

Umweltverträglichkeitsprüfung

KKW Doel 1&2/Belgien


Laufzeitverlängerung



UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG KKW DOEL 1&2/BELGIEN LAUFZEITVERLÄNGERUNG

Fachstellungnahme

Oda Becker
Kurt Decker
Gabriele Mraz

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

pulswerk
Das Beratungsunternehmen des
Österreichischen Ökologie-Instituts

REPORT
REP-0768

WIEN 2021

- Projektleitung** Franz Meister (Umweltbundesamt)
- AutorInnen** *BIEGE Nuklearexpertise*
Oda Becker, technisch-wissenschaftliche Konsultantin (Kap. 3, 4, 6, 7)
Kurt Decker (Kap. 5)
Gabriele Mraz, pulswerk GmbH (Kap. Einleitung, 1, 2, 7, Projektmanagement)
- Satz/Layout** Doris Weismayr (Umweltbundesamt)
- Übersetzung** Patricia Lorenz
- Umschlagfoto** © iStockphoto.com/imagestock
- Auftraggeber** Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abteilung VI/9 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten erstellt.
- 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, 2021

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-591-6

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
SUMMARY	11
EINLEITUNG	16
1 VERFAHREN UND ALTERNATIVEN	17
1.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten	17
1.2 Diskussion und Bewertung	21
1.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	22
1.3.1 Fragen	23
1.3.2 Vorläufige Empfehlungen.....	23
2 ABGEBRANNT BRENNELEMENTE UND RADIOAKTIVE ABFÄLLE	24
2.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten	24
2.2 Diskussion und Bewertung	25
2.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	26
2.3.1 Fragen	26
2.3.2 Vorläufige Empfehlungen.....	27
3 LANGZEITBETRIEB DES REAKTORTYPS	28
3.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten	28
3.2 Diskussion und Bewertung	35
3.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	50
3.3.1 Fragen	52
3.3.2 Vorläufige Empfehlungen.....	52
4 UNFALLANALYSE	54
4.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten	54
4.2 Diskussion und Bewertung	59
4.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	66
4.3.1 Fragen	68
4.3.2 Vorläufige Empfehlungen.....	68
5 UNFÄLLE DURCH EXTERNE EREIGNISSE	70
5.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten	70

5.2	Diskussion und Bewertung	73
5.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	75
5.3.1	Fragen	76
5.3.2	Vorläufige Empfehlungen	77
6	UNFÄLLE DURCH BETEILIGUNG DRITTER	78
6.1	Darstellung in den UVP-Dokumenten	78
6.2	Diskussion und Bewertung	78
6.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	82
6.3.1	Fragen	82
6.3.2	Vorläufige Empfehlungen	83
7	GRENZÜBERSCHREITENDE AUSWIRKUNGEN	84
7.1	Darstellung in den UVP-Dokumenten	84
7.2	Diskussion und Bewertung	84
7.3	Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen	88
7.3.1	Fragen	88
7.3.2	Vorläufige Empfehlungen	89
8	FRAGEN UND VORLÄUFIGE EMPFEHLUNGEN	90
8.1	Verfahren und Alternativen	90
8.1.1	Fragen	90
8.1.2	Vorläufige Empfehlungen	90
8.2	Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle	90
8.2.1	Fragen	90
8.2.2	Vorläufige Empfehlungen	91
8.3	Langzeitbetrieb des Reaktortyps	91
8.3.1	Fragen	91
8.3.2	Vorläufige Empfehlungen	92
8.4	Unfallanalyse	92
8.4.1	Fragen	92
8.4.2	Vorläufige Empfehlungen	93
8.5	Unfälle durch externe Ereignisse	94
8.5.1	Fragen	94
8.5.2	Vorläufige Empfehlungen	94
8.6	Unfälle durch Beteiligung Dritter	95
8.6.1	Fragen	95
8.6.2	Vorläufige Empfehlungen	95
8.7	Grenzüberschreitende Auswirkungen	96

8.7.1	Fragen	96
8.7.2	Vorläufige Empfehlungen	96
	LITERATURVERZEICHNIS	97
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	103
	TABELLENVERZEICHNIS	104
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	105

ZUSAMMENFASSUNG

Das belgische Kernkraftwerk (KKW) Doel besteht aus vier Blöcken. Doel 1&2 wurden 1975 in Betrieb genommen, Doel 3 1982 und Doel 4 1985. Der Standort liegt am linken Ufer des Flusses Schelde in ca. 3 Kilometer Entfernung zur Grenze zu den Niederlanden.

