

Umweltverträglichkeitsprüfung

KKW Krško/Slowenien

Laufzeitverlängerung

Fachstellungnahme



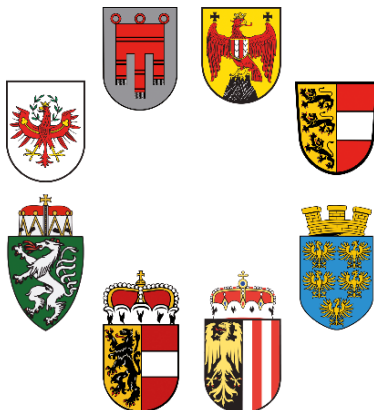
KKW KRŠKO/SLOWENIEN LAUFZEITVERLÄNGERUNG UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG

Fachstellungnahme

Oda Becker
Kurt Decker
Lukas Moschen
Gabriele Mraz

pulswerk
Das Beratungsunternehmen des
Österreichischen Ökologie-Instituts

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie



REPORT
REP-0810

WIEN 2022

Projektleitung Franz Meister (Umweltbundesamt)

Autor:innen *BIEGE Nuklearexpertise*
Oda Becker, technisch-wissenschaftliche Konsulentin (Kap. 3, 4, 6, 7)
Kurt Decker (Kap. 5)
Lukas Moschen, Ebner ZT GmbH (Kap. 5)
Gabriele Mraz, pulswerk GmbH (Kap. Einleitung, 1, 2, 7, Projektmanagement)

Satz/Layout Doris Weismayr (Umweltbundesamt)

Übersetzungen Patricia Lorenz

Umschlagfoto © iStockphoto.com/imagestock

Auftraggeber Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Sektion VI – Klima- und Energie, Abteilung VI/8 – Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten;
BMK GZ: 2021-0.557.724

Dank Dank gilt den mitfinanzierenden Bundesländern Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol und Vorarlberg.

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-634-0

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
SUMMARY	13
POVZETEK	20
EINLEITUNG	27
1 VERFAHREN UND ALTERNATIVEN	28
1.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen	28
1.2 Diskussion und Bewertung	30
1.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	31
1.3.1 Vorläufige Empfehlungen	32
2 ABGEBRANNT BRENNELEMENTE UND RADIOAKTIVE ABFÄLLE	33
2.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen	33
2.2 Diskussion und Bewertung	35
2.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	37
2.3.1 Fragen	37
2.3.2 Vorläufige Empfehlungen	38
3 LANGZEITBETRIEB DES REAKTORTYP	39
3.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen	39
3.2 Diskussion und Bewertung	48
3.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	68
3.3.1 Fragen	70
3.3.2 Vorläufige Empfehlungen	71
4 UNFALLANALYSE (DBA UND BDBA)	73
4.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen	73
4.2 Diskussion und Bewertung	79
4.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	84
4.3.1 Fragen	86
4.3.2 Vorläufige Empfehlungen	87
5 UNFÄLLE DURCH EXTERNE EREIGNISSE	88
5.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen	88
5.2 Diskussion und Bewertung	93

5.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	101
5.3.1	Fragen	102
5.3.2	Vorläufige Empfehlungen	105
6	UNFÄLLE DURCH BETEILIGUNG DRITTER	107
6.1	Darstellung in den UVP-Unterlagen	107
6.2	Diskussion und Bewertung	107
6.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	110
6.3.1	Fragen	111
6.3.2	Vorläufige Empfehlungen	111
7	GRENZÜBERSCHREITENDE AUSWIRKUNGEN	112
7.1	Darstellung in den UVP-Unterlagen	112
7.2	Diskussion und Bewertung	113
7.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	118
7.3.1	Fragen	118
7.3.2	Vorläufige Empfehlungen	119
8	FRAGEN UND VORLÄUFIGE EMPFEHLUNGEN	120
8.1	Verfahren und Alternativen	120
8.1.1	Vorläufige Empfehlungen	120
8.2	Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle	120
8.2.1	Fragen	120
8.2.2	Vorläufige Empfehlungen	121
8.3	Langzeitbetrieb des Reaktortyps	121
8.3.1	Fragen	121
8.3.2	Vorläufige Empfehlungen	122
8.4	Unfallanalyse (DBA und BDBA)	123
8.4.1	Fragen	123
8.4.2	Vorläufige Empfehlungen	124
8.5	Unfälle durch externe Ereignisse	124
8.5.1	Fragen	124
8.5.2	Vorläufige Empfehlungen	127
8.6	Unfälle durch Beteiligung Dritter	128
8.6.1	Fragen	128
8.6.2	Vorläufige Empfehlungen	129
8.7	Grenzüberschreitende Auswirkungen	129
8.7.1	Fragen	129
8.7.2	Vorläufige Empfehlungen	129

LITERATURVERZEICHNIS	130
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	138
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	139

ZUSAMMENFASSUNG

Das Kernkraftwerk (KKW) Krško liegt in der Gemeinde Vrbinja am linken Ufer des Flusses Save, südwestlich der Stadt Krško. Betreiber ist die Nuklearna elektrarna Krško d.o.o.. Das KKW hat eine Leistung von 1994 MW thermisch bzw. 696 MW elektrisch und gehört jeweils zur Hälfte der Republik Slowenien und der Republik Kroatien; der erzeugte Strom wird zwischen den beiden Ländern aufgeteilt.

Der Reaktor ist ein Leichtwasserreaktor von Westinghouse. Der Betrieb des KKW startete 1983, die Betriebsdauer betrug ursprünglich 40 Jahre (bis 2023). Derzeit ist eine Verlängerung der Betriebsdauer von 40 auf 60 Jahre geplant, also bis 2043. Slowenien hat Österreich über die geplante Laufzeitverlängerung als vorgeschlagene Aktivität im Rahmen der Espoo Konvention und der UVP-Richtlinie der EU notifiziert und Österreich beteiligt sich an der grenzüberschreitenden UVP. Die zuständige UVP-Behörde ist das slowenische Ministerium für Umwelt und Raumplanung.

Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie beauftragte das Umweltbundesamt, die Bewertung der vorgelegten UVP-Unterlagen im Rahmen der hier vorliegenden Fachstellungnahme zu koordinieren. Ziel der österreichischen Beteiligung am UVP-Verfahren ist es, mögliche signifikante nachteilige Auswirkungen des Projekts auf Österreich zu minimieren oder zu verhindern.

Verfahren und Alternativen

Die Unterlagen zum UVP-Verfahren sind grundsätzlich vollständig. Es werden alle Themen behandelt, die laut Espoo-Konvention und EU UVP-Richtlinie in einem UVP-Bericht enthalten sein sollen.

Das KKW Krško liefert ca. 38 % der gesamten Stromerzeugung Sloweniens. Alternativen zur Laufzeitverlängerung liegen in der Stromerzeugung durch andere Technologien und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Die im Nationalen Energie- und Klimaplan Sloweniens (NEPN) enthaltenen Pläne für den Einsatz erneuerbarer Energien und für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wurden von der Europäischen Kommission in ihrer Bewertung des NEPNs 2020 als nicht bis wenig ambitioniert beschrieben. Auch eine aktuelle Studie der TU Wien (RESCH et al. 2021) kommt zu dem Schluss, dass 2030 bereits über 50% des slowenischen Strombedarfs über Photovoltaik und Windenergie (an Land) gedeckt werden könnte.

Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle

Abgebrannte Brennelemente aus der Laufzeitverlängerung klingen zunächst im Lagerbecken ab, danach sollen sie in das Zwischenlager (Trockenlager) gebracht werden, das derzeit am Standort Krško errichtet wird. Der geplante Betriebsbeginn wurde mehrfach verschoben und wird nun für 2023 erwartet. Falls es zu einer weiteren Verschiebung kommt, wird die Kompaktlagerung im Lagerbecken

ausgebaut – dies sollte jedoch aus sicherheitstechnischen Gründen vermieden werden.

Slowenien und Kroatien haben sich 2015 geeinigt, ein gemeinsames Tiefenlager für die abgebrannten Brennelemente zu errichten. Laut zweier Szenarien im UVP-Bericht ist der Betriebsbeginn entweder für 2065 oder für 2093 angedacht. Laut UVP-Unterlagen wird auch eine Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente nicht ausgeschlossen. Sowohl die slowenische (ARAO) als auch die kroatische Abfallorganisation (FOND- NEK) sind Mitglied im Verein ERDO, der ein multinationales Endlager anstrebt. Über den Fortschritt dieser Aktivitäten wurde in den UVP-Unterlagen jedoch nicht berichtet.

Neben den abgebrannten Brennelementen fallen auch schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LILW) aus Betrieb und zukünftiger Stilllegung des KKW an. Die Zwischenlagerkapazitäten für den LILW sind nahezu erschöpft, die UVP-Unterlagen haben weder dargelegt, wann das LILW-Zwischenlager in Kroatien in Betrieb geht, noch, wann das slowenische LILW-Endlager in Vrbinja betriebsbereit sein wird.

Langzeitbetrieb des Reaktortyps

Das KKW Krško ist bereits fast 40 Jahre in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) ein Sicherheitsproblem darstellen könnten, auch wenn laut UVP-BERICHT (2022) durch das Alterungsprogramm (AMP) mögliche negative Folgen verhindert werden.

Das erste Topical Peer Review (TPR 1) gemäß der Richtlinie 2014/87/EURATOM in 2017/18 hat in Slowenien im AMP einige Defizite im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsniveau in Europa gezeigt. So entsprach bisher der Umfang der im AMP betrachteten Strukturen, Systeme und Komponenten nicht dem aktuellen IAEA Safety Standard. Im Rahmen der nächsten periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSR3) soll das AMP gemäß IAEA Anforderungen aktualisiert werden. Die PSR3 wird derzeit durchgeführt und die Ergebnisse werden für das Jahr 2022 erwartet. Zudem ist die Funktionsfähigkeit der Kabel unter den Bedingungen der Auslegungserweiterung (DEC) bisher nicht gewährleistet.

Auch die im Oktober 2021 durchgeführte Pre-SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) Mission der IAEA, erster Schritt eines Überprüfungsprozesses zur Vorbereitung des langfristigen Betriebs (LTO), identifizierte Defizite. Der beste Zeitpunkt für die anschließende SALTO-Mission liegt laut IAEA innerhalb der letzten 10 Jahre der ursprünglich vorgesehenen Betriebsdauer der Anlage. Da die SALTO-Mission erst in einigen Jahren stattfinden wird, könnte es für das KKW Krško zu spät sein, um Defizite für den Langzeitbetrieb zu erkennen und zu beheben.

Die ursprüngliche Auslegung des KKW Krško beruht auf US-Vorschriften aus den 60er-Jahren und ist aus heutiger Sicht als veraltet anzusehen. Das damals angewandte Sicherheitskonzept hat aus heutiger Sicht eine Reihe von grundsätzlichen Defiziten: Die Anzahl der Redundanzen von Sicherheitssystemen ist zu gering. Die verschiedenen Sicherheitseinrichtungen sind teilweise nicht funktionell

unabhängig oder räumlich getrennt, so dass sie sich gegenseitig negativ beeinflussen können. Darüber hinaus ist das Reaktorgebäude verwundbar gegen äußere Einwirkungen. Im UVP-BERICHT (2022) werden die erfolgten umfangreichen Nachrüstungen dargestellt. Dennoch konnten nicht alle Auslegungsdefizite aus technischen und finanziellen Gründen beseitigt werden.

Das zurzeit laufende zweite "Topical Peer Review" (TPR 2) gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM befasst sich mit dem ebenfalls für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen wichtigen Thema, dem Brandschutz. Der Brandschutz in alten Anlagen, zu denen das KKW Krško gehört, besitzt gegenüber neuen KKW sicherheitstechnische Nachteile. Auslegungs- und materialbedingte Defizite sollen durch zusätzliche Brandmelder und Löschanlagen kompensiert werden. Es ist nicht bekannt, ob bereits erste Ergebnisse des TPR 2 für das KKW Krško vorliegen.

Der Hauptteil der Maßnahmen des Nationalen Aktionsplans zur Abhilfe der im EU Stresstest nach dem Unfall im Fukushima (2011) identifizierten Defizite bestand aus dem bereits vorher geplanten Sicherheits-Upgrade-Programm (SUP) für das KKW Krško. Mit erheblicher Verzögerung wurden die geplanten Maßnahmen Ende 2021 abgeschlossen. Auch wenn erhebliche Verbesserungen erfolgten, ist nicht geklärt, ob das erreichte Sicherheitsniveau (insbesondere bezüglich Erdbeben) ausreichend ist.

Die IAEA, die WENRA und auch die Richtlinie 2014/87/Euratom führen unterschiedliche Sicherheitsstandards für existierende Anlagen und für neue Anlagen ein. Diese Sicherheitsanforderungen für neue Reaktoren sollen aber auch als Referenz herangezogen werden, um bei den bestehenden Anlagen im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen die „vernünftig machbaren“ Sicherheitsverbesserungen zu identifizieren.

Unfallanalyse (DBA und BDBA)

Laut UVP-BERICHT (2022) haben die Maßnahmen des SUP die Robustheit des KKW Krško verbessert und das Unfallrisiko verringert. Auch wenn die errechnete Häufigkeit von Kernschäden (CDF) deutlich gesenkt wurde, ist die CDF im Vergleich zu anderen Anlagen hoch. Auch die Orientierungswerte für neue KKW gemäß IAEA (2016b) sind deutlich niedriger. Die Reduzierung der CDF für das KKW Krško erfolgte aufgrund lange überfälliger Nachrüstungen für den derzeitigen Betrieb. Sie sind für eine Betriebsverlängerung aber nicht ausreichend. Zu beachten ist auch, dass Fragen bezüglich der vollständigen Ermittlung der Gefährdungen (intern und extern) noch offen sind. Solange nicht alle potenziellen auslösenden Ereignisse und deren Kombinationen angemessen berücksichtigt werden, sind weder die Unfallszenarien noch die ermittelten Werte für die CDF ausreichend belegt.

Im UVP-BERICHT (2022) sind die beiden Quellterme für einen Auslegungsstörfall und einen auslegungsüberschreitenden Unfall angegeben, die für die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen verwendet wurden. Der als maximaler Auslegungsstörfall (LB LOCA – großer Kühlmittelverlust-Störfall) betrachtete Unfall entspricht dem allgemein üblichen Vorgehen in Sicherheitsanalysen.

Als auslegungsüberschreitender Unfall wird das Szenario „Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung und Ausfall der Betriebsmannschaft für 24 Stunden“ gewählt. Im Verlauf des Kernschmelzunfalls kommt es zur Freisetzung des gesamten radioaktiven gasförmigen Materials durch die gefilterte Druckentlastung in die Umgebung. Es wird erklärt, dass dieses Unfallszenario einem erweiterten Auslegungsstörfall DEC-B entspricht. Im Falle einer Kernschmelze ist laut UVP-BERICHT (2022) eine solche Freisetzung im Vergleich zu anderen Freisetzungskategorien am wahrscheinlichsten und wird daher als abdeckendes Ereignis betrachtet.

Laut PSA 2 für das KKW Krško können einige der Szenarien von Kernschmelzunfällen ein Versagen des Sicherheitsbehälters verursachen. Diese Szenarien sind mit großen Freisetzungen verbunden. Die ermittelten Wahrscheinlichkeiten und die zugehörigen Quellterme sowie die ermittelte LERF (Large Early Release Frequency) sind im UVP-BERICHT (2022) nicht angegeben. Es wird auch nicht erklärt, wie hoch die Freisetzungen bei einem Durchschmelzen des Fundaments wären.

Laut UVP-BERICHT (2022) resultiert der als abdeckend bezeichnete schwere Unfall aus einem Kernschmelzunfall unter der Annahme der Erhaltung der Integrität des Containments. Der Erhalt des Containments während eines Unfalls ist aber nicht für alle Unfallabläufe gegeben. Auch wenn die errechnete Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit großen radioaktiven Freisetzungen bei Versagen des Containments sehr klein erscheint, sollten die entsprechenden Quellterme für schwere Unfälle in einem grenzüberschreitenden UVP-Verfahren verwendet werden, um die radiologischen Folgen zu ermitteln.

Die WENRA „Safety Objectives for New Power Reactors“ sollten als Referenz für die Identifizierung von vernünftigerweise durchführbaren Sicherheitsverbesserungen für das KKW Krško verwendet werden. Laut WENRA-Sicherheitsziel O3 müssten Unfälle mit Kernschmelze, die zu frühen oder großen Freisetzungen führen würden, praktisch ausgeschlossen werden. Das Konzept des „praktischen Ausschlusses“ von frühen oder großen Freisetzungen wird für das KKW Krško im UVP-BERICHT (2022) nicht erwähnt.

Unfälle durch externe Ereignisse

Die Darstellungen von Unfällen durch externe Ereignisse in den UVP-Unterlagen beschränkt sich auf Bodenbewegung durch Erdbeben, Überflutung und ausgewählte Extremwetterereignisse. Andere seismotektonische Gefahren (Oberflächenversatz, Bodenverflüssigung, störungsnahe Effekte der Bodenbewegungen) und Gefahrenkombinationen werden nicht oder nur unzureichend behandelt.

Erdbeben: Das KKW Krško ist erdbebensicher nach der Slowenischen Regelung RG 1.60 für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit¹. Die maximale Bodenbeschleunigung (Peak Ground Acceleration, PGA) des ursprüngliche Auslegungs-

¹ JY5-Regelung, Amtsblatt der Republik Slowenien Nr. 74/16 und 76/17 - ZVISJV-1

erdbebens (Safe Shutdown Earthquake, SSE) mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 10^{-4} /Jahr wurde mit 0,3 g (Freifeld) gewählt. 2004 und 2014 wurde die Erdbebengefährdung auf zuletzt $\text{PGA} = 0,56 \text{ g}$ erhöht. Aus den UVP-Unterlagen erschließt sich der Nachweis des Widerstands der bestehenden Bauwerke und Systeme bei Verdoppelung von $\text{PGA} = 0,30 \text{ g}$ auf $\text{PGA} = 0,56 \text{ g}$ nicht. Nur neue Bauwerke und Systeme, die im Rahmen des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung ausgeführt wurden, sind auf $\text{PGA} = 0,6 \text{ g}$ oder $\text{PGA} = 0,78 \text{ g}$ ausgelegt.

Neue geologische, tektonische und seismologische Daten aus dem Nahbereich des KKW liefern hinreichend Gründe für die Annahme, dass die 2004 und 2014 durchgeführten Erdbebengefährdungsanalysen (Probabilistic Seismic Hazard Assessment, PSHA) nicht mehr aktuell sind. Hinweise dazu ergeben sich aus neuen Daten zu aktiven Störungen und der Erdbebengefährdungskarte von Slowenien 2021, die für den Raum Krško eine um etwa 25% höhere Gefährdung als die nationale Gefährdungskarte 2001 ausweist. Die Gefährdungskarten sind auf das KKW nicht anwendbar². Die starke Erhöhung der Gefährdung zeigt jedoch, dass neue Daten, Bewertungen und Methoden erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse einer neuen PSHA haben. Diese neuen Daten, Bewertungen und Methoden wurden jedoch nicht für den Sicherheitsnachweis des KKW verwendet.

In Bezug auf Erdbeben können die UVP-Unterlagen daher nicht nachweisen, dass sich aus der Verlängerung des Anlagenbetriebs keine zusätzlichen Gefährdungen und Risiken ergeben können. Es ist daher wünschenswert, dass die Entscheidung über die Laufzeitverlängerung auf der Grundlage einer PSHA getroffen wird, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht und eine aktualisierte Datengrundlage verwendet. Es wird empfohlen, die Durchführung einer neuen PSHA in ähnlicher Form als Auflage in die umweltschutzrechtliche Stellungnahme aufzunehmen, wie das für Extremwetterereignisse vorgesehen ist (ENTWURF BEWILLIGUNG 2022, Auflage II/1/16).

Aus Sicht des Erdbebeningenieurwesens belegen die Angaben aus dem UVP-BERICHT (2022) mit den Verweisen auf den Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) ausreichend, dass der State-of-the-Art (Vorschriften/Normen) im Jahr 2011 eingehalten wurde. Zwischen 2011 und 2022 haben sich jedoch Richtlinien, insbesondere die zitierten Richtlinien von NRC, geändert. Diese Revisionen und etwaige Auswirkungen auf die Nuklearanlage werden im UVP Bericht nicht diskutiert. Der State-of-Science (in diesem Kontext neueste wissenschaftliche Erkenntnisse) wurde weder im UVP-BERICHT (2022) noch im Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) diskutiert. Gerade in den vergangenen zwei Dekaden wurden wichtige Erkenntnisse zur Charakterisierung des seismischen Verhaltens des Equipments (also Strukturen und Systeme, aber keine Bauwerke) gewonnen. Daher bleiben Fragen zu den Themenkreisen Berechnung von Floorspektren, Ermittlung von Fragilitätskurven und der Definition/Schärfung des Wort-

² Die nationale Gefährdungskarte gibt Werte für die Wiederkehrperiode von 475 Jahren an. Für KKW ist die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren relevant (WENRA 2020a; IAEA 2010)

lautes „konservativ“ offen. Diese Fragen sollten vor Genehmigung einer Betriebsbewilligung geklärt und entsprechende Auflagen in die UVP-Genehmigung aufgenommen werden.

Überschwemmungen: Das KKW Krško wurde für Save-Hochwässer mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren ausgelegt. Der Wert entspricht einem Pegelstand von 155,35 m. Die Anlage ist darüber hinaus auch gegen das höchste mögliche Hochwasser mit 155,61 m Pegelhöhe geschützt. Die Hochwasserschutzanlagen sind für ein Bemessungserdbeben mit $PGA = 0,6 \text{ g}$ ausgelegt. Für Überflutungen durch extremen Niederschlag enthalten die UVP-Unterlagen keine Angaben über die Gefährdungsanalyse. Es ist nicht bekannt, ob das Drainagesystem für Starkregen, Kombinationen von starkem Regen und Schneeschmelze etc. mit der von WENRA (2020a) festgelegten Eintrittswahrscheinlichkeit von $10^{-4}/\text{Jahr}$ ausgelegt ist.

Extreme Witterungsbedingungen: Die UVP-Unterlagen enthalten keine Angaben über Gefährdungsanalysen in Bezug auf extreme Witterung. Aus anderen Dokumenten ergibt sich, dass zumindest für extreme Temperaturen und Blitzschlag Werte für die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren bestimmt wurden. Es ist jedoch nicht bekannt, ob für alle anderen meteorologischen Gefahren und Gefahrenkombinationen Bemessungswerte (Design Basis Events) für Ereignisse mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von $10^{-4}/\text{Jahr}$ (WENRA 2020a) definiert wurden, und ob das KKW Krško gegen entsprechende Lasten geschützt ist. Der Schutz gegen Einwirkungen extremer Witterungsbedingungen wird im ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) aufgegriffen. Auflage II/1/16 erfordert die Verfolgung und Analyse von Extremwetterereignissen sowie die Nachrüstungen bei Überschreitungen der Auslegungsgrundlage bzw. adäquaten Schutz gegen die Auswirkungen extremer Ereignisse.

Unfälle durch Beteiligung Dritter

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen – das gilt auch für das KKW Krško. Dennoch werden sie in den UVP-Dokumenten nur kurz hinsichtlich der physischen Sicherung des KKW Krško erwähnt. Obwohl die Vorkehrungen gegen Sabotage und Terroranschläge aus Gründen der Vertraulichkeit im UVP-Verfahren nicht öffentlich im Detail diskutiert werden können, sollten die notwendigen gesetzlichen Anforderungen in den UVP-Dokumenten dargestellt werden.

Informationen zum Thema Terroranschläge wären in Anbetracht der erheblichen Auswirkungen möglicher Anschläge von großem Interesse. Insbesondere sollten die UVP-Dokumente detaillierte Informationen zu den Anforderungen an den Schutz vor einem gezielten Absturz eines Verkehrsflugzeugs enthalten. Dieses Thema ist von besonderer Bedeutung, weil die Reaktorgebäude von KKW Krško gegenüber einem Flugzeugabsturz verwundbar sind. Alterungsbedingte Degradation kann die Widerstandsfähigkeit der Gebäude weiter reduzieren.

Eine aktuelle Bewertung der nuklearen Sicherung in Slowenien weist auf Defizite im Vergleich zu den notwendigen Anforderungen an die nukleare Sicher-

ung hin: Im Nukleare Sicherheitsindex 2020 liegt Slowenien mit einer Gesamtpunktzahl von 81 Punkten von 100 möglichen Punkten auf Platz 14 von 47 Ländern. Es zeigen sich Defizite im Bereich "Cybersicherheit" (38) und "Schutz vor Insider-Bedrohungen" (64). Die IAEA unterstützt die Staaten durch ihren International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) auf dem Gebiet der nuklearen Sicherung. Bisher wurde in Slowenien keine derartige Mission durchgeführt.

Militärische Aktionen gegen kerntechnische Anlagen stellen eine weitere Gefahr dar, die in der gegenwärtigen globalen Situation besondere Aufmerksamkeit verdient.

Grenzüberschreitende Auswirkungen

Im Rahmen der UVP wurden Berechnungen für einen Auslegungsstörfall und einen auslegungsüberschreitenden Unfall vorgelegt. Für beide wurden für Österreich erhebliche nachteilige Auswirkungen ausgeschlossen. Aufgrund der vorgelegten Daten kann dies so jedoch nicht nachvollzogen werden.

Anhand der Angaben im UVP-Bericht zeigt sich, dass durch den auslegungsüberschreitenden Unfall mit Auswirkungen auf die österreichische Landwirtschaft zu rechnen ist, die zu wirtschaftlichen Schäden, aber auch Imageschäden der österreichischen Landwirtschaft führen können. Aufgrund der Höhe der berechneten Iod-Konzentration müssten Maßnahmen zur vorgezogenen Ernte zumindest in grenznahen Gebieten eingeleitet werden. Es wurden jedoch noch nicht alle Berechnungsergebnisse für den auslegungsüberschreitenden Unfall vorgelegt um abklären zu können, welche Gebiete Österreichs von landwirtschaftlichen Folgen betroffen sein könnten.

Da bisher nicht belegt wurde, dass der für die im UVP-Bericht vorgelegten Berechnungen verwendete Quellterm tatsächlich abdeckend ist, kann ein über die berechneten Unfälle hinausgehender schwerer Unfall erheblich größere radiologische Wirkungen auf österreichisches Staatsgebiet zur Folge haben. Insbesondere zeigt die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen zu einem möglichen schweren Unfall im Projekt flexRISK größere, noch erheblichere Auswirkungen als im UVP-Bericht ermittelt wurden. Insgesamt können derartige Unfälle mit entsprechenden erheblichen Auswirkungen auf österreichisches Staatsgebiet zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden.

SUMMARY

The Krško Nuclear Power Plant (NPP) is located in the municipality of Vrbinja on the left bank of the Sava River, southwest of the town of Krško. It is operated by Nuklearna elektrarna Krško d.o.o.. The NPP has a capacity of 1994 MW thermal and 696 MW electric respectively; it belongs half to the Republic of Slovenia and half to the Republic of Croatia; the electricity generated is divided between the two countries.

The reactor is a light water reactor (LWR) from Westinghouse. The operation of the NPP started in 1983, the original operating period was 40 years (until 2023). An extension of the operating life from 40 to 60 years is currently planned, i.e. until 2043. Slovenia has notified Austria of the planned lifetime extension as a proposed activity under the Espoo Convention and the EU EIA Directive and Austria is participating in the transboundary EIA. The competent EIA authority is the Slovenian Ministry of the Environment and Spatial Planning.

The Federal Ministry for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology commissioned the Federal Environment Agency to coordinate the evaluation of the submitted EIA documents within the framework of the expert statement. The aim of Austria's participation in the EIA process is to minimise or prevent possible significant adverse impacts of the project on Austria.

Procedures and Alternatives

The EIA procedure documents are complete in principle. All topics required by the Espoo Convention and the EU EIA Directive in an EIA report are covered.

The NPP Krško supplies approximately 38% of Slovenia's electricity demand. Alternatives to extending the service life consist of electricity generation using other technologies and of measures to increase energy efficiency. The plans for the use of renewable energies and for measures to increase energy efficiency contained in the National Energy and Climate Plan of the Republic of Slovenia (NEPN) were described by the European Commission in its assessment of the 2020 NEPN as unambitious or modest and low ambitious. A recent study (RESCH et al. 2021) prepared by the Vienna University of Technology (TU Wien) also came to the conclusion that by 2030 more than 50% of Slovenia's electricity demand could already be covered by photovoltaics and wind energy (on land).

Spent fuel and radioactive waste

Spent fuel assemblies which will be generated during the lifetime extension are initially stored in the cooling ponds for decay, after which they are to be moved to the interim storage (dry storage), which is currently being built at the Krško site. The planned start of operations has been postponed several times and is now expected for 2023. In case of another delay the compact storage in the cooling ponds will be enlarged, however this should be avoided for safety reasons.

In 2015, Slovenia and Croatia have agreed to construct a shared deep repository for spent fuel assemblies. According to two scenarios in the EIA report, the start of operations is planned for 2065 or 2093. According to the EIA documents, reprocessing is not ruled out either. Both the Slovenian (ARAO) and the Croatian Waste Agency (FOND-NEK) are members of the ERDO association, which was set up to prepare a multinational repository. However, the EIA documents did not report about the progress of these activities.

In addition to the spent fuel assemblies, low- and medium-level radioactive waste (LILW) is also generated during the operation and future decommissioning of the NPP. The interim storage capacities for the LILW are almost exhausted. The EIA documents did not mention when the LILW interim repository in Croatia will go into operation nor when the Slovenian LILW repository in Vrbina will be operational.

Long-term operation of this reactor type

The Krško NPP has been in operation for almost 40 years. Ageing effects of structures, systems and components (SSC) might constitute a safety problem, even if, according to the EIA REPORT (2022), the Ageing Programme (AMP) prevents possible adverse consequences.

The first Topical Peer Review (TPR 1) in accordance with Directive 2014/87/EURATOM in 2017/18 showed for Slovenia some shortcomings in the AMP compared to the expected safety level in Europe. So far, the scope of the structures, systems and components considered in the AMP did not correspond to the current IAEA Safety Standard. In the framework of the next Periodic Safety Review (PSR3), the AMP should be updated according to IAEA requirements. The PSR3 is currently underway and results are expected in 2022. In addition, so far the functionality of the cables has not been guaranteed under Design Extension Conditions (DEC).

The IAEA Pre-SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) Mission to Prepare for Long-Term Operation (LTO) conducted in October 2021 as the first step of a review process also identified shortcomings. According to the IAEA, the best time for the subsequent SALTO mission is during the last 10 years of the originally planned operating life of the plant. Because the SALTO mission will take place in several years, it may be too late for the Krško NPP to identify and remedy deficits for long-term operation.

The original design of the Krško NPP is based on US regulations from the 60s and therefore has to be seen as outdated from today's perspective. From today's perspective, the safety concept used at the time has several fundamental deficits: The number of redundancies in the safety systems is too low. The various safety installations are sometimes not functionally independent or spatially separated, so that they can adversely impact each other. In addition, the reactor building is vulnerable to external influences. The EIA REPORT (2022) presents the extensive retrofits that have taken place. Nevertheless, for technical and financial reasons it was not possible to eliminate all design deficits.

The second topical peer review (TPR 2) currently underway in accordance with Article 8e of Directive 2014/87/EURATOM is focused on the issue of fire protection, which is also important for the safety of nuclear installations. Fire protection in old plants, to which the Krško NPP belongs, has safety disadvantages compared to new NPPs. Design and material-related deficits should be compensated by deploying additional fire detectors and fire extinguishing systems. It is not known whether the first TPR 2 results for the Krško NPP are already available.

The main part of the measures of the National Action Plan to remedy the shortcomings identified in the EU stress test following the Fukushima accident (2011) consisted of the Safety Upgrade Programme (SUP) for the Krško NPP, which had been planned already before. With a considerable delay, the planned measures were completed at the end of 2021. Even though significant improvements have been made, it is not clear whether the achieved safety level (especially with regard to earthquakes) is sufficient.

The IAEA, WENRA and also the Directive 2014/87/Euratom established different safety standards for existing installations and for new installations. However, the safety requirements for new reactors are also to be used as a reference in order to identify the “reasonably practicable” safety improvements in the existing plants as part of the Periodic Safety Reviews.

Accident analysis (DBA and BDBA)

According to the EIA REPORT (2022), the SUP measures have improved the robustness of the Krško NPP and reduced the risk of accidents. Even though the calculated core damage frequency (CDF) has been significantly reduced, the CDF is high compared to other plants. The reference values for new NPPs according to IAEA (2016b) are also significantly lower. The reduction of the Krško NPP CDF was undertaken in response to long overdue retrofits for the current operation. However, they are not sufficient for a life time extension. It should also be noted that questions regarding the complete identification of the hazards (internal and external) are still open. As long as all potential triggering events and their combinations are not adequately taken into account, neither the accident scenarios nor the determined values for the CDF are sufficiently proven.

The EIA REPORT (2022) specifies both the source terms for a Design Basis Accident and a Beyond Design Basis Accident, which were used to determine the radiological effects. The identified maximum Design Basis Accident (LB LOCA – Large Break Loss of Coolant Accident), corresponds to the generally accepted procedure in safety analyses.

The scenario "Failure of the entire AC power supply and loss of the operating crew for 24 hours" was selected as the Beyond Design Basis Accident. In the course of the meltdown, the entire radioactive gaseous material is released into the environment via the filtered pressure relief. It is explained that this accident scenario corresponds to an extended Design Basis Accident DEC-B. In the case of a meltdown, according to the EIA REPORT (2022), such a release is most likely

compared to other release categories and is therefore considered a covering event.

According to PSA 2 for the Krško NPP, some of the meltdown accidents scenarios can cause a failure of the containment. These scenarios are associated with large releases. The identified probabilities and the associated source terms as well as the calculated LERF (Large Early Release Frequency) are not specified in the EIA REPORT (2022). No information was provided on the level of releases if the foundations would melt through.

According to the EIA REPORT (2022), the severe accident described as covering results from a meltdown accident is assuming that the integrity of the containment is maintained. However, the preservation of the containment during an accident is not a given for all accident sequences. Although the calculated probability of an accident with large radioactive releases in the event of containment failure appears to be very small, the corresponding source terms for severe accidents should be used in a transboundary EIA procedure to determine the radiological consequences.

The WENRA "Safety Objectives for New Power Reactors" should be used as a reference to identify reasonably practicable safety improvements for the Krško NPP. According to WENRA Safety Objective O3, accidents involving meltdowns that would lead to early or large releases must be practically eliminated. The EIA REPORT (2022) does not mention the concept of "practical elimination" of early or large releases for the Krško NPP.

Accidents due to external hazards

The information about accidents caused by external events in the EIA documents was limited to ground movements due to earthquakes, flooding and selected extreme weather conditions. Other seismotectonic hazards (surface offset, soil liquefaction, near-fault effects on ground motion) and hazard combinations are not or insufficiently addressed.

Earthquake: The Krško NPP is earthquake-proof according to the Slovenian Regulation RG 1.60 for Radiation Protection and Nuclear Safety³. The peak ground acceleration (PGA) of the original Safe Shutdown Earthquake (SSE) with a probability of occurrence of 10⁻⁴/year was chosen as 0.3 g (free field). In 2004 and 2014, the seismic hazard was increased to PGA = 0.56 g. The EIA documents do not provide evidence of the resistance of the existing structures and systems when doubling PGA = 0.30 g to PGA = 0.56 g. Only the new buildings and systems which were constructed as part of the safety upgrade programme are designed for PGA = 0.6 g or PGA = 0.78 g.

New geological, tectonic and seismological data from the area around the NPP provide sufficient reasons to assume that the Probabilistic Seismic Hazard Assessments (PSHA) carried out in 2004 and 2014 are no longer up-to-date. Indications of this can be found in new data on active faults and the seismic hazard

³ JY5 regulation, Official Gazette of the Republic of Slovenia No. 74/16 and 76/17 - ZVISJV-1

map of Slovenia 2021 showing a 25% higher hazard for the Krško area contrary to the 2001 national hazard map. The hazard maps are not applicable to the NPP⁴. However, the sharp increase in hazard shows that new data, assessments and methods have a significant impact on the results of a new PSHA. However, these new data, assessments and methods were not used to prove the safety of the NPP.

With regard to earthquakes, the EIA documents could not prove that no additional hazards and risks might arise from the extension of plant operation. It will be welcomed if the decision on the life time extension will be taken on the basis of a PSHA according to state-of-the-art in science and technology and using an updated data base. It is recommended to include the preparation of a new PSHA in a similar form in the environmental protection statement as suggested for extreme weather events (ENTWURF BEWILLIGUNG 2022, edition II/1/16).

From the point of view of earthquake engineering, the data provided in the EIA REPORT (2022), referring to the Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) sufficiently prove that the state-of-the-art (regulations/standards) was complied with in 2011. Between 2011 and 2022 however the regulations have changed, in particular the NRC regulation which the EIA referred to. Those revision and their possible effect on the nuclear installation have not been discussed in the EIA report (2022) The state-of-science (in this context latest scientific findings) was neither discussed in the EIA REPORT (2022) nor in the Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011). The period of the past two decades gained important findings on the characteristics of the seismic behaviour of the equipment (i.e. structures and systems, but no buildings). Therefore, questions remain unanswered on the topics of calculating floor spectra, determining fragility curves and the more precise definition of the term "conservative". Those issues should be clarified before licensing the extension of operation and should be included in the relevant requirements in the EIA permit.

Flooding: The Krško NPP was designed for Sava floods with a return period of 10,000 years. The value corresponds to a water level of 155.35 m. The plant is also protected against the highest possible flooding with a water level of 155.61 m. The flood protection devices are designed for a design basis earthquake with $PGA = 0.6 g$. For flooding due to extreme precipitation, the EIA documents do not contain any information on the hazard analysis. It is not known whether the drainage system is designed for heavy rain, combinations of heavy rain and snow melt, etc. with the probability of occurrence of 10⁻⁴/year as set by WENRA (2020a).

Extreme weather conditions: The EIA documentation does not contain any information on hazard analyses with regard to extreme weather. Other documents show that values for the return period of 10,000 years have been determined, at least for extreme temperatures and lightning. However, it is not

⁴ The national hazard map gives values for the return period of 475 years. For NPPs, the return period of 10,000 years is relevant (WENRA 2020a; IAEA 2010).

known whether design basis events have been defined for all other meteorological hazards and hazard combinations for events with probabilities of occurrence of 10⁻⁴/year (WENRA 2020a), and whether the Krško NPP is protected against corresponding loads. The document ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) discusses the protection against the impacts of extreme weather conditions. Condition II/1/16 requires to follow-up and analyse extreme weather events as well as retrofitting in the event of exceedances of the design basis or adequate protection against the effects of extreme events.

Accidents with third parties' involvement

Terrorist attacks and acts of sabotage can have significant impacts on nuclear facilities and cause serious accidents – including for the Krško NPP. Nevertheless, they are only briefly mentioned in the EIA documents with regard to the physical security of the Krško NPP. Although preventive measures against sabotage and terrorist attacks cannot be publicly discussed in detail in the EIA procedure for reasons of confidentiality, the necessary legal requirements should be presented in the EIA documents.

Information on terrorist attacks would be of great interest in view of the significant impact of possible attacks. In particular, the EIA documents should contain detailed information on the requirements for protection against a deliberate crash of a commercial aircraft. Because the reactor buildings of Krško NPPs are vulnerable to a plane crash, this issue is of particular importance. Age-induced degradation can further reduce the resilience of buildings.

A recent assessment of the nuclear security in Slovenia points to shortcomings compared to necessary requirements for nuclear security: In the 2020 Nuclear Security Index Slovenia ranked 14 out of 47 with a total score of 81 out of 100 points. It showed deficits in the areas of “Cybersecurity” (38) and “Insider Threat Prevention” (64). The IAEA offers assistance to states in strengthening their national nuclear security regimes with its International Physical Protection Advisory Service (IPPAS). No such mission has been conducted yet in Slovenia.

Military action against nuclear installations represents another danger that deserves special attention in the current global situation.

Transboundary impacts

Within the framework of the EIA, calculations were presented for one Design Basis Accident and one Beyond Design Basis Accident. For both, significant adverse impacts were excluded for Austria. However, this conclusion cannot be supported based on the data provided.

The information in the EIA report shows that a Beyond Design Basis Accident is expected to have impacts on the Austrian agriculture, which can cause economic damages as well as image damages to Austria's agriculture. Due to the level of the calculated iodine concentration, measures for early harvesting would have to be initiated at least in areas close to the border. However, not all calculation results for the Beyond Design Basis Accident necessary to assess

which regions in Austria could be affected by impacts on agriculture were presented.

Since it has not yet been proven that the source term used for the calculations presented in the EIA report is actually covering, a severe accident beyond the calculated accident can have significantly higher radiological impacts on Austrian state territory. In particular, the determination of the radiological impacts of a possible serious accident in the flexRISK project shows larger, even more significant impacts than were identified in the EIA report. Overall, such accidents with corresponding significant impacts on Austrian territory cannot be ruled out at this stage.

POVZETEK

Nuklearna elektrarna Krško (NEK) se nahaja v občini Vrbina na levem bregu reke Save, jugozahodno od mesta Krško. Upravljavec je Nuklearna elektrarna Krško d.o.o. NEK ima toplotno moč 1994 MW in električno moč 696 MW ter je v polovični lasti Republike Slovenije in polovični lasti Republike Hrvaške; proizvedeno električno energijo si državi delita.

Opremljena je z lahkovodnim tlačnim reaktorjem proizvajalca Westinghouse. NEK je začela obratovati leta 1983, obdobje obratovanja pa je bilo prvotno predvideno za 40 let (do leta 2023). Trenutno je načrtovano podaljšanje obratovalne dobe s 40 na 60 let, tj. do leta 2043. Slovenija je Avstrijo obvestila o načrtovanem podaljšanju obratovalne dobe in predlagala dejavnost v skladu s Konvencijo Espoo in direktivo EU o presoji vplivov na okolje, Avstrija pa sodeluje pri čezmejni presoji vplivov na okolje. Pristojni organ za presajo vplivov na okolje je slovensko Ministrstvo za okolje in prostor.

Zvezno ministrstvo za varstvo podnebja, okolje, energijo, mobilnost, inovacije in tehnologijo Republike Avstrije je Zvezno agencijo za okolje Republike Avstrije pooblastilo, da v okviru tega strokovnega mnenja koordinira presajo predloženih dokumentov PVO. Cilj sodelovanja Avstrije v postopku PVO je zmanjšati ali preprečiti morebitne resne škodljive učinke projekta na Avstrijo.

Postopki in alternative

Dokumenti za postopek presoje vplivov na okolje so v glavnem pripravljeni. Zajete so vse teme, ki morajo biti v skladu s Konvencijo Espoo in direktivo EU o presoji vplivov na okolje vključene v poročilo o presoji vplivov na okolje.

NE Krško zagotavlja približno 38 % celotne proizvodnje električne energije v Sloveniji. Alternative za podaljšanje življenjske dobe so proizvodnja energije z drugimi tehnologijami in ukrepi za povečanje energetske učinkovitosti. Evropska komisija je načrte za rabo obnovljivih virov energije in ukrepe za povečanje energetske učinkovitosti iz nacionalnega energetskega in podnebne načrta 2020 (NEPN) Republike Slovenije ocenila kot neambiciozne do premalo ambiciozne. Najnovejša študija Tehnične univerze na Dunaju (RESCH et al. 2021) prav tako ugotavlja, da bi lahko več kot 50 % potreb po električni energiji v Sloveniji že do leta 2030 pokrili s fotovoltaiko in vetrno energijo (na kopnem).

Izrabljeno gorivo in radioaktivni odpadki

Izrabljeni gorivni elementi iz podaljšane dobe obratovanja bodo najprej skladiščeni v bazenu za izrabljeno gorivo, nato pa bodo premeščeni v začasno skladišče (suho skladišče), ki se trenutno gradi na lokaciji Krško. Načrtovani začetek obratovanja je bil večkrat prestavljen in je zdaj predviden za leto 2023. Če pride do ponovnega zamika začetka obratovanja, bo povečana zmožljivost bazena za izrabljeno gorivo, vendar bi se temu zaradi varnostnih razlogov morali izogniti.

Slovenija in Hrvaška sta se leta 2015 dogovorili, da bosta zgradili skupno globoko skladišče za izrabljeno gorivo. Na podlagi dveh scenarijev iz poročila o vplivih na okolje je začetek obratovanja načrtovan za leto 2065 ali 2093. Glede na dokumente o presoji vplivov na okolje ni izključena niti ponovna predelava. Tako slovenska (ARAO) kot hrvaška organizacija za ravnanje z odpadki (FOND-NEK) sta članici združenja ERDO, ki si prizadeva za večnacionalno skladišče. Vendar v dokumentih presoje vplivov na okolje o napredku teh dejavnosti ni podatkov.

Poleg izrabljenih gorivnih elementov se pri obratovanju in prihodnji razgradnji nuklearne elektrarne kopičijo tudi nizko- in srednjeradioaktivni odpadki (NSRAO). Vmesne skladiščne zmogljivosti za NSRAO so skoraj izčrpane, v dokumentih presoje vplivov na okolje pa ni navedeno niti, kdaj bo začelo obratovati vmesno skladišče NSRAO na Hrvaškem, niti kdaj bo začelo obratovati slovensko končno skladišče NSRAO v Vrbini.

Dolgoročno obratovanje reaktorja

NEK obratuje že skoraj 40 let. To pomeni, da lahko negativni učinki staranja struktur, sistemov in sestavnih delov predstavljajo varnostno vprašanje, čeprav v poročilu o presoji vplivov na okolje (2022) piše, da program staranja opreme (AMP) preprečuje morebitne negativne posledice.

Prvi tematski strokovni pregled (TPR 1) v skladu z Direktivo 2014/87/EURATOM leta 2017/18 je pokazal nekatere pomanjkljivosti slovenskega programa staranja opreme v primerjavi s predvideno stopnjo varnosti v Evropi. Zato obseg struktur, sistemov in sestavnih delov, ki so vključeni v program staranja opreme, ni bil skladen z veljavnim varnostnim standardom IAEA. V okviru naslednjega tretjega občasnega varnostnega pregleda bo program staranja opreme posodobljen v skladu z zahtevami IAEA. Tretji občasni varnostni pregled je trenutno v teku, rezultati pa bodo znani leta 2022. Poleg tega pod pogoji načrtovane širitve projekta (Design Extension Conditions) funkcionalnost kablov za zdaj ni zagotovljena.

Misija IAEA Pre-SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation), ki je bila izvedena oktobra 2021 in predstavlja prvi korak v procesu pregleda za pripravo na dolgoročno obratovanje (LTO), je prav tako ugotovila pomanjkljivosti. Po mnenju IAEA je najprimernejši čas za naslednjo misijo SALTO v zadnjih desetih letih prvotno načrtovane obratovalne dobe objekta. Ker bo misija SALTO lahko izvedena šele čez nekaj let bo morda prepozno, da bi v NEK ugotovili in odpravili pomanjkljivosti za dolgoročno obratovanje.

Prvotno projektiranje NEK temelji na ameriških predpisih iz šestdesetih let prejšnjega stoletja in je zato iz današnjega vidika zastarelo. Z današnjega vidika imajo takratni varnostni sistemi številne bistvene pomanjkljivosti: ni dovolj podvojenih varnostnih sistemov. Različne varnostne funkcije delno niso funkcionalno neodvisne ali prostorsko ločene, tako da lahko negativno vplivajo druga na drugo. Poleg tega je stavba reaktorja izpostavljena zunanjim vplivom. V POROČILU PVO (2022) so predstavljene obsežne posodobitve, ki so bile

izvedene. Vendar pa zaradi tehničnih in finančnih razlogov ni bilo mogoče odpraviti vseh projektnih pomanjkljivosti.

Drugi tematski strokovni pregled (TPR 2), ki trenutno poteka v skladu z 8.e členom Direktive 2014/87/EURATOM, obravnava temo požarne zaščite, ki je tudi pomembna za varnost jedrskih objektov. Požarna zaščita v starih objektih, med katere spada tudi NEK, ima v primerjavi z novimi nuklearnimi elektrarnami varnostne pomanjkljivosti. Projektne pomanjkljivosti in pomanjkljivosti materialov je treba nadomestiti z dodatnimi javljalniki požara in sistemi za gašenje. Informacije o tem, ali so prvi rezultati TPR 2 za NEK že na voljo, niso znane.

Glavni del ukrepov nacionalnega akcijskega načrta za odpravo pomanjkljivosti, ugotovljenih v EU stresnem testu po nesreči v Fukušimi (2011), je bil že predhodno načrtovani program nadgradnje varnosti (SUP) v NEK. Načrtovani ukrepi so bili s precejšnjo zamudo dokončani konec leta 2021. Čeprav so bile dosežene precejšnje izboljšave, ni jasno, ali dosežena stopnja varnosti (zlasti glede potresov) zadostuje.

