legen die Behörden die Dosisrichtwerte für die Bevölkerung fest, während der Betrieb die Dosisrichtwerte für beruflich strahlenexponierte Personen bestimmt.
- Risikorichtwerte: Risikorichtwerte werden im Zusammenhang mit einer potenziellen Exposition verwendet. Sie ergeben sich aus der Wahrscheinlichkeit eines Störfalls, der eine Dosis verursacht, und aus der Wahrscheinlichkeit eines gesundheitlichen Schadenmasses (Detriments) durch diese Dosis. Die ICRP empfiehlt für die potenzielle Exposition der Bevölkerung einen allgemeinen Risikorichtwert von  $10^{-5}$  pro Jahr.

<sup>4</sup> Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007, ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007.

<sup>5</sup> Commission of the European Communities, radiation protection 65, Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive.

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

### 2.3.3 Kapitel 5 «Häufigkeiten von Störfällen und damit verbundene Dosiskriterien»

Einleitend macht IRSN eine Vorbemerkung, auf die es grossen Wert legt: Das Verhältnis zwischen der geschätzten Häufigkeit von Störfällen und den damit verbundenen radiologischen Dosiskriterien macht nur einen Teil des gesamten Sicherheitskonzeptes aus. Die Sicherheit ist das Ergebnis einer ganzen Palette von technischen und organisatorischen Massnahmen in jeder Phase der Lebensdauer einer Anlage. Diese Massnahmen werden ergriffen, damit die mit einer Anlage verbundenen Risiken so tief sind, damit sie als akzeptabel für die Belegschaft, die Allgemeinheit und die Umwelt betrachtet werden. Die Gewährleistung der Sicherheit beruht insbesondere auf elementaren Prinzipien wie die gestaffelte Sicherheitsvorsorge (defence-in-depth), die Einhaltung der Schutzziele und die Wirksamkeit der Barrieren.

Unter diesem Vorbehalt vergleicht IRSN die Schweizer Regelung aus der Strahlenschutz- und der Kernenergiegesetzgebung mit den internationalen Vorgaben sowie mit den nationalen Bestimmungen in Deutschland, Belgien, Kanada, Finnland, den Niederlanden, dem Vereinigten Königreich, Schweden und den Vereinigten Staaten. Der Überprüfungsbericht kommt zum Schluss, dass es international gängiger Praxis entspricht, die Dosiswerte für die Allgemeinheit mit verschiedenen Anlagezuständen zu verbinden, um eine konsistente Gruppierung von möglichen Unfällen zu erreichen. Allerdings gibt es Unterschiede in der Art und Weise, wie diese Dosiswerte zum Tragen kommen.

Auch die numerischen Werte unterscheiden sich zwischen den Ländern. IRSN stellt fest, dass der schweizerische Dosiswert von 1 mSv beim 1'000-jährlichen Ereignis im Ländervergleich zu den tiefsten gehört, während der Wert von 100 mSv beim 10'000-jährlichen am oberen Ende der untersuchten Dosiswerte ist.<sup>6</sup> Gleichzeitig weist IRSN darauf hin, dass der 100 mSv-Wert sich auf eine Dosis bezieht, die über die Zeitspanne von einem Jahr akkumuliert wird, während in Ländern mit tieferen Werten häufig kürzere Zeitspannen betrachtet werden, was einen Vergleich schwierig macht.

Ferner geht der Bericht auf die Methode der Dosisberechnung ein, weil diese einen grossen Einfluss auf die resultierenden Dosiswerte hat.<sup>7</sup>

Die Schweiz ist das einzige Land, das die Dosiskriterien so streng anwendet, dass die Nichteinhaltung zur vorläufigen Ausserbetriebnahme der Anlage führen kann. Die Häufigkeitsintervalle der Schweiz entsprechen den von den internationalen Organisationen empfohlenen Intervallen und den in anderen Ländern verwendeten Intervallen. Die Dosiswerte, die sich aus den Intervallen ableiten lassen, entsprechen den Empfehlungen der ICRP zu potenziellen Expositionen (siehe Risikowerte).

Für Anlagen aus der Medizin, Industrie und Forschung, die keine Kernanlagen sind, liegen die radiologischen Folgen bei einem schweren Störfall selten über 1 mSv. Auch wenn Art. 123 StSV grundsätzlich auch für solche Anlagen anwendbar ist, kommt die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit von anormalen Situationen kaum zum Tragen.

### 2.3.4 Kapitel 6 «Gesundheitseffekte bei niedrigen Dosen»

In diesem Kapitel geht IRSN vorab auf den Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 08.3475 Fehr «Niedrigstrahlung aus AKW. Studie» ein. Die darin vorgenommene Überprüfung sei von guter Qualität, nicht abschliessend, aber vollständig und ausgewogen.

Weiter liefert IRSN eine Zusammenfassung der wissenschaftlichen Literatur im Zeitraum von 2018 bis 2022 betreffend die gesundheitlichen Auswirkungen von der Exposition zu ionisierender Strahlung bei niedrigen Dosen. Zudem verweist der Überprüfungsbericht auf verschiedene epidemiologische Studien,

<sup>6</sup> Die USA kennen mit bis zu 250 mSv effektive Dosis für bestimmte Ereignisse den höchsten zulässigen Dosiswert im Vergleich des IRSN.