Belgien hat im August 2020 Österreich die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 bis 2025 als vorgeschlagene Aktivität im Rahmen der Espoo Konvention und der Aarhus Konvention notifiziert, und Österreich beteiligt sich an der grenzüberschreitenden Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). 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 negative Auswirkungen des Projekts auf Österreich zu minimieren oder zu verhindern.

Verfahren und Alternativen

Die Laufzeit aller vier Reaktoren in Doel wurde in Belgien gesetzlich mit 40 Jahren festgelegt. Somit hätten die Laufzeiten von Doel 1&2 bereits 2015 enden müssen. Eine Laufzeitverlängerung um 10 Jahre wurde jedoch 2015 in dem sogenannten Kernausstiegsgesetz festgelegt, dies ohne Durchführung einer UVP. Gegen dieses Gesetz erhoben NGOs 2016 Klage beim belgischen Verfassungsgerichtshof. Dieser wandte sich im Rahmen eines Vorabentscheidungsverfahrens an den Gerichtshof der Europäischen Union (ECJ). Am 05.03.2020 wurde das geänderte Kernausstiegsgesetz aus 2015 basierend auf dem Urteil des ECJ vom belgischen Verfassungsgerichtshof aufgehoben. Jedoch entschied der Verfassungsgerichtshof, um die Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten, dennoch die Auswirkungen des Gesetzes aufrechtzuerhalten, bis ein neues Gesetz verabschiedet ist. Dafür muss die erforderliche UVP bis 31.12. 2022 durchgeführt worden sein.

Die Ergebnisse der UVP werden in der Neufassung des Kernausstiegsgesetzes Berücksichtigung finden, wie auf der offiziellen belgischen Webseite für die Öffentlichkeitsbeteiligung erläutert wird. Darüber hinaus ist jedoch nicht klar, ob und wie die Ergebnisse der UVP im Rahmen des Genehmigungsverfahrens berücksichtigt werden (z. B. für Nachrüstungen), dies vor dem Hintergrund, dass die Laufzeitverlängerung bereits 2015 beschlossen wurde und die Laufzeit mit jetzigem Stand nur noch ca. vier Jahre (bis Februar bzw. Dezember 2025) beträgt. Die Stilllegung und der Rückbau von Doel 1&2 werden einer eigenen UVP unterzogen werden.

Die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 wurde mit der Erhaltung der Versorgungssicherheit begründet. Eine Untersuchung aus 2020 zeigt jedoch, dass sogar die sofortige Abschaltung der Reaktoren Doel 1&2 die Versorgungssicherheit in Belgien nicht negativ beeinträchtigen würde. Es ist daher fraglich, ob das

Argument des Erhalts der Versorgungssicherheit aufrecht erhalten werden kann.

Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle

Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle können negative Folgen für Mensch und Umwelt verursachen. Um dies zu verhindern, ist ein Nachweis für die sichere Entsorgung notwendig. Dieser Nachweis umfasst eine Abschätzung des aus der Laufzeitverlängerung erwarteten zusätzlichen Inventars an abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen und der Kapazitäten für ihre Zwischen- und Endlagerung. Angaben zum erwarteten Inventar im Zeitraum 2015–2025 wurden vorgelegt, jedoch fehlen einige Informationen zu den benötigten Lagerkapazitäten, diese sollten im Rahmen der UVP nachgereicht werden.

Langzeitbetrieb des Reaktortyps

Die Anlagen Doel 1&2 vom Typ 2-Loop Druckwasserreaktoren (DWR) von Westinghouse sind bereits seit mehr als 45 Jahren in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte der Strukturen, Systeme und Komponenten ein Sicherheitsproblem darstellen. Das zeigte im April 2018 ein Schaden in einer Injektionsleitung in dem Reaktordruckbehälter von Doel 1. Ein weiteres alterungsbedingtes Problem ist die Versprödung der Reaktordruckbehälter.

Ein umfassendes Alterungsmanagementprogramm (AMP) ist notwendig, um alterungsbedingte Ausfälle zumindest bis zu einem gewissen Grad zu begrenzen. Die im Februar 2017 durchgeführte SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) Mission fand jedoch Defizite im Alterungsmanagementprogramm, die auch bis zur Follow-up Mission im Juni 2019 nicht beseitigt waren.

Das gesamte Sicherheitskonzept von Doel 1&2 ist veraltet. Trotz umfangreicher Nachrüstungen weisen Doel 1&2 erhebliche Auslegungsdefizite auf.

Im Jahr 2014 veröffentlichte die WENRA eine überarbeitete Version der Reference Level (RL) für bestehende Reaktoren. Es ist anzumerken, dass Belgien 52 RL der 342 RL zum 1. Januar 2019 noch nicht implementiert hatte.