IAEA, WENRA in tudi Direktiva 2014/87/Euratom določajo različne varnostne standarde za obstoječe in za nove elektrarne. Vendar pa je treba te varnostne zahteve za nove reaktorje uporabiti tudi kot referenco za opredelitev "smiselno izvedljivih" varnostnih izboljšav v obstoječih elektrarnah v okviru rednih varnostnih pregledov.

Analiza nesreč (DTA in BDBA)

V POROČILU PVO (2022) je navedeno, da so ukrepi strateške okoljske presoje izboljšali robustnost NEK in zmanjšali tveganje za nesreče. Čeprav je izračunana pogostost poškodb sredice (CDF) znatno zmanjšana, je CDF v primerjavi z drugimi obrati visoka. Tudi orientacijske vrednosti za nove nuklearne elektrarne so po podatkih IAEA (2016b) bistveno nižje. Zmanjšanje CDF za NE Krško je rezultat dolgo zapoznelih posodobitev potrebnih za sedanje obratovanje. Vendar pa ne zadostujejo za podaljšanje obratovanja. Prav tako je treba opozoriti, da so vprašanja glede popolne opredelitve nevarnosti (notranjih in zunanjih) še vedno odprta. Kolikor niso ustrezno upoštevani vsi možni sprožilni dogodki in njihove kombinacije, niso dovolj utemeljeni niti scenariji nesreč niti določene vrednosti za CDF.

V poročilu PVO sta navedeni dve dozi obremenitve za projektno nesrečo in za nadprojektno nesrečo, ki sta bili uporabljeni za določitev radioloških vplivov. Projektna nesreča, kot največja nesreča (LB LOCA - velika nesreča z izgubo hladila), ustreza splošnim postopkom v varnostnih analizah.

Scenarij "odpoved celotnega napajanja z izmeničnim tokom in izguba operativnega osebja za 24 ur" je izbrana nadprojektna nesreča. Med nesrečo ob taljenju sredice se vsa radioaktivna plinasta snov sprosti v okolje prek sistema za filtrirano razbremenjevanje tlaka. Pojasnjeno je, da ta scenarij nesreče ustreza razširjeni projektni nesreči DEC-B. V primeru taljenja sredice je v skladu

s POROČILOM PVO (2022) takšen izpust najbolj verjeten v primerjavi z drugimi kategorijami izpustov in zato velja za najhujšo nesrečo z izpusti.

V skladu s PSA 2 za NEK lahko nekateri scenariji nesreče s taljenjem sredice povzročijo okvaro zadrževalnega hrama. Ti scenariji so povezani z velikimi izpusti. Ugotovljene verjetnosti in z njimi povezane doze obremenitve ter določena frekvenca LERF (Large Early Release Frequency) v POROČILU PVO (2022) niso navedeni. Prav tako ni pojasnjeno, kako visoki bi bili izpusti, če bi taljenje prebilo temelje.

V skladu s POROČILOM PVO (2022) je najhujša nesreča tista, ko pride do taljenja sredice ob predpostavki, da se ohrani celovitost zadrževalnega hrama. Vendar ohranitev zadrževalnega hrama med nesrečo ni samoumevna za vsa sosledja nesreč. Čeprav se zdi izračunana verjetnost nesreče z velikimi izpusti radioaktivnih snovi v primeru odpovedi zadrževalnega hrama zelo majhna, je treba v postopku čezmejne presoje vplivov na okolje za določitev radioloških posledic uporabiti ustrezne doze obremenitve pri hudih nesrečah.

"Varnostne cilje za nove jedrske reaktorje" združenja WENRA, je treba uporabiti kot referenco za opredelitev smiselno izvedljivih varnostnih izboljšav v NEK. V skladu z varnostnim ciljem O3 združenja WENRA bi bilo treba nesreče s taljenjem sredice, ki bi povzročile zgodnje ali velike izpuste, dejansko izključiti. Koncept "dejanske izključitve" zgodnjih ali velikih izpustov v NEK v POROČILU PVO (2022) ni omenjen.

Nesreče zaradi zunanjih dogodkov

Prikazi nesreč zaradi zunanjih dogodkov v dokumentih presoje vplivov na okolje so omejeni na potresno gibanje tal, poplave in določene ekstremne vremenske razmere. Druge seizmotektonske nevarnosti (površinski premik, utekočinjenje tal, učinki gibanja tal v bližini preloma) in kombinacije nevarnosti niso obravnavane ali so obravnavane nezadostno.

Potres: NEK je potresno odporna v skladu s slovenskim Pravilnikom RG 1.60 o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti⁵. Največji pospešek tal (Peak Ground Acceleration, PGA) originalnega projektnega potresa (Safe Shutdown Earthquake, SSE) z verjetnostjo pojava 10^{-4} /leto je bil izbran kot 0,3 g (odprto polje). V letih 2004 in 2014 se je potresna nevarnost na koncu povečala na PGA = 0,56 g. Dokumenti PVO ne zagotavljajo dokazov o odpornosti obstoječih objektov in sistemov pri podvojitvi pospeška tal s 0,30 g na 0,56 g. Samo novi objekti in sistemi, izvedeni v okviru programa za izboljšanje varnostne opreme, so projektirani na PGA = 0,6 g ali PGA = 0,78 g.

Novi geološki, tektonski in seizmološki podatki iz bližnje okolice NEK so zadosten razlog, da ocenjujemo, da verjetnostna ocena potresne nevarnosti (Probabilistic Seismic Hazard Assessment, PSHA), izvedena leta 2004 in 2014, ni več aktualna. To dokazujejo novi podatki o aktivnih prelomih in karta potresne nevarnosti Slovenije 2021, ki za območje Krškega kaže za približno 25 % večjo

⁵ Uredba JV5, Uradni list RS, št. 74/16 in 76/17 - ZVISJV-1

nevarnost kot državna karta potresne nevarnosti iz leta 2001. Karte nevarnosti niso uporabne za NEK⁶. Vendar pa veliko povečanje ogroženosti kaže, da novi podatki, ocene in metode pomembno vplivajo na rezultate nove PSHA. Vendar ti novi podatki, ocene in metode niso bili uporabljeni pri oceni jedrske varnosti NEK.

Zato dokumenti o presoji vplivov na okolje v zvezi s potresi ne dokazujejo, da zaradi podaljšanja obratovanja elektrarne ne bi bilo dodatnih nevarnosti in tveganj. Zato je zaželeno, da se odločitev o podaljšanju obratovalne dobe sprejme na podlagi PSHA, ki ustreza najnovejšemu stanju znanosti in tehnologije ter uporablja posodobljene podatkovne baze. Priporoča se, da se izvedba nove ocene potresne nevarnosti vključi kot pogoj v okoljsko izjavo v podobni obliki, kot je predvidena za ekstremne vremenske razmere (OSNUTEK ZA ODOBRITEV 2022, pogoj II/1/16).

Z vidika potresnega inženirstva informacije iz POROČILA PVO (2022) s sklicevanjem na poročilo o stresnem testu nuklearke (URSV 2011) ustrezno dokazujejo, da je bilo leta 2011 upoštevano stanje tehnike (predpisi/standardi). Vendar so se med letoma 2011 in 2022 smernice, zlasti navedene smernice NRC, spremenile. Te spremembe in morebitni vplivi na jedrski objekt v poročilu o presoji vplivov na okolje niso obravnavani. Stanje znanosti (v tem smislu najnovejša znanstvena spoznanja) ni bilo obravnavano niti v poročilu o presoji vplivov na okolje (2022) niti v poročilu o stresnem testu nuklearke (SNSA 2011). Zlasti v zadnjih dveh desetletjih so bila pridobljena pomembna spoznanja o značilnostih potresnega obnašanja opreme (tj. konstrukcij in sistemov, vendar ne stavb). Zato ostajajo odprta vprašanja o izračunu talnih spektrov, določitvi krivulj ranljivosti in o definiciji/natančni opredelitvi izraza "konservativen". Ta vprašanja je treba pojasniti in pred odobritvijo obratovalnega dovoljenja v dovoljenje za presojo vplivov na okolje vključiti ustrezne pogoje.

Poplave: NE Krško je bila zgrajena z ozirom na poplave reke Save za povratno dobo 10.000 let. Vrednost ustreza višini vode 155,35 m.n.m.. Elektrarna je zaščiten tudi pred najvišjimi možnimi poplavami katerih višina vode znaša 155,61 m.n.m.. Objekti za zaščito pred poplavami so projektirani za projektni potres s $PGA = 0,6$ g. O analizi nevarnosti za poplave zaradi izrednih padavin v dokumentih PVO ni nobenih informacij. Ni znano, ali je drenažni sistem zasnovan za močno deževje, kombinacije močnega dežja in taljenega snega itd. z verjetnostjo pojavljanja 10^{-4} /leto, kot ga določa WENRA (2020a).

Ekstremne vremenske razmere: Dokumenti presoje vplivov na okolje ne vsebujejo informacij o analizah nevarnosti v zvezi z ekstremnimi vremenskimi razmerami. Iz drugih dokumentov je razvidno, da so bile vrednosti povratne dobe 10.000 let določene vsaj za ekstremne temperature in udare strele. Ni pa znano, ali so bile za vse druge meteorološke nevarnosti in kombinirane nevarnosti opredeljene nazivne vrednosti (projektna nesreča) za dogodke z verjetnostjo pojava 10^{-4} /leto (WENRA 2020a) in ali je NEK zaščiten pred

⁶ Na nacionalni karti potresne nevarnosti so vrednosti določene za povratno dobo 475 let. Za nuklearne elektrarne je primerna povratna doba 10.000 let (WENRA 2020a; IAEA 2010).

obremenitvami. Zaščita pred učinki izrednih vremenskih razmer je obravnavana v dokumentu OSNUTEK ZA ODOBRITEV (2022). Pogoj II/1/16 zahteva sledenje in analizo izrednih vremenskih razmer ter naknadno prilagoditev za presežene projektne osnove ali ustrezno zaščito pred vplivi izrednih razmer.

Nesreče zaradi vpletenosti tretjih oseb

Teroristični napadi in sabotažna dejanja lahko bistveno ogrožajo jedrske objekte in povzročijo hude nesreče - tudi v NEK. Kljub temu so v dokumentih presoje vplivov na okolje v zvezi s fizičnim varovanjem NEK le bežno omenjeni. Čeprav v postopku presoje vplivov na okolje zaradi zaupnosti ni mogoče podrobno javno razpravljati o varnostnih ukrepih proti sabotaži in terorističnim napadom, je treba v dokumentih presoje vplivov na okolje navesti ustrezne pravne zahteve.

Informacije v zvezi s terorističnimi napadi bi bile zaradi velikega vpliva morebitnih napadov nadvse pomembne. Prav tako bi morala dokumentacija o presoji vplivov na okolje vsebovati natančne informacije o zahtevah za zaščito pred namerno povzročenim strmoglavljenjem komercialnega letala. To vprašanje je še posebej pomembno, saj so reaktorske zgradbe NEK ogrožene ob letalski nesreči. Zaradi staranja se lahko odpornost stavb še dodatno zmanjša.

Nedavna ocena jedrske varnosti v Sloveniji kaže na pomanjkljivosti v primerjavi z nujnimi zahtevami glede jedrske varnosti: Slovenija je na seznamu jedrske varnosti za leto 2020 uvrščena na 14. mesto med 47 državami s skupno oceno 81 točk od 100 možnih. Pomanjkljivosti so na področjih "kibernetske varnosti" (38) in "zaščite pred notranjimi grožnjami" (64). IAEA podpira države na področju jedrske varnosti s svojo Mednarodno svetovalno službo za fizično zaščito (IPPAS). V Sloveniji doslej še ni bila izvedena nobena tovrstna misija.

Vojaški napadi na jedrske objekte so še ena nevarnost, ki si v sedanjih svetovnih razmerah zaslužijo posebno pozornost.

Čezmejni učinki

V okviru ocene vplivov na okolje so bili predloženi izračuni za projektno nesrečo in nadprojektno nesrečo. Pri obeh so bili pomembni škodljivi učinki za Avstrijo izključeni. Vendar tega na podlagi predloženih podatkov ni mogoče potrditi.

Na podlagi podatkov iz poročila o presoji vplivov na okolje je razvidno, da bi nadprojektna nesreča vplivala na avstrijsko kmetijstvo, kar bi lahko povzročilo veliko gospodarsko škodo in škodilo ugledu avstrijskega kmetijstva. Zaradi višine izračunane koncentracije joda bi bilo treba vsaj na območjih ob meji začeti izvajati ukrepe za predčasno pobiranje pridelka. Vendar še niso bili predloženi vsi rezultati izračunov za nadprojektno nesrečo, da bi bilo mogoče razjasniti, na katera območja v Avstriji bi lahko vplivale posledice za kmetijstvo.

Ker še ni bilo potrjeno, da doze obremenitve, uporabljene za izračune, predstavljene v poročilu o presoji vplivov na okolje, dejansko zadostujejo, lahko huda nesreča, ki presega predvidene nesreče, povzroči bistveno hujše radiološke posledice na ozemlju Republike Avstrije. Zlasti opredelitev

radioloških vplivov na morebitno hudo nesrečo v projektu flexRISK kaže na večje, celo hujše vplive, kot so bili opredeljeni v poročilu o presoji vplivov na okolje. Na splošno takšnih nesreč z njihovimi hudimi posledicami na avstrijskem ozemlju trenutno ni mogoče izključiti.

EINLEITUNG

Das Kernkraftwerk Krško liegt in der Gemeinde Vrbinja am linken Ufer des Flusses Save, südwestlich der Stadt Krško. Betreiber ist die Nuklearna elektrarna Krško d.o.o..

Das KKW hat eine Leistung von 1994 MW thermisch bzw. 696 MW elektrisch. Es gehört jeweils zur Hälfte den Republiken Slowenien und Kroatien; der erzeugte Strom wird zwischen den beiden Ländern aufgeteilt.

Der Reaktor ist ein Leichtwasserreaktor von Westinghouse. Der Betrieb des KKW startete 1983, die Betriebsdauer betrug ursprünglich 40 Jahre (bis 2023).

Derzeit ist eine Verlängerung der Betriebsdauer von 40 auf 60 Jahre geplant, also bis 2043. Slowenien hat Österreich über die geplante Laufzeitverlängerung als vorgeschlagene Aktivität im Rahmen der Espoo Konvention und der UVP-Richtlinie der EU notifiziert und Österreich beteiligt sich an der grenzüberschreitenden UVP. Die zuständige UVP-Behörde ist das slowenische Ministerium für Umwelt und Raumplanung.

Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie beauftragte das Umweltbundesamt, die Bewertung der vorgelegten UVP-Unterlagen im Rahmen der hier vorliegenden Fachstellungnahme zu koordinieren. Ziel der österreichischen Beteiligung am UVP-Verfahren ist es, mögliche signifikante nachteilige Auswirkungen des Projekts auf Österreich zu minimieren oder zu verhindern.

1 VERFAHREN UND ALTERNATIVEN

1.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Die folgenden Unterlagen wurden von der slowenischen Seite zur Verfügung gestellt. Sie sind unter dieser Internetadresse abrufbar: <https://www.umweltbundesamt.at/uvp-kkw-krsko-lte>. In der vorliegenden Fachstellungnahme werden sie wie folgt zitiert:

- **UVP-BERICHT (2022):** Umweltverträglichkeitsbericht für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna Elektrarna Krško d.o.o.. Verfasser: E-NET Okolje d.o.o., Ljubljana. Nummer: 100820-dn. Ljubljana, Oktober 2021, Ergänzung 8.11.2021, 10.1.2022. pdf, 547 Seiten.
- **UVP-BERICHT ZUSAMMENFASSUNG (2022):** Umweltverträglichkeitsbericht für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna Elektrarna Krško d.o.o.. Allgemeinverständliche Zusammenfassung des Berichts. Verfasser: E-NET Okolje d.o.o., Ljubljana. Št.: 100820-dn. Ljubljana, Januar.2022. pdf, 20 Seiten.
- **ENTWURF BEWILLIGUNG (2022):** Republik Slowenien, Ministerium für Umwelt und Raumordnung: Umweltschutzrechtliche Zustimmung. Entwurf. pdf, 100 Seiten.
- **NEK (2021):** Projekt: Langfristiger Betrieb des Kernkraftwerks Krško (2023-2043). (Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre). Krško, den 14. Oktober 2021, Rev. 3. pdf, 91 Seiten.
- **AQUARIUS (2021):** Zusatz zur Beurteilung der Verträglichkeit der Auswirkungen auf Schutzgebiete für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna elektrarna Krsko d.o.o. Ljubljana, Januar 2021. pdf, 79 Seiten.
- **TALUM (2020):** Bericht über den Zustand des Bodens am Ort des geplanten Baus des SFDS für das Unternehmen Nuklearna elektrarna Krško d.o.o.. Nr. 360/2020, Kidričevo, den 29.07.2020. pdf, 88 Seiten.

UVP-Verfahren und Genehmigungen

Durch die Verlängerung der Betriebsdauer ändern sich weder die bestehende Umweltgenehmigung noch die Wassergenehmigungen des KKW Krško. (UVP-BERICHT 2022, S. 37)

Das KKW Krško besitzt eine gültige, zeitlich unbegrenzte Betriebsgenehmigung. Technisch ist der Betrieb mindestens bis zum Jahr 2043 möglich, sofern gemäß den geltenden Rechtsvorschriften alle 10 Jahre eine Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) durchgeführt wird, die von der zuständigen Behörde, d. h. vom Amt der Republik Slowenien für nukleare Sicherheit, zu genehmigen ist. (UVP-BERICHT 2022, S. 38)

Die sicherheitstechnische Aufrüstung ist nicht Teil der Umweltverträglichkeitsprüfung und wurde unabhängig von der Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško auf der Grundlage des nationalen Post-Fukushima-Aktionsplans im Anschluss an die EU-Stresstests durchgeführt. (UVP-BERICHT 2022, S. 42)

Für eine Aktivität wie die Errichtung eines KKW bzw. auch für eine Änderung der Aktivität ist laut der „Verordnung über Umwelteingriffe, für die eine UVP erforderlich ist“ ein **Vorverfahren** durchzuführen. Für die Laufzeitverlängerung wurde ein solches Vorverfahren durchgeführt. (ENTWURF BEWILLIGUNG 2022, S. 5) Dabei wurde festgestellt, dass die Auswirkungen aufgrund der Laufzeitverlängerung erheblich zunehmen würden, bzw. dass eine erhebliche Zunahme an Umweltauswirkungen zu erwarten sei. Es wurde auch festgestellt, dass das geplante Vorhaben funktionell und wirtschaftlich mit mindestens einem weiteren geplanten Vorhaben verbunden ist, nämlich dem Bau eines Trockenlagers für abgebrannte Brennelemente. (ENTWURF BEWILLIGUNG 2022, S. 5)

Am 02.10.2020 erließ die Umweltagentur der Republik Slowenien (ARSO) den Beschluss Nr. 35405-286/2016-42, mit dem der Vorhabensträger Nuklearna elektrarna Krško (NEK) verpflichtet wurde, für die Laufzeitverlängerung eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen und eine Umweltgenehmigung einzuholen. (UVP-BERICHT 2022, S. 43) Das Ministerium für Umwelt und Raumordnung stellte weiters fest, dass sich die Verpflichtung zur Durchführung einer UVP auch aus der Rechtsprechung der Gerichte der Europäischen Union ergibt. (UVP-BERICHT 2022, S. 43)

Das vorliegende UVP-Verfahren beinhaltet die Umweltauswirkungen einer Laufzeitverlängerung und der Stilllegung, aber nicht des Rückbaus des KKW. (UVP-BERICHT 2022, S. 43)

Weiters für das Vorhaben relevant ist der Raumordnungsplan (Verordnung über den Raumordnungsplan des Kernkraftwerks Krško; Amtsblatt der SR Slowenien Nr. 48/87, Amtsblatt der Republik Slowenien Nr. 59/97 und 21/20).

Im Verfahren **Strategische Umweltprüfung für die Änderungen und Ergänzungen des Raumordnungsplans für das Kernkraftwerk Krško** für eine Raumordnung von gemeinsamer Bedeutung (Planersteller: Gemeinde Krško) hat das Ministerium für Umwelt und Raumordnung den Bescheid Nr. 35409-155/2019 vom 14.08.2019 erlassen. Eine dafür eingeholte Stellungnahme Österreichs war auch geprüft worden. (UVP-BERICHT 2022, S. 52)

Alternativen

Das KKW Krško liefert ca. 38 % der gesamten Stromerzeugung Sloweniens. Die Hälfte des erzeugten Stroms wird gemäß dem Zwischenstaatlichen Abkommen nach Kroatien exportiert. (UVP-BERICHT 2022, S. 54)

Ca. 20% des Verbrauchs werden derzeit importiert. Der zukünftige Strombedarf wird Schätzungen zufolge weiter zunehmen. Selbst mit der Laufzeitverlängerung wird Slowenien bis 2030 trotz Ausbau der erneuerbaren Energien und Erhöhung der Nutzungseffizienz immer noch ein Stromdefizit von mindestens 1

TWh/Jahr aufweisen. Der fehlende Strom müsste entweder importiert oder durch den Bau neuer Kraftwerke erzeugt werden; zweiteres sei jedoch in der benötigten kurzen Zeitspanne nicht machbar. (UVP-BERICHT 2022, S. 41)

Sowohl die Slowenische Energiestrategie als auch der am 28.02.2020 angenommene **Nationalen Energie- und Klimaplan** (NEPN) sehen eine Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško nach 2023 vor. (UVP-BERICHT 2022, S. 317) Im NEPN werden zwei Szenarien verwendet (das sogenannte Szenario mit den bestehenden Maßnahmen und das NEPN-Szenario). In beiden Szenarien ist eine weitere Stromerzeugung im KKW Krško vorgesehen. (UVP-BERICHT 2022, S. 41)

Die **Nullvariante** wäre der Zustand ohne Laufzeitverlängerung, also die Stilllegung und der nachfolgende Rückbau des KKW. Der Rückbau hat als Ziel, dass die Anlage aus der Überwachung entlassen werden und der Standort in die uneingeschränkte Nutzung übergehen kann. (UVP-BERICHT 2022, S. 304f.)

Die Folgen der Nullvariante sind zusätzlich in der Studie "Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško aus energiewirtschaftlicher, systemischer, ökonomischer und ökologischer Perspektive", EIMV, Ljubljana, Juli 2021 /243/ beschrieben. (UVP-BERICHT 2022, S. 149) Diese Studie wurde im Zuge der UVP nicht vorgelegt.

In Kapitel 3.2 werden Umweltauswirkungen der Nullvariante diskutiert. (UVP-BERICHT 2022, S. 149ff.) Die größten Umweltauswirkungen werden dabei den Treibhausgasen zugesprochen. Zitiert wird dafür eine IPCC-Studie aus 2006, laut der ein KKW während seines gesamten Lebenszyklus (Bau, Betrieb, Stilllegung sowie Uranerzabbau und -verarbeitung) pro kWh Strom 0,012 kg CO₂-eq in die Atmosphäre ausstößt; durchschnittliche Emissionen für das KKW Krško würden aus direkten und indirekten Emissionen pro Stunde Stromerzeugung 8,3 t CO₂-eq betragen.

1.2 Diskussion und Bewertung

Die Unterlagen zum UVP-Verfahren sind grundsätzlich vollständig. Es werden alle Themen behandelt, die laut Espoo-Konvention und EU UVP-Richtlinie in einem UVP-Bericht vorgeschrieben sind.

Für Österreich ergeben sich die wichtigsten möglichen erheblichen Auswirkungen aus schweren nuklearen Unfällen im KKW Krško und Unfällen in den nuklearen Abfallanlagen. Diese werden in den nächsten Kapiteln einer spezifischen Bewertung unterzogen.

Alternativen

Eine aktuelle Studie der TU Wien zeigt für Slowenien und Kroatien **Alternativen zur Energieerzeugung aus Kohle und Atom** auf. (RESCH et al. 2021) Die Autoren bewerten das Potenzial für den Ausbau von Photovoltaik und Windenergie

(on-shore) neu und gelangen zu dem Schluss, dass ein entsprechender Ausbau bis 2050 den Strombedarf von Slowenien als auch von Kroatien sogar übersteigen könnte; bereits 2030 könnten in Slowenien 53% des Strombedarfs gedeckt werden und in Kroatien 84%. Die Ausbaupotenziale sind in Kroatien größer als in Slowenien. Zusätzlich könnte Biomasse helfen, die wetterabhängigen Stromlieferungen von Wasserkraft, Wind und PV auszugleichen.

Auch die Europäische Kommission kommt in ihrer Bewertung des slowenischen NEPN zum Schluss, dass der geplante Beitrag der erneuerbaren Energien bis 2030 nicht ambitioniert („unambitious“) ist; weiters werden auch die Energieeffizienzmaßnahmen als niedrig bis mäßig ambitioniert („modest and low ambitious“) bewertet. (EC 2020)

Zum **Ausstoß von Treibhausgasen** wurde im UVP-Bericht eine Studie der IPCC aus 2006 zitiert, laut der ein KKW während seines gesamten Lebenszyklus (Bau, Betrieb, Stilllegung sowie Uranerzabbau und -verarbeitung) pro kWh Strom 12 g CO₂-eq ausstößt. Diese Zahl ist jedoch zu niedrig angesetzt. Im IPCC Bericht aus 2012 (IPCC 2012) wird in Annex 2 das Ergebnis einer Literaturstudie dargestellt, laut der Kernenergie im Durchschnitt (Median) bei 16 g CO₂-eq pro kWh liegt, mit einem Maximum von 220 g CO₂-eq. In einer Studie des deutschen Ökoinstituts wird unter Verwendung der ecoinvent Datenbank eine durchschnittliche Treibhausgasemission für Kernenergie von 104 g CO₂-eq pro kWh ermittelt. (URANATLAS 2019) Sovacool berechnete in seiner vergleichenden Studie aus 2008 einen durchschnittlichen Wert von 66,08 g CO₂-eq pro kWh für Kernenergie; für den Betrieb fielen dabei 11,58 g CO₂-eq pro kWh an, und für Urangewinnung, Errichtung, Entsorgung und Dekommissionierung die restlichen 54,5 g CO₂-eq pro kWh. (SOVACOOOL 2008) Je nach Urangehalt des Erzes können die CO₂-Emissionen bis zu 500 g CO₂-eq pro kWh steigen. (WALLNER et al. 2011)

1.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Die Unterlagen zum UVP-Verfahren sind grundsätzlich vollständig. Es werden alle Themen behandelt, die laut Espoo-Konvention und EU UVP-Richtlinie in einem UVP-Bericht enthalten sein sollen.

Für Österreich ergeben sich die wichtigsten möglichen erheblichen Auswirkungen aus schweren nuklearen Unfällen und Unfällen in den nuklearen Abfallanlagen.

Alternativen zur Laufzeitverlängerung liegen in der Stromerzeugung durch andere Technologien und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Die im Nationalen Energie- und Klimaplan Sloweniens (NEPN) enthaltenen Pläne für den Einsatz erneuerbarer Energien und für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wurden von der Europäischen Kommission in ihrer Bewertung

des NEPNs als nicht bis wenig ambitioniert beschrieben. Auch eine aktuelle Studie der TU Wien kommt zu dem Schluss, dass 2030 bereits über 50% des slowenischen Strombedarfs über Photovoltaik und Windenergie (an Land) gedeckt werden könnte.

1.3.1 Vorläufige Empfehlungen

- **VE1:** *Es sollte nicht darauf verzichtet werden, im Rahmen der UVP Alternativen zur Laufzeitverlängerung zu untersuchen.*

2 ABGEBRANNTRE BrenNELEMENTE UND RADIOAKTIVE ABFÄLLE

2.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Abgebrannte Brennelemente

Die abgebrannten Brennelemente lagern seit Betriebsbeginn des KKW Krško im **Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente**, das sich im Brennstoffhandhabungsgebäude am Standort befindet. Die Becken werden aktiv gekühlt, wobei die Kühlung im Rahmen der sicherheitstechnischen Aufrüstung verbessert wurde. (UVP-BERICHT 2022, S. 82)

Mit Stand Jahresende 2020 befanden sich 1.323 abgebrannte Brennelemente im Becken, ebenso wie zwei Spezialbehälter mit Brennstäben und einer Fissionzelle aus dem Jahr 2017. (UVP-BERICHT 2022, S. 83) Bis Ende 2023 fallen insgesamt 1.553 abgebrannte Brennelemente an. Die Verlängerung der Betriebsdauer von 2023 bis 2043 wird voraussichtlich zu **zusätzlichen 728 abgebrannten Brennelementen** führen. In den Lagerbecken stehen 1.694 Plätze zur Verfügung. (UVP-BERICHT 2022, S. 133) Die Lagerkapazität wurde bereits 1983 und 2003 erhöht. (UVP-BERICHT 2022, S. 290)

Nach einer mehrjährigen Abklingzeit werden je 37 abgebrannte Brennelemente in einen HI-STORM Behälter verpackt, hermetisch verschweißt und mit einer entsprechenden Ummantelung versehen (Transfer-, Lagerungs- oder Transportabschirmung). Mit der Lagerungsabschirmung werden die Behälter in das **zukünftige Trockenlager zur Zwischenlagerung** verbracht. Dort sind 70 Stellplätze vorgesehen. (UVP-BERICHT 2022, S. 83)

Das Trockenlager für abgebrannte Brennelemente, für das eine Baugenehmigung und eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorliegen, befindet sich im Bau und wird in der ersten Hälfte des Jahres 2023 fertiggestellt. (UVP-BERICHT 2022, S. 37) 2023 wird die erste Befüllungsphase (Kampagne) erfolgen, bei der 592 abgebrannte Brennelemente versetzt werden sollen, weitere 592 sollen in der zweiten Phase im Jahr 2028 folgen, in 2038 dann weitere 444 und in 2048 die restlichen abgebrannten Brennelemente. (UVP-BERICHT 2022, S. 133)

Nach Abschluss der Stilllegung des KKW Krško wird das Trockenlager von der Agentur für radioaktive Abfälle übernommen, die auch für die Endlagerung der abgebrannten Brennelemente sorgen wird. (UVP-BERICHT 2022, S. 293)

Als Back-End Management für die abgebrannten Brennelemente ist die **Endlagerung in einem Tiefenlager** vorgesehen. Gleichzeitig mit dem Beschluss zur Verlängerung der Betriebsdauer haben die Eigentümer auch die gemeinsame

Sicherstellung der Endlagerung der abgebrannten Brennelemente beschlossen⁷. Das gemeinsame Tiefenlager soll in Slowenien oder in Kroatien gebaut werden. Als Methode ist die schwedische **KBS-3V** Technologie vorgesehen. Zwei Szenarien wurden für die Endlagerung entwickelt, das Basisszenario und das Sensitivitätsszenario. Beide gehen von einer Laufzeitverlängerung aus und beinhalten die Endlagerung aller angefallenen abgebrannten Brennelemente. Im Basisszenario würde der Betrieb im Jahr 2093 starten, im Sensitivitätsszenario 2065. Alle abgebrannten Brennelemente sollen innerhalb von 10 Jahren aus dem Trockenlager in das Endlager verbracht werden. (UVP-BERICHT 2022, S. 293)

Allerdings wird auch die Möglichkeit der **Wiederaufbereitung** von abgebrannten Brennelementen nicht ausgeschlossen. (UVP-BERICHT 2022, S. 293)

Radioaktive Abfälle

Durch den Betrieb des KKW Krško werden bis zum Jahresende 2023 insgesamt ca. 2.458 m³ bzw. ca. 5.141 t schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LILW) entstehen. Durch die Verlängerung der Betriebsdauer von 2023 bis 2043 werden weitere 547 m³ bzw. 884 t betriebsbedingte LILW anfallen. (UVP-BERICHT 2022, S. 388)

Zusätzlich zu diesen betrieblichen LILW werden auch LILW aus der Stilllegung des KKW entstehen, und zwar in einem Umfang von 2.860 t bzw. 2.842 m³. Dies ist unabhängig davon, ob das KKW Krško bis 2023 oder 2043 in Betrieb bleibt. Ein Teil der LILW aus der Stilllegung wird bei der Stilllegung des Trockenlagers (2103-2106) anfallen. Diese LILW werden 392 t bzw. 407 m³ betragen. Bei der Stilllegung wird auch eine geringere Menge an hochradioaktiven Abfällen entstehen. (UVP-BERICHT 2022, S. 281)

Weiters befindet sich ein Dekontaminationsgebäude am Standort, in dem ausgetauschte kontaminierte Reaktorteile gelagert werden (Verdampfer, Reaktorbehälterdeckel). Es wird damit gerechnet, diese Teile noch vor Beginn der Stilllegung freigeben oder verwerten zu können. (UVP-BERICHT 2022, S. 280)

Die radioaktiven Abfälle werden im Waste Manipulation Building (WMB) für die Konditionierung und Endlagerung vorbereitet. Sie werden dabei auch gleich zwischen Slowenien und Kroatien aufgeteilt, indem sie von der NEK formal auf die slowenische Abfalloganisation ARAO bzw. die kroatische Organisation FOND-NEK übertragen werden. Abfälle, die nicht am Standort konditioniert werden, werden zur Konditionierung ins Ausland geschickt. Die anderen Gebinde

⁷ Gemeinsames Protokoll der 10. Sitzung der Zwischenstaatlichen Kommission zur Überwachung der Umsetzung des Abkommens zwischen der Regierung der Republik Kroatien und der Regierung der Republik Slowenien über die Regelung von Status- und anderen Rechtsverhältnissen im Zusammenhang mit Investitionen in das Kernkraftwerk Krško, seiner Nutzung und Stilllegung (MDU), NEK, 20.7.2015; Ad.2. (zitiert nach UVP-BERICHT 2022, S. 289; siehe auch S. 293)

werden verfüllt und sollen von ARAO und FOND-NEK abgeholt werden. (UVP-BERICHT 2022, S. 281)

Die **LILW** werden in einem **Lager am Standort Krško zwischengelagert**. Ende 2019 waren dort 2.274 m³ LILW eingelagert. Da die Kapazität dieses Lagers nicht ausreicht, wurde 2018 ein weiteres Gebäude in Betrieb genommen, in das Messgeräte und der Superverdichter verlegt wurden, wodurch ausreichend Kapazität im ursprünglichen Lagergebäude bis 2022 geschaffen wurde. Geplant ist der Betriebsbeginn des **LILW-Endlagers Vrbina** 2023. Für dieses Endlager liegt seit 2021 eine Umweltgenehmigung vor. (UVP-BERICHT 2022, S. 447f.)

Die von **Kroatien** übernommenen LILW werden bis 2050 im „**Zentrum für die Entsorgung radioaktiver Abfälle Čerkezovac**“ gelagert werden. Der Standort für das kroatische Endlager für LILW steht noch nicht fest. (UVP-BERICHT 2022, S. 289)

Gemäß dem zwischenstaatlichen Abkommen zwischen Slowenien und Kroatien soll die erste Leerung des LILW-Lagers im KKW Krško in den Jahren 2023 bis 2025 erfolgen. Die weitere Leerung erfolgt gemäß dem Programm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, das alle fünf Jahre überarbeitet wird. Da sich die Vertragsparteien nicht auf eine gemeinsame Lösung geeinigt haben, sind gemäß der Überarbeitung 3 des Programms zur Endlagerung radioaktiver Abfälle 50 % der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle in das Endlager Vrbina/Slowenien und 50 % in ein Zwischenlager sowie später in ein Endlager in der Republik Kroatien zu verbringen. (UVP-BERICHT 2022, S. 288f.)

LILW aus der Stilllegung sollen hingegen in das Tiefenlager für abgebrannte Brennelemente eingelagert werden. (UVP-BERICHT 2022, S. 289)

2.2 Diskussion und Bewertung

Abgebrannte Brennelemente

Aus den Angaben über die Mengen an abgebrannten Brennelementen bis 2043 geht klar hervor, dass die derzeit vorhandenen Plätze in den Abklingbecken nicht ausreichen werden (2.281 abgebrannte Brennelemente versus 1.694 Plätze). Daher wird derzeit ein **Zwischenlager (Trockenlager)** am Standort errichtet. In den für dieses Trockenlager durchgeführten SUP⁸- und UVP-Verfahren wurde der Betriebsbeginn des Trockenlagers zunächst mit 2020, dann mit 2022 festgelegt. Nun wird 2023 genannt. Im Zuge der bilateralen Konsultationen zwischen der slowenischen und der österreichischen Seite im Rahmen des UVP-Verfahrens zum Trockenlager wurde festgehalten, dass die Kapazität der Lagerbecken 2023/2024 überschritten sein wird. (UMWELTBUNDESAMT 2020b) Eine Nachfrage im Zuge dieser Konsultationen hatte ergeben, dass es im Falle einer Verzögerung bei der Inbetriebnahme des Trockenlagers zu einem Ausbau

⁸ SUP = Strategische Umweltprüfung

der Kompaktlagerung in den Lagerbecken kommen würde (diese Vorbereitungen für die Kompaktlagerung waren nach dem Unfall von Fukushima ausgesetzt worden). Wir empfehlen, dass aus sicherheitstechnischen Gründen die zeitgerechte Fertigstellung des Zwischenlagers gegenüber der Kompaktlagerung zu bevorzugen ist.

Die angekündigte Umlagerung der abgebrannten Brennelemente aus den Lagerbecken in das Trockenlager sollte aus Sicherheitsgründen so zügig wie möglich erfolgen, wie bereits im Rahmen der bilateralen Konsultationen zur UVP des Trockenlagers besprochen wurde. (UMWELTBUNDESAMT 2020b)

Da die Planung des **Tiefenendlagers** noch nicht begonnen hat, ist die Frage relevant, was für den Fall geplant ist, dass zum Zeitpunkt der Stilllegung des Trockenlagers kein Endlager für abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle zur Verfügung steht. Im Zuge der UVP zum Trockenlager wurde geklärt, dass in einem solchen Fall die Trockenlagerung im neuen Trockenlager fortgesetzt werden kann. Die **Langzeit-Zwischenlagerung** als Ersatz-Option der Entsorgung für den Fall, dass ein entsprechendes Endlager für abgebrannte Brennelemente nicht zum gewünschten Zeitpunkt verfügbar ist, wirft jedoch sicherheitsrelevante Bedenken auf. Es ist keineswegs gesichert, dass die Materialien des Behälters und insbesondere die Dichtungen für einen Zeitraum von 100 Jahren die Integrität des Behälters gewährleisten, geschweige denn über noch längere Zeiträume. (UMWELTBUNDESAMT 2020b)

Im Zuge der UVP zum Trockenlager wurde auch die Möglichkeit eines multinationalen/regionalen Endlagers angesprochen, und dass Slowenien Mitglied der ERDO Working Group sei. Auf der Website des 2021 gegründeten ERDO-Vereins (Nachfolger der ERDO Working Group) sind sowohl die ARAO als auch die FOND-NEK als Mitglieder aufgelistet. Diese **multinationale Option** wird in den UVP-Unterlagen nicht erwähnt.

Das zukünftige Tiefenlager soll die schwedische **KBS-V3-Methode** verwenden. Über die Korrosion von Kupfer unter den Bedingungen eines geologischen Tiefenlagers wird eine umfassende Debatte geführt, und es bestehen nach wie vor berechnete Zweifel, ob die Kupferkanister so lange wie geplant intakt bleiben. Diese Methode beinhaltet die Verwendung von Kupferbehältern und die Annahme, dass Kupfer nicht nennenswert korrodiert, wenn es mit Ton bedeckt ist. Es gibt jedoch unabhängige wissenschaftliche Studien, die zeigen, dass die Kupferkanister viel schneller korrodieren können als angenommen. Dies wurde auch vom schwedischen Umweltgericht in seinem Gutachten von 2018 anerkannt⁹. Jüngste Forschungsergebnisse liefern weitere Beweise für die Kupferkorrosion. Es sollte erklärt werden, wie Slowenien das Korrosionsproblem lösen will.

Radioaktive Abfälle

Das Zwischenlager für LILW am Standort Krško ist nahe an der Kapazitätsgrenze. Es fehlen zudem Informationen, wann das kroatische Zwischenlager

⁹ <https://www.mkg.se/en/translation-into-english-of-the-swedish-environmental-courts-opinion-on-the-final-repository-for>

Čerkezovac betriebsbereit sein wird. Es sollten jedenfalls Alternativen vorgelegt werden, wo der LILW gelagert werden kann, falls die benötigten Zwischenlager- und Endlagerkapazitäten nicht rechtzeitig zur Verfügung stehen.

2.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Abgebrannte Brennelemente aus der Laufzeitverlängerung klingen zunächst im Lagerbecken ab, danach sollen sie in das Zwischenlager (Trockenlager) gebracht werden, das derzeit am Standort Krško errichtet wird. Der geplante Betriebsbeginn wurde mehrfach verschoben und wird nun für 2023 erwartet. Falls es zu einer weiteren Verschiebung kommt, wird die Kompaktlagerung im Lagerbecken ausgebaut – dies sollte jedoch aus sicherheitstechnischen Gründen vermieden werden.

Slowenien und Kroatien haben sich geeinigt, ein gemeinsames Tiefenlager für die abgebrannten Brennelemente zu errichten. Laut zweier Szenarien ist der Betriebsbeginn entweder für 2065 oder für 2093 angedacht. Laut UVP-Unterlagen wird auch eine Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente nicht ausgeschlossen. Sowohl die slowenische (ARAO) als auch die kroatische Abfallorganisation (FOND-NEK) sind Mitglied im Verein ERDO, der ein multinationales Endlager anstrebt. Über den Fortschritt dieser Aktivitäten wurde in den UVP-Unterlagen jedoch nicht berichtet.

Neben den abgebrannten Brennelementen fallen auch schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LILW) aus Betrieb und zukünftiger Stilllegung des KKW an. Die Zwischenlagerkapazitäten für den LILW sind fast erschöpft, die UVP-Unterlagen haben weder dargelegt, wann das LILW-Zwischenlager in Kroatien in Betrieb geht, noch, wann das slowenische LILW-Endlager in Vrbinja betriebsbereit sein wird.

2.3.1 Fragen

- **F1:** Wann wird das Trockenlager für die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente betriebsbereit sein?
- **F2:** Ist es geplant, die KBS-3 Methode trotz der problematischen Erkenntnisse zur Kupferkorrosion zu nutzen? Wie soll mit dem Problem der Kupferkorrosion umgegangen werden?
- **F3:** Ist Slowenien an einem regionalen/multinationalen Endlager interessiert? Wenn ja, für welche Arten von radioaktiven Abfällen? Welche Aktivitäten werden diesbezüglich gesetzt?

- **F4:** Wann erfolgt eine Festlegung für oder gegen die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente?
- **F5:** An welche ausländischen Anbieter werden LILW zur Konditionierung verbracht? Führen Transportrouten durch Österreich?
- **F6:** Wie ist der Status der Genehmigung und Errichtung des LILW Endlagers Vrbina?
- **F7:** Wann wird der Betrieb des LILW Endlagers Vrbina aufgenommen?
- **F8:** Wie wird der LILW zwischengelagert, falls das Endlager Vrbina den Betrieb in 2023 noch nicht aufnehmen kann?
- **F9:** Wie ist der Status des kroatischen „Zentrums für die Entsorgung radioaktiver Abfälle Čerkezovac“?
- **F10:** Sind Alternativen vorgesehen, falls Kroatien nicht wie vorgesehen die Hälfte der radioaktiven Abfälle übernehmen kann, z.B. falls die dortigen Lagerstätten nicht rechtzeitig fertiggestellt werden können?

2.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE2:** Um das vom KKW Standort Krško ausgehende Risiko zu mindern, sollten die abgebrannten Brennelemente, die ausreichend abgeklungen sind, zügig in das Trockenlager umgeladen werden.

3 LANGZEITBETRIEB DES REAKTORTYPS

3.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Das KKW Krško ist ausgestattet mit einem Leichtwasserreaktor (Druckwasserreaktor) von Westinghouse mit einer Wärmeleistung von 1994 MW. Die Nettoleistung beträgt 696 MW. Die Stromerzeugung erfolgt im Grundlastbereich. Im Jahr 1983 nahm das KKW Krško den kommerziellen Betrieb auf. (UVP-BERICHT 2022, S. 54)

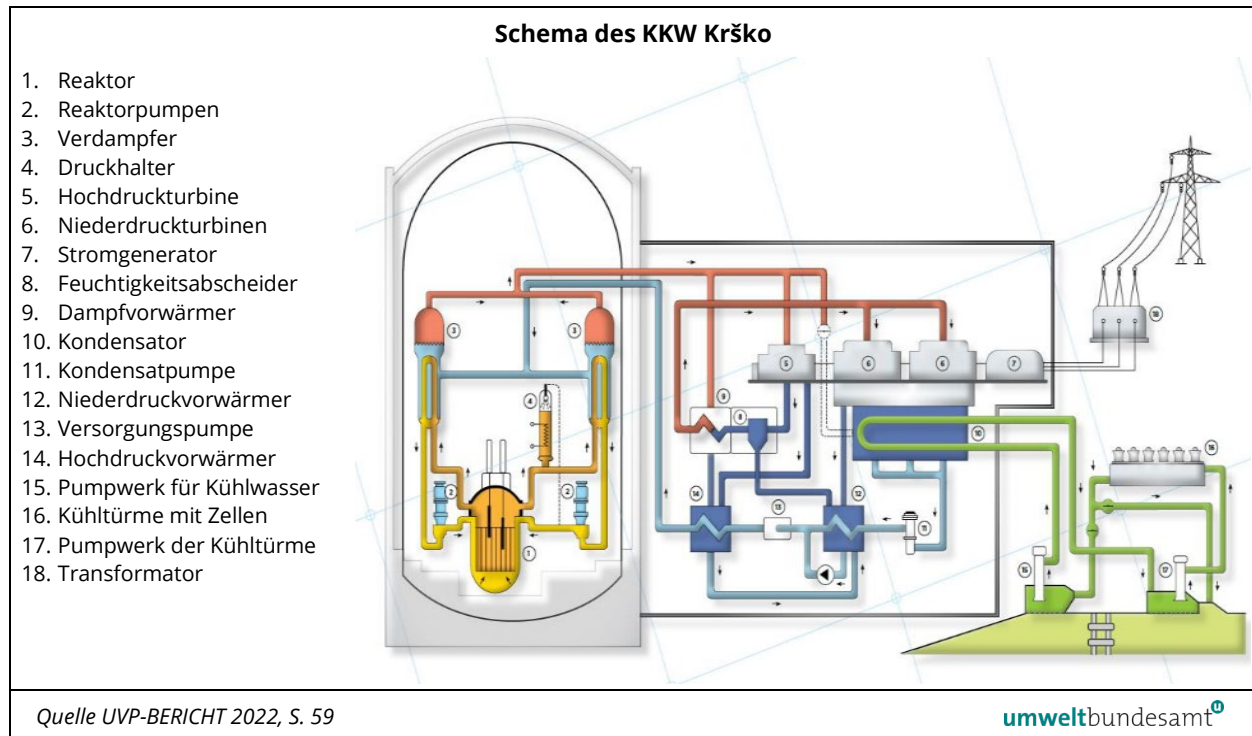
Die NEK führt ihren Betrieb aufgrund der Betriebsgenehmigung, die unmittelbar mit dem Sicherheitsbericht des KKW Krško (USAR – Updated Safety Analyses Report) verbunden ist und alle Bedingungen und Einschränkungen für den sicheren Betrieb des Kraftwerks enthält. Das KKW Krško besitzt eine gültige, zeitlich unbegrenzte Betriebsgenehmigung. Technisch ist sein Betrieb bis zum Jahr 2043 möglich, sofern gemäß den geltenden Rechtsvorschriften alle 10 Jahre eine Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) durchgeführt wird. (UVP-BERICHT 2022, S. 128)

Zum Zeitpunkt des Baus war eine Mindestbetriebsdauer von 40 Jahren vorgesehen, jedoch wurden in diesem Zeitraum zahlreiche sicherheitstechnische und andere Nachrüstungen vorgenommen sowie zahlreiche Analysen durchgeführt, aus denen folgt, dass aus Sicht der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit eine Verlängerung der Betriebsdauer eine sinnvolle Lösung darstellt, die auch an anderenorts auf der Welt üblich ist. (UVP-BERICHT 2022, S. 38)

Die Anlage

Der Westinghouse-Druckwasserreaktor mit zwei Kühlkreisen besteht aus einem Reaktorbehälter mit Innenausstattung und Deckel, zwei Dampferzeuger, zwei Reaktorkühlmittelpumpen, einem Druckhalter, Rohrleitungen, Ventilen und Reaktorhilfssystemen. Der Reaktorkern enthält 121 Brennelementen. Der Brennstoffzyklus dauert im KKW Krško 18 Monate. (UVP-BERICHT 2022, S. 60)

Abbildung 1: Schema des KKW Krško (UVP-BERICHT 2022, S. 59)



Quelle UVP-BERICHT 2022, S. 59

Da das Funktionieren der Sicherheitssysteme bei Fehlern und Ausfällen oder bei einem sehr unwahrscheinlichen Störfall im Kernkraftwerk von größter Bedeutung ist, sind alle Sicherheitssysteme redundant ausgelegt (die Anlage verfügt über zwei Sicherheitssystemlinien). Zur Erfüllung der Sicherheitsbedingungen und Aufrechterhaltung der Sicherheitsbarrieren ist es immer ausreichend, wenn nur eine Sicherheitssystemlinie funktioniert. (UVP-BERICHT 2022, S. 67)

Alterungsmanagementprogramm (AMP)

Das Alterungsmanagementprogramm (AMP) wurde als Teil der ersten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSR1) und mit Maßnahmen, die sich aus dem PSR1-Abschlussbericht ergaben, erstellt.