<sup>7</sup> In der Schweiz wird die Dosisberechnung für alle Kernanlagen nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G14 vorgenommen. 10/13

## **Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich**

die zurzeit laufen und in den kommenden Jahren neue Erkenntnisse zu den Risiken niedriger Dosen liefern dürften.

Die Zusammenfassung des Überprüfungsberichts unterstützt und konsolidiert die Schlussfolgerungen des Berichtes des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 08.3475. Die in den letzten Jahren gewonnenen Ergebnisse haben die Erkenntnisse über die Auswirkungen niedriger Strahlendosen deutlich verbessert. Die Ergebnisse zeigen ein erhöhtes Krebsrisiko bei Strahlendosen in der Grössenordnung von 100 mGy oder weniger, zumindest für alle Krebsarten zusammen und auch für bestimmte spezifische Krebsarten.

IRSN zieht den Schluss, dass es wahrscheinlich keinen allgemeinen Schwellenwert für die Auslösung von Krebs gibt und dass die Verwendung eines Modells ohne Schwellenwert weiterhin gerechtfertigt ist.

Bei Nicht-Krebs-Erkrankungen («non-cancer diseases») sind die Unsicherheiten nach wie vor sehr gross und die Heterogenität der Ergebnisse schränkt die Möglichkeit ein, die Risiken bei niedrigen Dosen zu charakterisieren.

Letztendlich sollte aber die aktuell in verschiedenen Bereichen laufende Forschung die Bewertung der Risiken bei niedrigen Dosen verbessern.

## **2.4 Würdigung der Experten**

### **2.4.1 Vergleich der schweizerischen Gesetzgebung mit den internationalen Best Practices**

Die Experten prüften die Plausibilität des Überprüfungsberichts und fassen in ihrem Begleitbericht dessen relevante Punkte zusammen. Die Experten weisen darauf hin, dass der Dosisgrenzwert nicht alleine, sondern zusammen mit dem ihm zugrundeliegenden Konservatismus bewertet werden muss. Die schweizerische Regelung sei als konservativ zu betrachten und sie stimme mit ihrem präskriptiven Ansatz, der Dosiswerte mit Ausserbetriebnahmekriterien verknüpft, gut mit internationalen Best Practices für die Sicherheit von Kernanlagen überein.

### **2.4.2 Vergleich des akzeptablen Risikos bei einem Kernkraftwerk mit jenem von anderen Quellen radioaktiver Strahlung**

Die Experten würdigen den Schweizer Ansatz, unabhängig von der Art der Anlage dieselben Kriterien (Ereignisse und Folgen) anzuwenden, als einzigartig. In der internationalen Praxis würden probabilistische Ansätze nur bei Kernkraftwerken oder vereinzelt bei anderen Anlagen des Brennstoffkreislaufes verwendet. Bei kleineren Anlagen mit ionisierender Strahlung würden deterministische Ansätze angewendet.

Die Experten stellen fest, dass der Überprüfungsbericht keinen Vergleich zur Radonexposition und auch nicht zur medizinischen Exposition enthält. Sowohl Radon als auch die Medizin sei in Europa jeweils für eine durchschnittliche jährliche Strahlenexposition in der Grössenordnung von 1 bis 3 mSv pro Person verantwortlich. Diese Exposition summiere sich in einem Menschenleben auf mehrere Dutzend und nicht selten auf mehrere Hundert mSv. Die Experten betonen dabei, dass es jedoch wichtig ist, zwischen bestehenden "echten" Expositionen und einer potenziellen Exposition zu unterscheiden, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten kann und mit Annahmen auf einer konservativen Basis berechnet wird. Es sei deshalb nicht sinnvoll, von einem rechtlich vorgeschriebenen Dosiswert, der im Rahmen einer Störfallanalyse zu ermitteln ist, auf das Risiko einer in der Nähe eines Kernkraftwerks lebenden Person zu schliessen. Hinzu komme die emotionale Dimension, wonach die Risiken von Kernanlagen als sehr hoch und andere Expositionssituationen wie durch Radon oder in der Medizin als wenig riskant angesehen werden.

## Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich

### 2.4.3 Aktuelle Diskussionen in der Wissenschaft betreffend niedrige Strahldosen

Die Experten stellen fest, dass die von der IRSN behandelte Frage zu niedrigen Strahldosen nach wie vor aktuell ist. Das 6. Kapitel des Überprüfungsberichts enthalte eine hervorragende Zusammenfassung der jüngsten epidemiologischen Zahlen, die seit 2018 in der internationalen Literatur zu den Gesundheitsrisiken bei niedrigen Dosen veröffentlicht wurden, wie die Studien an Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki, an Patienten mit medizinischer Bildgebung, an Arbeitnehmern, die ionisierender Strahlung ausgesetzt waren, zu Umweltexpositionen sowie die neusten Synthesen und Meta-Analysen.