Die IAEO, 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.

Laut UVP-BERICHT (2021) sollen die vorgeschlagenen technischen Verbesserungen für Doel 1&2 die Unterschiede bei der Sicherheit gegenüber den neuesten DWR-Kernkraftwerken verringern. Das Verfahren zur Identifizierung der durchzuführenden Anlagenänderungen wurde in drei Schritten durchgeführt: Eine

„Long List of Concerns“ wird auf eine „Short List of Main Safety Issues“ reduziert und daraus werden dann die besten technischen Lösungen umgesetzt. In den UVP-Dokumenten werden weder die beiden Listen noch die jeweiligen Auswahlkriterien präsentiert.

Unfallanalyse

Die Ergebnisse der EU-Stresstests haben viele Mängel des Severe Accident Managements (SAM) in den belgischen KKW aufgezeigt. Im Rahmen des Nationalen Aktionsplans wurden zahlreiche Abhilfemaßnahmen umgesetzt. Diese bestanden zum Teil aber nur in der Beschaffung mobiler Geräte.

Laut UVP-BERICHT (2021) verbessert sich nach Umsetzung der Long Term Operation (LTO)-Maßnahmen die nukleare Sicherheit. Die Aktualisierung der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) zeigt, dass sich die Kernschadensfrequenz, insbesondere durch die Nachrüstung der Filtered Containment Venting Systeme (FCVS), mehr als halbiert hat. Angaben zu Häufigkeiten für Kernschadensfrequenz (CDF) und große Freisetzungen (LRF) sind im UVP-BERICHT (2021) nicht vorhanden. Zudem sind die in der PSA ermittelten Häufigkeiten lediglich als grober Risiko-Indikator zu verstehen. Unter Sicherheitsgesichtspunkten ist es außerdem wenig anerkennenswert, dass die Reduzierung der CDF durch eine seit Jahren bzw. Jahrzehnten überfällige Nachrüstung eines FCVS erfolgte.

Als auslegungsüberschreitender Unfall zur Ermittlung der radiologischen Auswirkungen wird das Szenario Complete Station Black-Out (CSBO) verwendet. Es wird nicht erklärt, wieso dieses Szenario als abdeckendes Ereignis aufgefasst wird. So wird zum Beispiel nicht erklärt, warum kein Durchschmelzen des Fundaments zu unterstellen ist. Einrichtungen zur Verhinderung eines derartigen Unfallszenarios mit späten großen Freisetzungen sind nicht vorhanden.

Laut UVP-BERICHT (2021) resultiert der Quellterm, der als abdeckender schwerer Unfall bezeichnet wird, aus einem Kernschmelzunfall, jedoch unter der Annahme der Erhaltung der Integrität des Containments. Der Erhalt des Containments während eines Unfalls, insbesondere ausgelöst durch einen Flugzeugabsturz, ist nicht belegt.

Es gibt einige Unfallszenarien, die die Integrität des Sicherheitsbehälters gefährden könnten, so dass große Freisetzungen möglich sind. In NEA (2020) wurde angegeben, dass in den PSA-2 Analysen für Doel 1&2 ermittelt wurde, dass 40 % der Kernschmelzunfälle ein Containmentversagen (durch Durchschmelzen des Fundaments, Containment-Bypass und Ex-Vessel-Dampfexplosion) verursachen. Diese Analysen beziehen sich auf den Anlagenzustand von 2010. Die seitdem erfolgten Sicherheitsverbesserungen und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse der PSA sind nicht bekannt und sollten im Rahmen des UVP-Verfahrens dargestellt werden.

Die Störfallanalysen im UVP-Verfahren sollten einen möglichen Quellterm verwenden, der aus der Berechnung der aktuellen PSA-2 abgeleitet ist. In jedem

Fall sollte der UVP-Bericht eine nachvollziehbare Begründung für den verwendeten Quellterm enthalten. Um die Folgen von Beyond-Design-Basis-Accidents (BDBA) beurteilen zu können, ist es notwendig, schwere Unfällen mit Containment-Versagen und/oder Containment-Bypass zu analysieren. Derartige schwere Unfälle sind für Doel 1&2 möglich.

Die Richtlinie 2014/87/EURATOM soll als Referenz für die Identifizierung von vernünftig machbaren Sicherheitsverbesserungen verwendet werden. Danach müssen Unfälle mit Kernschmelze, die zu frühen oder großen Freisetzungen führen würden, praktisch ausgeschlossen werden. Das Konzept des „praktischen Ausschlusses“ wird für Doel 1&2 im UVP-BERICHT (2021) nicht erwähnt.