Das AMP umfasst alle passiven und „langlebigen“ Systeme, Strukturen und Komponenten. Das von der IAEO konzipierte europäische AMP (International Generic Aging Lessons Learned (IGALL) for Nuclear Power Plants) sieht vor, dass sich das AMP auch auf aktive Komponenten erstreckt. Das KKW Krško übt die Kontrolle über die aktiven Komponenten gemäß der Überwachung der Wartungseffizienz (NUV) – Maintenance Rule (10 CFR 50.65) und dem Environmental Qualification Program (10 CFR 50.49) aus.

Ein wichtiger Bestandteil des AMP waren auch zeitlich begrenzte Sicherheitsanalysen (TLAA-Analysen), die ergaben, dass die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško keine Änderung der bestehenden Situation darstellt, die neue Gefahren und Belastungen für die Umwelt mit sich bringen würde. Das AMP wurde durch eine Reihe von Missionen überprüft.

Alle Missionen (einschließlich der OSART-Mission 2017) wie auch die Prüfung der Aufsichtsbehörde URSJV (SNSA) haben gezeigt, dass das AMP den internationalen Empfehlungen und der Regelung zur Gewährleistung der Sicherheit entspricht.

Darüber hinaus wurde das AMP des KKW Krško im Rahmen der IAEA Pre-SALTO Mission (Safety Aspects of Long Term Operation) im Jahr 2021 überprüft und bewertet. Die Pre-SALTO Mission führte eine gründliche Überprüfung der AMPs und ihrer Umsetzung auf der Grundlage der IAEA-Standards und der besten internationalen Praktiken durch. Das AMP wird im Rahmen der dritten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSR3) gemäß dem vom URSJV mit Bescheid Nr. 3570-7/2020/22 vom 23.12.2020 genehmigten Programm umfassend und systematisch evaluiert. (UVP-BERICHT 2022, S. 87/88)

Brandschutz

Im KKW Krško wird sowohl passiver als auch aktiver Brandschutz ausgeübt. Passiver Brandschutz wird durch bauliche und andere Maßnahmen gewährleistet, die die Wahrscheinlichkeit einer Brandentstehung verringern und die Brandausbreitung zwischen den Brandabschnitten verhindern. Zu den passiven Brandschutzelementen gehören Brandwände, abgedichtete Wanddurchführungen, Brandschutztüren und automatische Brandschutzklappen.

Aktive Brandschutzmaßnahmen dienen der Brandlöschung. Die im KKW Krško installierten Systeme für aktiven Brandschutz umfassen Folgendes: Erkennungs- und Meldesystem, Sicherheitsbeleuchtung, Löschwasserversorgungssystem, automatische Feuerlöschsysteme (Sprinkleranlagen), Rauchabzugs- und Wärmeabfuhrsysteme. (UVP-BERICHT 2022, S. 73/74)

Periodische Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ)

Gemäß Artikel 112 des Gesetzes über den Schutz vor ionisierender Strahlung und nukleare Sicherheit ist der Betreiber einer Strahlungseinrichtung oder kerntechnischen Anlage verpflichtet, „eine regelmäßige, umfassende und systematische Bewertung und Überprüfung der Strahlungs- oder nuklearen Sicherheit der Anlage durch Periodische Sicherheitsüberprüfungen sicherzustellen“. Eine erfolgreich durchgeführte PSÜ ist eine Voraussetzung für die Verlängerung des Betriebs um zehn Jahre.

Das KKW Krško hat gemäß den Anforderungen zwei PSÜ durchgeführt, die erste im Jahr 2003 und die zweite im Jahr 2013. Eine dritte PSÜ ist derzeit im Gange und wird im Jahr 2023 abgeschlossen. (UVP-BERICHT 2022, S. 85)

Internationale Peer Reviews

Das KKW Krško wird regelmäßig von einer Reihe internationaler Missionen bewertet. In den letzten 10 Jahren wurden im KKW Krško folgende Missionen durchgeführt (UVP-BERICHT 2022, S. 379):

- EU-Stresstests im Jahr 2012,

- OSART - Operational Safety Review Team der IAEO im Jahr 2017,
- ENSREG Topical Peer Review (TPR) on Ageing Management im Jahr 2018,
- WANO Peer Review in den Jahren 2014 und 2018.

EU-Stresstests

Im Rahmen der EU-Stresstests, der nach dem Unfall in Fukushima im März 2011 durchgeführt wurden, war das KKW Krško das einzige Kernkraftwerk in Europa, das keine Empfehlungen erhielt – es steht damit an der Spitze der europäischen Kraftwerke. Der Bericht der EU-Kommission zum Stresstest enthält auch eine Tabelle mit Empfehlungen für Sicherheitsverbesserungen in den jeweiligen Kernkraftwerken. Nach dieser Tabelle ist das KKW Krško das einzige Kernkraftwerk, das keine einzige Empfehlung erhalten hat.

Das KKW Krško hat eine gründliche Analyse der auslegungsüberschreitenden Störfälle durchgeführt und ein Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung (Safety Upgrade Program) ausgearbeitet. Das Programm umfasst eine Reihe von Verbesserungen und zusätzlichen Systemen für das Management von auslegungsüberschreitenden Störfällen. Nach Umsetzung des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung wird das KKW Krško hinsichtlich seiner Sicherheit mit neueren Typen von Kernkraftwerken, die heute weltweit gebaut werden, vergleichbar sein. (UVP-BERICHT 2022, S. 39/40)

OSART - Operational Safety Review Team

Im Jahr 2017 führte die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) bereits die vierte Mission des Operational Safety Review Teams (OSART) durch. Im KKW Krško gab es solche Missionen bereits in den Jahren 1984, 1993 und 2003.

In dem Bericht hoben die Mitglieder der OSART-Mission hervor, dass das KKW Krško im Anschluss an die im Jahr 2017 durchgeführte OSART-Mission alle Empfehlungen und Vorschläge systematisch analysiert und einen Plan für Abhilfemaßnahmen erstellt hat. Die OSART-Mission kam zu dem Schluss, dass die durchgeführten, wie auch die in Umsetzung befindlichen Maßnahmen den Empfehlungen und Vorschlägen der ursprünglichen OSART-Mission voll entsprechen. Alle Maßnahmen wurden bis Mitte 2019 umgesetzt. (UVP-BERICHT 2022, S. 40)

WANO Peer Review in den Jahren 2014 und 2018

Der Weltverband der Kernkraftwerksbetreiber (WANO) hat 2014 eine umfassende Überprüfung des Betriebs vorgenommen. Das KKW Krško erhielt die höchste Gesamtbewertung für nukleare Sicherheit und Betriebsbereitschaft. Dies war die vierte Überprüfung dieser Art (die vorherigen fanden 1995, 1999 und 2007 statt). In der letzten Überprüfung im Jahr 2018 hoben die Mitglieder der Mission die überdurchschnittlich hohe Umsetzung der Empfehlungen aus internationalen Betriebserfahrungen und die Erfolge im Bereich der Sicherheitskultur hervor, d. h. der Grundsätze, die die Arbeitsweise kerntechnischer Anlagen leiten und die Grundlage für ihren sicheren und stabilen Betrieb bilden. (UVP-BERICHT 2022, S. 40)

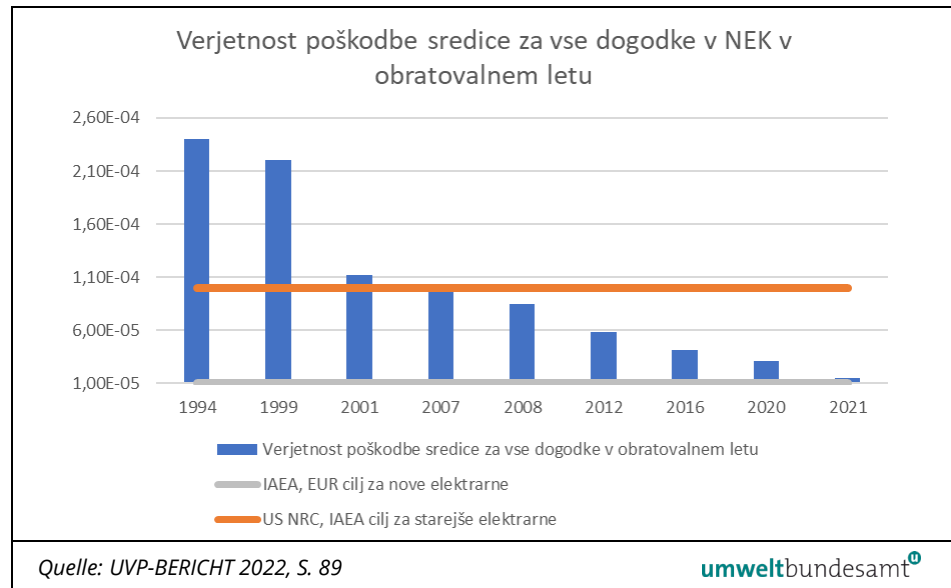
Wesentliche Sicherheitsmerkmale im Jahr 2021

Mit gezielten Sicherheitsverbesserungen in den letzten Jahrzehnten im KKW Krško wird das Sicherheitsniveau ständig verbessert, wie die nächste Abbildung aufzeigt – in ihr ist die Wahrscheinlichkeit von Kernschäden durch alle internen Ereignisse (Anlagenausfälle, Rohrbrüche, Brände usw.) und externen Ereignisse (Erdbeben, Überschwemmungen usw.) dargestellt.

Die Abbildung 2 zeigt die Wahrscheinlichkeit eines Kernschadens je Betriebsjahr im Vergleich zu den Zielwerten gemäß US NRC und IAEO für Kernkraftwerke der 2. Generation, dargestellt durch die orangefarbene Linie, und den Zielwerten gemäß IAEO und EUR für neue Kraftwerke der 3. Generation, graue Linie.

Die Abbildung zeigt, dass in den letzten 20 Jahren die Wahrscheinlichkeit eines Kernschadens deutlich gesunken ist, was auf umfangreiche Investitionen in die sicherheitstechnische Aufrüstung des Kraftwerks zurückzuführen ist. Wesentliche Verbesserungen wurden in Bezug auf das Erdbebenrisiko, den Hochwasserschutz, die Milderung von Brandfolgen, die Sicherstellung zusätzlicher Stromquellen bei Störfällen oder Ausfällen der Stromversorgung aus dem Netz vorgenommen. Beispielsweise gewährleisteten alternative Wärmeabfuhrmöglichkeiten mit neuen DEC-Systemen (ASI-Tank, AAF-Tank und Brunnen) eine langfristige Kühlung des Kraftwerks. Die Risikoreduzierungen in den letzten Jahren und die geplante Risikoreduzierung im Jahr 2021 sind das Ergebnis des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung des KKW Krško. (UVP-BERICHT 2022, S. 89/90)

Abbildung 2:
Darstellung des Sicherheitsniveaus, gemessen an der Wahrscheinlichkeit von Kernschäden je Betriebsjahr (CDF/yr)¹⁰
(UVP-BERICHT 2022, S. 89)



Die wichtigsten Auslegungsänderungen am Primärkreislauf:

- Austausch der Dampferzeuger (2000),
- Einführung eines neuen Systems zur Messung der Primärkreislauftemperatur (2013),
- Modernisierung der Elektromotoren der Reaktorkühlmittelpumpe (2007 und 2010). (UVP-BERICHT 2022, S. 90).

Die wichtigsten Änderungen am Sekundärkreislauf und den elektrischen Systemen:

- Austausch der Niederdruckturbinen (2006),
- Austausch des Stators und des Rotors des Hauptgenerators (2010 und 2012),
- Austausch des Turbinensteuerungs- und -schutzsystems (2012),
- Austausch der Erregermaschine, des Spannungsreglers und des Generatorhaupt Schalters (2016),
- Erneuerung der Schaltanlage und Austausch von 400-Kilovolt-Sammelschienen (2010-2013),
- Einbau und Anschluss des Leistungstransformators (2013). (UVP-BERICHT 2022, S. 90/91)

¹⁰ Verjetnost poškodbe sredice za vse dogodke v NEK v obratovalnem letu= Wahrscheinlichkeit eines Kernschadens für alle Ereignisse im KKW Krško während eines Betriebsjahres
IAEA, EUR cilj za nove elektrarne = IAEA-, EUR-Ziel für neue Kraftwerke
US NRC, IAEA cilj za starejše elektrarne US-NRC-, IAEA-Ziel für ältere Kraftwerke

Die wichtigsten Änderungen am Tertiärkreislauf und an den Subsystemen

- Erweiterung des Kühlturmsystems (2008),
- Umbauten im Zuge des Baus des Wasserkraftwerks Brežice: Um den Grundwasserspiegel auf gleichem Niveau wie vor dem Bau zu halten, wurden drei unterirdische Brunnen gebaut,
- Abriss des bestehenden Pumpwerks der Niederschlagswasserkanalisation und Einbau eines neuen Pumpwerks am selben Standort. (UVP-BERICHT 2022, S. 92/93)

Sonstige Auslegungsänderungen zur Verbesserung der Sicherheit

- Verbesserung der Sicherheits-Wechselstromversorgung - DG3 (2006 und 2013). (UVP-BERICHT 2022, S. 94)

Zur Sicherstellung einer alternativen Versorgungsquelle für den Fall eines vollständigen Ausfalls der Wechselstromversorgung (Station Blackout - SBO) wurde ein zusätzlicher Dieselgenerator (DG3) mit einer Leistung von 4 Megawatt eingebaut, der über eine neue 6,3-kV-Sammelschiene (MD3) mit den Sammelschienen MD1 oder MD2 verbunden ist. Bei einem Ausfall der externen Stromversorgungsquellen verfügt das KKW Krško so über drei unabhängige Dieselgeneratoren, die bereits in 10 Sekunden Energie liefern können. Die Leistung eines jeden ist ausreichend für die Stromversorgung der notwendigen Anlagen, die ein sicheres Herunterfahren des Kraftwerks gewährleisten. (Auch sind im KKW Krško mobile Generatoren vorhanden, die eingesetzt werden können, wenn wegen Beschädigung des internen Stromnetzes eine Notstromversorgung erforderlich wird.) (UVP-BERICHT 2022, S. 61)

Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung

Das Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung des KKW Krško ist nicht Bestandteil der Umweltverträglichkeitsprüfung. Die sicherheitstechnische Aufrüstung wäre unabhängig von der Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško auf der Grundlage des nationalen Post-Fukushima-Aktionsplans im Anschluss an die EU-Stresstests durchgeführt worden.

Das KKW Krško hat stets präventiv gehandelt und auf wichtige Ereignisse in der Nuklearindustrie reagiert, um eine angemessene nukleare Sicherheit zu gewährleisten. Im KKW Krško waren bereits vor den Ereignissen in Japan bestimmte Modernisierungen im Gange, wie z. B. die Installation eines dritten Dieselgenerators zur Stromversorgung der Sicherheitssysteme. Auch nach dem Unfall in Fukushima reagierte das KKW Krško schnell und wirksam. Das Programm, das vom KKW Krško als Reaktion auf den Bescheid des URSJV vorgeschlagen wurde, entspricht den Anforderungen der WENRA und ist mit der Praxis der Nuklearindustrie in den anderen europäischen Ländern vergleichbar.

Mit der Umsetzung des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung ist das KKW Krško auf schwere Unfälle vorbereitet. Das Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung wurde vom URSJV geprüft und im Februar 2012 genehmigt. (UVP-BERICHT 2022, S. 94)

Phase 1

- Einbau von passiven autokatalytischen Rekombinatoren (PARs) zur Wasserstoffregulierung im Sicherheitsbehälter (2013)
- Ausbau des Systems zur gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters (2013). (UVP-BERICHT 2022, S. 94)

Phase 2

- Bau eines Hilfskontrollraums (2013),
- Aufrüstung des Technischen Supportzentrums und des Operativen Supportzentrums (2021),

Die Kapazität des bestehenden unterirdischen Schutzraums wurde erhöht, wobei das neue Gebäude des Operativen Supportzentrums (OPC) die Voraussetzungen für eine langfristige Arbeit und Unterbringung eines Teams von bis zu 200 Personen auch bei extremen Erdbeben, Überschwemmungen und anderen unwahrscheinlichen außergewöhnlichen Ereignissen gewährleistet.

- Alternative Kühlung des Beckens für abgebrannte Brennelemente (2020)
Ein neues Sprühsystem (fixes Sprühwasserleitungssystem zur Besprühung des Beckens für abgebrannte Brennelemente), ein Beckenkühlsystem mit mobilem Wärmetauscher und eine Klappe zur Druckentlastung des Brennstoffhandhabungsgebäudes (FHB) wurde implementiert.
- Einbau von Bypass-Entlastungs-Motorventilen des Primärsystems (2018)
Durch die Auslegungsänderung wurde ein Durchflussweg geschaffen, der eine kontrollierte Entlastung des Primärsystems unter erweiterten Auslegungsbedingungen ermöglicht, wenn die vorhandenen Entlastungsventile nicht verfügbar sind.
- Alternative Kühlung des Reaktorkühlsystems und des Sicherheitsbehälters (2021)

Die primäre Funktion des neuen Systems besteht darin, unter erweiterten Auslegungsbedingungen Restwärme aus dem Reaktorkühlsystem abzuführen, indem das Kühlmittel aus dem heißen Strang des Reaktorkühlsystems entnommen, durch den Wärmetauscher gekühlt und in den kalten Strang des Reaktorkühlsystems zurückgeführt wird, und Restwärme aus dem Reaktorkühlsystem abzuführen, indem Wasser aus dem Sicherheitsbehältersumpf in das Reaktorkühlsystem zurückgeführt wird. Zusätzlich ist es möglich, den Sicherheitsbehälter durch Besprühen zu kühlen. (UVP-BERICHT 2022, S. 95/96)

Phase 3

- Bau eines zusätzlich befestigten Gebäudes (BB2) mit zusätzlichen Wassertanks für die Ableitung der Restwärme des Reaktors (2021)

Das neue Gebäude 2 (BB2 - Bunkered Building 2) mit Nebensystemen umfasst auch die Herstellung von Verbindungen zwischen verschiedenen neuen Systemen innerhalb des neuen Gebäudes und den bestehenden

Systemen, Strukturen und Komponenten des KKW Krško. Das BB2-Gebäude ist für die Unterbringung des alternativen Sicherheitseinspeisesystems (ASI), des alternativen Hilfsspeisewassersystems (AAF) und der Sicherheitsstromversorgung des BB2-Gebäudes ausgelegt. Mit dem Bau des BB2 und der Installation des ASI und des AAF wird eine alternative Wärmesenke (AUHS) bereitgestellt.

- Alternatives Hilfsspeisewassersystem (AAF) (2021)

Das Upgrade umfasst den Einbau einer zusätzlichen Pumpe zum Befüllen der Dampferzeuger inklusive aller Rohrleitungen und Ventile, die den Anschluss des neuen Systems an das bestehende Dampferzeuger-Hilfsspeisewassersystem ermöglichen. Unter erweiterten Auslegungsbedingungen bei einem Ausfall des bestehenden Dampferzeuger-Hilfsspeisewassersystems wird das neue alternative Dampferzeuger-Einspeisesystem eine alternative Kühlwasserquelle für einen oder beide Dampferzeuger bereitstellen und dadurch die Wärmeabfuhr aus dem Primärkreislauf sowie die Abkühlung des Reaktors ermöglichen.

- Alternative Sicherheitseinspeisesystem (ASI) (2021)

Die Nachrüstung umfasst den Einbau eines alternativen Systems für die Sicherheitseinspeisung von boriertem Wasser in den Primärkreislauf des Reaktorkühlmittels. Das im neuen befestigten Sicherheitsgebäude BB2 installierte System besteht aus einem 1.600 m³ fassenden Behälter für boriertes Wasser, einer Hochdruckpumpe, einem Hauptmotorventil sowie einer zugehörigen Rohrleitung, die mit dem bestehenden System des KKW Krško verbunden ist.

- Einbau von Hochtemperaturdichtungen in die Reaktorkühlmittelpumpe (2021)

Die Hochtemperaturdichtungen (HTS) sollen die Reaktion des Kraftwerks auf einen möglichen Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung verbessern, wenn es zu einer Unterbrechung der Zufuhr von Kühlwasser zu den Dichtungen der Reaktorkühlmittelpumpen und folglich zu einer Leckage des Primärkühlmittels käme. Durch den Einbau der HTS wird in einem solchen Fall der Verlust des Primärkältemittels verhindert. (UVP-BERICHT 2022, S. 96/97)

Planungsgrundlagen für den langfristigen Betrieb des KKW Krško

Laut Kap. 2.16 des UVP-Berichts bestätigte das Amt der Republik Slowenien für nukleare Sicherheit mit Bescheid Nr. 3570-6/2009/32 vom 20.6.2012 aufgrund einer Reihe von Studien und Analysen, dass der alterungsbedingte Zustand der Anlagen des KKW Krško angemessen ist und dass dabei alle Sicherheitsreserven und Betriebsfunktionen gewährleistet sind. Die Fähigkeit zur Verlängerung des Betriebs beruht vor allem auf den folgenden Tatsachen (UVP-BERICHT 2022, S. 127):

1. Das Kraftwerk verfügt über eingebaute Materialien und Einrichtungen, die über ausreichende Sicherheitsreserven verfügen.

2. Alle Einrichtungen, die die Betriebszuverlässigkeit beeinträchtigen, wurden ausgetauscht.
3. Das Kraftwerk arbeitet stabil.
4. Es wurde eine sicherheitstechnische Aufrüstung gemäß den Anforderungen des Gesetzes über den Schutz vor ionisierender Strahlung und nukleare Sicherheit (ZVISJV-1) und den Erfahrungen aus allen bisherigen schweren Nuklearunfällen durchgeführt, was sich im ENSREG Slovenian National Post Fukushima Action Plan widerspiegelt.
5. Das KKW Krško verfügt über ein umfassendes Alterungsmanagementprogramm (AMP), mit dem die Alterung aller passiven Strukturen und Komponenten überwacht wird. Auch die Alterung der aktiven Komponenten wird durch ein effizientes Programm zur vorbeugenden Wartung überwacht.

Mit diesen Maßnahmen sind bereits alle notwendigen technischen Voraussetzungen für die Verlängerung der Betriebsdauer geschaffen.

3.2 Diskussion und Bewertung

Physische Alterung

Wie in jeder industriellen Anlage sinkt auch in einem Kernkraftwerk während der Betriebszeit die Qualität der eingesetzten Werkstoffe insbesondere durch physische Alterung. Bestrahlung durch ionisierende Strahlen, thermische und mechanische Beanspruchungen sowie korrosive, abrasive und erosive Prozesse bewirken die Alterung der Komponenten. Die Folgen der Alterungsprozesse sind das Auftreten von Versprödung, Verfestigung, Kriechen, Wanddicken-schwächungen, Rissbildung und -wachstum, Ermüdung sowie Veränderungen elektrischer und anderer physikalischer Eigenschaften.

Die mit diesen Phänomenen verbundenen Schadensmechanismen sind als Einzeleffekte weitgehend bekannt – ihre tatsächliche Langzeitwirkung und vor allem ihr Zusammenwirken bei Belastungskollektiven aber oftmals nicht. Ebenso ist zu erwarten, dass bei längerer Einsatzzeit zusätzliche, bisher unbekannte, Schadensmechanismen auftreten.

Bei aktiven Bauteilen wie z.B. Pumpen und Ventilen, deren Funktion von Schalt-handlungen und Fremdenergiezufuhr abhängig ist, macht sich im Laufe der Betriebszeit eine Reduzierung der Funktionstüchtigkeit im Allgemeinen deutlich bemerkbar. Ein Austausch kann oft im Rahmen regulärer Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Die Alterung passiver Komponenten ist während der Nutzung schwer festzustellen. Mit wenigen Ausnahmen (z. B. großflächige Korrosionserscheinungen oder Durchrostung) vollziehen sich die Alterungsprozesse von Metallen auf der Ebene der mikroskopischen Gitterstruktur, und sind z. B. nicht direkt von außen sichtbar.

Fertigungsfehler werden nicht zu den alterungsbedingten Fehlern gezählt. Allerdings wirken sich diese manchmal erst nach einer bestimmten Betriebszeit aus und wären damit auch als alterungsbedingte Fehler zu bezeichnen. Mit steigendem Wissen und verbesserten Prüfmethoden werden noch heute bei alten KKW fertigungsbedingte Fehler aufgefunden, wie z. B. die Befunde in den Reaktordruckbehältern Doel 3 und Tihange 2 zeigten.

Die Alterung bzw. die Qualitätsminderung von Werkstoffen führt mit zunehmender Betriebsdauer einer Anlage zu einer abnehmenden Funktionsfähigkeit von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSCs). Zur Aufrechterhaltung der Anlagensicherheit ist es sehr wichtig, Alterungseffekte von SSC zu erkennen, und Korrekturmaßnahmen zu ergreifen, bevor es zu einem Verlust der Integrität oder Funktionsfähigkeit kommt.

Bei den ursprünglichen Betriebsgenehmigungen war von einer Betriebszeit von 40 Jahren ausgegangen worden. Für diese Laufzeit wurden auch Lastwechselzahlen und der Neutronenfluss zur Berechnung der Sicherheitsreserven zu Grunde gelegt: also die Zahl der Lastwechsel von Druck und Temperatur und die Menge an Neutronenbestrahlung, die die unter Beanspruchung stehenden Materialien aushalten müssen. Die Sicherheitsreserven haben sich mit dem Alter verringert. (INRAG 2021)

Ein Teil dieser auslegungsgemäß bedingten Margen, beispielsweise die kumulierte Ermüdung nicht austauschbarer Komponenten (Reaktordruckbehälter und Containment), kann nicht wiederhergestellt werden. Ein weiterer Teil der Margen, welcher die Alterung verschiedener Komponenten (Kabel, Leitungen, usw.) betrifft, wäre zwar durch Austausch der Komponenten kompensierbar – in Wirklichkeit können aber niemals alle ersetzt werden. Aufgrund der Alterung und trotz Prüfprogrammen erhöht sich das Risiko, dass Diskrepanzen zwischen dem tatsächlichen und dem angenommenen Materialzustand von Anlagenteilen nicht aufgedeckt werden. Das Risiko nicht vorhersehbarer Ausfälle, die bei einem Unfall zur Erschwerung der Situation beitragen können, nimmt daher zu (MARIGNAC 2016).

Das KKW Krško ist bereits seit fast 40 Jahren in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte ein großes Sicherheitsproblem für diese Anlagen darstellen könnten.

Alterungsmanagement

Ein umfassendes Alterungsmanagement, welches u.a. Betriebsbeobachtungen, Begehungen, Auswertung von Störungsmeldungen, Ursachenklärung von Ereignissen, Intensivierung von (wiederkehrenden) Prüfungen umfasst, hätte das Potenzial, alterungsbedingten Fehlern zumindest bis zu einem gewissen Grad entgegenzuwirken.¹¹

¹¹ In WENRA (2014) wird Alterungsmanagement definiert als Auslegungs-, Technik-, Betriebs- und Wartungsmaßnahmen, die ergriffen werden, um Alterung von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSCs) zu verhindern oder innerhalb von akzeptablen Grenzen zu halten.

Aus sicherheitstechnischen Überlegungen muss der Schwerpunkt des Alterungsmanagements auf der Vorbeugung liegen. So sollten Prüfungen häufiger und in größerem Umfang durchgeführt werden. Mögliche Ansätze zur Verbesserung sind eine Beschleunigung der Untersuchungen nach sicherheitsrelevanten Ereignissen, eine gezielte Ausweitung der wiederkehrenden Prüfungen (Vergrößerung der Prüfumfänge, Verkürzung der Prüfintervalle), oder eine Verbesserung der Überprüfung im Hinblick auf Qualität und Einhaltung von Spezifikationen bei Ersatzteilen.

In vielen Fällen erlauben zerstörungsfreie Prüfungen, die Überwachungen von Rissentwicklung, Oberflächenveränderungen und Waddickenschwächung. Veränderungen von mechanischen Eigenschaften können jedoch häufig nicht durch zerstörungsfreie Prüfungen erkannt werden. Somit ist es schwierig, eine zuverlässige, konservative Bewertung des tatsächlichen Zustands von Materialien zu bekommen. Außerdem können wegen der beschränkten Zugänglichkeit von Komponenten und/oder hoher Strahlungswerte in Altanlagen nicht alle Komponenten ausreichend geprüft werden. Heute wird oft eine umfangreichere Prüfbarkeit gefordert, die in alten Anlagen wegen fehlender Zugänglichkeit nicht möglich ist. Deshalb ist es oft notwendig, sich allein auf Modellrechnungen zu verlassen, um die Belastungen und ihre Auswirkungen auf die Bauteile zu bestimmen.

Aufgrund von Alterungsproblemen ist der Austausch von ersetzbaren Komponenten bzw. Bauteilen in KKW notwendig. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Komponenten und Bauteile von Systemen bzw. Baugruppen in KKW in der Regel bestimmte Spezifikationen und Anforderungen erfüllen müssen. Auch an die Montage werden hohe Anforderungen gestellt. Der Austausch von Komponenten eröffnet somit neue Fehlerquellen: Es kann, wegen bestehender Probleme auf der Lieferseite, zum Einsatz von nicht spezifikationsgerechten Komponenten kommen. Dadurch kann u. U. nicht mehr sichergestellt werden, dass die Sicherheitsanforderungen an die entsprechenden Komponenten bzw. Bauteile noch vollständig erfüllt sind. Betriebserfahrungen zeigen, dass nach dem Ersatz von alten Komponenten (neue) Ausfälle wegen fehlerhafter Montage, dem Einsatz von nicht spezifikationsgerechten Komponenten, oder vergessener Teile auftreten. Es ist nicht selbstverständlich, dass alle Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) nach einem Modernisierungsprogramm fehlerfrei und voll funktionsfähig sind. (INRAG 2021)

Alterungsmanagement wird in den WENRA-Referenzlevel (RL) I behandelt. Im Zusammenhang zur Alterung sind auch die RL J (Auswertung der Ereignisse und Betriebserfahrungen) und K (Wartung, Kontrolle, Betriebskontrollen) relevant. Jedoch wurden bei der Überarbeitung der WENRA RLs von 2014 nach dem Fukushima Unfall keine oder sehr geringe Änderungen an diesen RL vorgenommen. Zudem sind die WENRA-RL häufig als minimal Konsens definiert. Insgesamt ist die Umsetzung dieser WENRA RL nicht ausreichend, um gefährliche alterungsbedingte Auswirkungen zu vermeiden. Die WENRA RL sollten aber zumindest vollständig umgesetzt werden. (siehe unten)

Die überarbeitete Version der WENRA RL 2020 fordert, dass der Genehmigungsinhaber geeignete organisatorische und funktionelle Vorkehrungen zu treffen

hat, nicht nur um die physische Alterung, sondern auch die technologische Veralterung von SSC während der gesamten Lebensdauer der Anlage vorausschauend zu steuern. Die technologische Veralterung bezieht sich auf die fehlende Verfügbarkeit von Anlagenkomponenten aufgrund eines Mangels an Ersatzteilen und/oder technischer Unterstützung (z.B. durch einen Mangel an Zulieferern oder fehlender industrieller Kapazitäten). (WENRA 2021)

Auf internationaler Ebene hat die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) einen Sicherheitsleitfaden zum Alterungsmanagement erarbeitet (IAEA 2009) sowie einen aktuellen speziellen Sicherheitsleitfaden mit Empfehlungen zum Alterungsmanagement und Langzeitbetrieb herausgegeben (IAEA 2018). Um die Mitgliedstaaten bei der effektiven Bewältigung von negativen Alterungseffekten zu unterstützen, hatte die IAEO zudem das Programm „International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL)“ entwickelt (IAEA 2015b). Die Empfehlungen der IAEO sind jedoch nicht bindend, da diese keine Behörde ist. Das Dokument IGALL der IAEO wird im KKW Krško angewendet, das aktuelle IAEA Dokument für das Alterungsmanagement und die Entwicklung eines Programms zum Langzeitbetrieb bisher aber nicht. (siehe unten)

ENSREG Topical Peer Report (TPR) „Ageing Management“

Im Jahr 2014 verabschiedete der Rat der Europäischen Union die Richtlinie 2014/87/EURATOM zur Änderung der Richtlinie zur nuklearen Sicherheit aus dem Jahr 2009, um die Lehren aus dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi (2011) zu berücksichtigen. In Anerkennung der Bedeutung der Peer Reviews für die kontinuierliche Verbesserung der nuklearen Sicherheit wurde mit der überarbeiteten Richtlinie ein europäisches System der Topical Peer Reviews (TPR) eingeführt. 2017 erfolgte das erste TPR zum Alterungsmanagementprogramm (AMP) von Kernkraftwerken. Es beschränkte sich auf die Überprüfung von fünf Bereichen: 1. AMP allgemein, 2. elektrische Kabel, 3. verdeckte Rohrleitungen, 4. Reaktordruckbehälter, 5. Sicherheitsbehälter aus Beton und Spannbetondruckbehälter.

In der ersten Phase wurde jedes beteiligte Land aufgefordert, einen Länderbericht zu erstellen, in dem die implementierten AMP beschrieben und bewertet werden. Im anschließenden Peer Review Prozess wurden technische Empfehlungen formuliert und veröffentlicht. Anschließend wurden länderspezifische Aktionspläne erstellt. Erst im Jahr 2023 wird die ENSREG über den Stand der Umsetzung der in den Aktionsplänen festgelegten Maßnahmen berichten. Die Peer Reviews werden von nationalen Aufsichtsbehörden und deren Sachverständigenorganisationen durchgeführt, aber ohne Beteiligung unabhängiger Experten. (ENSREG 2018a)

Das Topical Peer Review (TPR) gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM hat im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsniveau in Europa mehrere Abweichungen bzw. Lücken im Alterungsmanagementprogramm für KKW Krško für die betrachteten Bereiche identifiziert (ENSREG 2018b):

- a. Das Peer Review Team kritisierte zum AMP allgemein: Der Umfang der im Rahmen im AMP betrachteten Strukturen, Systeme und Komponenten wird

nicht entsprechend dem neuen IAEA Safety Standard überprüft und ggf. aktualisiert. Weiterhin wurde kritisiert, dass bei längeren Stillstandszeiten die relevanten Alterungsmechanismen nicht identifiziert und geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um beginnende Alterung oder andere Auswirkungen zu kontrollieren.

- b. Auch das Alterungsmanagement des Reaktordruckbehälters wies im Vergleich zu dem von der ENSREG für Europa erwarteten Sicherheitsniveau Defizite auf. Hinsichtlich der zerstörungsfreien Prüfung (NDE) des Reaktordruckbehälters kritisierte das Peer Review Team, dass keine umfassende NDE im Grundmaterial durchgeführt wird, um Defekte zu erkennen.
- c. Darüber hinaus kritisierte das Peer Review Team auch das Alterungsmanagement der verdeckten Rohrleitungen: Die Inspektion von sicherheitsrelevanten Rohrleitungsdurchführungen durch Betonstrukturen wird nicht routinemäßig im AMP durchgeführt.
- d. Laut TPR werden die Unsicherheiten in der anfänglichen Umgebungsqualifikation der Kabel nicht berücksichtigt. Auch die Funktionsfähigkeit von Kabeln unter höchsten Beanspruchungen wurden nicht bestimmt. (ENSREG 2018)

National Action Plan

Zu a) Das TPR stellte fest, dass das AMP für KKW Krško derzeit nicht den Anforderungen des aktuellen IAEA-Dokuments folgt. SNSA fordert nun, dass das KKW Krško im Rahmen der nächsten PSÜ (PSR3) überprüfen soll, ob das AMP des KKW Krško mit dem neuen IAEA-Sicherheitsstandard SSG 48 "Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of NPP" (IAEA 2018) übereinstimmt. Im Falle einer Nichtübereinstimmung muss das AMP-Programm aktualisiert werden. Die PSR3 wird derzeit durchgeführt, und die Ergebnisse werden für das Jahr 2022 erwartet. (SNSA 2021b)

Zu b) Im November 2020 wurde eine eingehende Inspektion am Reaktordruckbehälter mit besonderem Augenmerk auf die relevanten Bereiche und die neueste Forschung und Entwicklung in Bezug auf eine umfassende zerstörungsfreie Prüfung im Grundmaterial im relevanten Bereich durchgeführt. Auf der Grundlage einer Durchführbarkeitsstudie/Analyse des Einsatzes neuer NDE-Techniken sollten die Verbesserungen der bestehenden NDE umgesetzt werden. Die von der SNSA durchgeführte Inspektion bestätigte, dass das KKW Krško die Anforderungen erfüllt.

Das KKW Krško hat im Rahmen der Überwachung der Betriebserfahrungen in der Nuklearindustrie und gemäß den WENRA-Empfehlungen eine umfassende Überprüfung der Herstellungs- und Prüfprotokolle auf mögliche Wasserstofflocken im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters (RDB) durchgeführt. Ergebnis war, dass das Grundmaterial des RDB des KKW Krško nicht anfällig für den Schadensmechanismus ist, der in Doel 3, Tihange 2 und Beznau 1 aufgetreten war. Daher plant das KKW Krško während des langfristigen Betriebs nach 2023 keine zusätzlichen NDE-Aktivitäten zu diesem Thema. (SNSA 2021b)

Zu c) Im AMP sind keine technischen Durchführungsverfahren zur Erkennung von Alterungseffekten für erdverlegte und unterirdische Rohrleitungen und

Tanks enthalten, obwohl sie im AMP entwickelt und beschrieben werden sollten.

Eine neue Revision (Rev. 4) des Programms wurde im Oktober 2017 veröffentlicht. Sie enthält die erforderlichen technischen Durchführungsverfahren. Das KKW Krško hat die Inspektion der Durchdringungen durch die Betonstrukturen mittels Ultraschalls während der Revision 2019 durchgeführt. Da die Inspektion erfolgreich abgeschlossen und die Rohrleitungen innerhalb der Durchdringungen in einem guten Zustand vorgefunden wurden, ist dieses Thema laut SNSA geschlossen. (SNSA 2021b)

Zu d) Laut Nationalem Aktionsplan sollte die Genauigkeit der Darstellung der Belastungen, die in der anfänglichen Umgebungsqualifikation verwendet werden, im Hinblick auf die erwarteten Belastungen während des Normalbetriebs und der Auslegungsfälle bewertet werden. Das KKW Krško hat die vorgeschlagenen internationalen Berichte geprüft und folgt derzeit den internationalen Industriepraktiken. Die daraus resultierenden Maßnahmen sollen bis zum 31.12.2022 abgeschlossen werden.

Kabel, die für die Unfallbekämpfung erforderlich sind, müssen geprüft werden, um festzustellen, ob sie in der Lage sind, ihre Funktionen unter den Bedingungen der Auslegungserweiterung (DEC) zu erfüllen. Das KKW Krško wird die DEC-Anforderungen in Zukunft auch für neu verlegte Kabel berücksichtigen. Das KKW Krško hat in der Zwischenzeit bestätigt, dass alle Kabel, die für Auslegungsfälle benötigt werden, für DEC-B Bindungen qualifiziert sind. Alle neuen Kabel, die vor Ort für DEC-Ausrüstung installiert werden, müssen die Qualifikationsanforderungen für DEC-Bedingungen erfüllen.

Das KKW Krško sollte bis Ende 2020 in das AMP einen Abschnitt aufnehmen, der sich mit der zerstörungsfreien Prüfung (NDE) von unzugänglichen Teilen der Betonabschirmung befasst. Laut SNSA (2021) hat das KKW Krško das AMP noch nicht überarbeitet, was zum Teil auf die Covid-19-Pandemie und zum Teil auf die bevorstehende Pre-SALTO-Mission zurückzuführen ist, die im KKW Krško für Oktober 2021 geplant war; das KKW beabsichtigt, die potenziellen Ergebnisse der Pre-SALTO-Mission in die Überarbeitung des AMP aufzunehmen, die spätestens im April 2022 vorliegen wird. (SNSA 2021b)

Nicht-physisches Altern (Veralten)

Neben dem physischen Altern von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSCs) kann auch durch ein Veralten von Technologie, Konzepten und personellen Kompetenzen die Sicherheit eines KKW stark beeinträchtigt werden. Gemäß IAEA (2018) gibt es drei Typen des Veraltens, die die Möglichkeit für einen Langzeitbetrieb einschränken:

- Konzeptionelle Alterung: Es bestehen Auslegungsschwächen der Anlagen sowie Abweichungen von aktuellen Regelwerken, Normen und Standards.
- Technologische Alterung: Ersatzteile, technischer Support, Lieferanten und Industriekapazitäten fehlen.

- **Know-How und Know-Why-Verlust:** Das Wissen über die Standards, Regelwerk und Technologie wird nicht auf dem aktuellen Stand gehalten.

Veralten der Auslegung

Die konzeptionelle Alterung äußert sich vor allem durch ein veraltetes Sicherheitskonzept im Vergleich zu aktuellen Sicherheitsanforderungen und Regelwerken. Generell ist durch die Auslegung von KKW sicher zu stellen, dass Stör- und Unfälle beherrscht bzw. verhindert werden. Die schweren Unfälle, wie Three Mile Island, Tschernobyl und Fukushima, haben gezeigt, dass es grundlegende Sicherheitsprobleme insbesondere in alten KKW gibt, deren Auslegung in den 1960 und 1970 Jahren stattgefunden hat. Die Anforderungen an die Sicherheit von KKW war damals deutlich geringer als gegenwärtig. Infolgedessen existieren deutliche Abweichungen hinsichtlich der Auslegung. Externe übergreifende Einwirkungen wie Erdbeben, Überflutungen oder Flugzeugabsturz wurden nicht systematisch in die Auslegung einbezogen.

Nicht alle Auslegungsdefizite lassen sich durch Nachrüstungen beseitigen: Ein erheblicher Teil der Sicherheitsstandards wird bereits bei der Auslegung des KKW festgelegt und kann durch Nachrüstungen grundsätzlich nicht mehr verbessert werden. Auslegungsdefizite bestehen in alten Anlagen, da bis in die 1970er Jahre hinein Redundanz, Diversität, Unabhängigkeit und räumlicher Trennung der Systeme nicht ausreichend Bedeutung beigemessen wurde:

- **Redundanz:** Der Grad an Redundanz ist in Altanlagen geringer als in neueren Anlagen. Das sogenannte Einzelfehlerkonzept (Redundanzgrad $n+1$), wie im KKW Krško angewendet, soll gewährleisten, dass bei Ausfall eines Stranges eines Sicherheitssystems durch den dazu redundanten Strang die sicherheitstechnische Funktion vollständig erfüllt wird. Die Auslegungen neuerer Reaktoren berücksichtigt die Betriebserfahrungen und hat einen höheren Redundanzgrad ($n+2$).
- **Räumliche Trennung:** Sicherheitssysteme gleicher Funktion müssen so weit wie möglich räumlich getrennt aufgestellt werden, damit sie nicht durch die gleiche Einwirkung zerstört werden können. Mehrfach vorhandene Sicherheitssysteme (Redundanzen) gewährleisten nur dann eine höhere Sicherheit, wenn diese räumlich getrennt sind. In den Altanlagen ist dieses oftmals nicht der Fall.
- **Unabhängigkeit:** Damit Fehler in einem System keine Auswirkungen auf die redundanten Systeme haben können, sollen die einzelnen redundanten Sicherheitssysteme ohne Vermaschung vollkommen unabhängig voneinander sein. Das gilt auch für alle zugehörigen Hilfssysteme, wie Kühlung und Stromversorgung. Tatsächlich sind in den Altanlagen Sicherheitssysteme, die mehrfach vorhanden sind, vermascht, d.h. sie haben gemeinsame Komponenten, so dass der Ausfall einer Komponente weitreichende Folgen haben kann. Dies gilt für Systeme der gleichen Sicherheitsebene, aber auch für Systeme verschiedener Sicherheitsebenen des gestaffelten Sicherheitskonzepts.
- **Diversität:** Um einen Ausfall der redundanten, d.h. der mehrfach vorhandenen, aber gleichartigen, Komponenten und Systeme aus gleicher

Ursache zu verhindern, werden für die gleiche Sicherheitsfunktion Komponenten/Systeme, die nach verschiedenem (physikalischen) Prinzip arbeiten, eingesetzt. Das Prinzip der Diversität ist bei alten Kernkraftwerken nicht oder nur zu einem geringen Umfang umgesetzt.

Nachrüstungen von zusätzlichen Sicherheitssystemen sind u.a. aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur bis zu einem begrenzten Umfang möglich. Die Einhaltung heutiger Sicherheitsstandards würde praktisch einen kompletten Neubau eines KKW bedingen. Die nicht behebbaren Unterschiede betreffen insbesondere den geringeren Schutz gegen externe Einwirkungen (insbesondere Erdbeben und Flugzeugabsturz) sowie die nicht ausreichende Vorsorge gegen auslegungsüberschreitende Störfälle.

Trotz umfangreicher Nachrüstungen werden in alten KKW aktuelle Sicherheitsstandards nicht erreicht. Ein Beispiel dafür, ist der in Altanlagen implementierte Brandschutz. Der Brandschutz in Altanlagen verlässt sich auf aktive Maßnahmen, die versagen können, statt auf eine entsprechende räumliche Trennung (passive Maßnahmen).

Die Nachrüstungen erreichen auch deshalb nicht das Sicherheitsniveau neuer Anlagen, weil – anstatt technische Nachrüstungen im Bereich der Vorsorge durchzuführen – vielfach lediglich Notfallmaßnahmen eingeführt werden. Dies bedeutet, dass die Betriebsmannschaft mit mobilen Geräten Sicherheitsfunktionen für den Reaktor und die Brennelementlagerbecken gewährleisten muss (IN-RAG 2021)

Brandschutz

Brände in KKW gehören zu den besonders gefährlichen Ereignissen. Dies gilt insbesondere für ältere Anlagen, deren Auslegung vor dem Brand im US-amerikanischen KKW Browns Ferry (1975) festgelegt wurde. Dies ist für das KKW Krško der Fall.

Bei einem Brand in einem KKW sind Funktionsausfälle von sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten und Systemen zu erwarten. Dies kann aber nicht nur das durch einen Kurzschluss direkt betroffene Kabel bzw. die entsprechende Systemkomponente betreffen. Im Brandfall kann durch thermische Belastungen oder Spannungsschwankungen die Funktion von Steuerungs- und Überwachungskabeln gestört werden, sodass die entsprechenden Systeme teilweise oder total ausfallen.

Ein Brand kann sich vom Entzündungsort ausgehend über die Isolierung schnell entlang der Kabel ausbreiten. Wegen der Verlegung von Kabeln über große Abschnitte durch Tunnel und Schächte gilt das auch für weiter entfernt liegende und vom Raum der Brandentstehung getrennte Räume. In Brandversuchen wurden in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur Ausbreitungsgeschwindigkeiten bei horizontal verlegten Kabeln von 0,2 bis 1 Kabelmeter pro Minute ermittelt. Bei vertikal verlaufenden Kabeltrassen beträgt die Brandausbreitungs-

geschwindigkeit zwischen 0,25 m und 1,2 m pro Minute. Je nach Menge und Anordnung der Kabel können lang andauernde Brände mit Temperaturen bis zu 1000°C entstehen.

In der Folge des Brandes im KKW Browns Ferry und aufgrund der Ergebnisse von Brandanalysen wurden in älteren KKW umfangreiche Nachrüstungen durchgeführt. Brandschutzwände wurden errichtet, Brandmeldeeinrichtungen installiert, betriebliche Brandschutzmaßnahmen eingeführt usw. So konnte der Brandschutz deutlich verbessert werden. Allerdings darf diese Verbesserung nicht darüber hinwegtäuschen, dass in den Altanlagen kein dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechender Brandschutz besteht, sondern die Anlagen nur an diesen nicht näher definierbaren Stand „herangeführt“ wurden.