Die Experten weisen darauf hin, dass die Dosis in der Grössenordnung von 100 mSv oder weniger zu einem erhöhten Krebsrisiko führt. Eine solche Dosis entspreche der durchschnittlichen Dosis, die eine in der Schweiz lebende Person über den Zeitraum von rund 20 Jahren erhält. Mehrere internationale Organisationen kämen zum Schluss, dass die Evidenz für krebserregende Wirkungen bei niedrigen Dosen zunimmt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen der IRSN seien, dass der Bericht in Erfüllung des Postulates 08.3475 relevant bleibe. Er wird sogar insofern gestärkt, als dass die jüngsten epidemiologischen Studien die Relevanz des linearen Modells ohne Schwellenwert («linear-non-threshold») als Grundlage für den Strahlenschutz unterstützen.

### 2.4.4 Schlussfolgerungen des Überprüfungsberichtes

Die Experten kommen zum Schluss, dass die schweizerische Gesetzgebung im Einklang mit internationalen Empfehlungen ist und mit dem rechtlichen Rahmen anderer ähnlich entwickelter Länder übereinstimmt. IRSN mache aber ausdrücklich keinen Vergleich, weil in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Herangehensweisen praktiziert würden.

Wenn man bei den Störfallanalysen den Dosiswert von 100 mSv trotzdem in Vergleich ziehe, so gehöre er zwar zu den höchsten Werten, was aber wiederum durch das sehr konservative Schweizer Szenario – das von einem Kind am Zaun des Kernkraftwerks ausgeht, das lokale Lebensmittel isst – ausgeglichen würde. Zudem sei die Verwendung von Dosiswerten als Ausserbetriebnahmekriterium einzigartig.

Die Schlussfolgerungen des Berichtes in Erfüllung des Postulates 08.3475 seien nach wie vor gültig. Das «linear-non-threshold»-Modell, das als konservative Grundlage für den schweizerischen Strahlenschutz diene, gewährleiste zusammen mit den gesetzlich festgelegten Dosiswerten und Dosisgrenzwerten ein für die Bevölkerung tolerierbares Risiko.

Schliesslich würdigen die Experten, dass der Überprüfungsbericht die schweizerische Gesetzgebung und die damit verbundenen Dosiswerte nicht in Frage stelle. Mit dieser Schlussfolgerung des IRSN stimmen die Experten überein.

## 3 Würdigung des Bundesrates

Die UREK-S formulierte an den Bundesrat die Erwartung, dass zur Erarbeitung des Berichtes eine unabhängige Expertenkommission unter der Leitung des BFE beauftragt wird. Der Bundesrat ist dieser Erwartung der UREK-S vollumfänglich nachgekommen. Das mit der Federführung betraute BFE bestimmte zuerst ein Gremium mit drei unabhängigen Fachexperten, die das Pflichtenheft für den Überprüfungsbericht selbständig sowie ohne inhaltliche Mitwirkung der Bundesbehörden zusammenstellte. Analog ging das Gremium bei der Auswahl der prüfenden Institution vor. Das IRSN ist als ausländische Einrichtung nicht im schweizerischen Gesetzgebungsprozess involviert und weist die geforderte Unabhängigkeit auf.

## **Störfallanalysen bei Kernanlagen und ionisierende Strahlung im Niedrigdosisbereich**

Auch die inhaltlichen Anforderungen des Postulates 18.4107, insbesondere die Verhältnisse der schweizerischen Regelung aufzuzeigen und mit internationalen Empfehlungen abzugleichen, erachtet der Bundesrat als vollumfänglich erfüllt. Der Überprüfungsbericht beleuchtet zusammen mit der Würdigung der Experten die geltenden Regelungen und deren Hintergründe in überzeugender Weise.

Gestützt auf den Überprüfungsbericht und den Begleitbericht sieht der Bundesrat seinen damaligen Entscheid zur Teilrevision der Kernenergieverordnung bestätigt. Die geltenden Regelungen in der Kernenergiegesetzgebung für die Störfallanalyse sind international breit abgestützt und es gibt keinen gesetzgeberischen Handlungsbedarf für eine allfällige weitere Anpassung.

Schliesslich nimmt der Bundesrat die neusten Entwicklungen in der Wissenschaft betreffend niedrige Strahlendosen zur Kenntnis. Insbesondere nimmt er zur Kenntnis, dass die neusten epidemiologischen Studien die Anwendung des linearen Modells ohne Schwellenwert als Grundlage für das aktuelle Strahlenschutzsystem in der Schweiz unterstützen. Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte und weitere Dosiskriterien stellen nach wie vor sicher, dass das Risiko für die Bevölkerung tragbar ist. Es gibt daher keinen gesetzgeberischen Revisionsbedarf.

## **4 Beilagen**

IRSN, Bericht «Dose Limit Values for Nuclear Installations, Radioactive Radiation and Radiation Protection» vom 6. März 2023

FRANÇOIS BOCHUD, DIDIER GAVILLET, PATRICK MAJERUS, Bericht « Postulate 18.4107: Dose Limit Values for Nuclear Installations, Radioactive Radiation and Radiation Protection – Begleitbericht»