Das Prinzip der räumlichen und funktionalen Trennung wurde erst nach dem Brand im KKW Browns Ferry zum Grundprinzip für die Auslegung von KKW. Problematisch ist in Altanlagen daher vor allem, dass die Kabel unterschiedlicher Sicherheitssysteme nicht ausreichend räumlich getrennt angeordnet sind und ein Brand so mehrfach vorhandene Sicherheitssysteme gleichzeitig zerstören kann. In neueren Anlagen werden Brandgefahren durch eine entsprechende Auslegung begrenzt, die eine komplette räumliche Trennung der Redundanzen der Sicherheitssysteme, insbesondere auch der entsprechenden elektrischen Leitungen und Kabel, vorsieht.

Insgesamt ist in Altanlagen der Brandschutz auf einem deutlich geringeren Sicherheitsniveau als bei Neuanlagen während durch die Alterungsprozesse (zum Beispiel durch einen Kurzschluss aufgrund von Rissen in Kabelisolierungen) die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Brand erhöht ist.

Der Brandschutz in Altanlagen verlässt sich weitestgehend auf aktive Maßnahmen, die versagen können, statt auf eine entsprechende räumliche Trennung (passive Maßnahmen) und besitzt damit sicherheitstechnisch Nachteile. Auslegungs- und materialbedingte Defizite sollen durch zusätzliche Brandmelder und Löschanlagen kompensiert werden. (INRAG 2021)

Das Thema der laufenden zweiten "Topical Peer Review" gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM ist der Brandschutz von kerntechnischen Anlagen. Dies zeigt, wie wichtig dieses Thema für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen ist. Es ist nicht bekannt, ob bereits erste Ergebnisse für das KKW Krško vorliegen.

OSART- und SALTO-Mission

Auf Ersuchen der slowenischen Regierung besuchte ein aus internationalen Experten bestehendes IAEO-Team für die Überprüfung der Betriebssicherheit (OSART-Mission) vom 15. Mai bis 1. Juni 2017 das KKW Krško. (IAEA 2017a) Das Team stellte 20 Defizite fest, für dessen Behebung vier Empfehlungen und 16

Vorschläge gegeben wurden. Außerdem wurden drei bewährte Praktiken identifiziert¹². Zu den wichtigsten Empfehlungen gehörten:

- Die Anlage sollte das Schulungsprogramm für das gesamte Betriebsteam, das sicherheitsrelevante Aufgaben wahrnimmt, einschließlich der Notfallmaßnahmen, verbessern;
- Das Werk sollte die Prioritätensetzung, Durchführung und Überwachung sicherheitsrelevanter Aktivitäten verbessern, um deren rechtzeitigen Abschluss zu gewährleisten.

Diese beiden Empfehlungen des internationalen Expertenteams wiesen auf Mängel hin, die für die Betriebszeitverlängerung sicherheitsrelevant sind. Zum einen ist das Betriebsteam offensichtlich nicht ausreichend für einen Einsatz in Unfallsituationen geschult. Die Handlungen des Betriebsteams sind jedoch von zentraler Bedeutung für das Unfallmanagement des KKW Krško. Zum anderen werden sicherheitsrelevante Aktivitäten nicht rechtzeitig durchgeführt. Schwächen in der Betriebspraxis wirken sich negativ auf die Verhinderung von Alterungseffekten aus.

Als Reaktion auf den Bericht der OSART-Mission erstellte das KKW Krško einen detaillierten Aktionsplan für die Umsetzung von Maßnahmen, die bis Ende 2018 umgesetzt werden sollten. Die OSART-Follow-up-Mission wurde vom 15. bis 19. Oktober 2018 durchgeführt. Die Follow-Up-Mission kam zu dem Schluss, dass 30 % der Maßnahmen noch in der Umsetzung waren. Laut SNSA (2019b) war im Sommer 2019 von allen geplanten Maßnahmen nur noch eine offen, die bis Ende September 2019 abgeschlossen sein soll.

SALTO-Missionen ergänzen die Missionen des OSART-Teams der IAEA. Eine Pre-SALTO-Mission zur Vorbereitung des langfristigen Betriebs (LTO) wurde im Herbst 2021 durchgeführt. (IAEA 2022)

Eine Pre-SALTO Mission ist der erste Schritt eines SALTO-Peer-Review Prozesses. Dieser ist eine umfassende Sicherheitsüberprüfung, die sich direkt mit der Strategie und den Schlüsselementen für einen sicheren Langzeitbetrieb von Kernkraftwerken befasst. Die SALTO-Peer-Review-Service kann zu jedem Zeitpunkt während der Lebensdauer eines KKW durchgeführt werden. Der geeignetste Zeitpunkt liegt jedoch laut IAEA innerhalb der letzten 10 Jahre der ursprünglich vorgesehenen Betriebsdauer der Anlage.

¹² Die Empfehlungen bezogen sich auf die Bereiche Ausbildung und Qualifikation des Personals, Betrieb und betriebliches Erfahrungsfeedback. Die Verbesserungsvorschläge bezogen sich auf die folgenden Bereiche: Führung und Management für die Sicherheit (3), Instandhaltung (1), technische Unterstützung (1), Rückkopplung von Betriebserfahrungen (1), Strahlenschutz (1), Chemie (2), Notfallvorsorge und -reaktion (1), Zusammenwirken von Mensch und Technik und Organisation (1), Langzeitbetrieb (1) und Einsatz probabilistischer Sicherheitsanalysen (1). Beispiele für bewährte Verfahren wurden in den Bereichen Betrieb, Instandhaltung und Verwendung probabilistischer Sicherheitsanalysen ermittelt.

Es ist grundsätzlich eine gute Entscheidung, dass eine solche internationale Mission für das KKW Krško durchgeführt wurde. Allerdings könnte es zu spät sein, um Defizite bei der Verlängerung des Betriebs zu erkennen und zu beheben.

Vom 4. bis 14. Oktober 2021 überprüfte ein zehnköpfiges Team die Vorbereitungen, die Organisation und die Programme der Anlage in Krško für eine sichere LTO. Das Team ermittelte bewährte Verfahren und gute Leistungen, die mit der Nuklearindustrie weltweit geteilt werden sollen.

Das Team gab auch Empfehlungen zur weiteren Verbesserung der Vorbereitungen für die LTO-Sicherheit ab, unter anderem: Die Anlage sollte eine detaillierte Planung für das Management der dritten periodischen Sicherheitsüberprüfung sicherstellen, die im Jahr 2022 zur Unterstützung der LTO-Vorbereitung beginnen soll; die Anlage sollte die Überprüfungen des Alterungsmanagements von Strukturen, Systemen und Komponenten abschließen; und die Anlage sollte ein effektives Wissensmanagement zur Unterstützung der LTO einführen.

Am Ende der Mission übergab das Team einen Berichtsentwurf an die Leitung der Anlage und an die slowenische Behörde für nukleare Sicherheit (SNSA). Die Kraftwerksleitung und die SNSA werden Gelegenheit haben, sachliche Kommentare zu diesem Entwurf abzugeben. Ein Abschlussbericht wird der Kraftwerksleitung, der SNSA und der slowenischen Regierung innerhalb von drei Monaten vorgelegt. (WNN 2021)

EU Stresstests

Als eine Konsequenz aus der Reaktorkatastrophe am 11. März 2011 in der japanischen Anlage Fukushima Dai-ichi wurde auf europäischer Ebene der sogenannte EU-Stresstest durchgeführt. Der EU-Stresstest betrachtet drei Bereiche der Sicherheit von Kernkraftwerken: Naturereignisse (Erdbeben, Überflutung, Extremwetterereignisse), Ausfälle der Stromversorgung und der Wärmeabfuhr sowie Maßnahmen und Vorgehen bei schweren Unfällen. Es handelte sich dabei also nicht um eine vollständige Sicherheitsbewertung.

Anders als in dem UVP-BERICHT (2022) dargestellt, identifiziert der Stresstest eine Reihe von Defiziten für die Abhilfe erforderlich war. Auch in der genannten Tabelle wurden für das KKW Krško auf Defizite hingewiesen.

Der Hauptteil der Maßnahmen des Nationalen Aktionsplans zur Abhilfe der identifizierten Defizite bestand aus dem bereits vorher geplanten Sicherheits-Upgrade-Programm (SUP) für das KKW Krško. Als Reaktion auf den Fukushima-Unfall beschloss die SNSA, die Umsetzung des SUP zu beschleunigen und forderte, dass alle Maßnahmen des SUP bis 2016 abgeschlossen sein sollten. (SNSA 2012)

Im September 2013 beantragte das KKW Krško jedoch eine Verlängerung der Umsetzungsfrist. Als Hauptgründe für die Verzögerung wurden der Umfang des Projekts, die Komplexität der Planungsunterlagen und die Lieferfristen für einige der Hauptkomponenten genannt. Die SNSA genehmigte die Verlängerung der Frist bis Ende 2018. (SNSA 2014)

Im Jahr 2014 teilte das KKW Krško der SNSA mit, dass die Umsetzung der SUP bis Ende 2018 aufgrund finanzieller Engpässe in Frage gestellt sei. Die beiden Eigentümer des KKW Krško (das slowenische Staatsunternehmen GEN Energija und das kroatische Staatsunternehmen HEP) waren nicht mehr bereit, die SUP zu finanzieren, da sie bezweifelten, dass das Kraftwerk nach der Umsetzung des Projekts weiterhin Strom zu einem wettbewerbsfähigen Preis erzeugen könnte. Die Eigentümer gaben eine Studie zur finanziellen Tragfähigkeit in Auftrag, nach der sie über die Fortsetzung des Projekts entscheiden wollten. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass eine Verlängerung der Lebensdauer bis 2043 machbar wäre. (PMR 2015)

Der Nationale Aktionsplan wurde mehrfach aktualisiert, zuletzt im Dezember 2021. Die Umsetzung des SUP hat sich weiter verzögert. Das SUP wurde erst Ende 2021 abgeschlossen. (SNSA 2021a)

Laut Nationalem Aktionsplan war zunächst eine neue, vom Fluss Sava völlig getrennte alternative ultimative Wärmesenke (UHS) geplant. Das KKW Krško benötigt eine alternative UHS, um die Wärme abzuführen, falls die Hauptwärmesenke (Fluss Sava) nicht verfügbar ist. Mit der einzigen ultimativen Wärmesenke ist das KKW Krško ziemlich anfällig für deren physische Zerstörung (aber auch für Überschwemmungen und andere externe Gefahren). Eine alternative und diversifizierte Wärmesenke würde eine kontrollierte Kühlung des Reaktors und die Aufrechterhaltung eines kalten Abschaltzustandes ermöglichen, auch wenn die Hauptwärmesenke nicht verfügbar ist. Damit würde eine wesentliche Schwachstelle des ursprünglichen Designs beseitigt.

Da das KKW Krško nur ein Wassereinlassbauwerk hat, wurde eine alternative seismisch qualifizierte ultimative Wärmesenke (UHS) unabhängig vom Fluss Sava geplant. Die Installation der alternativen UHS wurde 2018 jedoch gestrichen. Nun soll eine alternative langfristige Wärmesenke durch ein alternatives Dampferzeuger-Injektionssystem realisiert werden.

Das neue Bunkergebäude (BB2) ist so ausgelegt, dass es extremen äußeren Gefahren wie extremen Erdbeben, Überschwemmungen, Winden, Temperaturen, Flugzeugabstürzen usw. standhält. Dazu befindet sich das Gebäude zu zwei Drittel im Erdboden.

Im Gebäude BB2 befinden sich zwei wichtige neue Systeme, das alternative Hilfsspeisewassersystem (AAF) und das alternative Sicherheitseinspeisesystem (ASI). Das neue Hilfsspeisewassersystem wurde dort installiert, um die Dampferzeuger der Anlage langfristig mit Kühlwasser zu versorgen. Das System umfasst einen eigenen 1600-m³-Tank mit boriertem Wasser, das entweder aus dem Wassersystem oder aus einem unterirdischen Brunnen nachgefüllt werden kann. Laut SNSA (2015) war eine Wasserquelle für acht Stunden geplant.

Zur Sicherstellung der Kernkühlung im Falle von SBO und/oder dem Ausfall der UHS ist nicht nur die Installation eines zusätzlichen Systems zur Speisung von Dampferzeugern (SGs) im separaten Bunkergebäude erfolgt, sondern es wur-

den auch zusätzliche Pumpen (Nieder- und Hochdruck) sowie eine Spezialpumpe zur Kühlung der Dichtungen eingebaut. Die Frage ist, ob die Auslegung der Systeme in dem Gebäude BB2 gegen DEC-B Ereignisse ausreichend ist.

Eine Verpuffung oder Detonation von Wasserstoff kann zum Versagen des Sicherheitsbehälters und zu großen Freisetzung führen. Die alten Rekombinatoren waren aktiv, benötigten elektrische Energie und waren nur für DBAs ausgelegt. Daher wurden während des Stillstands 2013 insgesamt 22 passive autokatalytische Rekombinatoren (PAR) im Sicherheitsbehälter installiert, die gegen DEC-B ausgelegt sind. Außerdem wurde eine Analyse hinsichtlich des Vorhandenseins von Wasserstoff an unerwarteten Orten, z. B. im SFP-Gebäude, durchgeführt. Wasserstoff an unerwarteten Orten kann zu Explosionen führen, die Gebäude und sicherheitsrelevante Komponenten beschädigen und so die Folgen eines Unfalls verschlimmern. Laut SNSA (2014a) nimmt NEK hinsichtlich des Vorhandenseins von Wasserstoff an unerwarteten Stellen an dem internationalen Projekt "Analysis Methodology for Hydrogen Transport and Distribution in the Auxiliary building" teil und wird, falls erforderlich, die erforderlichen Maßnahmen durchführen (SNSA 2014a). Das Ergebnis wurde bisher nicht mitgeteilt.

Um die Integrität des Sicherheitsbehälters bei einem schweren Unfall zu gewährleisten, wurden nicht nur passive autokatalytische Rekombinatoren (PARs), sondern auch ein gefiltertes Entlüftungssystem für den Sicherheitsbehälter implementiert. Die seismischen Sicherheitsmargen der gefilterten Containment-Entlüftungssysteme und der PARs sind jedoch - wie oben erläutert - sehr begrenzt. Daher ist nicht sicher gewährleistet, dass die Systeme nach einem extremen Erdbeben noch ihre vollständige Funktion erfüllen.

Es wurde ein festes Sprühsystem um das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente mit Vorkehrungen für den schnellen Anschluss verschiedener Wasserquellen installiert. Dieses System kann laut SNSA (2020) das Wasser des Lagerbeckens im Falle eines Siedens des Brennelementelagerbeckens auffüllen, aber auch die Restwärme der abgebrannten Brennelemente im Falle eines großen Lecks aus dem Becken abführen.

Ein mobiler Wärmetauscher mit Vorkehrungen für den schnellen Anschluss an das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente (SFP), den Containment-Sumpf oder das Reaktorkühlsystem wurde beschafft.

Es stellt sich die Frage, wie die Bedienung des mobilen Wärmetauschers oder des mobilen DG, der als Backup-Quelle für die Stromversorgung wichtiger Geräte im Falle eines Extremereignisses am Standort (z.B. Absturz von Flugzeug oder Erdbeben) oder einer Überflutung des Standorts erfolgt, da das Anschließen von Hand erfolgen muss.

Der neue Notfallkontrollraum im separaten Bunkergebäude wurde 2019 fertiggestellt. Die Errichtung eines neuen Technical Support Centers (TSC) und der Ausbau des bestehenden Operational Support Centers (OSC) wurden 2021 fertiggestellt.

Die SNSA plante bis 2016 eine nationale Strategie für den Umgang mit großen Mengen kontaminierten Wassers nach und während eines schweren Unfalls

auszuarbeiten. Laut Nationalem Aktionsplan von 2019 sollte die Maßnahme 2020 abgeschlossen sein.

Auslegungsdefizite des KKW Krško

Das gesamte Sicherheitskonzept des KKW Krško ist veraltet und damit die Verhinderung von Unfällen nicht ausreichend. Im UVP-BERICHT (2022) werden die umfangreichen Nachrüstungen dargestellt, die vor allem im Rahmen der ersten und zweiten PSR durchgeführt wurden.

Die ursprüngliche Auslegung des KKW Krško beruht auf US-Vorschriften aus den 60er-Jahren. Das damals angewandte Sicherheitskonzept hat aus heutiger Sicht eine Reihe von grundsätzlichen Defiziten. Die Anzahl der Redundanzen von Sicherheitssystemen ist zu gering. Die verschiedenen Sicherheitseinrichtungen sind teilweise nicht funktionell unabhängig, so dass sie sich gegenseitig negativ beeinflussen können. Verschiedene Sicherheitseinrichtungen sind nicht räumlich getrennt, so dass auch aus diesem Grund eine negative Wechselwirkung entstehen kann. (INRAG 2021)

Aufgrund des inzwischen hohen Alters des KKW Krško sind zahlreiche Sicherheitssysteme nicht mehr auf dem Stand heutiger Technik, obwohl in der Vergangenheit umfangreiche Investitionen auch im Bereich Sicherheit vorgenommen wurden. Aufgrund der ursprünglichen Auslegung des Reaktors muss festgehalten werden, dass das Nuklearsicherheitsprinzip der "gestaffelten Sicherheitsvorsorge" (Defence in Depth) in entscheidender Weise vom heutigen Stand abweicht, da statt einer geeigneten Auslegung Notfallmaßnahmen (Accident Management) zur Störfallbeherrschung (Sicherheitsebene 3) vorgesehen werden.

Das Alter der Anlage und die ursprüngliche Auslegung führen dazu, dass es mehrere Sicherheitsdefizite im Vergleich zu neuen Anlagen bzw. heutigen Sicherheitsanforderungen gibt. Beispielhaft werden einige dargestellt (INRAG 2021):

- Die räumliche Trennung der Redundanzen der Not- und Nachkühlstränge ist nicht konsequent durchgeführt.
- Die Kriterien der Basissicherheit sind nicht bzw. nur teilweise eingehalten, insbesondere deshalb, weil die Kriterien erst nach der Fertigung der Komponenten für das Kraftwerk entwickelt wurden. Bei Nichteinhaltung der Kriterien für die Basissicherheit besteht ein größeres Risiko für größere Leckagen und Brüche in sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen. Leckagen und Brüche können Vorläufer von schweren Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe sein. Eine nachträgliche Feststellung der kompletten Basissicherheit ist nicht möglich, da bestimmte Prüfungen nur herstellungsbegleitend durchgeführt werden können und diese zu einem späteren Zeitpunkt nicht nachgeholt werden können.
- Die Auslegung gegen Erdbeben ist unzureichend. (siehe Kapitel 5)

- Aufgrund der geringen Stärke von des Reaktorgebäudes besteht kein ausreichender Schutz gegen den gezielten und unfallbedingten Flugzeugabsturz von großen Zivilflugzeugen.
- Die komplette Prüfbarkeit mit entsprechenden Messgeräten aller Schweißnähte am Reaktordruckbehälter ist aufgrund der räumlichen Gegebenheit stark eingeschränkt. Die eingeschränkte Prüfbarkeit besteht auch bei anderen sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen bzw. Komponenten.
- Zum Errichtungszeitpunkt des KKW Krško wurden teilweise für die Rohre der druckführenden Umschließung auch Schweißlängsnähte verwendet. Die Wandstärken der Rohre haben keine bzw. nur geringe Reserven für Lasten aus auslegungsüberschreitenden Ereignissen.
- Das KKW Krško hat nur zwei Hauptkühlmittelschleifen (Loops). Dies hat negative Auswirkungen auf die Konzeption der Sicherheitssysteme (z. B. auf die Einspeisung der Notkühlstränge).
- Während neuere KKW je Loop über zwei Druckspeicher verfügen, besitzt das KKW Krško nur einen Druckspeicher. Dadurch ist die Zuverlässigkeit der Notkühlung mit den Druckspeichern in der Anfangsphase eines Störfalles geringer. Das Gesamtvolumen an Kühlwasser ist entsprechend niedrig. Da für den Kühlbetrieb im späteren Verlauf eines Störfalles die Wasservorräte auch in den Druckspeichern von entscheidender Bedeutung sein können, ist das geringere Wasservolumen negativ zu bewerten. Im Falle eines Kühlmittelverluststörfalles mit einem Leck nach außerhalb des Containments wirkt sich dieser Mangel besonders gravierend aus.
- Das Brennelementlagerbecken ist nicht im Containment untergebracht. Dadurch fehlt ein zusätzlicher Schutz gegen mechanische Einwirkungen von außen und eine ausreichende Spaltproduktrückhaltung im Falle von Brennelementschäden.
- Ein „core catcher“ (Einrichtung zum Auffangen und Kühlung einer Kernschmelze) zur Minderung der Auswirkungen von schweren Kernschmelzunfällen ist nicht vorhanden.

WENRA Referenzlevel

Im Jahr 2006 veröffentlichte die WENRA erstmalig Referenzlevel als Sicherheitsstandard für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke (WENRA 2006). In den Jahren 2007 und 2008 wurden die insgesamt 295 Referenzlevel aktualisiert.

Der Unfall im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi im März 2011 veranlasste die WENRA die Lehren aus dem Unfall einzuarbeiten und die Referenzlevels zu überarbeiten und zu erweitern. Die neuen Richtlinien wurden im September 2014 im Bericht „WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors“ veröffentlicht (WENRA 2014). Der Bericht enthält Richtlinien geordnet in 19 Themen (Issues) aus den fünf Sicherheitsbereichen Management, Design, Betrieb, Überprüfung und Notfallvorsorge. Insgesamt enthalten die 19 Themen 342 Sicherheitsrichtlinien (Referenzlevel).

Referenzlevel F wurde komplett überarbeitet, und das Konzept der “Design Extension Conditions” (DEC) eingeführt. Laut WENRA Referenzlevel F sollen alle vernünftig machbaren („reasonably practicable“) Maßnahmen implementiert werden, die schwere Unfälle verhindern können (DEC A). Zusätzlich sollen für postulierte schwere Unfälle im Reaktorkern und den Brennelementlagerbecken und daraus resultierende Kernschmelzphänomene Maßnahmen implementiert werden, die mögliche Auswirkungen mindern (DEC B).

Im Jahr 2020 wurden die Referenzlevel erneut überarbeitet. Diese Überarbeitung befasst sich mit den Themen, die in der Überarbeitung von 2014 nicht überarbeitet wurden. Die Überprüfung anhand von Änderungen im Wissensstand, internationalen Normen und anderen Faktoren hat ergeben, dass der Begriff der Führung in Thema C (Führung und Management für die Sicherheit) und der Begriff der technische Veralterung in das Thema I (Alterungsmanagement) aufgenommen werden muss, womit auch das Ergebnis des ENSREG Topical Peer Review berücksichtigt wurde. Es bestand auch die Notwendigkeit, die in den Sicherheitsnachweisen zu behandelnden Gefahren zu vervollständigen. Um dies zu erreichen, wurde das Thema S (Schutz gegen Brände im Inneren) auf alle internen Gefahren (Thema SV) und Thema T (Naturgefahren) auf alle äußeren Gefahren erweitert (Thema TU). Alle anderen Punkte blieben unverändert gegenüber der vorherigen Version. (WENRA 2021)

Vernünftig machbare Nachrüstungen

Die IAEA, WENRA und auch die Richtlinie 2014/87/Euratom führen unterschiedliche Sicherheitsstandards für existierende Anlagen und für neue Anlagen ein.

Die grundlegenden Sicherheitsprinzipien der IAEA zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor den Gefahren ionisierender Strahlung, die „Safety Fundamentals“, unterscheiden nicht zwischen Alt- und Neuanlagen. Aus diesen Sicherheitsprinzipien werden konkrete Anforderungen abgeleitet. Diese Anforderungen müssen von Neuanlagen erfüllt werden, bei Altanlagen hingegen wird zugestanden, dass eine Umsetzung aller Anforderungen eventuell nicht „vernünftig machbar“ sei. Stattdessen sollten Altanlagen mit den Anforderungen verglichen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit durch Nachrüstungen ausgelotet werden.

Im Dokument IAEA Safety Standard: Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 werden die zentralen aktuellen Anforderungen an (neue) Kernkraftwerke beschrieben. In dem Dokument wird festgehalten, dass die Vorgaben für die Sicherheit von Kernkraftwerken den „highest standards of safety that can reasonably be achieved“ zum Schutz von Arbeitern, der Bevölkerung und der Umwelt genügen sollen. (IAEA 2016a)

Es wird auch darauf hingewiesen, dass nicht alle aktuell geltenden Sicherheitsanforderungen für laufende und in Bau befindliche Kernkraftwerke realisierbar bzw. umsetzbar sind. Allerdings wird erwartet, dass Sicherheitsanalysen für derartige Designs mit dem Ziel eines Vergleichs mit den aktuellen Standards durchgeführt werden z. B. im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung. Dabei soll festgestellt werden, ob weitere Verbesserungen des Sicherheitsniveaus

zwecks Anpassung an die aktuellen Sicherheitsanforderungen sinnvoll durchgeführt („reasonably practicable“) werden können.

In Bezug auf die Anwendung der aktuell von der IAEA empfohlenen Sicherheitsanforderungen auf bestehende KKW wird, wie auch bei WENRA, ausgeführt, dass sich die Bewertung der Sicherheit des jeweiligen KKW an den aktuellen Sicherheitsanforderungen orientieren soll: *“For the safety analysis of such designs it is expected that a comparison will be made with the current standards, for example as part of the periodic safety review for the plant, to determine whether the safe operation of the plant could be further enhanced by means of reasonably practicable safety improvements.”* (IAEA 2016a)

Am 08. Juli 2014 hat der Rat der Europäischen Union die Richtlinie 2014/87/EU-RATOM zur Änderung der Richtlinie 2009/71/EURATOM über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen verabschiedet. Die Richtlinie des Rates umfasst unter anderem den neuen Artikel 8a (EURATOM 2014):

„Ziel der nuklearen Sicherheit für kerntechnische Anlagen

(1) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass der nationale Rahmen für die nukleare Sicherheit vorschreibt, dass kerntechnische Anlagen mit dem Ziel ausgelegt, errichtet, in Betrieb genommen, betrieben und stillgelegt werden und ihr Standort mit dem Ziel zu wählen ist, Unfälle zu vermeiden und im Fall eines Unfalls dessen Auswirkungen abzumildern und Folgendes zu vermeiden:

- a) frühe Freisetzungen von radioaktivem Material, die anlagenexterne Notfallschutzmaßnahmen erfordern würden, für deren Umsetzung nicht ausreichend Zeit zur Verfügung steht;*
- b) große Freisetzungen von radioaktivem Material, die Schutzmaßnahmen erfordern würden, die weder örtlich noch zeitlich begrenzt werden könnten.“*

Im Absatz 2 Artikel 8a wird dann folgendes ausgeführt:

„(2) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass der nationale Rahmen vorschreibt, dass das in Absatz 1 genannte Ziel

- a) für kerntechnische Anlagen gilt, für die erstmals nach dem 14. August 2014 eine Genehmigung zur Errichtung erteilt wird;*
- b) als Bezugsgröße für die zeitgerechte Umsetzung von vernünftigerweise durchführbaren Sicherheitsverbesserungen für bestehende kerntechnische Anlagen, auch im Rahmen der regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen gemäß Artikel 8c Buchstabe b, verwendet wird.“*

Damit wird de facto ein „Doppelstandard“ festgeschrieben, welcher in den nationalen Rahmen übernommen werden soll. Der „Doppelstandard“ bezieht sich auf die technische Ausgestaltung der Maßnahmen und Einrichtungen zur Erreichung des radiologischen Schutzziels (Artikel 8a, Absatz 1). Anlagen, welchen die erstmalige Genehmigung zur Errichtung nach dem 14. August 2014 erteilt

wurde, müssen das in Artikel 8a definierte Ziel im Rahmen der Auslegung erfüllen. Für bestehende Anlagen gilt, dass diese Ziele als Bezugsgröße für die zeitgerechte Umsetzung von vernünftigerweise durchführbaren („reasonably practicable“) Sicherheitsverbesserungen gelten, auch im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen.

In WENRA (2017) wird zur Erläuterung von „reasonably practicable“ ausgeführt: "Das Konzept der angemessenen Durchführbarkeit ist direkt analog zum ALARA-Prinzip, das im Strahlenschutz angewandt wird, aber es ist breiter angelegt, da es für alle Aspekte der nuklearen Sicherheit gilt. Für bestehende Reaktoren, bei denen ein moderner Standard oder eine gute Praxis, die mit neuen Reaktoren verbunden ist, nicht direkt anwendbar ist oder nicht vollständig umgesetzt werden kann, sollten alternative Sicherheits- oder Risikominderungsmaßnahmen (Auslegung und/oder Betrieb) zur Verhinderung oder Minderung radioaktiver Freisetzungen gesucht und umgesetzt werden, es sei denn, der Lizenznehmer ist in der Lage nachzuweisen, dass der Aufwand für die Umsetzung in keinem Verhältnis zu dem Sicherheitsnutzen steht, den sie bringen würden."

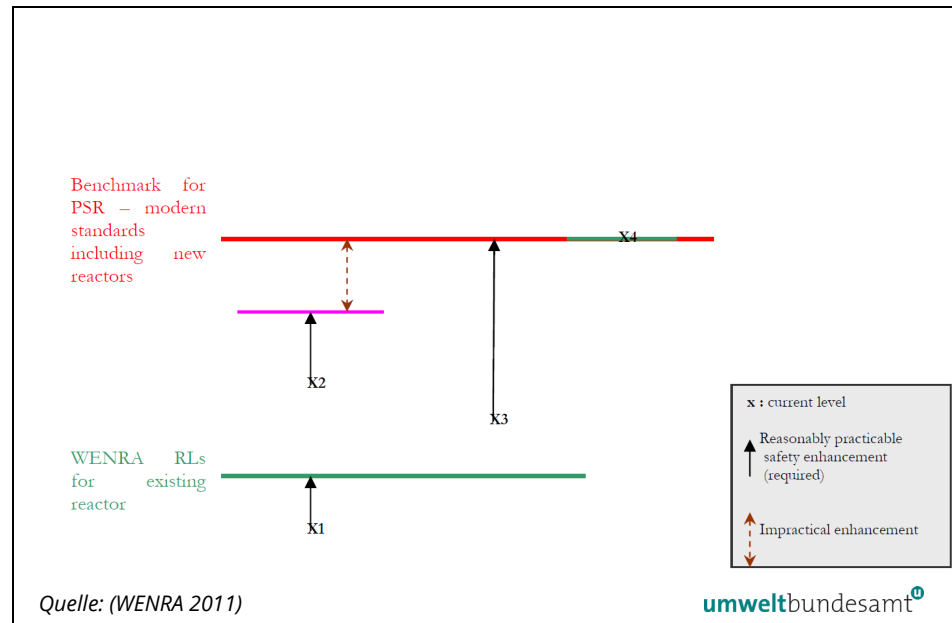
WENRA Sicherheitsziele für neue KKW als Benchmark für Laufzeitverlängerung

Die Sicherheitsziele für neue Kernkraftwerke (Safety Objectives for New Power Reactors), die von der Arbeitsgruppe Reactor Harmonization Working Group (RHWG) der Western European Nuclear Regulator's Association (WENRA) 2013 veröffentlicht wurden, können noch als Stand von Wissenschaft und Technik angesehen werden. Diese Sicherheitsziele sollen laut WENRA auch als Referenz herangezogen werden, um bei den bestehenden Anlagen im Rahmen der **periodischen Sicherheitsüberprüfungen** die „vernünftig machbaren“ Sicherheitsverbesserungen zu identifizieren. (WENRA 2013).

Das ambitionierteste Sicherheitsziel (O3: Unfälle mit Kernschmelze) ist die Reduzierung möglicher radioaktiver Freisetzungen in die Umgebung bei Unfällen mit Kernschmelze. Unfälle mit Kernschmelze, die zu frühzeitigen Freisetzungen führen würden, ohne dass genügend Zeit für die Durchführung von Notfallmaßnahmen außerhalb des Betriebsgeländes bliebe, oder große Freisetzungen, die Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung erfordern würden, die nicht räumlich oder zeitlich begrenzt werden könnten, müssen „praktisch ausgeschlossen“ werden. Eine Situation ist *praktisch ausgeschlossen*, wenn es entweder physikalisch unmöglich ist, dass sie eintritt, oder wenn sie mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich angesehen werden kann.

In einer Pilotstudie zur Lebensdauerverlängerung von KKW wurde das mögliche Vorgehen und der systematische Unterschied zwischen neuen und bestehenden Reaktoren für diesen Vergleich im Rahmen einer periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) verdeutlicht (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3:
Prinzipielles Verfahren
eines Sicherheitsver-
gleichs (WENRA 2011)



Die untere, grüne Linie repräsentiert das angelegte Sicherheitsniveau laut WENRA RL für die bestehenden Atomkraftwerke. (X1 markiert die mögliche Abweichung nach unten von diesem Sicherheitsniveau). Die obere, rote Linie repräsentiert die Sicherheitsanforderung für neue Atomkraftwerke.

Die "X" unterhalb der oberen (roten) Linie zeigen die Abweichungen mit den Anforderungen nach Stand von Wissenschaft und Technik für neue AKWs:

- In einigen Fällen ("X3") wird es vernünftig machbar sein, die Sicherheit so zu verbessern, dass das obere Sicherheitslevel erreicht wird.
- In einigen Fällen ("X2") sind Nachrüstung zur Verbesserung machbar, aber das obere Sicherheitsniveau ist nicht erreichbar.
- In anderen Fällen sind keine vernünftig machbaren Optionen zu identifizieren, um die Sicherheit zu verbessern.
- Die Line "X4" illustriert den Fall, dass das vorhandene Sicherheitsniveau bereits modernen Anforderungen genügt.

Die WENRA empfiehlt jede Anlage auch daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie die geltenden Sicherheitsziele für neue Reaktoren erfüllen. Aus einer solchen Prüfung würde deutlich, welche Sicherheitsabstände (Deltas) zum heutigen geforderten Sicherheitsstandard bestehen. Mit dieser Darstellung kann deutlich gemacht werden, welche Sicherheitsverbesserungen „vernünftig machbar“ wären und welche technisch unmöglich sind.

Risikobericht

Als Bestandteil des UVP-Verfahrens zur Laufzeitverlängerung sollte ein Risikobericht als Komplement zum Sicherheitsbericht vorgelegt werden, empfiehlt die Internationale Nuclear Risk Assessment Group (INRAG).

Ein Risikobericht sollte eine Darstellung und Gesamtbewertung zu allen Abweichungen vom aktuellen Stand von Wissenschaft und zu den verbleibenden Risiken nach den geführten Sicherheitsnachweisen in nachvollziehbarer Darstellung enthalten. Beispiele hierfür sind:

- Die nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zugrunde gelegten Sicherheitsanforderungen und -ziele für die einzelnen Sicherheitsebenen, insbesondere die betrachteten Stör- und Unfall-Szenarien.
- Die Abweichungen der existierenden Altanlage von diesen Anforderungen und Zielen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik. Dazu gehören insbesondere:
 - Alle Abweichungen von den Anforderungen nach Redundanz, Diversität und Unabhängigkeit der Sicherheitsebenen.
 - Die Vollständigkeit der zu betrachtenden Störfallszenarien für Ereignisse von innen und von außen nach den konkreten Gegebenheiten der Anlage und dem Stand von Wissenschaft und Technik.
 - Unvollständigkeiten der verwendeten Datenbasis und Anlagendokumentation.
 - Darstellung aller Sicherheitsbeurteilungen oder Parameterfestlegungen durch persönliche Experteneinschätzungen.
 - Darlegung des generellen Umgangs mit Unsicherheiten und Nichtwissen und dessen Auswirkungen auf das Risiko.
 - Abweichungen bei den verwendeten Nachweismethoden, den technischen Abschätzungen und Berechnungsverfahren vom Stand von Wissenschaft und Technik.
 - Alle Auswirkungen veränderter Nachweismethoden auf die ursprünglichen Sicherheitsreserven.
 - Die für die einzelnen sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten jeweils zur Verfügung stehenden Sicherheitsreserven und deren jeweilige Veränderung gegenüber dem ursprünglichen Zustand.

Wie sicher ein Kernkraftwerk ist, kann nur dann beurteilt werden, wenn auch die Risiken bekannt sind. Ohne die verbliebenen Risiken zu kennen, kann keine belastbare Aussage über die Sicherheit getroffen werden. Ohne solch einen Risikobericht, der diese im Sicherheitsbericht enthaltenen offenen Punkte, Annahmen, Abschätzungen auf ihr Risiko hin darstellt und bewertet, wird nicht klar, wie weit das KKW Krško von den aktuellen Sicherheitszielen wirklich entfernt ist. (INRAG 2021)

3.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Das KKW Krško ist bereits fast 40 Jahre in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) ein Sicherheitsproblem darstellen könnten, auch wenn laut UVP-Bericht (2022) durch das AMP mögliche negative Folgen verhindert werden.

Ein umfassendes AMP ist notwendig, um alterungsbedingte Ausfälle zumindest bis zu einem gewissen Grad zu begrenzen. Das erste Topical Peer Review (TPR 1) gemäß der Richtlinie 2014/87/EURATOM in 2017/18 hat in Slowenien im AMP einige Defizite im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsniveau in Europa gezeigt. So wird bisher der Umfang der im Rahmen im AMP betrachteten Strukturen, Systeme und Komponenten nicht entsprechend des aktuellen IAEO Safety Standard überprüft. Das Peer Review Team kritisierte auch, dass keine umfassende zerstörungsfreie Prüfung (NDE) im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters durchgeführt wird. Auch das Alterungsmanagement der verdeckten Rohrleitungen wurde kritisiert. Zudem wurde die Funktionsfähigkeit von Kabeln unter höchsten Beanspruchungen nicht bestimmt.

Im Rahmen der nächsten periodische Sicherheitsüberprüfung (PSR3) soll das AMP gemäß IAEO Anforderungen aktualisiert werden. Die PSR3 wird derzeit durchgeführt und die Ergebnisse werden für das Jahr 2022 erwartet. Kabel, die für die Unfallbekämpfung erforderlich sind, müssen geprüft werden, um festzustellen, ob sie in der Lage sind, ihre Funktionen unter den Bedingungen der Auslegungserweiterung (DEC) zu erfüllen. Die daraus resultierenden Maßnahmen sollen bis zum 31.12.2022 abgeschlossen werden. Das KKW Krško soll auch das AMP hinsichtlich der zerstörungsfreien Prüfungen von unzugänglichen Teilen der Betonabschirmung überarbeiten.

Auch die im Oktober 2021 durchgeführte Pre-SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) Mission identifizierte Defizite und empfahl unter anderem, dass die Anlage die Überprüfungen des Alterungsmanagements abschließen soll. Eine Pre-SALTO Mission ist der erste Schritt eines SALTO-Peer-Review Prozesses zur Vorbereitung des langfristigen Betriebs (LTO). Es ist grundsätzlich eine gute Entscheidung, dass eine solche internationale Mission für das KKW Krško durchgeführt wird. Allerdings könnte es zu spät sein, um Defizite für den Langzeitbetrieb zu erkennen und zu beheben. Der beste Zeitpunkt für eine SALTO-Mission liegt laut IAEO innerhalb der letzten 10 Jahre der ursprünglich vorgesehenen Betriebsdauer der Anlage. Da die SALTO-Mission erst in einigen Jahren stattfinden wird, könnte es für das KKW Krško zu spät sein, um Defizite für den Langzeitbetrieb zu erkennen und zu beheben.

Im Jahr 2020 wurden die WENRA Referenzlevel erneut überarbeitet. Die überarbeitete Version der WENRA RL 2020 fordert, dass geeignete Vorkehrungen vorhanden sind, um auch die technologische Veralterung von SSC vorausschauend zu steuern. Inwieweit diese Anforderung bereits erfüllt wird, ist aus den UVP-Dokumenten nicht zu entnehmen.

Die ursprüngliche Auslegung des KKW Krško beruht auf US-Vorschriften aus den 60er-Jahren und ist aus heutiger Sicht als veraltet anzusehen. Das damals angewandte Sicherheitskonzept hat aus heutiger Sicht eine Reihe von grundsätzlichen Defiziten: Die Anzahl der Redundanzen von Sicherheitssystemen ist zu gering. Die verschiedenen Sicherheitseinrichtungen sind teilweise nicht funktionell unabhängig, so dass sie sich gegenseitig negativ beeinflussen können. Verschiedene Sicherheitseinrichtungen sind nicht räumlich getrennt, so dass auch aus diesem Grund eine negative Wechselwirkung entstehen kann. Darüber hinaus ist das Reaktorgebäude verwundbar gegen äußere Einwirkungen. Im UVP-BERICHT (2022) werden die erfolgten umfangreichen Nachrüstungen dargestellt. Dennoch konnten nicht alle Auslegungsdefizite aus technischen und finanziellen Gründen beseitigt werden.

Das zurzeit laufende zweite "Topical Peer Review" (TPR 2) gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM befasst sich mit dem ebenfalls für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen wichtigen Thema, dem Brandschutz. Der Brandschutz in alten Anlagen, zu denen das KKW Krško gehört, besitzt gegenüber neuen KKW sicherheitstechnische Nachteile, da er sich überwiegend auf aktive Maßnahmen verlässt, die versagen können, statt auf eine entsprechende räumliche Trennung (passive Maßnahmen). Auslegungs- und materialbedingte Defizite sollen durch zusätzliche Brandmelder und Löschanlagen kompensiert werden. Es ist nicht bekannt, ob bereits erste Ergebnisse des TPR 2 für das KKW Krško vorliegen.

Der Hauptteil der Maßnahmen des Nationalen Aktionsplans zur Abhilfe der im EU Stresstest nach dem Unfall im Fukushima (2011) identifizierten Defizite bestand aus dem bereits vorher geplanten Sicherheits-Upgrade-Programm (SUP) für das KKW Krško. Mit erheblicher Verzögerung wurden die geplanten Maßnahmen Ende 2021 abgeschlossen. Auch wenn erhebliche Verbesserungen erfolgten, ist nicht geklärt, ob das erreichte Sicherheitsniveau ausreichend ist. Insbesondere ist nicht ausgeschlossen, dass ein stärkeres Erdbeben auftreten kann als bisher zugrundegelegt wurde. Das erforderliche Eingreifen der Betriebsmannschaft mit mobilen Geräten wird eine große Herausforderung nach einem schweren Erdbeben. Ob eine Kühlung des Reaktors gelingt, ist auch daher fraglich, da die ursprüngliche Auslegung der Anlage nur gegen eine Bodenbeschleunigung (PGA) von 0,3 g erfolgte.

Die IAEA, die WENRA und auch die Richtlinie 2014/87/Euratom führen unterschiedliche Sicherheitsstandards für existierende Anlagen und für neue Anlagen ein. Diese Sicherheitsanforderungen für neue Reaktoren sollen aber auch als Referenz herangezogen werden, um bei den bestehenden Anlagen im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen die „vernünftig machbaren“ Sicherheitsverbesserungen zu identifizieren.

Die WENRA empfiehlt jede Anlage im Rahmen der Laufzeitverlängerung auch daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie die Sicherheitsziele für neue Reaktoren erfüllt. Aus einer solchen Prüfung würde deutlich, welche Sicherheitsabstände (Deltas) zum heute geforderten Sicherheitsstandard bestehen. Bei dieser Überprüfung soll deutlich werden, welche Sicherheitsverbesserungen „vernünftig

machbar“ („reasonably practicable“) wären und welche technisch unmöglich sind.

Als Bestandteil des UVP-Verfahrens zur Laufzeitverlängerung sollte ein Risikobericht vorgelegt werden, der eine Darstellung und Gesamtbewertung zu allen Abweichungen vom aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik und zu den verbleibenden Risiken enthalten sollte. Wie sicher ein Kernkraftwerk ist, kann nur dann beurteilt werden, wenn auch die Risiken bekannt sind. Ohne solch einen Risikobericht wird nicht klar, wie weit KKW Krško von den aktuellen Sicherheitsanforderungen entfernt sind.

3.3.1 Fragen

- **F11:** Was sind die aktuellen Ergebnisse zur Versprödung der Reaktordruckbehälter (RDB) im KKW Krško (Sprödbruchübergangstemperatur RTNDT, Sprödbruchsicherheitsnachweis)?
- **F12:** Wann werden die WENRA Referenzlevel (RL) 2020 vollständig in das slowenische Regelwerk implementiert? Wann wird überprüft, ob das KKW Krško die Anforderungen der WENRA RL 2020 erfüllt?
- **F13:** Enthält das Alterungsmanagementprogramm für das KKW Krško bereits Anforderungen zur technologischen Veralterung?
- **F14:** Wie weit ist die Umsetzung des Nationalen Aktionsplans für das Topical Peer Review zum „Ageing Management“? Ist die Übereinstimmung und gegebenenfalls Anpassung des „Ageing Management Programms“ mit den Anforderungen aus dem IAEA-Sicherheitsstandard SSG 48 bereits abgeschlossen?
- **F15:** Ist bereits die laut Nationalem Aktionsplan zum Alterungsmanagement vorgesehene Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Kabel unter auslegungsgeschützenden Belastungen (DEC-B) abgeschlossen? Waren Maßnahmen erforderlich? Sind diese bereits erfolgt?
- **F16:** Liegen die Ergebnisse der dritten periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSR3) bereits ganz oder teilweise vor? Wie lauten gegebenenfalls die Ergebnisse?
- **F17:** Liegen bereits Ergebnisse zum zweiten "Topical Peer Review" gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM dem Brandschutz für das KKW Krško vor?
- **F18:** Können die Empfehlungen und Vorschläge der Pre-SALTO-Mission aus Oktober 2021 und deren Umsetzung erläutert werden?
- **F19:** Welche manuellen Eingriffe sind erforderlich, um die Systeme im Gebäude BB2 in Betrieb zu nehmen und welche Zeiten werden dafür benötigt?
- **F20:** Auf welcher Grundlage (Abläufe, Annahmen) wurde der Wasserbedarf bzw. das Wasservolumen im Gebäude BB2 geschätzt und welche Abläufe sind damit abgedeckt? Für welchen Zeitraum kann eine Kernnotkühlung gewährleistet werden? Wie wird das Wiederauffüllen des Wassertanks hergestellt?

Welche Wassermenge pro Stunde ist bei intaktem Primärkreis erforderlich, um den Reaktorkern zu kühlen?

- **F21:** *Wie wurde bei der Anbindung der neuen Systeme an die bestehenden Systeme gewährleistet, dass die Funktionen im Bedarfsfall erfüllt werden können? Liegt für alle diese von der Anbindung betroffenen Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) ein konservativer Nachweis vor, dass diese SSCs den Belastungen standhalten, die einer Erdbebenbelastung von $PGA = 0,56 g$ entsprechen? Entspricht der Nachweis den Richtlinien der WENRA (2020c)?*
- **F22:** *Sind die Analysen zum Vorhandensein von Wasserstoff an unerwarteten Orten beendet. Wie war das Ergebnis? Sind weitere Maßnahmen geplant? Wenn ja, wie sieht der Zeitplan für ihre Umsetzung aus?*
- **F23:** *Für welchen maximalen Zeitraum kann das gefilterte Entlüftungssystem des Sicherheitsbehälters bei Beibehaltung seiner Funktion betrieben werden?*
- **F24:** *Laut SNSA (2020) kann das neuinstallierte Sprühsystem um das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente auch die Restwärme der abgebrannten Brennelemente im Falle eines großen Lecks aus dem Becken abführen. Wie groß kann das Leck maximal sein, damit ein Ausgleich des Wasserverlustes erfolgreich durchgeführt werden kann?*
- **F25:** *Wie viel Personen der Betriebsmannschaft und welcher Zeitbedarf ist jeweils erforderlich, um den mobilen Wärmetauscher an das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente (SFP), den Containment-Sumpf oder das Reaktorkühlsystem anzuschließen?*
- **F26:** *Wie viel Personen der Betriebsmannschaft und welcher Zeitbedarf ist erforderlich, um den mobilen DG anzuschließen?*
- **F27:** *Wie lautet die nationale Strategie für den Umgang mit großen Mengen kontaminierten Wassers nach und während eines schweren Unfalls?*
- **F28:** *Inwieweit wurden internationale Dokumente (IAEA, WENRA) bei der Laufzeitverlängerung verbindlich angewandt?*
- **F29:** *Ist eine systematische Bewertung der Auslegungsabweichungen des KKW Krško von den aktuellen internationalen Sicherheitsstandards und Anforderungen erfolgt?*
- **F30:** *Welche technisch möglichen Verbesserungen zur Erfüllung moderner Sicherheitsanforderungen wurden für das KKW Krško im Rahmen der Laufzeitverlängerung als nicht „vernünftig machbar“ angesehen?*

3.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE3:** *Es wird empfohlen, alle technisch verfügbaren Sicherheitsverbesserungen zur Verhinderung von Unfällen umzusetzen.*
- **VE4:** *Es wird empfohlen, alle Anforderungen des 2020 WENRA Referenzlevels im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung 3 (PSR 3) zu erfüllen. Bei Abweichungen sollten die Gründe dafür erläutert werden.*

- **VE5:** *Es wäre wünschenswert, die folgenden weiteren Informationen zur Verfügung zu stellen:*
 - a) *Detaillierte Beschreibungen der Sicherheitssysteme, einschließlich Angaben zu Anforderungen an die wichtigen sicherheitsrelevanten Systeme und Komponenten. Darüber hinaus eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle bzw. zur Abmilderung ihrer Folgen getroffen wurden.*
 - b) *Nachvollziehbare Darstellung und Gesamtbewertung aller Abweichungen vom aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Diese Darstellung sollte beinhalten:*
 - Alle Abweichungen von den heutigen Anforderungen an Redundanz, Diversität und Unabhängigkeit der Sicherheitsebenen.
 - Unvollständigkeit der verwendeten Datenbasis und Anlagendokumentation.
 - Darstellung aller sicherheitstechnischen Bewertungen bzw. Parameterfestlegungen durch persönliche Begutachtungen ("engineering judgement").
 - Abweichungen vom Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der verwendeten Nachweisverfahren, der technischen Abschätzungen und Berechnungsverfahren.
 - Verfügbare Sicherheitsmargen für die einzelnen sicherheitsrelevanten Komponenten (insbesondere für die Reaktordruckbehälter) und deren jeweilige alterungsbedingte Veränderungen gegenüber dem Ausgangszustand.

4 UNFALLANALYSE (DBA UND BDBA)

4.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Die Kraftwerkszustände werden je nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit pro Betriebsjahr des Reaktors, dem Ausmaß der radiologischen Folgen und der Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme in drei Gruppen eingeteilt (UVP-BERICHT 2022, S. 110):

- Betriebszustände: (1) Regelbetrieb, (2) Betrieb mit Transienten
- Zustände bei nuklearen Störfällen: (3) zu erwartende Betriebsereignisse, (4) weniger wahrscheinliche Betriebsereignisse
- Zustände bei nuklearen Unfällen: (5) nukleare Auslegungsunfälle, (6) erweiterte nukleare Auslegungsunfälle, (7) schwere nukleare Unfälle

Ein erweiterter Auslegungsunfall ist ein Unfall, der durch erweiterte Auslegungsereignisse verursacht wird. Dies sind Ereignisse oder eine Kombination von Ereignissen mit extrem geringer Wahrscheinlichkeit und schwerwiegenden Folgen als bei den Auslegungsereignissen.

Es gibt zwei Kategorien von erweiterten Auslegungsereignissen:

- Erweiterte Auslegungsereignisse der Kategorie A (DEC-A), bei denen sichergestellt werden kann, dass ein Brennstoffschaden im Reaktor oder im Lagerbecken verhindert wird und nicht zu einem schweren nuklearen Unfall führt;
- erweiterte Auslegungsereignisse der Kategorie B (DEC-B), bei denen ein schwerer, über die Auslegungsstörfälle hinausgehender Brennstoffschaden zu erwarten ist.

Ein schwerer nuklearer Unfall geht in seinen Folgen über einen erweiterten Auslegungsunfall der Kategorie A hinaus und führt zu einer Beschädigung/Schmelzung des Reaktorkerns oder abgebrannter Brennelemente und zur Gefährdung der Umwelt oder kann zu einer Strahlenexposition oder Kontamination von Menschen oder der Umwelt führen. Er kann durch Mehrfachausfälle oder durch ein extrem unwahrscheinliches Ereignis, für das die Anlage nicht ausgelegt ist, eintreten. (UVP-BERICHT 2022, S. 111)

Probabilistische Sicherheitsanalyse - Stufe 1

Im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse des KKW Krško - Stufe 1 wird die Wahrscheinlichkeit von Kernschäden und -schmelzen aufgrund von auslösenden Ereignissen bewertet.

Die auslösenden Ereignisse werden unterteilt in:

a) Interne auslösende Ereignisse:

- Kategorie "LOCA": Rohrbruch des Primärkühlsystems (Kühlmittelverlustunfall – "Loss of Coolant Accident")

- Kategorie "Non LOCA": Rohrbruch auf der Sekundärseite, Transiente, Ausfall von Unterstützungssystemen, Ereignisse mit Ausfall der externen Stromversorgung und Transiente ohne automatische Reaktorabschaltung.
- b) interne Risiken wie interne Überschwemmung, interne Brände und Brüche von Hochenergieleitungen (High Energy Line Break - HELB).
- c) Externe auslösende Ereignisse aus der Umgebung bzw. externe Risiken¹³ außerhalb der Anlage. (UVP-BERICHT 2022, S. 112/113)

Probabilistische Sicherheitsanalyse - Stufe 2

Die probabilistische Sicherheitsanalyse - Stufe 2 (PSA 2) gibt die Wahrscheinlichkeit von Freisetzungen aus dem Sicherheitsbehälter sowie den zeitlichen Verlauf und die Menge der Freisetzung radioaktiver Stoffe an. Dazu werden alle möglichen Zustände zu einer überschaubaren Anzahl von sogenannten Störfallzuständen zusammengefasst und es wird für jeden von ihnen ein repräsentativer Störfall definiert.

Die wichtigsten deterministischen Phänomene oder Ereignisse, die im Ereignisbaum berücksichtigt werden, sind folgende (UVP-BERICHT 2022, S. 115):

- a) Bypass am Sicherheitsbehälter vorbei;
- b) Ausfall des Primärkreislaufs aufgrund hoher Temperatur;
- c) Art der Freisetzung aus dem Sicherheitsbehälter (Freisetzung durch die Wasserschicht, direkte Freisetzung, Durchdringung des Fundaments des Sicherheitsbehälters);
- d) Art des Ausfalls des Reaktorbehälters;
- e) Erstarrung der Schmelze nach dem Versagen des Reaktorbehälters;
- f) Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton;
- g) Explosion von Wasserstoff;
- h) Integrität des Sicherheitsbehälters im jeweiligen Zeitraum.

In der PSA - Stufe 2 sind die Zeitfenster (Perioden) für ein Versagen des Sicherheitsbehälters wie folgt definiert (UVP-BERICHT 2022, S. 114/115):

- 1) erster Zeitraum (Versagen des Sicherheitsbehälters vor dem Versagen des Reaktorbehälters) – definiert als Zeit vom Beginn der intensiven Reaktion von Wasser mit Zirkonium bis zum Zeitpunkt unmittelbar vor dem Versagen des Reaktorbehälters;
- 2) zweiter Zeitraum (Versagen des Sicherheitsbehälters während des Versagens des Reaktorbehälters) – definiert als Zeit vom Zeitpunkt unmittel-

¹³ Diese werden in Kapitel 5 dieser Stellungnahme behandelt.

bar vor dem Versagen des Reaktorbehälters bis zum Ende der dynamischen Reaktion des Sicherheitsbehälters auf das Versagen des Reaktorbehälters;

- 3) dritter Zeitraum (kein Versagen des Sicherheitsbehälters - mittelfristige Freisetzung durch das PCFVS vor Ablauf von 24 Stunden) – definiert als Zeit vom Ende der dynamischen Reaktion des Sicherheitsbehälters (Schmelze- und Kühlmittelreaktion außerhalb des Reaktorbehälters) bis 24 Stunden nach Beginn des Unfalls;
- 4) vierter Zeitraum (kein Versagen des Sicherheitsbehälters, späte Freisetzung durch das PCFVS nach 24 Stunden) – definiert als Zeit ab 24 Stunden.

Freisetzungskategorien

Freisetzungskategorien umfassen die Schlüsselemente des Störfallverlaufs, die sich auf die Zusammensetzung und das Ausmaß der Freisetzung auswirken. So können die Freisetzungskategorien (RC - release categories) definiert werden. Die Freisetzungskategorien sind in Tabelle 1 angegeben.

*Tabelle 1:
Freisetzungskategorien
(UVP-BERICHT 2022, S.
115)*

Freisetzungskategorie	Beschreibung
RC1	Die Schmelze verbleibt im Reaktorbehälter und es kommt zu keinem Versagen des Reaktorbehälters und des Sicherheitsbehälters.
RC2	Es tritt kein Versagen des Sicherheitsbehälters ein.
RC4	Durchdringung des Fundaments des Sicherheitsbehälters.
RC6	Frühzeitiges Versagen des Sicherheitsbehälters (im ersten und zweiten Zeitraum).
RC7A	Versagen der Isolation des Sicherheitsbehälters, keine Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton.
RC7B	Versagen der Isolation des Sicherheitsbehälters, Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton.
RC8A	Freisetzung am Sicherheitsbehälter vorbei – die Freisetzung ist aufgrund der Wasserschicht, die der radioaktive Stoff durchqueren muss, reduziert (scrubbed release).
RC8B	Freisetzung am Sicherheitsbehälter vorbei - direkte Freisetzung (unscrubbed release).
RCV3	Passiv gefilterte Entlastung des Sicherheitsbehälters im vierten Zeitraum.
RCV5	Passiv gefilterte Entlastung des Sicherheitsbehälters im dritten Zeitraum, keine Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton.

Für jede Gruppe von auslösenden Ereignissen wird das Risiko (LERF) einer frühzeitigen großen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt bei einem Kernschaden berechnet, wobei alle Kategorien großer Freisetzungen (RC6, RC7A, RC7B, RC8A und RC8B) addiert werden. (UVP-BERICHT 2022, S. 116)

Auslegungs- und erweiterte Auslegungsstörfälle (DEC)

Das KKW Krško wurde so ausgelegt, dass es Auslegungsstörfällen standhalten und diese mit seinen Sicherheitssystemen bewältigen kann. Die Anforderungen gewährleisten, dass die Systeme, Strukturen und Komponenten (SSK) in der Lage sind, ihre Sicherheitsfunktion zu erfüllen, und legen die Kriterien für die Betriebsfähigkeit während und nach einem Ereignis fest. Der Bericht "Calculation of doses at certain distances for Design Basis (DB) and Beyond Design Basis (BDB) accidents at NPP Krsko"¹⁴ gibt die geschätzte Dosis für Auslegungsstörfälle in bestimmten Entfernungen vom KKW Krško an.

Nach dem Fukushima-Unfall erstellte das KKW Krško eine Reihe von Analysen zu erweiterten Auslegungsstörfällen. Diese Unfälle sind in der Grundplanung des Kraftwerks bzw. im Rahmen der Auslegungsstörfälle nicht berücksichtigt. Die Analysen befassten sich mit Kombinationen von Störfällen und erforderten eine zusätzliche Nachrüstung des Kraftwerks (Design Extension Conditions – DEC Störfälle).

Die neuen zusätzlichen Systeme, die im Rahmen des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung installiert werden, stellen sicher, dass das KKW Krško mit der erweiterten Ausstattung und den Nachrüstungen in der Lage sein wird, auslegungsüberschreitende Störfälle zu bewältigen. Die Einrichtungen wurden in DEC-A- und DEC-B-Einrichtungen unterteilt.

Die DEC-A-Einrichtungen kann das KKW Krško zur Verhinderung einer Reaktorkernschmelze einsetzen. Die DEC-B-Einrichtungen sind für das Management von Ereignissen vorgesehen, bei denen es zu einer sehr unwahrscheinlichen Kernschmelze käme, und konzentrieren sich auf den Schutz der letzten Barriere gegen Freisetzungen, d. h. die Integrität des Sicherheitsbehälters (Containment). Das passive Filtersystem (PCFVS) dient der Druckentlastung des Sicherheitsbehälters. (UVP-BERICHT 2022, S. 71)

Schwere Unfälle

Mitte der 1990er Jahre wurden im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalysen der Stufe 2 (PSA 2) für das Kraftwerk unter anderem Analysen ausgewählter Störfallszenarien durchgeführt, die über die Auslegungsstörfälle hinausgehen. Die Analysen umfassten Zustände mit Beschädigungen des Reaktorkerns und Versagen des Sicherheitsbehälters (schwerer Unfälle). Solche Analysen dienten auch als Grundlage für die Erstellung von Leitlinien für das Management schwerer Unfälle (SAMG - Severe Accident Management Guidelines). Darüber hinaus wurden einige Änderungen vorgenommen, die eine angemessenere Reaktion der Einrichtungen und des Personals im Falle solcher Unfälle ermöglichen. Beispiele sind: die Strategie der Flutung des Raums unter dem Reaktorbehälter ("Wet Cavity") im Falle des Schmelzens des Reaktorbehälters.

¹⁴ Berechnung der Dosen in bestimmten Entfernungen für Auslegungsstörfälle (DB) und erweiterte Auslegungsstörfälle (BDB) im Kernkraftwerk Krško / Calculation of doses at certain distances for Design Basis (DB) and Beyond Design Basis (BDB) accidents at NPP Krsko (No. FER-ZVNE/SA/DATR03/21-0), FER-MEIS, 2021

Nach Anschaffung eines Simulators für die Schulung der Betriebsmannschaft und erfolgter Erstellung der SAMG kann das KKW Krško auch Übungen für auslegungsüberschreitende Unfälle durchführen. (UVP-BERICHT 2022, S. 86)

Auslegungsstörfall mit Kühlmittelverlust (LB LOCA)

Als repräsentativer Auslegungsstörfall (DBA), der unter dem Gesichtspunkt der prognostizierten Freisetzungen und Dosisbelastungen in der unmittelbaren Umgebung am schlimmsten ist, wurde ein Störfall mit Verlust des Primärkühlmittels, der so genannte Large Break LOCA (LB LOCA – großer Kühlmittelverlust-Störfall) gewählt, der in seinen Annahmen auch Brennstoffschäden einschließt. Die Dosen aufgrund von Brennelementbeschädigungen im SFP (Brennelementabsturz) sind geringer als bei einem Large Break LOCA. (UVP-BERICHT 2022, S. 394)

Für den Fall eines Auslegungssturfs mit Kühlmittelverlust (LB LOCA) wird das an die Umwelt abgegebene Isotopeninventar mit den im Sicherheitsbericht (USAR) angeführten Annahmen berechnet, wobei das radioaktive Inventar auf den für das KKW Krško spezifischen ORIGEN2-Berechnungen basiert. Der zeitliche Verlauf der Freisetzung entspricht NUREG-1465. (UVP-BERICHT 2022, S. 395)

Ausgegangen wird von einer Auslegungsleckage des Sicherheitsbehälters direkt in die Umgebung, wobei Radionuklide nicht gefiltert werden. Als Leckage wird eine Bodenfreisetzung angenommen. Die Gesamtleckage des Sicherheitsbehälters beträgt in den ersten 24 Stunden 0,2 vol.%/Tag und danach 0,1 vol.%/Tag. (UVP-BERICHT 2022, S. 396)

Erweiterter Auslegungsstörfall (DEC-B)

Als repräsentativer erweiterter Auslegungsstörfall der Kategorie DEC-B wurde ein Störfall mit Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung und Ausfall der Betriebsmannschaft für 24 Stunden gewählt. Die Wahrscheinlichkeit eines Totalausfalls der Wechselstromversorgung beträgt 4,13 E-07/Jahr. Konservativ wird zudem davon ausgegangen, dass in den ersten 24 Stunden keine Stromversorgung hergestellt werden kann und keine Maßnahmen seitens der Betriebsmannschaft ergriffen werden. Das Szenario geht von einem Ausfall der externen Stromversorgung, einem Ausfall der Dieselgeneratoren, einem Ausfall der Wiederherstellung der Stromversorgung und einer Leckage der Reaktorpumpendichtungen (RCP) aus, was zu einem Kühlmittelverluststörfall führt. Das Austreten von Kühlmittel durch die RCP-Dichtungen stellt einen kleinen Kühlmittelverluststörfall dar; aufgrund der angenommenen Unfähigkeit zur Wiederauffüllung kommt es zur Freilegung und Erwärmung sowie Beschädigung des Kerns. (UVP-BERICHT 2022, S. 395)

Infolgedessen kommt es zur Kernschmelze, zum Durchschmelzen des Reaktorbehälters und zum Ausfließen der Kernschmelze in den Sicherheitsbehälter. Beim Ausfließen der Schmelze in den Sicherheitsbehälter kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen Beton und Schmelze (MCCI – Molten Core Concrete Interaction), bei der verschiedene Gase freigesetzt werden, was zu einem Druckanstieg im Sicherheitsbehälter führt. Bei einem Druckanstieg über 6 bar wird

das passive Filtersystem ausgelöst, um den Druck im Sicherheitsbehälter zu entlasten. Dadurch wird der Schutz der Druckgrenze des Sicherheitsbehälters sichergestellt und eine langfristige Kontamination der Umgebung vollständig verhindert.

Es wird hervorgehoben, dass im Falle einer Kernschmelze eine solche Freisetzung von radioaktivem Material in die Umgebung im Vergleich zu anderen Freisetzungskategorien am wahrscheinlichsten ist. (UVP-BERICHT 2022, S. 397)

Ein Verlust der Druckbarriere des Reaktorgebäudes wird beim repräsentativen erweiterten Störfall nicht angenommen, da die HCLPF-Kapazität der Strukturen, die die Druckbarriere des Reaktorgebäudes bilden, 1,11 g beträgt. (UVP-BERICHT 2022, S. 395)

Minderungsmaßnahmen werden nach Ablauf von 24 Stunden ab Beginn des Störfalls angenommen. Vor diesem Zeitpunkt kommt es zur ersten und einzigen Freisetzung über das passive Filtersystem des Sicherheitsbehälters (Öffnungszeit von 3 Stunden). Nach 24 Stunden ist die Wärmeableitung aus dem Sicherheitsbehälter über das Alternative Wärmeableitungssystem (ARHR) vorgesehen. Es wird auch davon ausgegangen, dass der Sicherheitsbehälter durch Einsatz des ARHR-Systems besprüht wird. (UVP-BERICHT 2022, S. 397)

Die Wahrscheinlichkeit eines erweiterten Auslegungsstörfalls für das Lagerbecken mit abgebrannten Brennelementen (Freilegung von Brennelementen im Becken) ist sehr gering bzw. vernachlässigbar (ca. $1\text{E-}9/\text{Jahr}$). Im Rahmen der sicherheitstechnischen Aufrüstung hat das KKW Krško zusätzlich zu den Auslegungssystemen ein alternatives Kühlsystem und ein alternatives Sprühsystem installiert. Dies hat die ohnehin geringe Wahrscheinlichkeit von Brennstoffschäden im Becken für abgebrannte Brennstoffe noch zusätzlich verringert. (UVP-BERICHT 2022, S. 394/395)

Radioaktives Inventar (Quellterm)

Das radioaktive Inventar, das bei Auslegungsstörfällen und erweiterten Auslegungsstörfällen aus dem Kern in den Sicherheitsbehälter freigesetzt wird, basiert auf den in NUREG-1465 beschriebenen Methoden. (UVP-BERICHT 2022, S. 394)

Die freigesetzten Aktivitäten (in Bq) für die relevanten Isotope wurden in drei Zeitintervalle (erster Tag, erster bis dritter Tag, dritter bis dreißigster Tag) eingeteilt und sind in einer Tabelle im UVP-Bericht (Tabelle 138) angegeben. In der folgenden Tabelle (Tabelle 2) sind die Radionuklide für die beiden relevanten Nuklide Cäsium-137 (Cs-137) und Iod-131 (I-131) für die beiden analysierten Unfälle angegeben. (UVP-BERICHT 2022, S. 411)

Tabelle 2: *Ermittelte Freisetzungen für die relevanten Nuklide in die Atmosphäre (UVP-BERICHT 2022, S. 411/412)*

Radionuklid	Auslegungsstörfall	Erweiterter Auslegungsstörfall
I-131	5,005*E13	5,032* E14
Cs-137	6,8099*E12	7,75 *E13

Freisetzung von kontaminiertem Wasser

Bei den betrachteten Unfällen (DBA und DEC-B) kommt es zu keinen Flüssigkeitseinleitungen in den Fluss Save. Das gesamte Kühlwasser wird innerhalb des Sicherheitsbehälters und des Nebengebäudes zurückgehalten, das für Systeme und Komponenten ausgelegt ist, die radioaktives Material enthalten. (UVP-BERICHT 2022, S. 375)

4.2 Diskussion und Bewertung

Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA)

Zur Quantifizierung des Risikos von Reaktoren wird vielfach eine Analyse der sogenannten Kernschadenshäufigkeit (Core Damage Frequency, CDF) verwendet. Diese wird im Rahmen von probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) ermittelt. Zentrale Elemente einer PSA sind Ereignisablaufanalysen. Dazu werden für alle betrachteten Ereignisse, die einen Unfall auslösen könnten, Ereignisbäume erstellt. Diese sollen jede mögliche Folgeentwicklung nach dem auslösenden Ereignis erfassen. Sie bestehen aus zahlreichen, sich zunehmend verzweigenden, unterschiedlichen Pfaden, die jeweils einem möglichen Ablauf entsprechen. In sogenannten Fehlerbaumanalysen werden systematisch sämtliche bekannten Ausfallursachen erfasst und die Wahrscheinlichkeiten bewertet, die zu dem Ausfall führen könnten.

Die ermittelte Häufigkeit eines schweren Unfalles ist jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Nur ein Teil dieser Unsicherheiten kann zahlenmäßig erfasst werden. Hinzu kommen Unsicherheiten, die in der PSA nicht quantifiziert wurden oder generell nicht quantifizierbar sind, wie komplexes menschliches Fehlverhalten, unerwartete alterungsbedingte Ausfälle, unerwartete Ereignisse (z. B. extreme Wetterereignisse), Terrorangriffe und Sabotageaktionen oder mangelhafte Sicherheitskultur. (GP 2012)

Eine weitere potenzielle Unsicherheit in der PSA und damit in der CDF verdeutlicht die sogenannte „Badewannenkurve“. Es handelt sich hierbei um die Darstellung der unterschiedlichen Versagensraten in einem Alterungsprozess. In der ersten Phase ist die Ausfallrate durch Frühausfälle zu Beginn der Lebenszeit noch hoch. In der zweiten Phase bleibt die Ausfallrate der Komponente über einen langen Zeitraum konstant, es kommt zu Zufallsausfällen. In der letzten Phase kommen Alterungseffekte vermehrt zum Tragen, die Ausfallrate steigt

wieder. De facto müsste in einer lebenden PSA (living PSA) jede einzelne Komponente danach beurteilt werden, wie alt sie gerade ist und welche Ausfallrate sich daraus ergibt. Zumeist wird allerdings, der Einfachheit halber, die zweite Phase (Zufallsausfälle) als Grundlage der Berechnung verwendet. Daraus ergibt sich, dass die Ausfallrate als zu gering eingestuft werden kann, was sich wiederum auf die Kernschadenshäufigkeit auswirkt.

Die berechnete Häufigkeit von Kernschmelzunfällen sowie von Unfällen mit sehr hohen und frühzeitigen Freisetzungen darf insofern lediglich als grober Risiko-Indikator verstanden werden, und nicht als belastbare Angabe für die tatsächliche Wahrscheinlichkeit derartiger Unfälle. Die tatsächliche Wahrscheinlichkeit ist prinzipiell nicht ermittelbar. Es muss aber angenommen werden, dass sie deutlich über dem in der PSA errechneten Erwartungswert liegt. (GP 2012)

Allgemein lässt sich sagen, dass Nachrüstungsmaßnahmen einen positiven Effekt für die Sicherheit haben können – vor allem, wenn im Zuge der Nachrüstungen bekannte Schwachstellen so gut wie möglich verkleinert wurden. (INRAG 2021)

In IAEA (2016b) werden für neue Kernkraftwerke als nicht verbindliche Richtwerte (Orientierungswerte) für Ereignisse oder Anlagenzustände die folgenden Werte genannt und den jeweiligen Sicherheitsebenen des gestaffelten Sicherheitssystems zugeordnet:

- Erwartete Störungen (Anticipated operational occurrences) sollen eine Wahrscheinlichkeit von unter 10^{-2} pro Jahr haben.
- Auslegungsstörfälle (Design Basis Accidents) sollen eine Wahrscheinlichkeit von 10^{-2} bis 10^{-6} pro Jahr haben.
- Auslegungsüberschreitende Störfälle (Design Extension Conditions=DEC) ohne signifikantem Kernschaden (DEC-A) sollen eine Wahrscheinlichkeit von 10^{-4} bis 10^{-6} pro Jahr haben.
- Design Extension Conditions mit Kernschmelze (DEC-B) sollen eine Wahrscheinlichkeit von unter 10^{-6} pro Jahr haben.

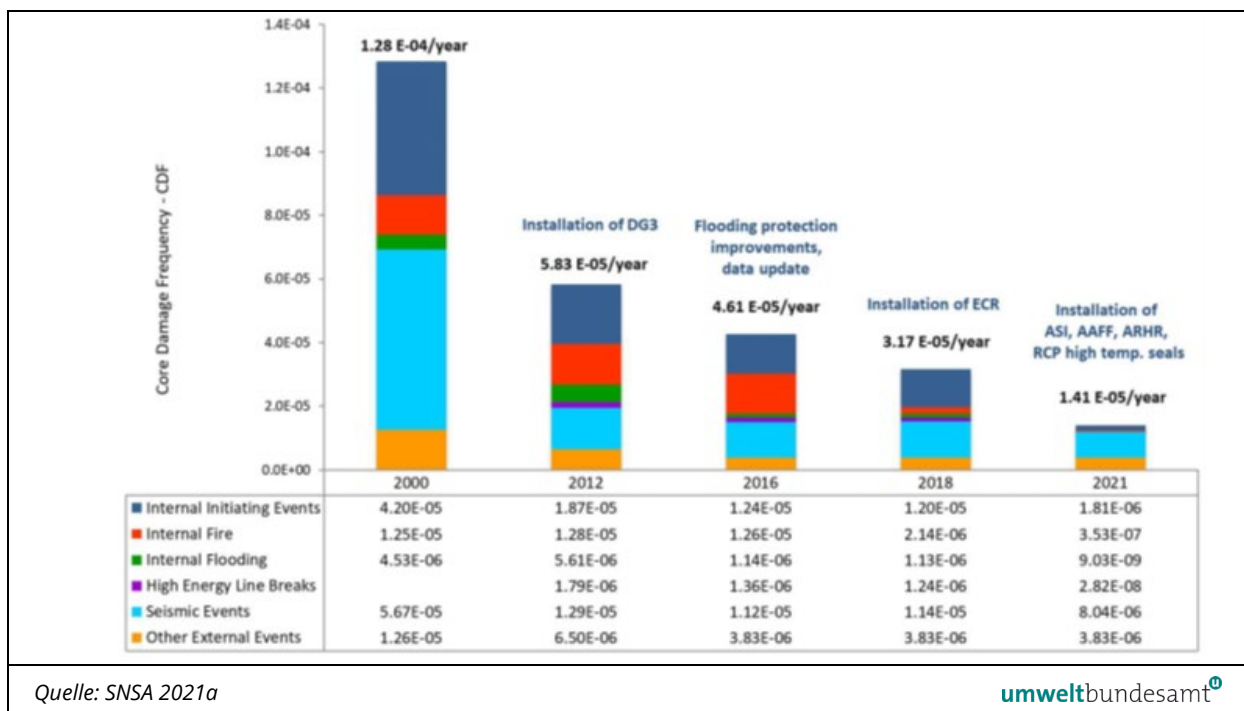
Diese Werte sind indikativ. Nationale Regulierungen können andere Werte vorgeben, aber auf internationaler Ebene können diese als kleinster gemeinsamer Nenner zusammengefasst werden. Die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit von Unfällen hängt sehr oft von den zugrundeliegenden Berechnungsmethoden ab.

Probabilistische Sicherheitsanalysen für das KKW Krško

Die Maßnahmen des SUP haben die Robustheit des KKW Krško verbessert und das Unfallrisiko verringert. Dies lässt sich an den PSA-Ergebnissen ablesen, bei denen die Häufigkeit von Kernschäden deutlich gesenkt werden konnte.

Wie aus den PSA-Ergebnissen (siehe Abbildung 4) ersichtlich ist, wurden die Risiken aus allen Kategorien von auslösenden Ereignissen stark reduziert, insbesondere bei den internen Gefahren, wie z. B. interne auslösende Ereignisse, interne Brände, Überschwemmungen und Hochenergie-Leitungsbrüche (HELB). Ebenso wurden die Risiken durch externe Gefährdungen weiter reduziert.

Abbildung 4: Darstellung der Häufigkeit von Kernschäden je Betriebsjahr (CDF/yr) (SNSA 2021a)



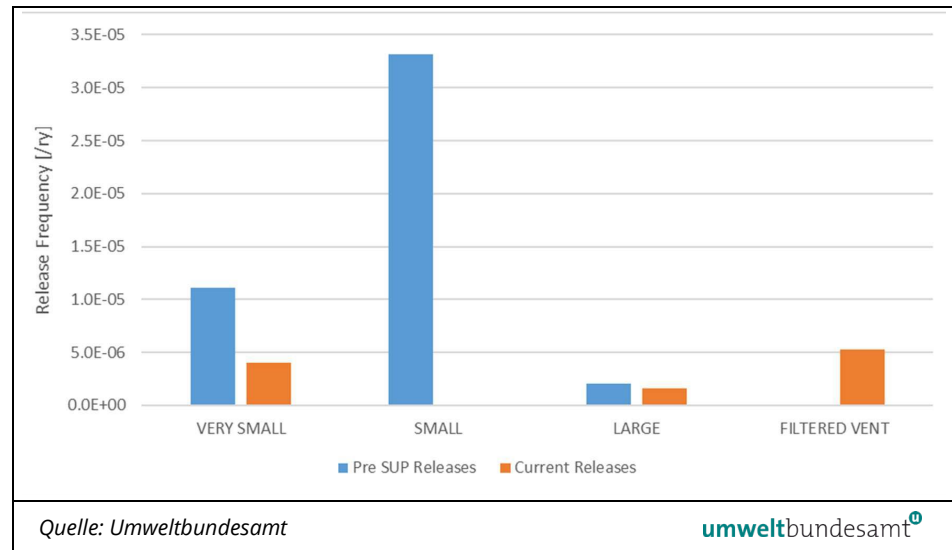
umweltbundesamt[®]

Auch wenn die Reduzierung der Kernschmelzhäufigkeit erheblich ist, ist die CDF im Vergleich zu anderen Anlagen insbesondere zu neuen KKW hoch. Die CDF für neue KKW liegen um einen Faktor 10 bis 100 niedriger. Auch die Orientierungswerte für neue KKW der IAEA (2016b) sind deutlich niedriger. Die Reduzierung der CDF in KKW Krško erfolgte aufgrund langer überfälliger Nachrüstungen für den Betrieb. Sie sind für eine Betriebsverlängerung aber nicht ausreichend. Zu beachten ist auch, dass Fragen bezüglich der vollständigen Ermittlung der Gefährdungen (intern und extern) sowie der Methoden der Ermittlung noch offen sind. könnten die Werte für die CDF für KKW Krško noch höher liegen.

Die Häufigkeit ungefilterter Freisetzungen wurde erheblich reduziert, was vor allem auf die Filterwirkung des passiven Containment-Entlüftungssystems und die Nachrüstung der präventiven DEC-A-Ausrüstungen zurückzuführen ist. Die Häufigkeit der „kleinen“ Freisetzungen ist deutlich gesunken; der Großteil dieser Freisetzungen wurde in die neue Kategorie Filtered venting VENT übertragen (Abbildung 5). Laut UVP-BERICHT (2022) wurden in den PSA 2 Analysen für KKW Krško ermittelt, dass einige der Szenarien von Kernschmelzunfällen ein Containmentversagen verursachen können. Diese Szenarien sind mit großen Freisetzungen verbunden. Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, bleibt die Häufigkeit für „große“ Freisetzungen auch nach Abschluss der SUP Maßnahmen

annähernd unverändert.

Abbildung 5:
Änderungen der Häufig-
keiten von Freisetzungen
durch die Implementie-
rung des SUP (SNSA
2021a)



Laut UVP-BERICHT (2022) verbesserte sich nach Umsetzung des SUP die nukleare Sicherheit. In den UVP-Dokumenten sind Angaben über Ergebnisse der PSA 2, d.h. Angaben zu Häufigkeiten für große Freisetzungen (LRF) und große frühzeitige Häufigkeiten (LERF) nicht vorhanden. Zudem sind, wie oben dargestellt, die in PSA ermittelten CDF nur als Hinweise für Schwachstellen zu verstehen. Ergebnisse probabilistischer Analysen (PSA) sollten grundsätzlich nur ergänzend zu deterministischen Überlegungen als Kriterien für ausreichende Sicherheit herangezogen werden. Denn lediglich Unsicherheiten bei den Eingangsparametern, die durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfasst werden, lassen sich quantifizieren. Unsicherheiten, die durch Unvollständigkeit der Daten entstehen, entziehen sich jeglicher Quantifizierung.

Auslösende Ereignisse

Bei der letzten Aktualisierung der WENRA Referenzlevel in 2020 wurden auf Basis neuerer Erfahrungen und Erkenntnisse, die in den Sicherheitsnachweisen zu behandelnden Gefahren vervollständigt. (WENRA 2021) Das Thema S (Schutz gegen Brände im Inneren) wurde auf alle internen Gefahren (Thema SV) erweitert. Es ist aus den UVP Dokumenten nicht zu erkennen, ob eine Betrachtung der internen Ereignisse gemäß WENRA RL SV im Rahmen der aktuellen Sicherheitsnachweise bereits erfolgte. Laut R L SV 3.2 sind interne Gefahren, soweit dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist, zu beseitigen oder soweit zu minimieren, bis nachgewiesen werden kann, dass:

- die schwerste physikalisch mögliche Auswirkung nicht in der Lage ist, eine Gefahr für sicherheitsrelevante SSCs darzustellen, oder
- das Auftreten eines durch eine Gefahr ausgelösten Ereignisses mit hoher Zuverlässigkeit extrem unwahrscheinlich ist.

Auch das Referenzlevel T (Naturgefahren) wurde auf alle äußeren Gefahren erweitert (Thema TU) (siehe dazu Kapitel 5 dieser Stellungnahme). Demnach bestehen eine Reihe von Fragen bezüglich der Ermittlung und Bewertung der potenziellen äußeren Ereignisse.

Solange nicht alle potenziellen auslösenden Ereignisse und deren Kombinationen berücksichtigt werden, sind weder die Unfallszenarien noch die ermittelten Werte für die Unfallwahrscheinlichkeiten ausreichend belegt.

Quellterme und Ermittlung der Auswirkungen

Im UVP-Dokument sind die beiden Quellterme für einen Auslegungsstörfall und einen auslegungsüberschreitenden Unfall angegeben, die für die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen in dem UVP-Bericht verwendet wurden.

Der als maximaler Auslegungsstörfall (LB LOCA – großer Kühlmittelverlust-Störfall) betrachtete Unfall entspricht dem allgemein üblichen Vorgehen in Sicherheitsanalysen. Das Unfallszenario sowie der ermittelte Quellterm werden nachvollziehbar angegeben.

Als auslegungsüberschreitender Unfall zur Ermittlung der radiologischen Auswirkungen wird das Szenario „Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung und Ausfall der Betriebsmannschaft für 24 Stunden“ gewählt. Im Verlauf des Unfalls kommt es zum Schmelzen der Brennstäbe im Reaktorkern, dem Bruch des Reaktorbehälters, einem Druckaufbau im Sicherheitsbehälter und letztlich zur Freisetzung des gesamten vorhandenen radioaktiven gasförmigen Materials durch die gefilterte Druckentlastung in die Umgebung. Es wird erklärt, dass dieses Unfallszenario einem erweiterten Auslegungsstörfall DEC-B entspricht. Es wird hervorgehoben, dass im Falle einer Kernschmelze eine solche Freisetzung von radioaktivem Material in die Umgebung im Vergleich zu anderen Freisetzungskategorien am wahrscheinlichsten ist und daher das beschriebene Szenario als abdeckendes Ereignis betrachtet wird.

Laut UVP-BERICHT (2022) muss aber bei einem Kernschaden mit einer frühzeitigen großen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt bei den fünf folgenden Freisetzungskategorien gerechnet werden:

- Frühzeitiges Versagen des Sicherheitsbehälters (RC6),
- Versagen der Isolation des Sicherheitsbehälters, ohne Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton (RC7A),
- Versagen der Isolation des Sicherheitsbehälters, Wechselwirkung zwischen Schmelze und Beton (RC7B),
- Freisetzung am Sicherheitsbehälter vorbei – Freisetzung aufgrund der Wasserschicht, die der radioaktive Stoff durchqueren muss, reduziert (scrubbed release) (RC8A) und
- Freisetzung am Sicherheitsbehälter vorbei – direkte Freisetzung (unscrubbed release) (RC8B).

Um das Risiko frühzeitiger großer Freisetzung (Large Early Release Frequency - LERF) zu ermitteln, werden die Wahrscheinlichkeiten dieser Kategorien addiert.

Die errechneten Wahrscheinlichkeiten dieser Freisetzungskategorien sind im UVP-Bericht nicht angegeben. Auch die zugehörigen Quellterme fehlen.

Es wird auch nicht erklärt, wie hoch die Freisetzen bei einem Durchschmelzen des Fundaments (Freisetzungskategorie RC4) wären und welche Wahrscheinlichkeit für ein derartiges Szenario errechnet wurde. Eine Einrichtung zur Verhinderung eines derartigen Unfallszenarios mit einer späten großen Freisetzung ist nicht vorhanden.

Laut UVP-Bericht (2021) resultiert der Quellterm des schweren Unfalls, der als abdeckend schwerer Unfall bezeichnet wird, aus einem Kernschmelzunfall jedoch unter der Annahme der Erhaltung der Integrität des Containments. Der Erhalt der Containments während eines Unfalls, ist wie oben dargelegt, nicht für alle Unfallabläufe gegeben. Daher sollten die Auswirkungen eines schweren Unfalls mit Versagen des Containments betrachtet werden.

Die in der UVP zu verwendenden (abdeckenden) Quellterme sollten auf Basis von vorhandenen Unfallanalysen bzw. PSA-Ergebnissen belegbar sein. In jedem Fall sollten die UVP-Dokumente eine nachvollziehbare Begründung für die verwendeten Quellterme enthalten. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit großen radioaktiven Emissionen in der PSA sehr klein erscheint, sollten die entsprechenden Quellterme für schwere Unfälle in einem grenzüberschreitenden UVP-Verfahren berücksichtigt werden.

Einige der laufenden Kernkraftwerke haben Systeme und Komponenten nachgerüstet, um im Bereich der Minderung von Auswirkungen nicht beherrschter schwerer Unfälle insgesamt Verbesserungen des Sicherheitsniveaus zu erzielen. Bei neuen Kernkraftwerken sind diese Verbesserungen bereits im Design verankert. Die Nachrüstung einer Vorrichtung zur Stabilisierung des geschmolzenen Kerns ist für das KKW Krško nicht geplant und auch nicht von der Aufsichtsbehörde gefordert.

4.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Laut UVP-BERICHT (2022) haben die Maßnahmen des SUP die Robustheit des KKW Krško verbessert und das Unfallrisiko verringert. Es lässt sich an den PSA-Ergebnissen ablesen, dass die errechnete Häufigkeit von Kernschäden deutlich gesenkt wurde. Auch wenn die Reduzierung der Kernschmelzhäufigkeit (CDF) erheblich ist, ist die CDF im Vergleich zu anderen Anlagen hoch. Bei neuen KKW liegen die Werte um einen Faktor 10 bis 100 niedriger. Auch die Orientierungswerte für neue KKW gemäß IAEA (2016b) sind deutlich niedriger.

Die Reduzierung der CDF in KKW Krško erfolgte aufgrund lange überfälliger Nachrüstungen für den derartigen Betrieb. Sie sind für eine Betriebsverlängerung aber nicht ausreichend. Zu beachten ist auch, dass Fragen bezüglich der

vollständigen Ermittlung der Gefährdungen (intern und extern) sowie der Methoden der Ermittlung noch offen sind. Daher könnten die Werte für die CDF des KKW Krško noch höher liegen.

Bei der letzten Aktualisierung der WENRA Referenzlevel in 2020 wurden auf Basis neuerer Erfahrungen und Erkenntnisse, die in den Sicherheitsnachweisen zu behandelnden Gefahren vervollständigt. Ob die Anforderungen für interne Ereignisse bereits erfüllt sind, ist aus den UVP Dokumenten nicht zu entnehmen. Laut Kapitel 5 dieser Stellungnahme bestehen eine Reihe von Fragen bezüglich der Ermittlung und Bewertung der externen Ereignisse. Solange nicht alle potenziellen auslösenden Ereignisse und deren Kombinationen angemessen berücksichtigt werden, sind weder die Unfallszenarien noch die ermittelten Werte für die CDF ausreichend belegt.

Im UVP-Bericht sind die beiden Quellterme für einen Auslegungsstörfall und einen auslegungsüberschreitenden Unfall angegeben, die für die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen verwendet wurden.

Der als maximaler Auslegungsstörfall (LB LOCA – großer Kühlmittelverlust-Störfall) betrachtete Unfall entspricht dem allgemein üblichen Vorgehen in Sicherheitsanalysen. Das Unfallszenario sowie der ermittelte Quellterm werden nachvollziehbar angegeben.

Als auslegungsüberschreitender Unfall wird das Szenario „Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung und Ausfall der Betriebsmannschaft für 24 Stunden“ gewählt. Im Verlauf des Kernschmelzunfalls kommt es letztlich zur Freisetzung des gesamten radioaktiven gasförmigen Materials durch die gefilterte Druckentlastung in die Umgebung. Es wird erklärt, dass dieses Unfallszenario einem erweiterten Auslegungsstörfall DEC-B entspricht. Es wird hervorgehoben, dass im Falle einer Kernschmelze eine solche Freisetzung im Vergleich zu anderen Freisetzungskategorien am wahrscheinlichsten ist und daher als abdeckendes Ereignis betrachtet wird.

Laut PSA 2 für das KKW Krško können einige der Szenarien von Kernschmelzufällen ein Versagen des Sicherheitsbehälters verursachen. Diese Szenarien sind mit großen Freisetzungen verbunden. Die Häufigkeit für große Freisetzungen hat sich durch die SUP Maßnahmen kaum verringert. Laut UVP-BERICHT (2022) muss bei einem Kernschaden mit einer frühzeitigen großen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt bei fünf Freisetzungskategorien bzw. Unfallabläufen gerechnet werden. Um das Risiko frühzeitiger großer Freisetzung (Large Early Release Frequency -LERF) zu ermitteln, werden die Wahrscheinlichkeiten dieser Kategorien addiert. Die ermittelten Wahrscheinlichkeiten und die zugehörigen Quellterme sowie die ermittelte LERF sind im UVP-BERICHT (2022) nicht angegeben.

Es wird auch nicht erklärt, wie hoch die Freisetzungen bei einem Durchschmelzen des Fundaments wären und welche Wahrscheinlichkeit für eine derartige Szenario errechnet wurde. Eine Einrichtung zur Verhinderung eines derartigen Unfallszenarios mit einer späten großen Freisetzung ist nicht vorhanden.

Laut UVP-BERICHT (2022) resultiert der als abdeckend bezeichnete schwere Unfall aus einem Kernschmelzunfall jedoch unter der Annahme der Erhaltung der Integrität des Containments. Da der Erhalt des Containments während eines Unfalls nicht für alle Unfallabläufe gegeben ist, sollten die radiologischen Folgen eines schweren Unfalls mit Versagen des Containments betrachtet werden. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit großen radioaktiven Emissionen sehr klein erscheint, sollten die entsprechenden Quellterme für schwere Unfälle in einem grenzüberschreitenden UVP-Verfahren verwendet werden, um die radiologischen Folgen zu ermitteln.

Einige der laufenden Kernkraftwerke haben Systeme und Komponenten nachgerüstet, um im Bereich der Minderung von Auswirkungen nicht beherrschter schwerer Unfälle insgesamt Verbesserungen des Sicherheitsniveaus zu erzielen. Bei neuen Kernkraftwerken sind diese Verbesserungen bereits im Design verankert. Die Nachrüstung einer Vorrichtung zur Stabilisierung des geschmolzenen Kerns ist für das KKW Krško nicht geplant und auch nicht von der Aufsichtsbehörde gefordert.

Die WENRA „Safety Objectives for New Power Reactors“ sollten als Referenz für die Identifizierung von vernünftigerweise durchführbaren Sicherheitsverbesserungen für das KKW Krško verwendet werden. Laut WENRA-Sicherheitsziel O3 müssten Unfälle mit Kernschmelze, die zu frühen oder großen Freisetzungen führen würden, praktisch ausgeschlossen werden. Der praktische Ausschluss einer Unfallsequenz kann nicht allein aufgrund der Einhaltung eines probabilistischen Zielwerts erfolgen. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit eines Unfallszenarios sehr gering ist, sollten alle zusätzlichen, vernünftig machbaren Sicherheitsverbesserungen zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden. Das Konzept des „praktischen Ausschlusses“ von frühen oder großen Freisetzungen wird für das KKW Krško im UVP-BERICHT (2022) nicht erwähnt.

4.3.1 Fragen

- **F31:** *Wie lauten die Quellterme der in der PSA Level 2 berechneten auslegungsüberschreitenden Unfälle der Freisetzungskategorien RC6, RC7A, RC7B, RC8A und RC8B? Welche Wahrscheinlichkeiten wurden dafür ermittelt?*
- **F32:** *Was ist die technische Begründung für den auslegungsüberschreitenden Unfall, der für die Berechnung möglicher grenzüberschreitender Auswirkungen gewählt wird? Wird dieser Unfall auch als abdeckend für den Absturz eines Flugzeugs angesehen?*
- **F33:** *Wie soll ein Durchschmelzen des Fundaments infolge eines Kernschmelzunfalls verhindert werden? Wie lautet die errechnete Wahrscheinlichkeit für diesen Ablauf (Freisetzungskategorie RC4)?*
- **F34:** *Wurde im Rahmen des UVP-Verfahrens der Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs analysiert?*

- **F35:** *Wurde eine DEC-B-Analyse durchgeführt, um vernünftig machbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden oder Bedingungen abzuschwächen, die zu frühen oder großen radioaktiven Freisetzungen führen könnten, soweit solche Schäden oder Zustände nicht mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft wurden?*
- **F36:** *Werden für Auslegungsstörfälle (Design Basis Accidents), auslegungsüberschreitende Störfälle (Design Extension Conditions=DEC) ohne signifikantem Kernschaden (DEC-A) und mit Kernschmelze (DEC-B) im Regelwerk in Slowenien Zielwerte für die Wahrscheinlichkeit vorgegeben? Wie lauten die jeweiligen Werte für das KKW Krško?*
- **F37:** *Ist eine Betrachtung der internen Ereignisse gemäß WENRA RL SV im Rahmen der aktuellen Sicherheitsnachweise bereits erfolgt?*

4.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE6:** *Es wird empfohlen, die WENRA-Sicherheitsziele für neue KKW zu verwenden, um vernünftig machbare Sicherheitsverbesserungen für das KKW Krško zu identifizieren. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit eines Unfallszenarios sehr gering ist, sollten alle zusätzlichen, vernünftig machbaren Sicherheitsverbesserungen zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden. Es wird empfohlen, für diesen Ansatz das Konzept des praktischen Ausschlusses für Unfälle mit frühen oder großen Freisetzungen zu verwenden.*
- **VE7:** *Es wird empfohlen, die folgenden Informationen über Störfallanalysen und die Ergebnisse der PSA 2 bereitzustellen, um nachvollziehbar beurteilen zu können, ob Österreich potenziell betroffen ist:*
 - Häufigkeit großer (früher) Freisetzungen (L(E)RF)
 - Anteil der Kernschmelzunfälle, die zum Containmentversagen führen
 - Liste der auslegungsüberschreitenden Störfälle (bdbas) und der zugehörigen Quellterme

5 UNFÄLLE DURCH EXTERNE EREIGNISSE

5.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Erdbeben

Erdbebengefährdung: Die standortspezifische Gefährdung durch Erdbeben wird in NEK (2021, S. 17-18) und, teilweise wortident, in UVP-BERICHT (2022, S. 74-75) wie folgt beschrieben:

Das KKW Krško ist erdbebensicher nach der Slowenischen Regelung RG 1.60 für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (JV5-Regelung, Amtsblatt der Republik Slowenien Nr. 74/16 und 76/17 - ZVISJV-1). Die maximale Bodenbeschleunigung (Peak Ground Acceleration, PGA) des ursprüngliche Auslegungserdbebens für die sichere Abschaltung des KKW (Safe Shutdown Earthquake, SSE) wurde mit 0,3 g in Höhe des Fundaments gewählt. Alle Bauwerke wurden unter der konservativen Annahme ausgelegt, dass das Fundament an der Oberfläche liegt.

In UVP-BERICHT (2022, 197ff.) wird die örtliche seismische Erdbebengefahr (Bodenbeschleunigungen und Wiederkehrperioden) diskutiert. Chronologisch werden die Voruntersuchungen beginnend in den frühen 1970er Jahren bis 2004 beschrieben. Die Bewertung der Gefährdungsgrundlage für die Umgebung von Krško mit PGA = 0,2 g für die Wiederkehrperiode 475 Jahre (UVP-BERICHT 2022, 197; Abb. 41) ist für das gegenständliche UVP Verfahren ohne Belang.

2004 und 2014 durchgeführte Erdbebengefährdungsanalysen (PSHA, Probabilistic Seismic Hazard Assessment; NEK 2021, S. 18) für den KKW-Standort ergeben Beschleunigungen von PGA = 0,56 g für eine Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren¹⁵. Durch die Konservativität der ursprünglichen Auslegung verfügt das KKW über ausreichende Sicherheitsreserven, sodass die Erdbebensicherheit auch für die wesentlich höhere Belastung von PGA = 0,56 g durch eine probabilistische Erdbebensicherheitsanalyse (PSA Level 1 und 2, 2004, zitiert in NEK 2021) nachgewiesen werden konnte.

NEK (2021, S. 18) stellt weiters fest, dass „durch die europäischen Stresstests des Kernkraftwerks Krško [SNSA, 2011] nachgewiesen [wurde], dass die Beschleunigungen während eines Erdbebens, von denen Auswirkungen auf die Bauwerke und Systeme des Kraftwerks zu erwarten sind, wesentlich höher als die Auslegungsbeschleunigungen sind....“. Die seismische Sicherheit wurde in der Folge durch ein Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung des Kraftwerks, den Bau eines dritten Dieselgenerators (DG3) und mobile Ausrüstungen weiter erhöht. Alle neuen Bauwerke und Systeme, die im Rahmen des Programms zur sicherheitstechnischen Aufrüstung an der Hauptnuklearinsel ausgeführt wurden, sind auf eine maximale Bodenbeschleunigung an der Oberfläche von PGA = 0,6 g ausgelegt (NEK 2021, S. 18; UVP-BERICHT 2022, S. 442). Die Auslegungsgrundlage neuer, außerhalb der Hauptinsel liegender Gebäude und Systeme (befestigtes

¹⁵ Dies Wiederkehrperiode entspricht den Sicherheitsanforderungen von WENRA (2020a) und IAEA (2010).

Sicherheitsgebäude, technisches Unterstützungszentrum) wie auch des im Bau befindlichen Trockenlagers wird mit 0,78 g angegeben.

Nach Abschluss der PSHA 2004 wurden für die Planung eines KKW Blocks Krško 2 (JEK2) umfangreiche zusätzliche geologische, geotechnische und seismologische Untersuchungen durchgeführt. Bezugnehmend auf die in NEK (2021, S. 17) zitierten Studien wird angegeben, dass sich aufgrund dieser Untersuchungen keine Hinweise auf Verwerfungen, die die Oberfläche des Standorts bei einem Erdbeben dauerhaft verformen könnten („Capable Faults“), ergeben. Außerdem sollen keine neuen Erkenntnisse vorliegen, welche *„die bestehende Erdbebengefährdungsbeurteilung des Standorts des KKW Krško, welche in den Jahren 2002-2004 nach den vorangegangenen 10 Jahren Untersuchungen erstellt wurde, wesentlich ändern würden.“*

Die geschätzten Sicherheitsmargen des KKW zu Cliff-Edge-Effekten werden unter Bezugnahme auf SNSA (2011) mit folgenden Bodenbeschleunigungen angegeben (NEK 2021, S. 18):

- PGA = 0,8 g: mögliche Schäden am Reaktorkern¹⁶
- PGA = 0,8-0,9 g: mögliche spätere gefilterte Freisetzungen
- PGA > 1 g: mögliche frühe größere Freisetzungen
- PGA = 1,11 g (HCLPF¹⁷-Kapazität) Verlust der Druckbarriere des Reaktor Gebäudes (UVP-BERICHT 2022, S. 395)
- PGA < 0,9 g: Integrität des Brennelementbeckens nicht gefährdet

Das Kraftwerk wurde mit einem permanenten Monitoring System bestehend aus 11 Sensoren instrumentiert, welche Erschütterungen von mehr als 0,01 g erfassen. Bei Überschreiten einer lokalen Bodenbeschleunigung von PGA = 0,15 g wird das KKW zur Überprüfung abgeschaltet.

Darstellung aus Perspektive des Erdbebeningenieurwesens¹⁸: Als Intensitätsmaß zur ingenieurtechnischen Erfassung der Stärke der seismischen Einwirkung wird im gesamten Dokument die Spitzen-Bodenbeschleunigung (Peak Ground Acceleration PGA) verwendet.

UVP-BERICHT (2022, Kap. 2.7.6, S. 74ff.): Erdbebengefahr des Vorhabens (Verlängerung der Betriebsdauer von 40 auf 60 Jahre): Die Bauwerke und Systeme wurden ursprünglich auf eine Bodenbeschleunigung von PGA = 0,30 g (g = 9.81 m/s²) zur sicheren Abschaltung des Kraftwerks bemessen (SSE – Safe

¹⁶ Für PGA > 0,8 g wird eine Wiederkehrperiode von mehr als 50.000 Jahre geschätzt.

¹⁷ HCLPF = high confidence of low probability of failure

¹⁸ Im Zuge dieser Fachstellungnahme ist unter dem Begriff „Erdbebeningenieurwesen“ die strukturelle Antwort zufolge Erdbebenanregung zu verstehen. Die Schnittstelle zur Erdbebengefährdung entspricht der Unterkante der Fundamentplatte. Die Schnittstellen zur Beurteilung der Konsequenzen entsprechen Fragilitätskurven, welche die zentralen Elemente des Erdbebeningenieurwesens sind. Die Kombination der seismischen Gefährdung mit den Fragilitätskurven zur Beurteilung der Konsequenzen ist nicht Teil des Erdbebeningenieurwesens.

Shutdown Earthquake). Im UVP-Bericht wird diese Größe auch als die ursprüngliche Auslegungsbeschleunigung bezeichnet.

Im UVP-Bericht wird auf den Stresstest-Bericht verwiesen, in welchem dargelegt wird, dass der Widerstand der Bauwerke und Systeme (repräsentiert in Einheiten von Beschleunigung) wesentlich höher ist als ursprünglich angenommen. Alle neuen Bauwerke und Systeme werden im Zuge der sicherheitstechnischen Aufrüstung der Nuklearhauptinsel auf $\text{PGA} = 0,60 \text{ g}$ ausgelegt. Alle neuen Bauwerke und Systeme außerhalb der nuklearen Hauptinsel werden auf $\text{PGA} = 0,78 \text{ g}$ bemessen. Im Vergleich dazu beträgt die zu erwartende PGA bei einer mittleren Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren $\text{PGA} = 0,56 \text{ g}$.

In weiteren Absätzen werden die Grenzwerte aus dem Stresstestbericht diskutiert. Basierend auf seismischen Analysen wird festgehalten, dass Schäden am Reaktorkern ab $\text{PGA} = 0,80 \text{ g}$ zu erwarten sind (dies korrespondiert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 50.000 Jahren).

UVP-BERICHT (2022, Kap. 6.5.3, S. 440ff.): Antworten auf Fragen/Kommentare zur Erdbebensicherheit im Zuge der grenzüberschreitenden Konsultation: Der Abschnitt „Erdbebensicherheit – Seismizität“ beinhaltet im Wesentlichen eine Wiederholung der Abschnitte 2.7.6 (Erdbebengefahr des Vorhabens) sowie 4.1.11 (Erdbebengefahr des Bestandes).

ENTWURF BEWILLIGUNG (2022): In diesem Dokument wird zunächst auf den Seiten 12-13 das Vorhaben beschrieben und festgehalten, dass Gebäude am Standort der Anlage Erdbebenereignissen ohne größere Schäden standhalten.

Ab Seite 26 werden Projekte zur sicherheitstechnischen Aufrüstung in entsprechende Phasen gegliedert. Phase 2 beinhaltet erdbebentechnische Ertüchtigungsmaßnahmen des technischen Supportzentrums sowie des operativen Supportzentrums. Dabei wurde die Kapazität des unterirdischen Schutzraums erhöht und ein Dieselgenerator zur unabhängigen Stromversorgung installiert. Die Aufrüstung wurde 2021 abgeschlossen.

NEK (2021, Kap. 3.1.1, S. 17f.) beschreibt die Erdbebengefahr der aktuellen Situation von 2021. Die Bemessungsbeschleunigungen von $\text{PGA} = 0,30 \text{ g}$ des Bestands sowie $\text{PGA} = 0,60 \text{ g}$ der neuen Bauwerke und Systeme auf der Nuklearinsel werden diskutiert. Bauwerke und Systeme außerhalb der Nuklearinsel werden mit $\text{PGA} = 0,78 \text{ g}$ bemessen. Im Gegensatz dazu ergibt die standortspezifische Erdbebengefährdungsanalyse $\text{PGA} = 0,56 \text{ g}$ bei einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren.

In einem weiteren Absatz werden die Grenzwerte aus dem Stresstestbericht diskutiert. Basierend auf seismischen Analysen wird festgehalten, dass Schäden am Reaktorkern ab $\text{PGA} = 0,80 \text{ g}$ zu erwarten sind (dies korrespondiert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 50.000 Jahren).

NEK (2021, Kap. 3.3, S. 37) beschreibt das Programm der sicherheitstechnischen Aufrüstung. Es wird explizit festgehalten, dass laut EUROPEAN COMMISSION (2013) das KKW Krško auf Extremereignisse wie beispielsweise Erdbeben angemessen vorbereitet ist.

NEK (2021, Kap. 3.8.5, S. 48) diskutiert Projekte zur sicherheitstechnischen Aufrüstung der Anlage. Phase 2 beinhaltet erdbebentechnische Ertüchtigungsmaßnahmen des technischen Supportzentrums sowie des operativen Supportzentrums. Dabei wurde die Kapazität des unterirdischen Schutzraums erhöht und ein Dieselgenerator zur unabhängigen Stromversorgung installiert. Die Aufrüstung wurde 2021 abgeschlossen. Eine weitere erdbebentechnische Ertüchtigungsmaßnahme der Phase 2 ist der neue Hochwasserschutz, welcher auf eine Intensität von $PGA = 0,60\text{ g}$ bemessen wurde. Das Projekt wurde 2017 abgeschlossen.

Die UVP-Dokumente UVP-BERICHT ZUSAMMENFASSUNG (2022), AQUARIUS (2021) und TALUM (2020) beinhalten keine relevanten Informationen für erdbebentechnische Aspekte.

Überschwemmungen

Das KKW Krško wurde für Hochwasser mit einer Häufigkeit von 0,01 % pro Jahr (Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren) ausgelegt (NEK 2021, S. 18; UVP-BERICHT 2022, 76-77). Der Wert entspricht einem Durchfluss von $4.790\text{ m}^3/\text{s}$ bzw. einem Pegelstand von 155,35 m der Save. Das höchste mögliche Hochwasser (PMF, Probable Maximum Flood), das sich aus der maximalen Niederschlagsmenge und anderen hydrologische Faktoren, die einen maximalen Abfluss begünstigen, ergibt, wird mit $7.081\text{ m}^3/\text{s}$ Durchfluss und 155,61 m Pegelhöhe angegeben¹⁹.

Der Hochwasserschutz des KKW berücksichtigt das 10.000-jährige Hochwasser (Design Basis Flood, DBF) der Save (NEK 2021, S. 18). Die Höhe der Plattform, auf der das KKW Krško steht, beträgt 155,20 m. Eingänge und Bauwerksöffnungen liegen über dem für die DBF ermittelten Pegelwert. Das KKW ist außerdem durch Zwischenbauwerke und Dämme auch gegen das PMF geschützt. Die entsprechenden, zur Erhöhung der Überflutungssicherheit führenden Studien und Schutzmaßnahmen wurden zwischen 2010 und 2018 durchgeführt bzw. umgesetzt. Die Hochwasserschutzeinrichtungen sind für ein Bemessungserdbeben mit $PGA = 0,6\text{ g}$ ausgelegt (NEK 2021, S. 49; UVP-BERICHT 2022, S. 443-445).

Für Überflutungsereignisse durch Extremniederschläge verweist NEK (2021, S. 18) unter Bezugnahme auf SNSA (2011) auf bestehende Drainagesysteme. Diese enthalten Rückschlagventile zur Vermeidung des Eindringens von Save-Hochwasser.

Extreme Witterungsbedingungen

Für das KKW Krško wurde ein Screening der standortspezifischen Gefährdungen auf der Grundlage von WENRA RHWG (2015) und eines nicht näher zitierten Berichts von EPRI durchgeführt²⁰. Die Untersuchung ergab, „dass alle externen

¹⁹ SNSA (2017) gibt von den UVP-Unterlagen abweichend einen Wert von 157,53 m als „maximum flood level“ für DEC an.

²⁰ Vermutlich EPRI (2015)

Gefahren in den Analysen und Verfahren des KKW Krško angemessen berücksichtigt sind und daher keine Änderungen des bestehenden Modells der probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) erforderlich sind.“ (NEK 2021, S. 20-21). In dem Prozess wurden alle externen Gefahren mit Ausnahme von Flugzeugunfällen (siehe Kapitel 6 dieser Fachstellungnahme), externen Überschwemmungen, starken Winden, Eis und extremer Dürre von der weiteren Bewertung in einer PSA (Probabilistischen Sicherheitsanalyse) ausgeschlossen. Die Bewertung des quantitativen Beitrags der ausgeschlossenen externen Gefahren zur Kernschadenshäufigkeit (CDF) war demnach nicht erforderlich.

Angaben über die Auslegungsgrundlage liegen für folgende extreme Witterungsbedingungen vor (NEK 2021, S. 21; UVP-BERICHT 2022, S. 78):

- Sicherheitsgebäude sind für 140 km/h Windgeschwindigkeit ausgelegt (240 km/h für neue Strukturen und Gebäude mit „DEC-Funktion“)
- Minimale/maximale Außentemperaturen -28 °C bis +40 °C (-28 °C bis +46 °C für neue Strukturen und Gebäude mit „DEC-Funktionen“)
- Blitzschutz für 400 kA / 10.000 Jahre Wiederkehrperiode
- Auslegung der Strukturen und Systeme gegen Belastungen durch Schnee und Eisregen 120 kg/m² bis 375 kg/m²
- Trockenheit: Der zur Kühlung der Anlage erforderliche Mindestwasserstand wird bei extrem geringem Save-Durchfluss von 32 m³/s durch eine Schwelle auf der Höhe von 147,50 m gehalten sodass die Funktionalität des ESW-System (Essential Service Water) und der ultimativen Wärmesenke (UHS, Ultimate Heat Sink) gewährleistet ist (UVP-BERICHT 2022, S. 345). Drei Kühlturmblöcke bilden eine zusätzliche Wärmesenke, die bei einem Save-Durchfluss von <100 m³/s sowie bei Hochwasser wegen der Gefahr der Ablagerung von Treibgut eingeschaltet werden (UVP-BERICHT 2022, S. 345, 347).

Voraussichtliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Anlage durch Änderungen der Luft- und Wassertemperatur, Niederschläge und Windgeschwindigkeiten werden in UVP-BERICHT (2022, S. 323 ff.) ausführlich dargestellt. UVP-BERICHT (2022) kommt zu dem Schluss, dass nur geringe Auswirkungen auf die Stromerzeugung erwartet werden. Sicherheitsrelevante Auswirkungen des Klimawandels *„sind unwesentlich wegen der Durchführung von Minderungsmaßnahmen, die vom KKW Krško bereits durchgeführt wurden und auch während des verlängerten Betriebs durchgeführt werden müssen.“* (UVP-BERICHT 2022, S. 347).

5.2 Diskussion und Bewertung

Für das KKW Krško wurde ein Screening der standortspezifischen Gefährdungen auf der Grundlage von WENRA (2015) und EPRI durchgeführt²¹. Die Darstellungen von äußeren Einwirkungen in den UVP-Unterlagen beschränkt sich auf Bodenbewegung durch Erdbeben, Überflutung und ausgewählte Extremwetterereignisse. Analysen von Auswirkungen möglicher Gefahrenkombinationen, die nach WENRA (2020a,b) für die Standortbewertung erforderlich sind, und andere seismotektonische Gefahren als Bodenbewegungen (Oberflächenversatz/Fault Capability) Bodenverflüssigung, störungsnahe Effekte der Bodenbewegungen) werden nicht oder nur unzureichend behandelt.

Zusätzliche Systeme, Strukturen und Komponenten, die innerhalb des Safety Upgrade Programs (SUP) im Rahmen des slowenischen National Action Plans (NACP) nach den Europäischen Stress Tests implementiert wurden, sind *„gemäß den Anforderungen für Design Extension Conditions (DEC), die für die Auslegung und den Standort des Kernkraftwerks Krško spezifisch sind“*, ausgelegt (SNSA 2012). Für die erweiterten Auslegungsbedingungen (DEC) gelten folgende Anforderungen (SNSA 2017):

- erweiterte Auslegungsbedingung für Erdbeben sind $PGA = 0,6 \text{ g}$, entsprechend dem doppelten Wert der ursprünglichen Auslegung (SSE; $PGA = 0,3 \text{ g}$)
- die erweiterte Auslegungsbedingung für Hochwasser beträgt $157,53 \text{ m}$
- die erweiterten Auslegungsbedingungen für extreme Temperaturen, entsprechen Werten mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren.

Die Verwendung des Begriffs DEC (Design Extension Conditions) für die seismische Belastung und extreme Temperaturen im Kontext des slowenischen SUP erscheint in diesem Zusammenhang irreführend. Der Bodenbewegungswert von $PGA=0,56 \text{ g}$ wurde für eine Wahrscheinlichkeit von 10^{-4} pro Jahr ermittelt. Dieser Wert beschreibt somit den Auslegungsfall (Design Basis), für den nach WENRA (2020a; Issues E, TU) Schutz vorgesehen werden muss. Das Schutzkonzept für Auslegungsereignisse muss von ausreichender Zuverlässigkeit sein, so dass die grundlegenden Sicherheitsfunktionen konservativ gewährleistet sind. Angemessener Konservatismus hat Sicherheitsmargen in der Auslegung vorzusehen (WENRA 2020a, Issue TU). Das Schutzkonzept für das Auslegungsereignis unterscheidet sich daher grundlegend von Maßnahmen für erweiterte Auslegungsbedingung (DEC), für die realistische (statt konservativer) Annahmen ausreichen (WENRA 2020a, Issue F). Es sollte daher geklärt werden, ob die Auslegung der zusätzlichen SSCs, die während des SUP implementiert wurden, die Anforderung des konservativen Designs erfüllen.

Bewertung seismotektonischer Gefahren: Das KKW Krško liegt nahe der seismisch aktiven Plattengrenze zwischen der adriatischen und der pannonischen Platte, an der sich die Verformung über einen breiten Gürtel mit zahlreichen aktiven, sich teilweise bis in die Nähe des KKW erstreckenden Störungen verteilt.

²¹ Vermutlich EPRI (2015)

Die Bewegungen an diesen aktiven Störungen führen zu hoher Seismizität, relativ häufigen starken Erdbeben und, damit verbunden, Erdbebengefahren, die wesentlich höher sind als für alle anderen europäischen KKWs. Zuverlässige Erdbebengefährdungsbewertungen sind daher für die Sicherheit der Anlage von größter Bedeutung. Diese Einschätzung wird durch den relativ hohen Anteil von Erdbeben an der Kernschadenswahrscheinlichkeit (CDF) bestätigt, der von NEK (2021, S. 27, Abb. 3) und UVP-BERICHT (2022, S. 69) für 2020 mit $8,04E-6$ (57% der gesamten CDF) angegeben wird.²²

Das ursprüngliche Auslegungserdbeben für Krško wurde mit $PGA=0,3$ g ermittelt, gültig für den Freifeldraum. Spätere PSHAs (1994, 2004, 2014; SNSA 2011) erhöhten das Niveau der seismischen Gefährdung für eine Nichtüberschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} /Jahr zunächst auf $PGA=0,42$ g und schließlich $PGA=0,56$ g. Dieser Wert wird nach einer 2004 durchgeführte probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA Level 1 und 2) von Sicherheitsmargen, die sich aus der konservativen ursprünglichen Auslegung gegen Erdbeben ergeben sollen, abgedeckt. Die genannte PSA oder andere detaillierte Angaben über die Sicherheitsreserven liegen den österreichischen Expert:innen nicht vor.

Zu der Anhebung der Bodenbeschleunigung des Auslegungserdbebens von $PGA=0,3$ g auf $PGA=0,56$ g hält ENSREG (2012, S. 9) fest: „*The design basis has not been updated. ... It is recommended that the regulator should consider requesting an update of the seismic design basis for future design modifications and consequently the associated PSA model.*“. Das Programm zur sicherheitstechnischen Aufrüstung des Kraftwerks berücksichtigt daher $PGA = 0,6$ g bzw. $PGA = 0,78$ g für die Auslegung der neuen Strukturen, Systeme und Komponenten. Aus den UVP-Unterlagen erschließt sich jedoch nicht, ob für alle sicherheitsrelevanten Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) der konservative Nachweis erbracht wurde, dass sie der Bodenbeschleunigung des neuen Bemessungserdbebens mit $PGA = 0,56$ g (Freifeld) standhalten.

Die Ergebnisse der Gefährdungsanalysen von 1994 und 2004 wurden mehrfach kritisch kommentiert, wobei darauf hingewiesen wurde²³, dass:

- der Wert von $PGA = 0,56$ g in der Umgebung von Krško bereits von Erdbeben in historischer Zeit überschritten worden sein könnte (SIROVIC et al. 2011; FAJFAR et al. 2004).
- die zeitliche Limitierung und Unvollständigkeit von Erdbebenaufzeichnungen die Verlässlichkeit der PSHA stark einschränkt (HERAK et al. 2009: Aufzeichnungen von Erdbeben mit $M \geq 3.2$ sind erst seit etwa 1950 vollständig; ŽIVČIĆ 2016: für den Zeitraum 1918-1958 liegen nur sporadische Erdbebenaufzeichnungen vor).
- sich seismotektonische Modelle für die Region um Krško wesentlich verändert und verbessert haben. Dies gilt für plattentektonische (BRÜCKEL

²² Die von den zitierten Quellen ebenfalls dargestellte erhebliche Verbesserung gegenüber dem für 2000 mit $5,67E-5$ angegebenen Beitrag von Erdbeben zur CDF wird an dieser Stelle ausdrücklich anerkannt.

²³ Die genannten Punkte werden in STRESS TEST FOLLOW UP (2014) und UMWELTBUNDESAMT (2016) ausführlich diskutiert.

et al., 2010) und regionale tektonische Modelle (z.B., POLJAK et al. 2000; VRABEC & FODOR 2006; PLACER et al. 2010; JAMŠEK et al. 2011).

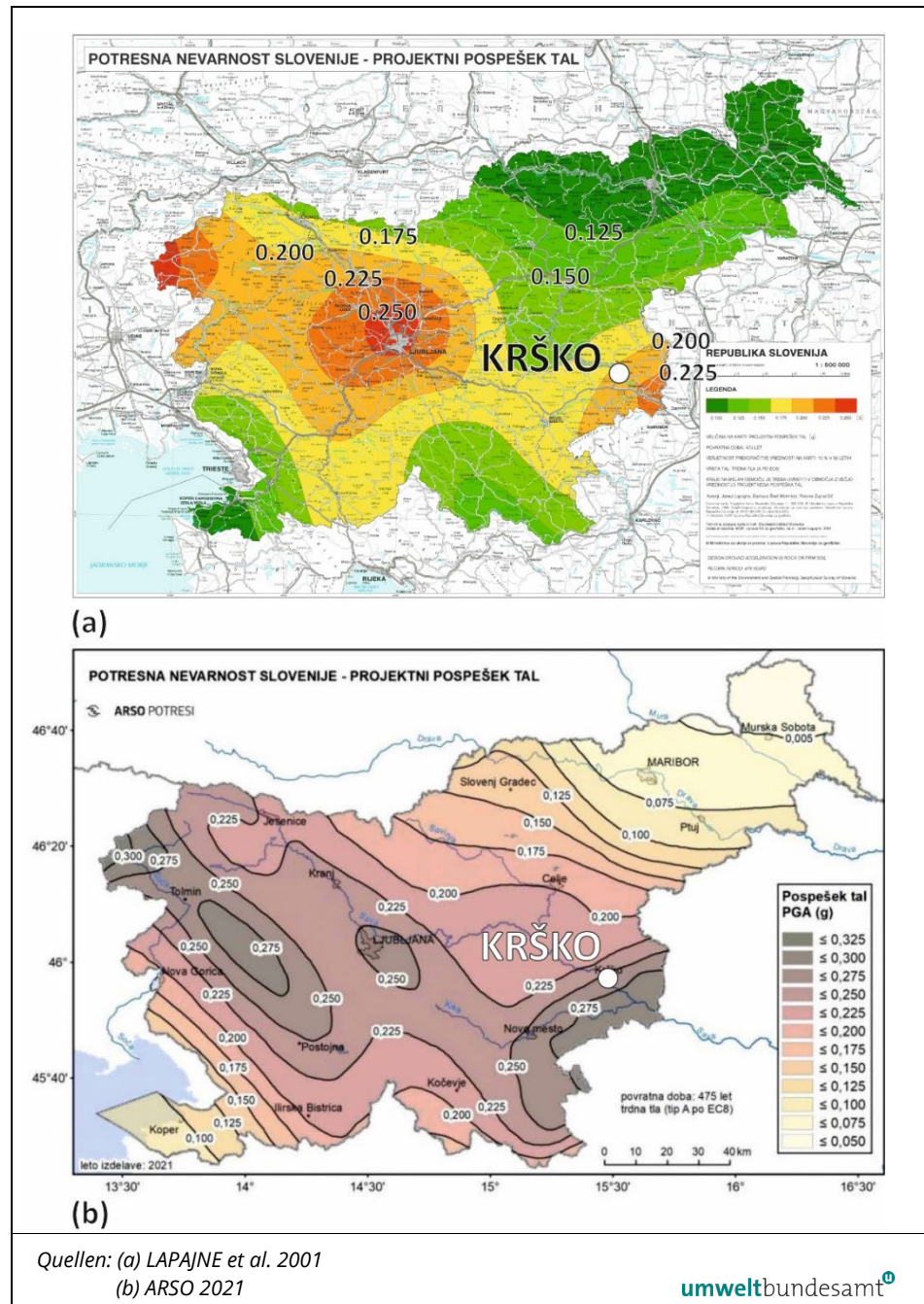
- Voruntersuchungen für den neuen KKW Standort Krško-2 zehn aktive und möglicherweise aktive Störungen in der Nähe des Standorts identifiziert und bewertet haben (CLINE et al. 2015). Diese Ergebnisse wurden zum Teil äußerst kontrovers diskutiert, besonders die paläoseismologischen Daten der Libna-Störung (1-5 km von Krško).
- Untersuchungen für die Neubewertung der Erdbebengefährdung Sloweniens ebenfalls aktive und mögliche aktive Störungen in der Nähe des Standorts dokumentieren (ATANACKOV et al. 2021)²⁴.
- auch Untersuchungen auf kroatischer Seite die Existenz von aktiven Störungen bestätigen, besonders die Aktivität der Medvenica-Aufschiebung (26-32 km östlich von Krško).

Aufgrund ihrer Aktualität können die meisten der genannten Ergebnisse in den 1994 und 2014 entstandenen Gefährdungsanalysen nicht berücksichtigt sein.

Ein Vergleich der nationalen Gefährdungskarten von Slowenien aus 2001 (LA-PAJNE et al. 2001) und 2021 (ARSO 2021) zeigt, dass die Erdbebengefährdung für Krško von $PGA = 0,200 - 0,225 \text{ g}$ (2001) auf $PGA = 0,250 - 0,275 \text{ g}$ (2021) angehoben wurde. Die genannten Werte gelten für den Wiederholungszeitraum von 475 Jahren und sind auf das KKW nicht anwendbar. Die Erhöhung der Gefährdungswerte um etwa 25% zeigt jedoch, dass neue Daten, Bewertungen und Methoden einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Gefährdungsanalyse haben. Bei einer Neubewertung der Erdbebengefährdung für das KKW Krško durch eine aktualisierte PSHA auf Grundlage neuer Daten und Methoden für einen Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren ist mit einer ähnlichen Erhöhung der Auslegungsgrundlage für Erdbebenlasten zu rechnen. Es gibt daher hinreichend Gründe für die Annahme, dass die Ergebnisse der PSHA 2004 und 2014 nicht mehr aktuell sind.

²⁴ Artiče Störung, aktiv, <5km W Krško; Orlica Störung, wahrscheinlich aktiv, <5 km E Krško; Dobrovec-Hrastnik Störungssystem, wahrscheinlich aktiv, ca. 10-20 km E Krško; Orehovec-Pstena vas Störung, wahrscheinlich/möglicherweise aktiv, >7 km S Krško; Ostteil des dinarischen Störungssystems, Bewegungsgeschwindigkeit 1-2 mm/Jahr, > 25 km SW Krško; ATANACKOV et al. (2021, Abb. 8, 10)

Abbildung 6:
Nationale Gefährdungs-
karten von Slowenien
aus 2001 (a; LAPAJNE et
al. 2001) und 2021 (b;
ARSO 2021).



Infolge der hohen Relevanz von Erdbebengefahren für die Sicherheit des KKW Krško (57% Beitrag zur CDF) sollte die Entscheidung über eine Laufzeitverlängerung der Anlage auf der Grundlage einer aktuellen Analyse der Erdbebengefährdung (PSHA) gefällt werden. Um dem Stand von Wissenschaft und Technik zu entsprechen, muss diese PSHA neben der Bewertung von historischer/instrumenteller Erdbebenbeobachtungen auch:

1. aktuelle Daten aller aktiven, wahrscheinlich aktiven und möglicherweise aktiven Störungen im Nahfeld des Standorts (Near Region, ≥ 25 km Entfernung) verwenden und in das probabilistische Modell einbauen.

2. geeignete paläoseismologische Methoden verwenden, um Versatzraten, Häufigkeit und Magnitude von Paläoerdbeben zu bestimmen und Unsicherheiten der Bewertung von aktiven, wahrscheinlich aktiven und möglicherweise aktiven Störungen zu minimieren.
3. auf physikalischen Modellen basierende Methoden verwenden, die Vorhersagen über die zukünftige seismische Gefährdung auf der Grundlage geologischer und paläoseismologischer Daten erlauben. Der Ansatz verwendet Eigenschaften aktiver Störungen (Dimension, Orientierung, Kinematik und Bewegungsgeschwindigkeit) zur Ableitung der seismischen Momentfreisetzungsrates.

(1) und (2) entsprechen den Anforderungen bzw. Richtlinien von IAEA (2010; 2015a) und WENRA (2020a,c). (3) wurde 2016 von einer Gruppe internationaler Experten in einem technischen Workshop für eine neue PSHA für das KKW Krško empfohlen (UMWELTBUNDESAMT 2016). (3) entspricht auch der Argumentation für die Datenbank aktiver Störungen Sloweniens (ATANACKOV et al. 2021), die für die nationale Gefahrenkarte entwickelt wurde, da die *„relative Seltenheit stärkerer Erdbeben und geringe bis mäßige Versatzgeschwindigkeiten von Störungen die Verwendung von geologischen Eingangsdaten für eine repräsentative Bewertung der seismischen Gefährdung erforderlich [machen]“* (ATANACKOV et al. 2021, S. 1). Dieser Ansatz sollte auch für die Neubestimmung der standortspezifischen Gefährdung von Krško verwendet werden.

In Bezug auf die mögliche Gefährdung des Standortes durch Oberflächenversatz (Fault Capability) geben die UVP-Unterlagen nur an, dass seit 2008 im weiteren Bereich des Standorts durchgeführte Untersuchungen keine Hinweise auf die Möglichkeit von Störungen, die die Oberfläche bei einem Erdbeben dauerhaft verformen könnten, gefunden haben (UVP-BERICHT 2022, S. 449).

Die Gefahr von Oberflächenversätzen der Libna-Verwerfung und mehrerer anderer aktiver Verwerfungen in der Nähe des Standorts Krško wurde probabilistisch bewertet (PFDHA, Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis). Für einen sicherheitsrelevanten Oberflächenversatz, der für das KKW mit 5 cm angenommen wird, wurde mittleren jährlichen Häufigkeiten $< 10^{-7}$ /Jahr bestimmt (CLINE et al. 2015).

Die Ergebnisse einer PFDHA sind in hohem Maße von Eingangsdaten (Bewegungsgeschwindigkeit und Erdbebenhäufigkeit an den berücksichtigten Störungen) und verwendeten Modellen abhängig (IAEA Programme of Benchmarking Current Practices in Probabilistic Fault Displacement Hazard Assessment, 2021; VALENTINI et al. 2021, Abb. 5). Es ist unklar, ob die durchgeführte PFDHA diesen Unsicherheiten Rechnung trägt und ob die Analyse auf ausreichenden geologischen und paläoseismologischen Daten basiert.

Bodenverflüssigung durch seismische Bodenbewegungen wird in den UVP-Unterlagen nicht als standortspezifische Gefährdung genannt. ENSREG (2012) verweist darauf, dass Bodenverflüssigung ab $PGA = 0,8 \text{ g}$ am Standort auftreten kann.

SNSA (2017) gibt an, dass die Gefahrenkombination Erdbeben und internes Feuer als erweiterten Auslegungsbedingungen (DEC) berücksichtigt wurde. Details dazu werden nicht genannt.

Darstellung aus Perspektive des Erdbebeningenieurwesens: Das zentrale UVP-Dokument ist der UVP-BERICHT (2022) und zeichnet sich gegenüber den verbleibenden eingereichten UVP-Unterlagen durch die Tiefe der Dokumentation, als auch in der Breite der darin enthaltenen Diskussion aus. Aus erdbebentechnischer Sicht reflektieren die verbleibenden Dokumente den UVP-Bericht bzw. geben relevante Aspekte in Kurzform wieder. Insofern ist es hinreichend in diesem Abschnitt den UVP-BERICHT (2022) zu diskutieren und zu bewerten.

Aus Kapitel 2.7.6 (Seite 74 von UVP-BERICHT 2022) erschließt sich der Widerstand der bestehenden Bauwerke und Systeme trotz einer Verdoppelung von $PGA = 0,30 \text{ g}$ auf $PGA = 0,56 \text{ g}$ nicht. Diese Information wird lediglich im Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011, Kap. 2.1.1.3, S. 19) transparent dargelegt und wird mit der dynamischen Modellbildung begründet. Die ursprüngliche dynamische Berechnung wurde, aus heutiger Sicht, mit einem relativ einfachen Boden-Bauwerk-Interaktionsmodell berücksichtigt – der Untergrund wurde lediglich mit Federn abgebildet. Im Allgemeinen verändert die Boden-Bauwerk-Interaktion den Frequenzinhalt der lastabtragenden Struktur sowie die Stärke der Anregung am Fundament, siehe FEMA P-2091 (2020, S. 1-3). Konkret bedeutet dies, dass die ursprüngliche Modellbildung (1) die Dämpfungseigenschaften des Untergrunds (insbesondere die Strahlungsdämpfung) sowie (2) die kinematische Interaktion zwischen Bauwerk und Untergrund nicht berücksichtigte. In den meisten Fällen (aber eben nicht in allen Fällen) ist die ursprüngliche Modellbildung konservativ, siehe FEMA P-2091 (2020, S. 6-1). Durch die PSHA von 2004 wurde die standortspezifische Bodenbeschleunigung auf $PGA = 0,56 \text{ g}$ festgelegt. Die rund doppelt so hohe seismische Einwirkung erforderte ein realistischeres Boden-Bauwerk-Interaktionsmodell, mit welchem neue Berechnungen getätigt, die Strukturantworten extrahiert (die Beschleunigungsantwort und Schnittgrößen) und im Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) dokumentiert wurden. Auffallend sind folgende Aspekte, wobei der erste Punkt eine Feststellung des rechtlichen Konsenses ist und der zweite Punkt die Grundlage für die darauffolgende Fragestellung repräsentiert:

- Auf einen Vergleich der Schnittgrößen der lastabtragenden Strukturen des Bestandes wird im Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) verzichtet. In Kap. 2.1.2.3, S. 27 von SNSA (2011) wird jedoch angeführt, dass die seismischen Anforderungen gemäß NRC RG 1.29 (2007) eingehalten werden. Dies impliziert in weiterer Folge, dass die Funktionstüchtigkeit aller bestehenden und auch aller neuen Bauwerke und Strukturen gewährleistet ist, falls das Safe Shutdown Earthquake SSE eintritt gemäß NRC 10 CFR 50. Somit entspricht die $PGA = 0,56 \text{ g}$ dem SSE. Die Unfallgefahr zufolge Erdbebenereignissen entspricht daher den Vorgaben aus technischen Regelwerken.
- Es ist auffällig, dass die Spitzen der Deckenantwortspektren zufolge $PGA = 0,56 \text{ g}$ und aufwändiger Boden-Bauwerk-Interaktion gleich bzw. ähnlich der ursprünglichen Deckenantwortspektren sind (zufolge einer

PGA = 0.30 g und einfacher Boden-Bauwerk Interaktion), siehe 2.1.2.3, S. 19 von SNSA (2011).

- In Abschnitt 2.1.2.3 des Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) sind grundlegende mechanische Sachverhalte auf eine nicht nachvollziehbare Weise verwendet worden. Auf Seite 26 wird beschrieben, dass für „Systeme, deren dynamische Antwort sich aus mehreren Moden zusammensetzt, der 1,5-fache Spitzenwert des Antwortspektrum verwendet wurde“. Ganz konkret ist der weitere Schritt unklar – also welche Bauwerke bzw. Systeme mit dem 1,5-fachen Spitzenwert des Antwortspektrums bemessen wurden. Dazu wird eine entsprechende Fragestellung formuliert.

Aus Sicht des Erdbebeningenieurwesens belegen die Angaben aus dem UVP-BERICHT (2022) mit den Verweisen auf den Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) ausreichend, dass der State-of-the-Art (Vorschriften/Normen) im Jahr 2011 eingehalten wurde. Zwischen 2011 und 2022 haben sich jedoch Richtlinien, insbesondere die zitierten Richtlinien von NRC, geändert. Diese Revisionen und etwaige Auswirkungen auf die Nuklearanlage werden im UVP Bericht nicht diskutiert. Der State-of-Science (in diesem Kontext neueste wissenschaftliche Erkenntnisse) wurde weder im UVP-BERICHT (2022) noch im Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) diskutiert. Gerade in den vergangenen zwei Dekaden wurden wichtige Erkenntnisse zur Charakterisierung des seismischen Verhaltens des Equipments (also Strukturen und Systeme, aber keine Bauwerke) gewonnen.

- Intensitätsmaß: DE BASIO et al. (2015) zeigen, dass für Equipment (also Strukturen und Systeme) durchaus effizientere Intensitätsmaße, wie beispielsweise die durchschnittliche Spektralbeschleunigung, herangezogen werden können.
- Seismische Einwirkung: GREMER et al. (2019) zeigen, dass die vertikale Komponente der Deckenbeschleunigung um ein Vielfaches höher sein kann als die horizontale Deckenbeschleunigung.
- Überschreitung von Grenzzuständen: Einen ausgezeichneten Überblick zur Entwicklung von Fragilitätskurven gibt BAKER (2015), basierend auf der Inkrementell Dynamischen Analyse (IDA) (VAMVATSIKOS und CORNELL 2002).

Überschwemmung

Gefährdungsanalysen und Schutzmaßnahmen gegen Save-Hochwässer werden in den UVP-Unterlagen überzeugend dargestellt. Das KKW ist gegen das höchste mögliche Hochwasser (PMF, Probable Maximum Flood) mit 155,61 m Pegelhöhe²⁵ und nicht nur gegen das 10.000-jährige Hochwasser (Design Basis Flood, DBF) geschützt (NEK 2021, S. 18). Der Hochwasserschutz ist für das Bemessungserdbeben mit PGA = 0,6 g ausgelegt (NEK 2021, S. 49; UVP-BERICHT 2022, S. 443-445). Damit ist die Gefahrenkombination Erdbeben-Überschwemmung ausreichend berücksichtigt.

²⁵ Im Gegensatz zu NEK (2021) gibt SNSA (2017) einen Wert von 157.53 m als „maximum flood level“ an.

Für Überflutungen durch extremen Niederschlag enthalten die UVP-Unterlagen keine Angaben über die Gefährdungsanalyse. Es ist daher nicht bekannt, ob das Drainagesystem für Ereignisse (z.B., Starkregen, Kombinationen von starkem Regen und Schneeschmelze etc.) mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 10^{-4} /Jahr ausgelegt ist.

Extreme Witterungsbedingungen

Die UVP-Unterlagen enthalten keine Angaben über Gefährdungsanalysen und davon abgeleitete Bemessungsgrundlagen für extreme Witterungsbedingungen. Es ist nicht bekannt, ob für alle relevanten meteorologische Gefahren und Gefahrenkombinationen Bemessungswerte für Ereignisse mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 10^{-4} /Jahr, wie sie von den WENRA Safety Reference Levels (WENRA, 2020a, Issue TU) gefordert werden, bestimmt wurden, und ob das KKW Krško gegen die entsprechenden Lasten geschützt ist. SNSA (2017) gibt an, dass zumindest für extreme Temperaturen Werte für die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren bestimmt wurden.

Die Definition von Bemessungswerten für meteorologische Gefahren wurde bereits von ENSREG (2012, Empfehlung 3.1.8) befürwortet. Obwohl auf diese Empfehlung im slowenischen National Action Plan (NACp) Bezug genommen wird (SNSA 2012), konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass meteorologische Gefahren gemäß WENRA (2020a,d) bewertet wurden. Der NACp enthält keine konkreten Maßnahmen in Bezug auf extreme Witterungsereignisse mit Ausnahme von gesetzlichen Vorschriften für die Verwendung von Warnsystemen (SNSA 2017; 2019; 2021).

Während der Peer Review der NACPs im Jahr 2015 lieferte die SNSA Informationen zur Robustheit der Anlage in Bezug auf die spezifische meteorologische Gefahr von Eisregen. Eine von der Regulierungsbehörde angeforderte detaillierte Analyse der Widerstandsfähigkeit gegen Eisregen hat erhebliche Spielräume der Anlage in Bezug auf Eisregen gezeigt. Zu anderen meteorologischen Gefahren wurden keine Angaben gemacht.

Der Schutz gegen Einwirkungen extremer Witterungsbedingungen wird von ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) aufgegriffen. Auflage II/1/16 erfordert die Verfolgung und Analyse von Extremwetterereignissen sowie die Nachrüstungen der Kraftwerkssysteme, -strukturen und -komponenten bei Überschreitungen der Auslegungsgrundlage bzw. adäquaten Schutz gegen die Auswirkungen extremer Ereignisse.

Das Ministerium für Umwelt und Raumordnung der Republik Slowenien schreibt mit dieser Auflage Maßnahmen zur nuklearen Sicherheit vor, die über ausschließliche Umweltschutzaspekte hinaus gehen.

5.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Für das KKW Krško wurde ein Screening der standortspezifischen Gefährdungen durchgeführt. Die Darstellungen von äußeren Einwirkungen in den UVP-Unterlagen beschränkt sich auf Bodenbewegung durch Erdbeben, Überflutung und ausgewählte Extremwetterereignisse. Analysen von Auswirkungen möglicher Gefahrenkombinationen, die nach WENRA (2020a,b) für die Standortbewertung erforderlich sind, und andere seismotektonische Gefahren als Bodenbewegungen (Oberflächenversatz/Fault Capability), Bodenverflüssigung, störungsnahe Effekte der Bodenbewegungen) werden nicht oder nur unzureichend behandelt.

Erdbeben: Das KKW Krško ist erdbebensicher nach der Slowenischen Regelung RG 1.60 für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit²⁶. Die maximale Bodenbeschleunigung (Peak Ground Acceleration, PGA) des ursprüngliche Auslegungserdbebens für die sichere Abschaltung (Safe Shutdown Earthquake, SSE) wurde mit 0,3 g in Höhe des Fundaments gewählt. 2004 und 2014 durchgeführte Erdbebengefährdungsanalysen erhöhten die standortspezifische Erdbebengefährdung auf zuletzt PGA = 0,56 g für eine Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren.

Neue geologische, tektonische und seismologische Daten aus dem Nahfeld des KKW liefern hinreichend Gründe für die Annahme, dass die Ergebnisse der PSHA 2004 und 2014 nicht mehr aktuell sind. Dazu gehört die neue Erdbebengefährdungskarte von Slowenien (2021), die für den Wiederholungszeitraum von 475 Jahren und für den Raum Krško eine um etwa 25% höhere Gefährdung ausweist als die nationale Gefährdungskarte aus 2001. Die genannten Werte sind auf das KKW nicht anwendbar²⁷. Die Erhöhung der Gefährdung zeigt jedoch, dass neue Daten, Bewertungen und Methoden erheblichen Einfluss auf die Gefährdungsanalyse haben.

In Bezug auf Erdbeben können die UVP-Unterlagen daher nicht nachweisen, dass sich aus der Verlängerung des Anlagenbetriebs keine zusätzlichen Gefährdungen und Risiken ergeben können. Es ist daher wünschenswert, dass die Entscheidung über die Laufzeitverlängerung auf der Grundlage einer PSHA getroffen wird, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht und eine aktualisierte Datengrundlage verwendet. Es wird empfohlen, die Durchführung einer neuen PSHA in ähnlicher Form als Auflage in die umweltschutzrechtliche Stellungnahme aufzunehmen, wie das für Extremwetterereignisse vorgesehen ist (ENTWURF BEWILLIGUNG 2022, Auflage II/1/16).

Darstellung aus Perspektive des Erdbebeningenieurwesens: Der UVP-BERICHT (2022) mit den Verweisen auf den Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) bietet aus Sicht des Erdbebeningenieurwesens Einblicke in die Berechnungsstrategie zur Nachweisführung gemäß der entsprechenden Regulatorien. Trotz-

²⁶ JY5-Regelung, Amtsblatt der Republik Slowenien Nr. 74/16 und 76/17 - ZVISJV-1

²⁷ Für KKW ist die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren relevant (WENRA, 2020a; IAEA, 2010)

dem ergeben sich die in Kapitel 5.3.1 gelisteten Fragestellungen zu den Themenkreisen Berechnung von Floorspektren, Ermittlung von Fragilitätskurven und der Definition/Schärfung des Wortlautes „konservativ“. Diese Fragen sollten vor Genehmigung einer Betriebsbewilligung geklärt und entsprechende Auflagen in die UVP-Genehmigung aufgenommen werden.

Überschwemmungen: Das KKW Krško wurde für Save-Hochwässer mit einer Häufigkeit von 0,01 % pro Jahr (Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren) ausgelegt. Der Wert entspricht einem Durchfluss von 4.790 m³/s bzw. einem Pegelstand von 155,35 m. Die Anlage ist darüber hinaus auch gegen das höchste mögliche Hochwasser (PMF, Probable Maximum Flood) mit 155,61 m Pegelhöhe durch Zwischenbauwerke, Dämme und Gebäudeabdichtungen geschützt. Die Hochwasserschutzanlagen sind für ein Bemessungserdbeben mit PGA = 0,6 g ausgelegt.

Für Überflutungen durch extremen Niederschlag enthalten die UVP-Unterlagen keine Angaben über die Gefährdungsanalyse. Es ist nicht bekannt, ob das Drainagesystem für Ereignisse (z.B., Starkregen, Kombinationen von starkem Regen und Schneeschmelze etc.) mit der von WENRA (2020a, Issue TU) festgelegten Eintrittswahrscheinlichkeit von 10⁻⁴/Jahr ausgelegt ist.

Extreme Witterungsbedingungen. Die UVP-Unterlagen enthalten keine Angaben über Gefährdungsanalysen in Bezug auf extreme Witterungsbedingungen. Aus SNSA (2017) ergibt sich, dass zumindest für extreme Temperaturen und Blitzschlag Werte für die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren bestimmt wurden. Es ist jedoch nicht bekannt, ob für alle anderen relevanten meteorologischen Gefahren und Gefahrenkombinationen Bemessungswerte (Design Basis Events) für Ereignisse mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 10⁻⁴/Jahr entsprechend WENRA (2020a, Issue TU) definiert wurden, und ob das KKW Krško gegen die entsprechenden Lasten geschützt ist.

Der Schutz gegen Einwirkungen extremer Witterungsbedingungen wird im ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) aufgegriffen. Auflage II/1/16 erfordert die Verfolgung und Analyse von Extremwetterereignissen sowie die Nachrüstungen der Kraftwerkssysteme, -Strukturen und -komponenten bei Überschreitungen der Auslegungsgrundlage bzw. adäquaten Schutz gegen die Auswirkungen extremer Ereignisse.

5.3.1 Fragen

- **F38:** Wurden beim Screening der standortspezifischen Gefährdungen auch Kombinationen von Gefahren berücksichtigt und bewertet?
- **F39:** Wurden für alle Einwirkungen von außen, die den Standort betreffen, Auslegungsereignisse (Design Basis Events) und alle möglichen Gefahrenkombinationen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von maximal 10⁻⁴ / Jahr definiert?

- **F40:** *Liegt für alle sicherheitsrelevanten Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) ein konservativer Nachweis vor, dass diese SSCs den Belastungen standhalten, die einer Erdbebenbelastung von $PGA = 0,56\text{ g}$ (Freifeld) entsprechen? Wie wurde ein solcher Sicherheitsnachweis geführt? Entspricht der Nachweis den Richtlinien der WENRA (WENRA 2020c, TU5.1, S. 16-17)?*
- **F41:** *NEK (2021, S. 49-51) listet Verbesserungen der Reaktorsicherheit durch Austausch der Verdampfer, Reaktorkühlmittelpumpen, elektrischen Schaltanlage, Sicherheits-Wechselstromversorgung (DG3), Einbau von Systemen zur autokatalytischen Verbrennung von Wasserstoff und gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters, alternative Kühlungen für das Lagerbecken abgebrannter Brennelemente und den Reaktor, etc. auf. Wie hoch ist die seismische Bemessungsgrundlage (PGA) für diese neuen Systeme und Komponenten?*
- **F42:** *Warum wird bei der Beschreibung der Auslegungsgrundlage für Nachrüstungen, die im Rahmen des Safety Upgrade Programs (SUP) und des Nationalen Aktionsplans (NACp in Folge der Europäischen Stress Tests) durchgeführt werden, auf „erweiterte Auslegungsbedingungen“ (DEC, z.B., Auslegung auf 0.6 g Erdbebenbelastung) verwiesen und nicht auf Auslegungsbedingungen (Design Basis)?*
- **F43:** *Sind die drei Kühlturmblocke vollständig unabhängig von der Kühlwasserversorgung aus der Save?*
- **F44:** *Wie hoch ist die Auslegungsgrundlage der Kühltürme gegen Erdbebenbelastungen (PGA)?*
- **F45:** *Wie wurde die Gefahrenkombination erdbebeninduziertes Feuer im Sicherheitskonzept des KKW Krško berücksichtigt? Sind Einrichtungen zur Brandbekämpfung und Feuerlöschsysteme für Erdbebenbelastungen mit $PGA = 0,56\text{ g}$ ausgelegt?*
- **F46:** *Untersuchungen für die Neubewertung der Erdbebengefährdung Sloweniens haben eine Reihe aktiver und möglicherweise aktiver Störungen im Nahbereich von Krško in der „Database of Active Faults in Slovenia“ dokumentiert (Artiče Störung, aktiv, $<5\text{ km}$ W Krško ; Orlica Störung, wahrscheinlich aktiv, $<5\text{ km}$ E Krško ; Dobrovec-Hrastnik Störungssystem, wahrscheinlich aktiv, ca. $10\text{--}20\text{ km}$ E Krško ; Orehovec-Pstena vas Störung, wahrscheinlich/möglicherweise aktiv, $>7\text{ km}$ S Krško ; Ostteil des dinarischen Störungssystems, Bewegungsgeschwindigkeit $1\text{--}2\text{ mm/Jahr}$, $>25\text{ km}$ SW Krško). Wurden diese Störungen systematisch paläoseismologisch untersucht, um ihren Beitrag zur Erdbebengefährdung in einer PSHA zu berücksichtigen? Sind paläoseismologische Untersuchungen dieser Störungen geplant?*
- **F47:** *Die neue Erdbebengefährdungskarte von Slowenien (2021) zeigt für den Raum Krško wesentlich höhere Gefährdung als frühere Analysen (2001). Zudem hat sich die Datengrundlage seit der PSHAs für das KKW Krško in 2004 und 2014 wesentlich verändert (neue seismotektonische Modelle, aktive Störungsdatenbank). Es gibt daher hinreichend Gründe für die Annahme, dass die Ergebnisse der PSHA 2004 und 2014 nicht mehr aktuell sind. Ist vor diesem Hintergrund eine neue PSHA geplant? In welchem Zeitraum soll – falls geplant – eine PSHA durchgeführt werden?*

- **F48:** In Kap. 2.1.1.3 (S. 19) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird erwähnt, dass Fragilitäten entwickelt werden, konkret handelt es sich um die Textstelle „... peak accelerations, maximum member forces, and floor acceleration time histories. These quantities were needed for fragility development“. Wie wurde bei der Ermittlung von Fragilitätskurven vorgegangen?
- **F49:** In Kap. 2.1.1.3 (S. 19) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben, dass Spitzenwerte der Decken-Antwortspektren (Floorspektren) von der ursprünglichen Berechnung ($PGA = 0,30\text{ g}$, einfache Boden-Bauwerk-Interaktion) gleich bzw. ähnlich zu Floorspektren aus der Analyse zur Erstellung des Stress Test Report sind (also mit $PGA = 0,30\text{ g}$, rigorose Boden-Bauwerk-Interaktion). Bitte erklären Sie ausführlicher, woher diese Übereinstimmung herrührt.
- **F50:** Neueste Forschungserkenntnisse (GREMER et al. 2019) zeigen, dass die vertikale Komponente der Deckenbeschleunigung um ein Vielfaches höher sein kann als die horizontale Deckenbeschleunigung. Dies hat unmittelbar Auswirkungen auf die Befestigungsmittel von Strukturen und Systemen bzw. auf die Funktionstüchtigkeit von Strukturen und Systemen. Wie wird die vertikale Komponente der Deckenbeschleunigung und die Kombination mit der horizontalen Deckenbeschleunigung in dem mechanischen Modell erfasst? Wie wird die daraus resultierende Interaktion der horizontalen und vertikalen Schnittgrößen der Verbindungsmittel zwischen Equipment und Bauwerk erfasst?
- **F51:** In Kap. 2.1.2.5.1 (S. 30) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben: „The structural response analysis used to develop in-structure spectra for NPP was conducted in a very conservative manner“. Bitte beziffern Sie „very conservative“.
- **F52:** In Kap. 2.1.2.3 (S. 26) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben: „For systems that could respond in multiple modes of vibration, 1.5 times the peak of the response spectrum was used“. Aus diesem Satz ergeben sich folgende Fragestellungen:
 - Warum ist der Wert von 1.5 hinreichend?
 - Die oben stehende Strategie erscheint konservativ für die Bemessung von Bauwerken, falls der Faktor von 1.5 gerechtfertigt ist. Unter „Systemen“ (2. Wort im Satz) wird aber das Equipment verstanden, für dessen Bemessung das Floorspektrum erforderlich ist. Es ist aber bekannt, dass die Spitzenwerte von Floorspektren sehr viel höher als der 1.5-fache Wert des Spitzenwertes des Antwortspektrums sind, siehe MEDINA et al. (2006). Die oben beschriebene Vorgehensweise ist inkonsistent mit den Abschnitten „Auxiliary Class 1 line systems“ (Seite 28) – der Faktor 1,5 wird nicht definiert. Wie wurde nun tatsächlich bei der Ermittlung der Einwirkungen zur Bemessung von Equipment vorgegangen?
 - Auf Seite 28 in Abschnitt „Auxiliary Class 1 line systems“ wird in der Auflistung ständig das Wort „response spectra“ verwendet. Die Verwendung von Antwortspektren ist in diesem Zusammenhang fraglich, da diese per Definition die seismische Einwirkung am Baugrund repräsentieren. Zur Bemessung müssten Floorspektren (Deckenantwortspektren) verwendet werden. Bitte beschreiben Sie die tatsächliche Vorgehensweise präziser.

- **F53:** In Abschnitt 2.11.1 (Seite 108f) UVP-BERICHT (2022) werden gesetzliche und sonstige Grundlagen angeführt. Die Dokumente US NRC RG 1.60 und US NRC RG 1.61 wurden jeweils 1973 publiziert und 2007 bzw. 2014 revidiert. Welche Auswirkungen haben diese Revisionen auf die seismische Bemessung der Anlage?
- **F54:** Der Pegelstand für das höchste mögliche Hochwasser (PMF, Probable Maximum Flood) wird in NEK (2021) und UVP-BERICHT (2022) mit 155,61 m, in SNSA (2017) jedoch mit 157,53 m angegeben. Wir ersuchen um Klarstellung und Bestätigung, dass Hochwasserschutz gegen das höchste mögliche Hochwasser (PMF) gegeben ist.
- **F55:** Ist die Kapazität des Drainagesystems für Niederschläge (Starkregen) oder Gefahrenkombinationen wie etwa Regen und Schneeschmelze mit Wahrscheinlichkeiten von 10^{-4} /Jahr ausgelegt?
- **F56:** Sicherheitsgebäude sind gegen Windgeschwindigkeiten mit 140 km/h ausgelegt. Wie hoch ist die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Windbelastung? Ist dieser Wert im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F57:** Wie hoch ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der als Auslegungsgrundlage gewählten extremen Temperaturen (-28 °C , $+40\text{ °C}$)? Sind diese Werte im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F58:** Wie hoch sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten der als Auslegungsgrundlage gewählten Schneelasten (120 bis 374 kg/m^2)? Sind diese Werte im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F59:** Sind Einwirkungen von extremen Witterungsbedingungen in der aktuellen PSA und der Kernschadenswahrscheinlichkeit (CDF) von $1,41\text{E-}5$ berücksichtigt?
- **F60:** Sicherheitsrelevante Auswirkungen des Klimawandels sind laut UVP-BERICHT (2022, S. 347) „unwesentlich“. Auflage II/1/16 in ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) erfordert dennoch die Verfolgung und Analyse von Extremwetterereignissen sowie die Nachrüstungen der Kraftwerkssysteme, -strukturen und -komponenten bei Überschreitungen der Auslegungsgrundlage. Worauf begründet sich diese Entscheidung.
- **F61:** Sicherheitsrelevante Auswirkungen des Klimawandels sind Gegenstand der Auflage II/1/16 in ENTWURF BEWILLIGUNG (2022). Warum werden keine Auflagen in Bezug auf andere, die nukleare Sicherheit betreffende Gefahren, insbesondere seismotektonische Gefahren (Erdbeben), formuliert?

5.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE8:** Es wird empfohlen, sicherzustellen, dass die Auslegungsgrundlagen für Schutzmaßnahmen gegen extreme Wetterereignisse den Vorschriften von WENRA (2020a) entsprechen und sich auf Ereignisse (Design Basis Events) mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von nicht mehr als 10^{-4} /Jahr beziehen.

- **VE9:** *Es wird empfohlen, systematische paläoseismologische Untersuchungen durchzuführen, um Versatzraten, Häufigkeit und Magnitude von Paläoerdbeben zu bestimmen und die Unsicherheiten in Bezug auf die Bewertung von aktiven, wahrscheinlich aktiven und möglicherweise aktiven Störungen im Nahfeld (Near Region, < 25 km) von Krško zu minimieren.*
- **VE10:** *Die Ergebnisse einer PFDHA sind in hohem Maße von Eingangsdaten (Bewegungsgeschwindigkeit und Erdbebenhäufigkeit an den berücksichtigten Störungen) und verwendeten Modellen abhängig. Es wird empfohlen, die PFDHA im Lichte neuer methodischer Entwicklungen und neuer Daten zu überprüfen und gegebenenfalls zu wiederholen.*
- **VE11:** *Es wird empfohlen, die Entscheidung über die Laufzeitverlängerung auf folgenden Grundlagen zu treffen: (1) einer neuen, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden PSHA; (2) dem Nachweis, dass alle sicherheitsrelevanten SSCs den Anforderungen entsprechen, die sich aus einer neuen PSHA ergeben.*
- **VE12:** *Es wird empfohlen, die Durchführung einer neuen PSHA und die Umsetzung von Sicherheitsnachrüstungen, die sich aus den Ergebnissen der PSHA ergeben könnten, als Auflage für die umweltrechtliche Bewilligung der Laufzeitverlängerung festzulegen (analog zu den Auflagen auf extreme Witterungsbedingungen und Klimawandel).*
- **VE13:** *Es wird eine Untersuchung der Auswirkungen der vertikalen Komponente der Bodenbeschleunigung auf die Befestigungsmittel sowie die Funktionalität der Strukturen und Systeme empfohlen.*

6 UNFÄLLE DURCH BETEILIGUNG DRITTER

6.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

In Kapitel 2.7.7 des UVP-Berichts wird die physische Sicherung thematisiert. Die Sicherung des KKW Krško unter dem Gesichtspunkt des Terrorismus ist im speziellen "Plan der physischen Sicherung des KKW Krško" definiert und beschrieben, welcher gemäß dem Gesetz über den Schutz vor ionisierender Strahlung und nukleare Sicherheit als Verschlussache gekennzeichnet ist.

Die physische Sicherung der kerntechnischen Anlage (KKW Krško) wird vom Sicherheitsdienst des KKW Krško in Zusammenarbeit mit der Polizei gewährleistet. Die physische Sicherung erfolgt gemäß dem "Plan der physischen Sicherung des KKW Krško" (NFV). Der NFV wird auf Grundlage der von der Polizei erstellten Gefährdungsbeurteilung mindestens einmal jährlich entsprechend den Feststellungen der Gefährdungsbeurteilung aktualisiert. Es muss eine Zustimmung des Amts der Republik Slowenien für nukleare Sicherheit (URSJV) zum Inhalt des NFV eingeholt werden, worauf der NFV vom Ministerium für Inneres der Republik Slowenien zu genehmigen ist. (UVP-BERICHT 2022, S. 75/76)

6.2 Diskussion und Bewertung

Die zurzeit betriebenen Kernkraftwerke haben auslegungsbedingt einen gewissen Schutz vor möglichen Terrorangriffen, z. B. durch verhältnismäßig dicke Außenwände sowie durch diversitäre und redundante Sicherheitssysteme. Aber alle europäischen KKW wurden lange vor den Angriffen am 11.09.2001 in New York gebaut und sind daher gegen derartige massive Angriffe nicht ausreichend geschützt. Das gilt insbesondere für alte Anlagen wie das KKW Krško. Ein Terrorangriff auf ein Kernkraftwerk kann einen schweren Unfall mit erheblichen Auswirkungen auf die Bevölkerung auslösen.

Bedrohung durch Angriffe aus der Luft

Zufällige Abstürze von Flugzeugen sind in der Auslegung von Kernkraftwerken seit mehreren Jahrzehnten berücksichtigt worden. Jedoch wurden nur Unfälle von kleineren Sportflugzeugen und/oder militärischen Flugzeugen in Betracht gezogen. Erst nach dem Angriff am 11. September 2001 wurden die Folgen eines absichtlichen Absturzes eines Verkehrsflugzeuges betrachtet.

Für neue KKW wird laut WENRA erwartet, dass ein gezielter Absturz eines Verkehrsflugzeuges nicht zu einem Kernschmelzunfall führt, und daher gemäß WENRA-Sicherheitsziel (O2) nur geringe radiologische Folgen haben darf. Um dieses nachzuweisen, sind Auswirkungen aus direkten und sekundären Einwirkungen des Flugzeugunfalls zu betrachten (Vibrationen/Erschütterungen, Ver-

brennen und/oder Explosion des Flugzeugbrennstoffs). Außerdem sollen Gebäude oder Gebäudeteile, die Kernbrennstoff und sicherheitstechnische relevante Sicherheitseinrichtungen enthalten, so ausgelegt sein, dass kein Kerosin eindringen kann.

Die belgische Aufsichtsbehörde forderte 2011, dass auch terroristische Attacken als mögliche Auslöser von schweren Unfällen in das belgische Stresstest Programm integriert sein sollen (FANC 2011). Ein Ergebnis war, dass im Falle eines Absturzes eines Verkehrsflugzeugs (absichtlich und unfallbedingt) ein erheblicher Schaden am äußeren Containment der alten Reaktorblöcke, Doel 1 und 2 (gleicher Reaktortyp wie KKW Krško) auftreten kann. Es besteht dadurch die Möglichkeit, dass Triebwerke und andere starre Teile das Containment durchdringen. (FANC 2012a) Das darauffolgende, sehr wahrscheinliche Versagen des Kühlsystems würde einen schweren Unfall der gefährlichsten Kategorie nach sich ziehen: ein Kernschmelzunfall bei offenem Containment. Die radioaktiven Freisetzungen wären sehr hoch und würden besonders früh auftreten.

Auch die Analysen für das KKW Beznau (gleicher Reaktortyp wie KKW Krško) haben gezeigt, dass dort im Falle eines gezielten Flugzeugabsturzes eine Beschädigung sicherheitstechnischer Einrichtungen innerhalb des Reaktorgebäudes durch eindringende Flugzeugteile nicht ganz ausgeschlossen werden kann; bei größeren Flugzeugklassen ist ein Durchstanzen des Sekundärcontainments möglich. Nach Bewertung der Betreiberstudie kam die Aufsichtsbehörde 2003 zu dem Ergebnis, dass für Beznau die Wahrscheinlichkeit für die Freisetzung radioaktiver Stoffe gering sei, insbesondere da aus Sicht der Aufsichtsbehörde die Reaktoren des KKW Beznau schwer zu treffen sind. (HSK 2003)

Zu beachten ist auch die steigende Gefahr durch Alterungseffekte: Eine aktuelle Studie untersucht mit numerischen Simulationen den Einfluss der Alterung auf die Auswirkungen eines Einschlags eines Militärflugzeugs auf ein KKW. Die Ergebnisse zeigen, dass die Alterung einer Anlage die Anfälligkeit für großflächige oder lokalisierte Penetrationen erhöht. Je größer die Degradation der Materialien ist, desto geringer ist das Restwiderstandsvermögen und desto größer ist das Risiko einer Wandperforation. Bei der gleichen Stoßkraft wird die Festigkeit des gealterten Containments um ca. 30 % reduziert. (FRANO 2021)

Durch die bauliche Anordnung der Gebäude und den mangelnden baulichen Schutz ist nicht auszuschließen, dass ein Flugzeugabsturz – selbst wenn das Reaktorgebäude nicht durchstanzt wird – erhebliche Auswirkungen hat.

Insgesamt ist für das KKW Krško festzustellen, dass der Schutz gegen schwere Einwirkungen im Vergleich zu heutigen Sicherheitsanforderungen gering ist, gleichzeitig aber die auslegungsbedingten Schwächen für die Störfallbeherrschung vorhanden sind.

Für einen Terrorangriff aus der Luft sind außer einem Angriff mit einem Verkehrsflugzeug eine Reihe weiterer Angriffsszenarien denkbar. Szenarien für Terror-Angriffe aus der Luft können z. B. der Absturz eines mit Sprengstoff beladenen Helikopters oder der Abwurf einer Bombe aus dem Helikopter sein. Die Drohnenüberflüge in Frankreich im Herbst 2014 verdeutlichten Schwachstellen

in der Luftüberwachung der französischen Kernkraftwerke und vor allem in der Abwehr solcher potenziellen Angriffe aus der Luft. Im Herbst 2014 wurden insgesamt 31 Drohnenüberflüge über 19 französischen Atomanlagen registriert. Drohnen können z. B. – wie in der militärischen Anwendung – zur Vorbereitung oder Unterstützung eines Terroranschlags eingesetzt werden.

Bedrohung durch Innentäter

Die Durchführung oder Unterstützung eines Terroranschlags durch Innentäter stellen für KKW eine große Bedrohung dar. Diesem Problem wird in der internationalen Fachdiskussion in den letzten Jahrzehnten große Beachtung geschenkt. Zuverlässigkeitsprüfungen regeln die Überprüfung von Personen, die in kerntechnischen Anlagen tätig sind. Diese erschweren das Einschleusen von Innentätern in Kernkraftwerke, sie verhindern es aber nicht vollständig.

Zu bedenken ist, dass während der Revisionszeiten ca. 1000 Personen von den verschiedensten Firmen im KKW tätig sind. Eine der wichtigsten Schutzmaßnahmen gegen Eingriffe von Innentätern ist das Vier-Augen-Prinzip. Dieses ist aber immer dann wirkungslos, wenn mehrere aktive Innentäter handeln. Es kann zudem durch Unachtsamkeit, Schlamperei oder allgemein durch eine mangelhafte Sicherheitskultur unterwandert werden.

Bedrohung durch Cyber-Angriffe

In der letzten Zeit sind Fälle bekannt geworden, in denen von außen Computerviren auch in industrielle und sogar in Computersysteme von Atomanlagen eingebracht wurden. Durch gezielte Programmänderungen ist es grundsätzlich möglich, die Steuerung und Regeleinrichtungen in KKW so zu verändern, dass die ausreichende Kühlung des Reaktorkerns verhindert wird (MAJER 2013).

Nuclear Threat Initiative (NTI)

Die US-amerikanische Nuclear Threat Initiative (NTI) bewertete im sogenannten Nuclear Security Index 2020 die Maßnahmen, die unterschiedliche Länder zum Schutz vor Terrorangriffen und Sabotage in ihren kerntechnischen Anlagen ergriffen haben. Dabei werden nicht die konkreten Maßnahmen der einzelnen Anlagen bewertet, sondern die Maßnahmen der Regierung und die gesetzlichen Anforderungen. Im NTI Index entspricht 100 der höchsten möglichen Punktzahl und damit der Erfüllung der aktuellen Sicherheitsanforderungen.

Im Nukleare Sicherheitsindex 2020 liegt Slowenien mit einer Gesamtpunktzahl von 81 Punkten auf Platz 14 von 47 Ländern. Es zeigen sich niedrige Punktzahlen für die "Sicherheitskultur" (50), "Cybersicherheit" (38) und "Schutz vor Insider-Bedrohungen" (64). Diese niedrigen Punktzahlen deuten auf Schwächen beim Schutz hin. (NTI 2021)

International Physical Protection Advisory Service (IPPAS)

Die IAEA spielt eine Schlüsselrolle bei der Unterstützung von Staaten beim Schutz ihrer zivilen Nuklearmaterialien und -anlagen. Sie unterstützt die Staaten

durch die Durchführung und Organisation von beratenden Sicherheitsbeurteilungen und Peer-Review-Missionen durch ihren International Physical Protection Advisory Service (IPPAS). Eine IPPAS-Mission ist eine Bewertung der bestehenden Praktiken in einem Staat im Lichte der einschlägigen internationalen Anweisungen und IAEA-Publikationen zur nuklearen Sicherung sowie ein Austausch von Erfahrungen und anerkannten internationalen Praktiken mit dem Ziel, die Organisation, Verfahren und Praktiken der nuklearen Sicherung eines Staates zu stärken. (IAEA 2021a)

Bisher ist in Slowenien weder eine IPPAS-Mission durchgeführt worden noch ist eine derartige Mission geplant. (IAEA 2022)

Besondere Bedrohungssituation in Slowenien

Militärische Aktionen gegen kerntechnische Anlagen stellen eine weitere Gefahr dar, die in der gegenwärtigen globalen Situation besondere Aufmerksamkeit verdient.

6.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen – das gilt auch für das KKW Krško. Dennoch werden sie in den UVP-Dokumenten nur kurz hinsichtlich der physischen Sicherung des KKW Krško erwähnt. In vergleichbaren UVP-Dokumenten wurden solche Ereignisse in gewissem Maße diskutiert.

Obwohl die Vorkehrungen gegen Sabotage und Terroranschläge aus Gründen der Vertraulichkeit im UVP-Verfahren nicht öffentlich im Detail diskutiert werden können, sollten die notwendigen gesetzlichen Anforderungen in den UVP-Dokumenten dargelegt werden.

Informationen zum Thema Terroranschläge wären in Anbetracht der erheblichen Auswirkungen möglicher Anschläge von großem Interesse. Insbesondere sollten die UVP-Dokumente detaillierte Informationen zu den Anforderungen an den Schutz vor einem gezielten Absturz eines Verkehrsflugzeugs enthalten. Dieses Thema ist von besonderer Bedeutung, weil die Reaktorgebäude von KKW Krško gegenüber einem Flugzeugabsturz verwundbar sind. Alterungsbedingte Degradation kann die Widerstandsfähigkeit der Gebäude weiter reduzieren.

Eine aktuelle Bewertung der nuklearen Sicherung in Slowenien weist auf Defizite im Vergleich zu den notwendigen Anforderungen an die nukleare Sicherung hin: Im Nukleare Sicherheitsindex 2020 liegt Slowenien mit einer Gesamtpunktzahl von 81 Punkten von 100 möglichen Punkten auf Platz 14 von 47 Ländern, was auf ein verbesserungsfähiges Schutzniveau hinweist. Es zeigen sich niedrige Punktzahlen für die "Sicherheitskultur" (50), "Cybersicherheit" (38) und "Schutz

vor Insider-Bedrohungen" (64). Diese niedrigen Punktzahlen deuten auf Schwächen beim Schutz hin. (NTI 2021)

Die IAEO unterstützt die Staaten durch ihren International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) auf dem Gebiet der nuklearen Sicherung. Bisher ist in Slowenien weder eine IPPAS-Mission durchgeführt worden noch ist eine derartige Mission geplant. (IAEA 2022)

Militärische Aktionen gegen kerntechnische Anlagen stellen eine weitere Gefahr dar, die in der gegenwärtigen globalen Situation besondere Aufmerksamkeit verdient.

6.3.1 Fragen

- **F62:** Was sind die Anforderungen an den Schutz des KKW Krško in Bezug auf den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs?
- **F63:** Gegen welche Angriffe von außen müssen das Reaktorgebäude und andere sicherheitsrelevante Gebäude ausgelegt sein? Ist dieser Schutz trotz nachteiliger Alterungseffekte noch gewährleistet?
- **F64:** Wie wird das Ergebnis des Nuclear Security Index 2020 für Slowenien bewertet? Sind Verbesserungen bezüglich der „Sicherheitskultur“, der „Cybersicherheit“ (38) und "Schutz vor Insider-Bedrohungen" geplant?
- **F65:** Ist eine IAEO-Mission des International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) zur Verbesserung der nuklearen Sicherung geplant?
- **F66:** Wie wird die Bedrohungssituation durch militärische Aktionen für die nächsten 20 Jahre für kerntechnische Anlagen in Slowenien bewertet? Welche Schutzmaßnahmen sind geplant?

6.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE14:** Im UVP-Verfahren sollten die allgemeinen Anforderungen in Bezug auf den Schutz gegen den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs und andere Terror- und Sabotageakte dargestellt werden.
- **VE15:** In Anbetracht der Ergebnisse des Nuclear Security Index sollte der Schutz vor potenziellen Cyberangriffen und Innentätern verbessert werden.
- **VE16:** Zur Unterstützung der Verbesserung der nuklearen Sicherung sollte eine IAEO International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) durchgeführt werden. (IAEA 2022)

7 GRENZÜBERSCHREITENDE AUSWIRKUNGEN

7.1 Darstellung in den UVP-Unterlagen

Im UVP-Bericht wird erklärt, dass die Laufzeitverlängerung im **Normalbetrieb** nur Auswirkungen auf die nächste Umgebung (Grundstück 1197/44 der Katastralgemeinde (1321) Leskovec) haben könnte. (UVP-BERICHT 2022, S. 487)

Zur Abschätzung möglicher Folgen eines **Auslegungsstörfalls** (LB-LOCA) und eines **auslegungsüberschreitenden schweren Unfalls** (DEC-B) wurde eine Studie erstellt ("Calculation of doses at certain distances for Design Basis (DB) and Beyond Design Basis (BDB) accidents at NPP Krsko", FER-MEIS 2021, zitiert nach UVP-BERICHT ZUSAMMENFASSUNG 2022, S. 12).

In Kap. 6.4 des UVP-Berichts werden die verwendeten Quellterme und die beiden Unfallszenarien vorgestellt. (UVP-BERICHT 2022, Kap. 6.4) Diese sind in Kapitel 4 dieser Stellungnahme dargestellt und werden dort diskutiert.

Für die Ausbreitungsrechnungen wurden zunächst vier Monate ausgewählt (Februar, Mai, August und November 2020). Nach einer Vergleichsphase der Wettermodellierungen in der kleineren Domain 25 x 25 km wurde der Monat Mai als adequat zur Abbildung des Jahresdurchschnitt für 2020 festgelegt. Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung wurden mit den Wetterdaten des Mai 2020 bis zu einer Entfernung von 100 km vom KKW berechnet (größere Domain 200 x 200 km mit KKW im Mittelpunkt). Die Berechnungen wurden mit den Modellierungssystemen AriaIndustry (SURFPro, Minerve und Spray) durchgeführt. Für die Berechnung von Ergebnissen über 100 km Entfernung wurde das Programm RODOS mit den Ausbreitungsmodellen DIPCOT und LASAT herangezogen.

Die Ergebnisse werden als 95%-Quantile dargestellt. Es wurde keine Deposition berücksichtigt, damit die Werte in der Wolke maximal sind. Alle Depositionspfade mit Ausnahme der Ingestion wurden berücksichtigt.

Als Ergebnisse werden für den DEC-B zusammengefasst: Die 30-Tage-Effektivdosis beträgt in einer Entfernung von 10 km vom Kraftwerk 1,16 mSv. Die ermittelte Schilddrüsendosis beträgt in einer Entfernung von 3 km vom KKW Krško 13,5 mSv. Ein Bewohner aus Leibnitz (Entfernung ca 95 km) würde durch den DEC-B eine 30-Tage-Effektivdosis von 0,0129 mSv erhalten.

In drei Abbildungen werden Aktivitätskonzentrationen von Cs-134, I-131 und Xe-133 als 95%-Quantile für den DEC-B angeführt, dies für eine Entfernung bis zu 200 km und für die Berechnungsergebnisse aus verschiedenen Programmen. (UVP-BERICHT 2022, S. 429) Für Iod-131 beträgt die Konzentration in einer Entfernung von 80 km in Abhängigkeit vom verwendeten Programm zwischen 700.000 und 1.500.000 Bq*s/m³, und für Cs-134 zwischen 200.000 und 270.000 Bq*s/m³. In 100 km Entfernung liegen die Werte für I-131 zwischen 400.000 und 800.000 Bq*s/m³ und für Cs-134 ca. bei 150.000 Bq*s/m³. (UVP-BERICHT 2022, S. 429)

Laut UVP-Bericht sind keine grenzüberschreitenden erheblichen Folgen auf die Umwelt sowie die Gesundheit von Menschen und ihre Vermögenswerte zu erwarten. (UVP-BERICHT 2022, S. 437)

7.2 Diskussion und Bewertung

Bewertung der vorgelegten Berechnungsangaben zu DBA und BDBA

Die in den UVP-Unterlagen vorgelegten Berechnungsergebnisse für die beiden schweren Unfall-Szenarien lassen keine ausreichende Beurteilung zu, ob in Österreich Dosiswerte erreicht werden könnten, die Interventionsmaßnahmen nötig machen würden.

Zunächst ist nicht klar, ob für die Ausbreitungsrechnungen auch solche Wetter-situationen berücksichtigt wurden, die zu einer Deposition durch Abregnen auf österreichischem Staatsgebiet führen. Weiters wurde nicht erwähnt, ob die angegebenen Dosiswerte für Erwachsene oder für die kritische Gruppe der Kinder und schwangeren Frauen gelten. Drittens handelt es sich bei den Dosiswerten um 95%-Quantile, die Maximaldosen (also die Werte in den obersten 5% aller Fälle) wurden nicht angegeben.

In Österreich gelten die folgenden **Dosis-Richtwerte für die Durchführung von Interventionsmaßnahmen**.

*Tabelle 3:
Interventionsmaßnahmen
in Österreich laut
BMK (2020)*

Maßnahme	Dosis für Personen < 18 Jahre, Schwangere mSv	Dosis für Erwachsene mSv	Art der Dosis
Aufenthalt im Gebäude	1	10	Effektive Erwartungsdosis über max. 2 Tage aus externer Strahlung und Inhalation
Iodprophylaxe	10	100	Erwartete Schilddrüsendosis über max. 2 Tage aus Inhalation
Evakuierung	50	50	Vermeidbare effektive Dosis über max. 2 Tage aus externer Strahlung und Inhalation
Zeitweise Umsiedlung	30	30	Effektive Erwartungsdosis über 30 Tage aus Bodenstrahlung
Dauerhafte Umsiedlung	100	100	Effektive Erwartungsdosis über 1 Jahr aus Bodenstrahlung

Um eine mögliche Betroffenheit Österreichs durch die Auswirkungen eines schweren Unfalls beurteilen zu können, müssten Dosiswerte vorgelegt werden, die einen Abgleich mit den Werten aus obiger Tabelle erlauben.

Abgesehen von der möglichen Notwendigkeit für Interventionsmaßnahmen aufgrund der Überschreitung von Dosis-Richtwerten kann es auch zu einer Betroffenheit Österreichs kommen, wenn **landwirtschaftliche Schutzmaßnahmen** laut Maßnahmenkatalog (BMLFUW 2014) ergriffen werden müssen. Der Maßnahmenkatalog sieht bereits bei geringen erwarteten Kontaminationen die Einleitung landwirtschaftlicher Schutzmaßnahmen vor. Darin findet sich u. a. die Maßnahme A07 („Die unverzügliche Ernte von vermarktungsfähigen Produkten, insbesondere von lagerfähigen Produkten“) mit ihr zugeordneten (Prognose-)Werten:

Tabelle 4: (Prognose-)Werte für die landwirtschaftliche Maßnahme A07 (BMLFUW 2014)

	I-131 Bq*h/m³	I-131 Bq/m²	Cs-137 Bq*h/m³	Cs-137 Bq/m²
Start von Maßnahme A07	170	700	350	650

Laut Maßnahmenkatalog können bei Überschreiten dieser (Prognose-)Werte im ungünstigsten Fall die EU-Höchstwerte für Nahrungsmittel (in diesem Fall Blattgemüse) überschritten werden.

In der folgenden Tabelle werden die Werte aus dem UVP-Bericht mit dem Wert für die trockene Iod-Deposition laut Maßnahmenkatalog verglichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Werte laut UVP-Bericht aus drei verschiedenen Programmen stammen, sie werden daher hier als ein ungefährender Bereich angeführt.

Tabelle 5: Abgleich der Aktivitätskonzentrationen für Iod-131 bei DEC-B (UVP-BERICHT 2022, S. 429) mit den (Prognose-)Werten laut BMLFUW (2014)

	I-131 Bq*h/m³
I-131 in 80 km Entfernung	Ca. 200-420
I-131 in 100 km Entfernung	Ca. 110-220
BMLFUW (2014): Start von Maßnahme A07	170

Es zeigt sich, dass die berechneten I-131 Werte bei einem DEC-B auch noch in 100 km Entfernung vom KKW über dem Wert laut Maßnahmenkatalog von 170 Bq*h/m³ liegen können.

Es ist weiters nicht auszuschließen, dass auch die Prognosewerte für eine Deposition überschritten werden könnten, hierfür wurden keine Daten vorgelegt. Weiters wurden keine Daten für Cs-137 vorgelegt (weder für eine nasse noch für eine trockene Deposition) daher kann auch hier eine Überschreitung der Werte des Maßnahmenkatalogs keinesfalls ausgeschlossen werden.

Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die Maßnahme A07 nur wirkt, wenn die ganze Ernte innerhalb kürzester Zeit eingebracht werden kann. Dies hängt nicht nur von der Länge der Vorwarnzeit ab, sondern auch von der Verfügbarkeit entsprechender Erntemaschinen und von Lagerräumen und Personalressourcen.

Selbst wenn es gelingen sollte, einen Teil der Ernte rechtzeitig einzuholen, besteht immer noch die Gefahr, dass die betroffene Gegend stigmatisiert werden könnte und ihre Produkte nicht mehr vermarktbare wären, dies wird im Maßnahmenkatalog auch so thematisiert. (BMLFUW 2014, S. 30)

Anhand der vorgelegten Iod-131 Konzentrationen ist belegbar, dass Österreich durch den schweren auslegungsüberschreitenden Unfall im KKW Krško laut den Berechnungen im UVP-Bericht so stark betroffen sein kann, dass landwirtschaftliche Maßnahmen starten müssten.

Um abschließend beurteilen zu können, ob und in welchen Gebieten landwirtschaftliche Schutzmaßnahmen in Österreich als Folge eines schweren Unfalls im KKW Krško eingeleitet werden müssten, sollten im Zuge der UVP auch Kontaminationswerte für Cs-137 und I-131 zur Verfügung gestellt werden für trockene und nasse Deposition auch für Entfernungen über 100 km hinaus.

Abschätzung möglicher erheblicher Folgen für Österreich aus anderen Berechnungen

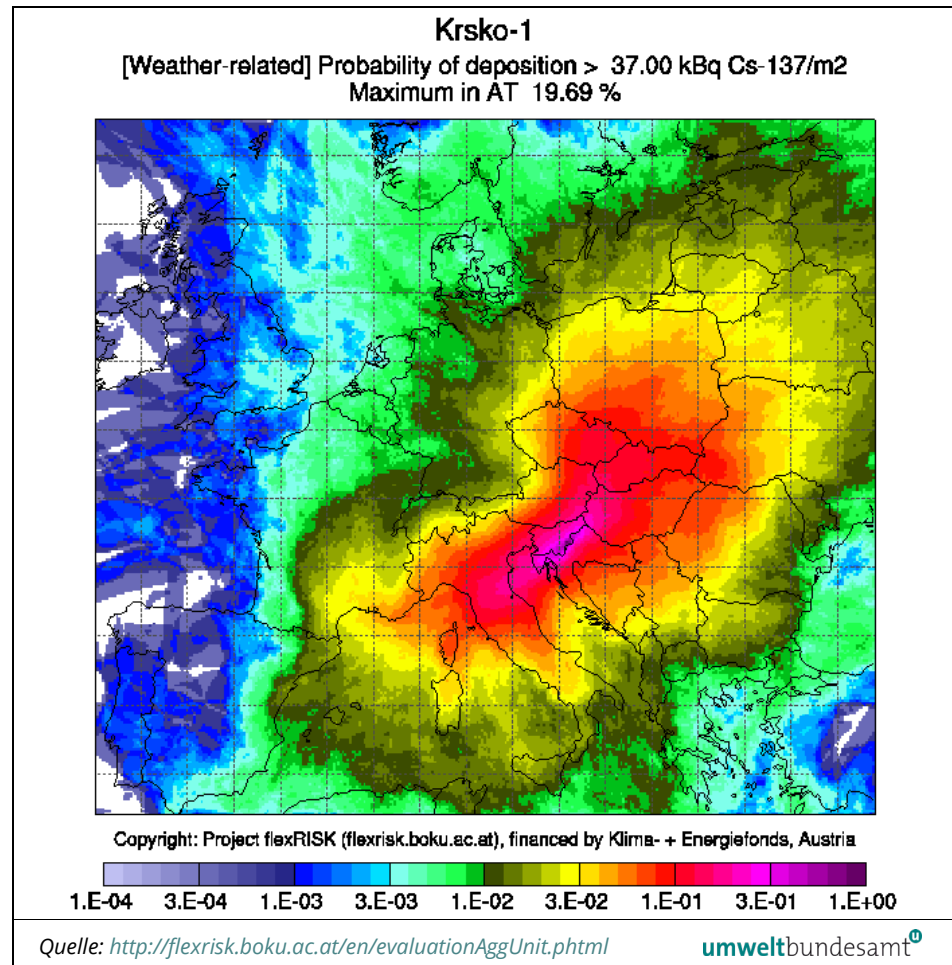
Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, ist aber bisher nicht belegt, dass der verwendete Quellterm tatsächlich abdeckend ist. Insofern sind deutlich größere grenzüberschreitende Auswirkungen nicht auszuschließen.

Für die Darstellung der möglichen Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Unfalls am Standort Krško wurde das Forschungsprojekt flexRISK verwendet. (<http://flexrisk.boku.ac.at/en/projekt.html>)

Im Rahmen dieses Projekts wurde das Risiko durch schwere Unfälle in KKW in Europa untersucht. Ausgehend von Quelltermen wurde mit einem aktuellen Ausbreitungsmodell für etwa 2.800 verschiedene Wettersituationen die aus einem schweren Unfall resultierende Belastung durch Bodenkontamination und bodennahe Konzentrationen der wesentlichen Radionuklide berechnet. Zudem wurde für 88 reale Wetterszenarien eines repräsentativen Jahres (1995) die Cs-137-Deposition ermittelt. Die Ergebnisse wurden in Karten sichtbar gemacht. Die Ausbreitungsrechnungen erfolgten mit dem Lagrangeschen Partikelmodell FLEXPART. Als meteorologische Eingangsdaten wurden Daten des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) verwendet.

Das Projekt flexRISK berechnet einen möglichen schweren Unfall im KKW Krško wie folgt: Durch einen auslegungsüberschreitenden Unfall mit Containment-Bypass wird eine Freisetzung von 69,04 Peta-Becquerel (PBq) Cs-137 und 539 PBq I-131 angenommen.

Abbildung 7:
Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination mit mehr als 37 kBq Cs-137/m².
(Quelle:
<http://flexrisk.boku.ac.at/en/evaluationAggUnit.phtml>)

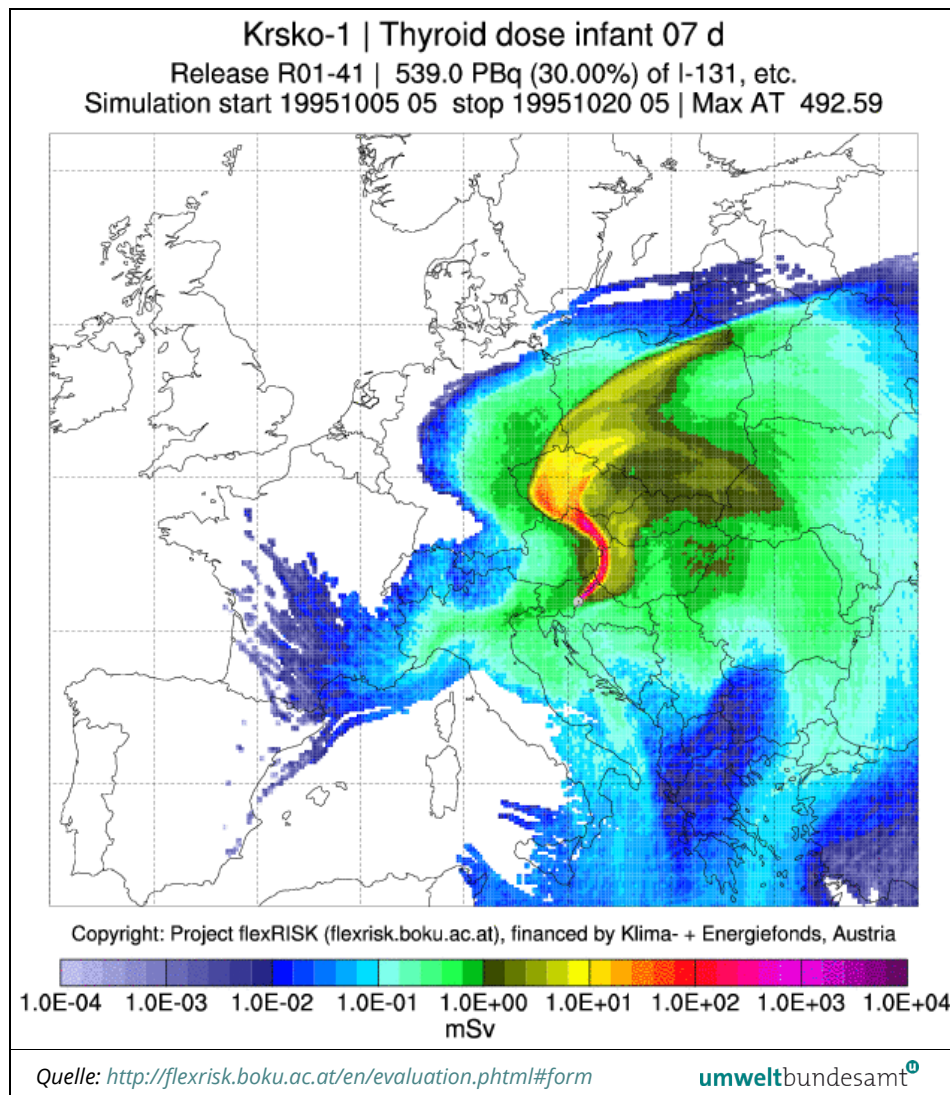


Diese Karte zeigt die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination Europas mit mehr als 37 kBq Cäsium-137/m² durch einen schweren Unfall in Krško. Die maximale Wahrscheinlichkeit, dass Österreich im Falle dieses schweren Unfalls mit mehr als 37 kBq Cäsium-137/m² kontaminiert werden würde, liegt bei 19,7% - also bei fast einem Fünftel aller Wettersituationen. Nach Tschernobyl wurden Gebiete in der Sowjetunion mit einer Deposition ab 37 kBq Cs-137/m² als „kontaminiert“ definiert und kontinuierlichen Strahlenmessungen unterzogen. Die durchschnittliche Belastung in Österreich nach Tschernobyl war 21 kBq Cs-137/m², mit Spitzenwerten bis 185 kBq Cs-137/m².

Die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination in Österreich mit über 185 kBq Cs-137/m² liegt laut flexRISK bei 11,4 %. In beiden Fällen ist das wetterbedingte Risiko im Osten und Süden Österreichs höher als im Norden und Westen.

Es kann durchaus zu einzelnen Wettersituation kommen, die für den Falle eines Unfallszenariums wie in flexRISK dargestellt zur Überschreitung der Richtwerte für Inventionsmaßnahmen führt. Ein Beispiel ist die Wettersituation vom 05.10.1995.

Abbildung 8:
Schilddrüsendosis für
Kinder aufgrund einer
Freisetzung von 539 PBq
I-131 in der Wettersitua-
tion vom 05.10.1995
(Quelle: **Fehler! Linkre-
ferenz ungültig.**)



Eine solche Wettersituation wie am 05.10.1995 führt zu einer Iodbelastung, die den Start der Kaliumiodid-Prophylaxe in Österreich notwendig macht. In diesem Szenarium werden bis zu 490 Millisievert (mSv) Schilddrüsendosis für Kinder erwartet. Ab einer erwarteten Schilddrüsendosis von 10 mSv sollen Kinder, Jugendliche, schwangere und stillende Frauen in Österreich Kaliumiodidtabletten einnehmen.

Durch Aggregation aller Schilddrüsendosis-Ergebnisse aus flexRISK ergibt sich ein wetterabhängiges Risiko von 12,4 %, dass in Österreich durch den angenommenen schweren Unfall im KKW Krško der Dosisrichtwert von 10 mSv für Kinder überschritten wird.

Zur abschließenden Beurteilung einer möglichen erheblichen Betroffenheit Österreichs ist es aber auch wesentlich, Szenarien mit dem größtmöglichen Quellterm und den für Österreich ungünstigsten Wettersituationen vorzulegen.

7.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Im Rahmen der UVP wurden Berechnungen für einen Auslegungsstörfall und einen auslegungsüberschreitenden Unfall vorgelegt. Für beide wurden für Österreich erhebliche nachteilige Auswirkungen ausgeschlossen. Dies kann so jedoch nicht nachvollzogen werden. Es ist unklar, ob in den Ausbreitungsrechnungen auch Depositionen durch Abregnen berücksichtigt wurden, weiters wurde nicht angegeben ob die Dosiswerte für die kritische Gruppe der Kinder gelten oder für Erwachsene, auch fehlen Angaben zur Maximaldosis. Diese Punkte werden als Fragen an die slowenische Seite übermittelt werden.

Anhand der Angaben im UVP-Bericht zeigt sich, dass durch den auslegungsüberschreitenden Unfall mit Auswirkungen auf die österreichische Landwirtschaft zu rechnen ist, die zu wirtschaftlichen Schäden, aber auch Imageschäden der österreichischen Landwirtschaft führen können. Aufgrund der Höhe der berechneten Iod-Konzentration müssten Maßnahmen zur vorgezogenen Ernte zumindest in grenznahen Gebieten starten. Es wurden jedoch noch nicht alle Berechnungsergebnisse für den auslegungsüberschreitenden Unfall vorgelegt um abklären zu können, welche Gebiete Österreichs von landwirtschaftlichen Folgen betroffen sein könnten.

Da bisher nicht belegt wurde, dass der für die im UVP-Bericht vorgelegten Berechnungen verwendete Quellterm tatsächlich abdeckend ist, kann ein über die berechneten Unfälle hinausgehender schwerer Unfall erheblich größere radiologische Wirkungen auf österreichisches Staatsgebiet zeigen. Insbesondere zeigt die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen zu einem möglichen schweren Unfall im Projekt flexRISK größere, noch erheblichere Auswirkungen als im UVP-Bericht ermittelt wurden. Insgesamt können derartige Unfälle mit entsprechenden erheblichen Auswirkungen auf österreichisches Staatsgebiet zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden.

7.3.1 Fragen

- **F67:** Welche 2-Tages-Dosiswerte ergeben die Berechnungen für einen schweren Unfall ab 75 km Entfernung, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene? Welche Maximaldosen sind zu erwarten, welche Dosen entsprechend des 95% Quantils?
- **F68:** Haben Sie auch Wettersituationen berechnet, in denen es auf österreichischem Staatsgebiet zu nassen Depositionen (durch Abregnen der Wolke) kommen kann? Was sind die maximalen 2-Tages-Dosisergebnisse für Kinder und Erwachsene in diesen Fällen?
- **F69:** Welche Depositionswerte sind bei einem schweren Unfall auf österreichischem Staatsgebiet möglich? (ersucht wird um Angabe von Cs-137 und I-131 sowohl für nasse als auch trockene Deposition)

7.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE17:** *Es sollte berücksichtigt werden, dass in Österreich andere Dosisrichtwerte für den Start von Interventionsmaßnahmen gelten als in Slowenien. Berechnungen und Interpretationen der Ergebnisse sollten dies berücksichtigen.*
- **VE18:** *Es wird empfohlen, die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall mit Versagen des Sicherheitsbehälters zu berechnen, und zwar unabhängig von der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit, solange dieser physikalisch möglich ist.*

8 FRAGEN UND VORLÄUFIGE EMPFEHLUNGEN

Aus Sicht des Expert:innenteams ergeben sich anhand der vorgelegten Informationen nachfolgend angeführte Fragen und vorläufige Empfehlungen.

8.1 Verfahren und Alternativen

8.1.1 Vorläufige Empfehlungen

- **VE1:** *Es sollte nicht darauf verzichtet werden, im Rahmen der UVP Alternativen zur Laufzeitverlängerung zu untersuchen.*

8.2 Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle

8.2.1 Fragen

- **F1:** *Wann wird das Trockenlager für die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente betriebsbereit sein?*
- **F2:** *Ist es geplant, die KBS-3 Methode trotz der problematischen Erkenntnisse zur Kupferkorrosion zu nutzen? Wie soll mit dem Problem der Kupferkorrosion umgegangen werden?*
- **F3:** *Ist Slowenien an einem regionalen/multinationalen Endlager interessiert? Wenn ja, für welche Arten von radioaktiven Abfällen? Welche Aktivitäten werden diesbezüglich gesetzt?*
- **F4:** *Wann erfolgt eine Festlegung für oder gegen die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente?*
- **F5:** *An welche ausländischen Anbieter werden LILW zur Konditionierung verbracht? Führen Transportrouten durch Österreich?*
- **F6:** *Wie ist der Status der Genehmigung und Errichtung des LILW Endlagers Vrbina?*
- **F7:** *Wann wird der Betrieb des LILW Endlagers Vrbina aufgenommen?*
- **F8:** *Wie wird der LILW zwischengelagert, falls das Endlager Vrbina den Betrieb in 2023 noch nicht aufnehmen kann?*
- **F9:** *Wie ist der Status des kroatischen „Zentrums für die Entsorgung radioaktiver Abfälle Čerkezovac“?*
- **F10:** *Sind Alternativen vorgesehen, falls Kroatien nicht wie vorgesehen die Hälfte der radioaktiven Abfälle übernehmen kann, z.B. falls die dortigen Lagerstätten nicht rechtzeitig fertiggestellt werden können?*

8.2.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE2:** Um das vom KKW Standort Krško ausgehende Risiko zu mindern, sollten die abgebrannten Brennelemente, die ausreichend abgeklungen sind, zügig in das Trockenlager umgeladen werden.

8.3 Langzeitbetrieb des Reaktortyps

8.3.1 Fragen

- **F11:** Was sind die aktuellen Ergebnisse zur Versprödung der Reaktordruckbehälter (RDB) im KKW Krško (Sprödbbruchübergangstemperatur RTNDT, Sprödbrechtsicherheitsnachweis)?
- **F12:** Wann werden die WENRA Referenzlevel (RL) 2020 vollständig in das slowenische Regelwerk implementiert? Wann wird überprüft, ob das KKW Krško die Anforderungen der WENRA RL 2020 erfüllt?
- **F13:** Enthält das Alterungsmanagementprogramm für das KKW Krško bereits Anforderungen zur technologischen Veralterung?
- **F14:** Wie weit ist die Umsetzung des Nationalen Aktionsplans für das Topical Peer Review zum „Ageing Management“? Ist die Übereinstimmung und gegebenenfalls Anpassung des „Ageing Management Programms“ mit den Anforderungen aus dem IAEO-Sicherheitsstandard SSG 48 bereits abgeschlossen?
- **F15:** Ist bereits die laut Nationalem Aktionsplan zum Alterungsmanagement vorgesehene Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Kabel unter auslegungsgeschwindigkeitsüberschreitenden Belastungen (DEC-B) abgeschlossen? Waren Maßnahmen erforderlich? Sind diese bereits erfolgt?
- **F16:** Liegen die Ergebnisse der dritten periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSR3) bereits ganz oder teilweise vor? Wie lauten gegebenenfalls die Ergebnisse?
- **F17:** Liegen bereits Ergebnisse zum zweiten "Topical Peer Review" gemäß Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/EURATOM dem Brandschutz für das KKW Krško vor?
- **F18:** Können die Empfehlungen und Vorschläge der Pre-SALTO-Mission aus Oktober 2021 und deren Umsetzung erläutert werden?
- **F19:** Welche manuellen Eingriffe sind erforderlich, um die Systeme im Gebäude BB2 in Betrieb zu nehmen und welche Zeiten werden dafür benötigt?
- **F20:** Auf welcher Grundlage (Abläufe, Annahmen) wurde der Wasserbedarf bzw. das Wasservolumen im Gebäude BB2 geschätzt und welche Abläufe sind damit abgedeckt? Für welchen Zeitraum kann eine Kernnotkühlung gewährleistet werden? Wie wird das Wiederauffüllen des Wassertanks hergestellt? Welche Wassermenge pro Stunde ist bei intaktem Primärkreis erforderlich, um den Reaktorkern zu kühlen?

- **F21:** *Wie wurde bei der Anbindung der neuen Systeme an die bestehenden Systeme gewährleistet, dass die Funktionen im Bedarfsfall erfüllt werden können? Liegt für alle diese von der Anbindung betroffenen Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) ein konservativer Nachweis vor, dass diese SSCs den Belastungen standhalten, die einer Erdbebenbelastung von $PGA = 0,56 g$ entsprechen? Entspricht der Nachweis den Richtlinien der WENRA (2020c)?*
- **F22:** *Sind die Analysen zum Vorhandensein von Wasserstoff an unerwarteten Orten beendet. Wie war das Ergebnis? Sind weitere Maßnahmen geplant? Wenn ja, wie sieht der Zeitplan für ihre Umsetzung aus?*
- **F23:** *Für welchen maximalen Zeitraum kann das gefilterte Entlüftungssystem des Sicherheitsbehälters bei Beibehaltung seiner Funktion betrieben werden?*
- **F24:** *Laut SNSA (2020) kann das neuinstallierte Sprühsystem um das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente auch die Restwärme der abgebrannten Brennelemente im Falle eines großen Lecks aus dem Becken abführen. Wie groß kann das Leck maximal sein, damit ein Ausgleich des Wasserverlustes erfolgreich durchgeführt werden kann?*
- **F25:** *Wie viel Personen der Betriebsmannschaft und welcher Zeitbedarf ist jeweils erforderlich, um den mobilen Wärmetauscher an das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente (SFP), den Containment-Sumpf oder das Reaktorkühlsystem anzuschließen?*
- **F26:** *Wie viel Personen der Betriebsmannschaft und welcher Zeitbedarf ist erforderlich, um den mobilen DG anzuschließen?*
- **F27:** *Wie lautet die nationale Strategie für den Umgang mit großen Mengen kontaminierten Wassers nach und während eines schweren Unfalls?*
- **F28:** *Inwieweit wurden internationale Dokumente (IAEA, WENRA) bei der Laufzeitverlängerung verbindlich angewandt?*
- **F29:** *Ist eine systematische Bewertung der Auslegungsabweichungen des KKW Krško von den aktuellen internationalen Sicherheitsstandards und Anforderungen erfolgt?*
- **F30:** *Welche technisch möglichen Verbesserungen zur Erfüllung moderner Sicherheitsanforderungen wurden für das KKW Krško im Rahmen der Laufzeitverlängerung als nicht „vernünftig machbar“ angesehen?*

8.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE3:** *Es wird empfohlen, alle technisch verfügbaren Sicherheitsverbesserungen zur Verhinderung von Unfällen umzusetzen.*
- **VE4:** *Es wird empfohlen, alle Anforderungen des 2020 WENRA Referenzlevels im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung 3 (PSR 3) zu erfüllen. Bei Abweichungen sollten die Gründe dafür erläutert werden.*
- **VE5:** *Es wird empfohlen, die folgenden weiteren Informationen zur Verfügung zu stellen:*

- c) *Detaillierte Beschreibungen der Sicherheitssysteme, einschließlich Angaben zu Anforderungen an die wichtigen sicherheitsrelevanten Systeme und Komponenten. Darüber hinaus eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle bzw. zur Abmilderung ihrer Folgen getroffen wurden.*
- d) *Nachvollziehbare Darstellung und Gesamtbewertung aller Abweichungen vom aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Diese Darstellung sollte beinhalten:*
 - Alle Abweichungen von den heutigen Anforderungen an Redundanz, Diversität und Unabhängigkeit der Sicherheitsebenen.
 - Unvollständigkeit der verwendeten Datenbasis und Anlagendokumentation.
 - Darstellung aller sicherheitstechnischen Bewertungen bzw. Parameterfestlegungen durch persönliche Begutachtungen ("engineering judgement").
 - Abweichungen vom Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der verwendeten Nachweisverfahren, der technischen Abschätzungen und Berechnungsverfahren.
 - Verfügbare Sicherheitsmargen für die einzelnen sicherheitsrelevanten Komponenten (insbesondere für die Reaktordruckbehälter) und deren jeweilige alterungsbedingte Veränderungen gegenüber dem Ausgangszustand.

8.4 Unfallanalyse (DBA undbdba)

8.4.1 Fragen

- **F31:** *Wie lauten die Quellterme der in der PSA Level 2 berechneten auslegungsüberschreitenden Unfälle der Freisetzungskategorien RC6, RC7A, RC7B, RC8A und RC8B? Welche Wahrscheinlichkeiten wurden dafür ermittelt?*
- **F32:** *Was ist die technische Begründung für den auslegungsüberschreitenden Unfall, der für die Berechnung möglicher grenzüberschreitender Auswirkungen gewählt wird? Wird dieser Unfall auch als abdeckend für den Absturz eines Flugzeugs angesehen?*
- **F33:** *Wie soll ein Durchschmelzen des Fundaments infolge eines Kernschmelzunfalls verhindert werden? Wie lautet die errechnete Wahrscheinlichkeit für diesen Ablauf (Freisetzungskategorie RC4)?*
- **F34:** *Wurde im Rahmen des UVP-Verfahrens der Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs analysiert?*
- **F35:** *Wurde eine DEC-B-Analyse durchgeführt, um vernünftig machbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden oder Bedingungen abzuschwächen, die zu frühen oder großen radioaktiven Freiset-*

zungen führen könnten, soweit solche Schäden oder Zustände nicht mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft wurden?

- **F36:** *Werden für Auslegungsstörfälle (Design Basis Accidents), auslegungsüberschreitende Störfälle (Design Extension Conditions=DEC) ohne signifikantem Kernschaden (DEC-A) und mit Kernschmelze (DEC-B) im Regelwerk in Slowenien Zielwerte für die Wahrscheinlichkeit vorgegeben? Wie lauten die jeweiligen Werte für das KKW Krško?*
- **F37:** *Ist eine Betrachtung der internen Ereignisse gemäß WENRA RL SV im Rahmen der aktuellen Sicherheitsnachweise bereits erfolgt?*

8.4.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE6:** *Es wird empfohlen, die WENRA-Sicherheitsziele für neue KKW zu verwenden, um vernünftig machbare Sicherheitsverbesserungen für das KKW Krško zu identifizieren. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit eines Unfallszenarios sehr gering ist, sollten alle zusätzlichen, vernünftig machbaren Sicherheitsverbesserungen zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden. Es wird empfohlen, für diesen Ansatz das Konzept des praktischen Ausschlusses für Unfälle mit frühen oder großen Freisetzungen zu verwenden.*
- **VE7:** *Es wird empfohlen, die folgenden Informationen über Störfallanalysen und die Ergebnisse der PSA 2 bereitzustellen, um nachvollziehbar beurteilen zu können, ob Österreich potenziell betroffen ist:*
 - Häufigkeit großer (früher) Freisetzungen (L(E)RF)
 - Anteil der Kernschmelzunfälle, die zum Containmentversagen führen
 - Liste der auslegungsüberschreitenden Störfälle (BDBAs) und der zugehörigen Quellterme

8.5 Unfälle durch externe Ereignisse

8.5.1 Fragen

- **F38:** *Wurden beim Screening der standortspezifischen Gefährdungen auch Kombinationen von Gefahren berücksichtigt und bewertet?*
- **F39:** *Wurden für alle Einwirkungen von außen, die den Standort betreffen, Auslegungsereignisse (Design Basis Events) und alle möglichen Gefahrenkombinationen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von maximal 10^{-4} / Jahr definiert?*
- **F40:** *Liegt für alle sicherheitsrelevanten Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) ein konservativer Nachweis vor, dass diese SSCs den Belastungen*

standhalten, die einer Erdbebenbelastung von $PGA = 0,56 \text{ g}$ (Freifeld) entsprechen? Wie wurde ein solcher Sicherheitsnachweis geführt? Entspricht der Nachweis den Richtlinien der WENRA (WENRA 2020c, TU5.1, S. 16-17)?

- **F41:** NEK (2021, S. 49-51) listet Verbesserungen der Reaktorsicherheit durch Austausch der Verdampfer, Reaktorkühlmittelpumpen, elektrischen Schaltanlage, Sicherheits-Wechselstromversorgung (DG3), Einbau von Systemen zur autokatalytischen Verbrennung von Wasserstoff und gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters, alternative Kühlungen für das Lagerbecken abgebrannter Brennelemente und den Reaktor, etc. auf. Wie hoch ist die seismische Bemessungsgrundlage (PGA) für diese neuen Systeme und Komponenten?
- **F42:** Warum wird bei der Beschreibung der Auslegungsgrundlage für Nachrüstungen, die im Rahmen des Safety Upgrade Programs (SUP) und des Nationalen Aktionsplans (NACp in Folge der Europäischen Stress Tests) durchgeführt werden, auf „erweiterte Auslegungsbedingungen“ (DEC, z.B., Auslegung auf 0.6 g Erdbebenbelastung) verwiesen und nicht auf Auslegungsbedingungen (Design Basis)?
- **F43:** Sind die drei Kühlturmblocke vollständig unabhängig von der Kühlwasserversorgung aus der Save?
- **F44:** Wie hoch ist die Auslegungsgrundlage der Kühltürme gegen Erdbebenbelastungen (PGA)?
- **F45:** Wie wurde die Gefahrenkombination erdbebeninduziertes Feuer im Sicherheitskonzept des KKW Krško berücksichtigt? Sind Einrichtungen zur Brandbekämpfung und Feuerlöschsysteme für Erdbebenbelastungen mit $PGA = 0,56 \text{ g}$ ausgelegt?
- **F46:** Untersuchungen für die Neubewertung der Erdbebengefährdung Sloweniens haben eine Reihe aktiver und möglicherweise aktiver Störungen im Nahbereich von Krško in der „Database of Active Faults in Slovenia“ dokumentiert (Artiče Störung, aktiv, $<5 \text{ km}$ W Krško ; Orlica Störung, wahrscheinlich aktiv, $<5 \text{ km}$ E Krško ; Dobrovec-Hrastnik Störungssystem, wahrscheinlich aktiv, ca. $10\text{--}20 \text{ km}$ E Krško ; Orehovec-Pstena vas Störung, wahrscheinlich/möglicherweise aktiv, $>7 \text{ km}$ S Krško ; Ostteil des dinarischen Störungssystems, Bewegungsgeschwindigkeit $1\text{--}2 \text{ mm/Jahr}$, $> 25 \text{ km}$ SW Krško). Wurden diese Störungen systematisch paläoseismologisch untersucht, um ihren Beitrag zur Erdbebengefährdung in einer PSHA zu berücksichtigen? Sind paläoseismologische Untersuchungen dieser Störungen geplant?
- **F47:** Die neue Erdbebengefährdungskarte von Slowenien (2021) zeigt für den Raum Krško wesentlich höhere Gefährdung als frühere Analysen (2001). Zudem hat sich die Datengrundlage seit der PSHAs für das KKW Krško in 2004 und 2014 wesentlich verändert (neue seismotektonische Modelle, aktive Störungsdatenbank). Es gibt daher hinreichend Gründe für die Annahme, dass die Ergebnisse der PSHA 2004 und 2014 nicht mehr aktuell sind. Ist vor diesem Hintergrund eine neue PSHA geplant? In welchem Zeitraum soll – falls geplant – eine PSHA durchgeführt werden?
- **F48:** In Kap. 2.1.1.3 (S. 19) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird erwähnt, dass Fragilitäten entwickelt werden, konkret handelt es sich um die

Textstelle „... peak accelerations, maximum member forces, and floor acceleration time histories. These quantities were needed for fragility development“. Wie wurde bei der Ermittlung von Fragilitätskurven vorgegangen?

- **F49:** In Kap. 2.1.1.3 (S. 19) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben, dass Spitzenwerte der Decken-Antwortspektren (Floorspektren) von der ursprünglichen Berechnung (PGA = 0,30 g, einfache Boden-Bauwerk-Interaktion) gleich bzw. ähnlich zu Floorspektren aus der Analyse zur Erstellung des Stress Test Report sind (also mit PGA = 0,30 g, rigorose Boden-Bauwerk-Interaktion). Bitte erklären Sie ausführlicher, woher diese Übereinstimmung herrührt.
- **F50:** Neueste Forschungserkenntnisse (GREMER et al. 2019) zeigen, dass die vertikale Komponente der Deckenbeschleunigung um ein Vielfaches höher sein kann als die horizontale Deckenbeschleunigung. Dies hat unmittelbar Auswirkungen auf die Befestigungsmittel von Strukturen und Systemen bzw. auf die Funktionstüchtigkeit von Strukturen und Systemen. Wie wird die vertikale Komponente der Deckenbeschleunigung und die Kombination mit der horizontalen Deckenbeschleunigung in dem mechanischen Modell erfasst? Wie wird die daraus resultierende Interaktion der horizontalen und vertikalen Schnittgrößen der Verbindungsmittel zwischen Equipment und Bauwerk erfasst?
- **F51:** In Kap. 2.1.2.5.1 (S. 30) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben: „The structural response analysis used to develop in-structure spectra for NPP was conducted in a very conservative manner“. Bitte beziffern Sie „very conservative“.
- **F52:** In Kap. 2.1.2.3 (S. 26) von Nuclear Stress Test Report (SNSA 2011) wird beschrieben: „For systems that could respond in multiple modes of vibration, 1.5 times the peak of the response spectrum was used“. Aus diesem Satz ergeben sich folgende Fragestellungen:
 - Warum ist der Wert von 1.5 hinreichend?
 - Die oben stehende Strategie erscheint konservativ für die Bemessung von Bauwerken, falls der Faktor von 1.5 gerechtfertigt ist. Unter „Systemen“ (2. Wort im Satz) wird aber das Equipment verstanden, für dessen Bemessung das Floorspektrum erforderlich ist. Es ist aber bekannt, dass die Spitzenwerte von Floorspektren sehr viel höher als der 1.5-fache Wert des Spitzenwertes des Antwortspektrums sind, siehe MEDINA et al. (2006). Die oben beschriebene Vorgehensweise ist inkonsistent mit den Abschnitten „Auxiliary Class 1 line systems“ (Seite 28) – der Faktor 1,5 wird nicht definiert. Wie wurde nun tatsächlich bei der Ermittlung der Einwirkungen zur Bemessung von Equipment vorgegangen?
 - Auf Seite 28 in Abschnitt „Auxiliary Class 1 line systems“ wird in der Auflistung ständig das Wort „response spectra“ verwendet. Die Verwendung von Antwortspektren ist in diesem Zusammenhang fraglich, da diese per Definition die seismische Einwirkung am Baugrund repräsentieren. Zur Bemessung müssten Floorspektren (Deckenantwortspektren) verwendet werden. Bitte beschreiben Sie die tatsächliche Vorgehensweise präziser.
- **F53:** In Abschnitt 2.11.1 (Seite 108f) UVP-BERICHT (2022) werden gesetzliche und sonstige Grundlagen angeführt. Die Dokumente US NRC RG 1.60 und US

NRC RG 1.61 wurden jeweils 1973 publiziert und 2007 bzw. 2014 revidiert. Welche Auswirkungen haben diese Revisionen auf die seismische Bemessung der Anlage?

- **F54:** Der Pegelstand für das höchste mögliche Hochwasser (PMF, Probable Maximum Flood) wird in NEK (2021) und UVP-BERICHT (2022) mit 155,61 m, in SNSA (2017) jedoch mit 157,53 m angegeben. Wir ersuchen um Klarstellung und Bestätigung, dass Hochwasserschutz gegen das höchste mögliche Hochwasser (PMF) gegeben ist.
- **F55:** Ist die Kapazität des Drainagesystems für Niederschläge (Starkregen) oder Gefahrenkombinationen wie etwa Regen und Schneeschmelze mit Wahrscheinlichkeiten von 10^{-4} /Jahr ausgelegt?
- **F56:** Sicherheitsgebäude sind gegen Windgeschwindigkeiten mit 140 km/h ausgelegt. Wie hoch ist die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Windbelastung? Ist dieser Wert im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F57:** Wie hoch ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der als Auslegungsgrundlage gewählten extremen Temperaturen (-28 °C , $+40\text{ °C}$)? Sind diese Werte im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F58:** Wie hoch sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten der als Auslegungsgrundlage gewählten Schneelasten (120 bis 374 kg/m^2)? Sind diese Werte im Einklang mit der Anforderung der WENRA (2020a; Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-4} /Jahr)?
- **F59:** Sind Einwirkungen von extremen Witterungsbedingungen in der aktuellen PSA und der Kernschadenswahrscheinlichkeit (CDF) von $1,41\text{E-}5$ berücksichtigt?
- **F60:** Sicherheitsrelevante Auswirkungen des Klimawandels sind laut UVP-BERICHT (2022, S. 347) „unwesentlich“. Auflage II/1/16 in ENTWURF BEWILLIGUNG (2022) erfordert dennoch die Verfolgung und Analyse von Extremwetterereignissen sowie die Nachrüstungen der Kraftwerkssysteme, -strukturen und -komponenten bei Überschreitungen der Auslegungsgrundlage. Worauf begründet sich diese Entscheidung.
- **F61:** Sicherheitsrelevante Auswirkungen des Klimawandels sind Gegenstand der Auflage II/1/16 in ENTWURF BEWILLIGUNG (2022). Warum werden keine Auflagen in Bezug auf andere, die nukleare Sicherheit betreffende Gefahren, insbesondere seismotektonische Gefahren (Erdbeben), formuliert?

8.5.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE8:** Es wird empfohlen, sicherzustellen, dass die Auslegungsgrundlagen für Schutzmaßnahmen gegen extreme Wetterereignisse den Vorschriften von WENRA (2020a) entsprechen und sich auf Ereignisse (Design Basis Events) mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von nicht mehr als 10^{-4} / Jahr beziehen.

- **VE9:** *Es wird empfohlen, systematische paläoseismologische Untersuchungen durchzuführen, um Versatzraten, Häufigkeit und Magnitude von Paläoerdbeben zu bestimmen und die Unsicherheiten in Bezug auf die Bewertung von aktiven, wahrscheinlich aktiven und möglicherweise aktiven Störungen im Nahfeld (Near Region, < 25 km) von Krško zu minimieren.*
- **VE10:** *Die Ergebnisse einer PFDHA sind in hohem Maße von Eingangsdaten (Bewegungsgeschwindigkeit und Erdbebenhäufigkeit an den berücksichtigten Störungen) und verwendeten Modellen abhängig. Es wird empfohlen, die PFDHA im Lichte neuer methodischer Entwicklungen und neuer Daten zu überprüfen und gegebenenfalls zu wiederholen.*
- **VE11:** *Es wird empfohlen, die Entscheidung über die Laufzeitverlängerung auf folgenden Grundlagen zu treffen: (1) einer neuen, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden PSHA; (2) dem Nachweis, dass alle sicherheitsrelevanten SSCs den Anforderungen entsprechen, die sich aus einer neuen PSHA ergeben.*
- **VE12:** *Es wird empfohlen, die Durchführung einer neuen PSHA und die Umsetzung von Sicherheitsnachrüstungen, die sich aus den Ergebnissen der PSHA ergeben könnten, als Auflage für die umweltrechtliche Bewilligung der Laufzeitverlängerung festzulegen (analog zu den Auflagen auf extreme Witterungsbedingungen und Klimawandel).*
- **VE13:** *Es wird eine Untersuchung der Auswirkungen der vertikalen Komponente der Bodenbeschleunigung auf die Befestigungsmittel sowie die Funktionalität der Strukturen und Systeme empfohlen.*

8.6 Unfälle durch Beteiligung Dritter

8.6.1 Fragen

- **F62:** *Was sind die Anforderungen an den Schutz des KKW Krško in Bezug auf den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs?*
- **F63:** *Gegen welche Angriffe von außen müssen das Reaktorgebäude und andere sicherheitsrelevante Gebäude ausgelegt sein? Ist dieser Schutz trotz nachteiliger Alterungseffekte noch gewährleistet?*
- **F64:** *Wie wird das Ergebnis des Nuclear Security Index 2020 für Slowenien bewertet? Sind Verbesserungen bezüglich der „Sicherheitskultur“, der „Cybersicherheit“ (38) und "Schutz vor Insider-Bedrohungen" geplant?*
- **F65:** *Ist eine IAEO-Mission des International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) zur Verbesserung der nuklearen Sicherung geplant?*
- **F66:** *Wie wird die Bedrohungssituation durch militärische Aktionen für die nächsten 20 Jahre für kerntechnische Anlagen in Slowenien bewertet? Welche Schutzmaßnahmen sind geplant?*

8.6.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE14:** Im UVP-Verfahren sollten die allgemeinen Anforderungen in Bezug auf den Schutz gegen den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs und andere Terror- und Sabotageakte dargestellt werden.
- **VE15:** In Anbetracht der Ergebnisse des Nuclear Security Index sollte der Schutz vor potenziellen Cyberangriffen und Innentätern verbessert werden.
- **VE16:** Zur Unterstützung der Verbesserung der nuklearen Sicherung sollte eine IAEA International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) durchgeführt werden. (IAEA 2022)

8.7 Grenzüberschreitende Auswirkungen

8.7.1 Fragen

- **F67:** Welche 2-Tages-Dosiswerte ergeben die Berechnungen für einen schweren Unfall ab 75 km Entfernung, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene? Welche Maximaldosen sind zu erwarten, welche Dosen entsprechend des 95% Quantils?
- **F68:** Haben Sie auch Wettersituationen berechnet, in denen es auf österreichischem Staatsgebiet zu nassen Depositionen (durch Abregnen der Wolke) kommen kann? Was sind die maximalen 2-Tages-Dosisergebnisse für Kinder und Erwachsene in diesen Fällen?
- **F69:** Welche Depositionswerte sind bei einem schweren Unfall auf österreichischem Staatsgebiet möglich? (ersucht wird um Angabe von Cs-137 und I-131 sowohl für nasse als auch trockene Deposition)

8.7.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE17:** Es sollte berücksichtigt werden, dass in Österreich andere Dosisrichtwerte für den Start von Interventionsmaßnahmen gelten als in Slowenien. Berechnungen und Interpretationen der Ergebnisse sollten dies berücksichtigen.
- **VE18:** Es wird empfohlen, die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall mit Versagen des Sicherheitsbehälters zu berechnen, und zwar unabhängig von der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit, solange dieser physikalisch möglich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- AQUARIUS (2021): Zusatz zur Beurteilung der Verträglichkeit der Auswirkungen auf Schutzgebiete für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna elektrarna Krško d.o.o. Ljubljana, Januar 2021. pdf, 79 Seiten.
- ARSO (2021): Nova karta potresne nevarnosti Slovenije - vršni pospešek tal (2021). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija za Republike Slovenije za okolje
https://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/pospesek_tal_priprava.html [Accessed 17.03.2022].
- ATANACKOV, J., JAMŠEK RUPNIK, P., JEŽ J., CELARC, B., NOVAK, M., MILANIČ, B., MARKELJ, A., BAVEC, M. & KASTELIC, V (2021): Database of Active Faults in Slovenia: Compiling a New Active Fault Database at the Junction Between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin Tectonic Domains. Front. Earth Sci. 9: 604388. doi: 10.3389/feart.2021.604388.
- BAKER J.W. (2015). Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis. In: Earthquake Spectra, 31(1), 579-599.
- BMK – FEDERAL MINISTRY FOR CLIMATE ACTION (2020): Gesamtstaatlicher Notfallplan: Ereignisse in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen. (Austrian Emergency Plan).
https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:9b5c25e2-7e90-44b0-9edd-aaf9153eaf25/notfallplan_KKW.pdf.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2014): Maßnahmenkatalog für radiologische Notstandssituationen. Arbeitsunterlage für das behördliche Notfallmanagement auf Bundesebene gemäß Interventionsverordnung, Wien, Juli 2014.
- BRÜCKL, E., BEHM, M., DECKER, K., GRAD, M., GUTERCH, A., KELLER, A.R., THYBO, H. (2010): Crustal structure and active tectonics in the Eastern Alps, Tectonics, 29, doi:10.1029/2009TC002491.
- CLINE, K.M., CLINE, M.L., BLANCO, J.H., QUITTMAYER, R., KIMBALL, J., RIZZO, P.C. & BAVEC, M. (2015): Probabilistic fault displacement hazard analysis for regulatory decision-making: a case study using state-of-the-practice fault characterization methods. Conference Paper: Best Practices in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations, IAEA, Vienna, 18-20.11.2015, 15 pp.
- EC – EUROPEAN COMMISSION (2020): Commission Staff Working Document. Assessment of the final national energy and climate plan of Slovenia. Brussels, 14.10.2020, SWD(2020) 923 final. CORRIGENDUM. This document corrects document SWD(2020) 923 final of 14.10.2020.

- ENSREG – EUROPEAN NUCLEAR SAFETY REGULATOR'S GROUP (2018a): 1st Topical Peer Review Report "Ageing Management".
- ENSREG – EUROPEAN NUCLEAR SAFETY REGULATOR'S GROUP (2018b): 1st Topical Peer Review Report "Ageing Management", country specific findings European Nuclear Safety Regulator's Group.
- ENSREG – EUROPEAN NUCLEAR SAFETY REGULATOR'S GROUP (2012): Slovenia. Peer review country report. Stress Tests performed on European nuclear power plants. <http://www.ensreg.eu/node/403>
- ENTWURF BEWILLIGUNG (2022): Republik Slowenien, Ministerium für Umwelt und Raumordnung: Umweltschutzrechtliche Zustimmung. Entwurf. pdf, 100 Seiten.
- EPRI – ELECTRICAL POWER RESEARCH INSTITUTE (2015): Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment Update of Report 1022997
- ESPOO-KONVENTION (1991): Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. United Nations.
- EURATOM (2014): Richtlinie des Rates 2014/87/EURATOM vom 8. Juli 2014 zur Änderung der Richtlinie 2009/71/Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen.
- EUROPEAN COMMISSION (2013): Technical summary on the implementation of comprehensive risk and safety assessments of nuclear power plants in the European Union. Pdf, 62 Seiten. https://www.ensi.ch/en/wp-content/uploads/sites/5/2013/12/Technical_Summary_stress_tests_EU_2013.pdf.
- FAJFAR, P., LAPAJNE, J., HERAK, M., HANSON, K.L., POLJAK, M., POLJANŠEK, K., PRELOGOVIĆ, E., SWAN, F.H., ŠKET MOTNIKAR, B., TOMLJENOVIC, B., YOUNGS, R.R., ŽIVČIĆ, M., 2004. Revised PSHA for NPP Krško Site, PSR-NEK-2.7.2: Revision 1. Nuclear Power Plant Krško. Vrbina 12, Verlag University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Institute of Structural Engineering, Earthquake Engineering and Construction.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2011): Belgian stress tests – National report for nuclear power plants, December 2011.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2012a): Belgian stress tests National report on nuclear power plants - Man-made events, 18 January 2012.
- FEMA P-2091 (2020): A Practical Guide to Soil-Structure Interaction. Federal Emergency Management Agency, Washington , D.C., pdf, 218 Seiten.
- FRANO (2021): Aircraft Impact Effects on an Aged NPP. R.L. Frano; Materials 2021, 14, 816. <https://doi.org/10.3390/ma14040816>.

- GP (2012): Schwere Reaktorunfälle – wahrscheinlicher als bisher angenommen; Grenzen und Möglichkeiten von probabilistischen Risiko-Analysen (PRA); erstellt von cervus nuclear consulting; Neustadt a. Rbge. Im Auftrag von Greenpeace Deutschland.
- GREMER N., ADAM C., MEDINA R.A., MOSCHEN L. (2019): Vertical Peak Floor Accelerations of Elastic Moment Resisting Steel Frames. In: Bulletin of Earthquake Engineering. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00576-6>.
- HERAK, D., HERAK, M., TOMLJENOVIC, B. (2009): Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-West Croatia. Tectonophysics, 465, 212-220.
- HIRSCH (2005): Nuclear Reactor Hazards - Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century; by Helmut Hirsch, Oda Becker, Mycle Schneider, Antony Froggatt; Report prepared for Greenpeace International, April 2005
- HSK – HAUPTABTEILUNG FÜR DIE SICHERHEIT DER KERNANLAGEN (2003): Stellungnahme der HSK zur Sicherheit der schweizerischen Kernkraftwerke bei einem vorsätzlichen Flugzeugabsturz; HSK-AN-4626; Würenlingen, März 2003
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2009): Ageing Management for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, NS-G-2.12.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2010): Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, Vienna.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2015a): The Contribution of Paleoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations. IAEA Tecdoc 1767, Vienna.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2015b): Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), SSR-82.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2016a): Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1 (Rev. 1).
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2016b): Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants, TECDOC-1791.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2017a): OSART Mission to Krško, 15 May - 1 June 2017; https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/review-missions/194_krsko_summary_report.pdf
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2018): Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, SSG-48.

- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2021a): International Physical Protection Advisory Service (IPPAS); <http://www-ns.iaea.org/security/ippas.asp>.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2022): Peer Review and Advisory Services Calendar; <https://www.iaea.org/services/review-missions/calendar>
- INRAG – INTERNATIONAL NUCLEAR RISK ASSESSMENT GROUP (2021): Risiken von Laufzeitverlängerungen alter Atomkraftwerke, Revision 4; April 2021
- IPCC (2012): Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- JAMŠEK P., BENEDETTI L., BAVEC M., ATANACKOV J., VRABEC M., GOSAR, A. (2011): Preliminary report on the Vodice fault activity and its potential for seismic hazard in the Ljubljana Basin, Slovenia. 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece (2011), 96-98.
- LAPAJNE, J., ŠKET MOTNIKAR, B., ZUPANČIČ, P. (2001): Karta potresne nevarnosti - projektni pospešek tal. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija za Republike Slovenije za okolje.
https://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektni_pospesek_tal.html [Accessed 17.03.2022]
- MAJER (2013): Risiko von Altreaktoren; Eine Studie von Dipl. Ing. Dieter Majer; im Auftrag der Schweizerische Energie-Stiftung SES.
- MARIGNAC (2016): Zusammenfassung der Studie «Reduktion der Sicherheitsmargen von Alt-KKW. Der Fall Beznau. Yves Marignac; WISE-Paris.
- MEDINA, R.A., SANKARANARAYANANA, R., KINGSTON, K.M. (2006): Floor response spectra for light components mounted on regular moment-resisting frame structures. In: Engineering Structures 28, Seite 1927-1940.
- NEK (2021): Projekt: Langfristiger Betrieb des Kernkraftwerks Krško (2023-2043). (Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre). Krško, den 14. Oktober 2021, Rev. 3. pdf, 91 Seiten.
- NRC 10 CFR 50 (2020): U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulations: Title 10, Part 50. Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities. pdf, 211 Seiten.
- NRC RG 1.29 (2007): Regulatory Guide 1.29, Seismic Design Classification. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Rev. 4, pdf, 6 Seiten.
- NTI – NUCLEAR THREAT INITIATIVE (2021): Nuclear Security Index.
<http://ntiindex.org>.

- PLACER L., VRABEC M., CELARC, B. (2010): The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics. *Geologija*, 53/1, 55-86.
doi:10.5474/geologija. 2010.005. <http://www.geologija-revija.si/dokument.aspx?id=1079>.
- PMR – POWER MARKET REVIEW (2015): Study finds feasible extending lifespan of Slovenia's Krško NPP until 2043, 9 January 2015
- POLJAK M., ŽIVČIČ M., ZUPANČIČ, P. (2000): The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure Appl. Geophys.* 157, 37–55.
- RESCH, G., LIEBMANN, L., GEIPEL, J. (2021): A renewable pathway for decarbonizing the electricity sector in Croatia and Slovenia – Just Transition for an early coal and nuclear exit. TU Wien, June 2021.
- RICHTLINIE 2014/52/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 zur Änderung der Richtlinie 2011/92/EU über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten Text von Bedeutung für den EWR (UVP-Richtlinie der EU).
- SIROVICH, L. SUHADOLC, P., COSTA, G., PETTENATI, F. (2011): A review of the seismotectonics of the Krško plant area (SE Slovenia). 30th Convegno Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida GNGTS, Trieste, 14 –17 Novembre 2011, Abstract volume, 240-242.
http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2011/riassunti/2.1/2.1_Sirovich.pdf.
- SNSA - SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2011): Slovenian national report on nuclear Stress Tests, Final Report, December 2011, 190pp.
<http://www.ensreg.eu/node/355>.
- SNSA – SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2012): Slovenian Post-Fukushima National Action Plan, December 2012
- SNSA - SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2014): Update of the Slovenian post-Fukushima action plan December 2014, 78pp.
<https://www.ensreg.eu/node/3773>
- SNSA - SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2017): Update of the Slovenian post-Fukushima action plan Revision 1 December 2017, 78pp.
<https://www.ensreg.eu/document/updated-national-action-plan-slovenia-1>.
- SNSA – SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2019): Update of the Slovenian Post-Fukushima Action Plan, December 2019
- SNSA – SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2019b): Slovenian Report on Nuclear Safety, Slovenian 8th National Report as Referred in Article 5 of the Convention on Nuclear Safety; July 2019
- SNSA – SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2021a): Update of the Slovenian Post-Fukushima Action Plan, December 2021

- SNSA – SLOVENIAN NUCLEAR SAFETY ADMINISTRATION (2021b): ENSREG 1st Topical Peer Review Updated National Action Plan on the Krško NPP Ageing Management Program; May 2021
- SOVACOO, B. (2008): Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. In: Energy Policy 36 (2008), p. 2940–2953.
- STRESS TEST FOLLOW UP (2014): Stress test Follow-Up Actions. Issue Paper for Slovenia. Hirsch, H., Decker, K., Tomic, B.. Prepared by the Order of the BMLFUW, Vienna 20-01-2014.
- TALUM (2020): Bericht über den Zustand des Bodens am Ort des geplanten Baus des SFDS für das Unternehmen Nuklearna elektrarna Krško d.o.o.. Nr. 360/2020, Kidričevo, den 29.07.2020. pdf, 88 Seiten.
- UMWELTBUNDESAMT (2016): Decker, K.: Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region Technical Workshop, Klagenfurt /Celovec, 07. April 2016. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung I/6 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten, Report REP-0612, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2020a): Becker, O.; Decker, K., Mraz, G:
Umweltverträglichkeitsprüfung Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente KKW Krško /Slowenien. Fachstellungnahme. Erstellt im Auftrag des BMK, Abt. VII/10 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten, sowie den Bundesländern Kärnten, Niederösterreich und Steiermark. REP-0742, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2020b): Becker, O.; Decker, K., Mraz, G.:
Umweltverträglichkeitsprüfung Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente KKW Krško /Slowenien. Abschließende Fachstellungnahme und Konsultationsbericht. Erstellt im Auftrag des BMK, Abt. VI/9 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten. REP-0748, Wien.
- URANATLAS (2019): Daten und Fakten über den Rohstoff des Atomzeitalters. Hg. von Le Monde diplomatique, Nuclear Free Future Foundation, Rosa-Luxemburg-Stiftung, BUND.
- UVP-BERICHT (2022): Umweltverträglichkeitsbericht für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna Elektrarna Krško d.o.o.. Verfasser: E-NET Okolje d.o.o., Ljubljana. Nummer: 100820-dn. Ljubljana, Oktober 2021, Ergänzung 8.11.2021, 10.1.2022. pdf, 547 Seiten.
- UVP-BERICHT ZUSAMMENFASSUNG (2022): Umweltverträglichkeitsbericht für die Verlängerung der Betriebsdauer des KKW Krško von 40 auf 60 Jahre – Nuklearna Elektrarna Krško d.o.o.. Allgemeinverständliche Zusammenfassung des Berichts. Verfasser: E-NET Okolje d.o.o., Ljubljana. Št.: 100820-dn. Ljubljana, Januar.2022. pdf, 20 Seiten.

- VALENTINI, A., FUKUSHIMA, Y., CONTRI, P., ONO, M., SAKAI, T., THOMPSON, S.C., VIALLET, E., ANNAKA, T., CHEN, R., MOSS, R., PETERSEN, M., VISINI, F., YOUNGS, R. (2021): Probabilistic Fault Displacement Hazard Assessment (PFDHA) for Nuclear Installations According to IAEA Safety Standards. Bulletin of the Seismological Society of America 111 (5): 2661–2672.
- VRABEC M., FODOR L.; 2006. Late Cenozoic tectonics of Slovenia: structural styles at the Northeastern corner of the Adriatic microplate. In: Pinter N., Greneczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, 61, Dordrecht: Springer, 151-168.
- WALLNER, A., WENISCH, A., BAUMANN, M., RENNER, S. (2011): Energy balance of nuclear power generation. Life cycle analysis of nuclear power: Energy balance and CO₂ emissions. Based on a project funded in New Energies 2020, funded by WUA.
- WENRA – WENRA EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2021): WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, Update in relation to lessons learned from TEPCO Fukushima Dai-ichi Accident; 17th February 2021. http://www.wenra.org/media/filer_public/2021/02/24/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_2020.pdf
- WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2006): Harmonization of Reactor Safety in WENRA Countries, Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group. Mai 2006
- WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2011): Pilot study on Long term operation (LTO) of nuclear power plants Study by WENRA, March 2011
- WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2013): Safety on new NPP Design; Study by Reactor Harmonization Working Group.
- WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2014): WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, Update in relation to lessons learned from TEPCO Fukushima Dai-ichi Accident; 24th September 2014.
- WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2017): WENRA Guidance, Article 8a of the EU Nuclear Safety Directive: "Timely Implementation of Reasonably Practicable Safety Improvements to Existing Nuclear Power Plants", Report of the Ad-hoc group to WENRA.
- WENRA (2015): Guidance Document Issue T: Natural Hazards Guidance Head Document; 21st April 2015. <https://www.wenra.eu/publications>
- WENRA (2020a): WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, Update in relation to lessons learned from TEPCO Fukushima Dai-ichi Accident; 24th February 2021. <https://www.wenra.eu/publications>

- WENRA (2020b): Guidance Document Issue TU: External Hazards Guidance Head Document; 10 January 2020. <https://www.wenra.eu/publications>
- WENRA (2020c): Guidance Document Issue TU: External Hazards Guidance on Seismic Events. Annex to the Guidance Head Document; 10 January 2020. <https://www.wenra.eu/publications>
- WENRA (2020d): Guidance Document Issue TU: External Hazards Guidance on Extreme Weather Conditions Annex to the Guidance Head Document; 10 January 2020. <https://www.wenra.eu/publications>
- WNN – WORLD NUCLEAR NEWS (2021): Krško completes IAEA review of long-term operation; 18 October 2021; <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Krsko-completes-IAEA-review-of-long-term-operation>
- ŽIVČIĆ, M. (2016): Seismicity of the Krško region. In: UMWELTBUNDESAMT (2016): Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region Technical Workshop, Klagenfurt /Celovec, 07. April 2016. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung I/6 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten, Report REP-0612, Wien.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Schema des KKW Krško (UVP-BERICHT 2022, S. 59).....	40
Abbildung 2:	Darstellung des Sicherheitsniveaus, gemessen an der Wahrscheinlichkeit von Kernschäden je Betriebsjahr (CDF/yr) (UVP-BERICHT 2022, S. 89).....	44
Abbildung 3:	Prinzipielles Verfahren eines Sicherheitsvergleichs (WENRA 2011).....	66
Abbildung 4:	Darstellung der Häufigkeit von Kernschäden je Betriebsjahr (CDF/yr) (SNSA 2021a)	81
Abbildung 5:	Änderungen der Häufigkeiten von Freisetzungen durch die Implementierung des SUP (SNSA 2021a).....	82
Abbildung 6:	Nationale Gefährdungskarten von Slowenien aus 2001 (a; LAPAJNE et al. 2001) und 2021 (b; ARSO 2021).	96
Abbildung 7:	Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination mit mehr als 37 kBq Cs-137/m ² . (Quelle: http://flexrisk.boku.ac.at/en/evaluationAggUnit.phtml).....	116
Abbildung 8:	Schilddrüsendosis für Kinder aufgrund einer Freisetzung von 539 PBq I-131 in der Wettersituation vom 05.10.1995 (Quelle: http://flexrisk.boku.ac.at/en/evaluation.phtml#form).....	117
Tabelle 1:	Freisetzungskategorien (UVP-BERICHT 2022, S. 115).....	75
Tabelle 2:	Ermittelte Freisetzungen für die relevanten Nuklide in die Atmosphäre (UVP-BERICHT 2022, S. 411/412)	79
Tabelle 3:	Interventionsmaßnahmen in Österreich laut BMK (2020)	113
Tabelle 4:	(Prognose-)Werte für die landwirtschaftliche Maßnahme A07 (BMLFUW 2014).....	114
Tabelle 5:	Abgleich der Aktivitätskonzentrationen für Iod-131 bei DEC-B (UVP-BERICHT 2022, S. 429) mit den (Prognose-)Werten laut BMLFUW (2014).....	114

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABE	Abgebrannte Brennelemente
ARAO	Agencija za Radioaktivne Odpadke, Agency for Radioactive Waste Management
BE	Brennelement
BMK.....	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Österreich
Bq	Becquerel
Cs-137	Cäsium-137
DEC.....	Design Extension Conditions
DWR	Druckwasserreaktor, auf Englisch: PWR
ENSREG.....	European Nuclear Safety Regulation Group
g.....	Beschleunigung
GBq.....	GigaBecquerel
HCLPF.....	High confidence of low probability of failure
I-131	Iod-131
IAEO, IAEA.....	Internationale Atomenergieorganisation, International Atomic Energy Agency
IPPAS.....	International Physical Protection Advisory Service
KKW	Kernkraftwerk
LILW.....	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle, low and intermediate level waste
Mg.....	MegaGramm, eine Million Gramm, entspricht einer Tonne
mSv.....	MilliSievert, ein Tausendstel Sievert
MWe	MegaWatt elektrisch
MWth	MegaWatt thermisch
NACp	National Action Plan
NEK.....	Nuklearna Elektrarna Krško d.o.o, Betreiber des KKW
NGO	Nichtregierungsorganisation
NTI	Nuclear Threat Initiative
PGA.....	Peak Ground Acceleration (Maximale (horizontale) Bodenbeschleunigung)
PFDHA.....	Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis, probabilistische Störungsversatz-Schadensanalyse
PMF	Probable Maximum Flood
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Assessment, Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse
PSÜ.....	Periodische Sicherheitsüberprüfung
RDB	Reaktordruckbehälter

RL.....	Reference Level
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
SNSA.....	Slovenian Nuclear Safety Administration
SRL.....	Safety Reference Level
SSE.....	Safe Shutdown Earthquake
SUP	Strategische Umweltprüfung
SUP	Safety Upgrade Program
UVP.....	Umweltverträglichkeitsprüfung
WENRA WGWD	WENRA Working Group on Waste and Decommissioning
WENRA.....	Western European Nuclear Regulators Association

Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at