Unfälle durch externe Ereignisse

Die UVP-Unterlagen enthalten nur sehr allgemeine Informationen über die Auslegung des KKW Doel 1&2 gegen die Einwirkung von Naturgefahren und den Schutz der Anlagen gegen solche Einwirkungen. Die Informationen beschränken sich auf einige spezifische Angaben zu Überflutung (Flusshochwasser, extreme Niederschläge), Sturm und extreme Temperaturen, die im Kontext mit Klimawandel diskutiert werden. Unter diesen erscheint die Gefährdung der Anlage durch Überflutung bei Starkregenereignissen besonders relevant, da solche Überflutungen und ein Versagen des Drainagesystems in den letzten Jahren mehrfach beobachtet wurden. Eine umfassende Bewertung von Naturgefahren fehlt. Es ist nicht nachvollziehbar, ob und in welchem Ausmaß Naturgefahren im Rahmen der jüngsten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) oder im Rahmen des Projekts „Long Term Operation (LTO)“ behandelt wurden. WENRA (2021) fordert, mögliche Einwirkungen von Naturgefahren regelmäßig, mindestens jedoch im Rahmen der 10-jährigen PSÜs zu überprüfen. Die Ergebnisse der Überprüfung sollen gegebenenfalls zur Anpassung der Auslegungsgrundlage der Anlage führen und in die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle einfließen (WENRA 2015, 2021).

Es wird somit nicht nachgewiesen, dass Doel 1&2 ausreichend vor Einwirkungen von Naturgefahren geschützt sind.

Unfälle durch Beteiligung Dritter

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen. Dennoch werden sie in den UVP-Dokumenten nicht 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 sollte der UVP-Bericht Informationen zu den Anforderungen an den Schutz vor einem gezielten Absturz eines Verkehrsflugzeugs enthalten. Dieses Thema ist von besonderer Bedeutung, weil die Reaktorgebäude von Doel 1&2 laut eines Berichts der FANK aus 2012 gegenüber einem Flugzeugabsturz verwundbar sind. Alterungsbedingte Degradation kann die Widerstandsfähigkeit der Gebäude weiter reduzieren.

Eine aktuelle Bewertung weist auf Defizite im Vergleich zu den notwendigen Anforderungen hin: Der NTI-Index 2020 bewertet die Bedingungen für die nukleare Sicherheit in Bezug auf den Schutz der Nuklearanlagen vor Sabotageakten. Mit einer Gesamtpunktzahl von 80 von 100 möglichen Punkten rangiert Belgien nur auf Platz 16 von 47 Ländern, was auf ein verbesserungsfähiges Schutzniveau hinweist. Defizite bestehen im Schutz vor Innentätern und im Bereich Cybersicherheit.

Anzumerken ist, dass in Belgien eine besondere Bedrohungslage für kerntechnische Anlagen bestand.

Grenzüberschreitende Auswirkungen

Ein schwerer Unfall mit Freisetzungen, die österreichisches Territorium erreichen, kann zu signifikanten grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Österreich führen. Im UVP-Bericht werden für einen auslegungsüberschreitenden Unfall mit intaktem Containment Dosisberechnungen für die Nachbarländer Belgiens durchgeführt. Es ist jedoch nicht nachgewiesen, dass das Auftreten eines höheren Quellterms ausgeschlossen werden kann. Zudem können bei bestimmten Wettersituationen Kontaminationen auch in Österreich auftreten. Da entsprechende Berechnungen in der UVP nicht vorgelegt wurden, könnten die Auswirkungen auf Österreich unterschätzt werden. Diese Auswirkungen beinhalten die Überschreitung der 1-Jahres-Effektivdosis von 1 mSv sowohl für Kinder als auch für Erwachsene, weiters mögliche Überschreitungen der Interventionswerte laut Gesamtstaatlichem Notfallplan (BMK 2020) und die Notwendigkeit für landwirtschaftliche Schutzmaßnahmen wie etwa die vorgezogene Ernte laut Maßnahmenkatalog (BMLFUW 1994).

Es wird empfohlen, die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall mit Versagen des Containments bzw. mit Containment-Bypass sowie für einen schweren Unfall mit einem Brennelementschaden im Lagerbecken zu berechnen, und zwar unabhängig von deren ermittelter Eintrittswahrscheinlichkeit, solange diese physikalisch möglich sind.

SUMMARY

The Belgium nuclear power plant (NPP) Doel contains four units. Doel 1&2 were put into operation in 1975, Doel 3 in 1982 and Doel 4 in 1985. The NPP site is located on the left bank of the River Schelde approximately 3 km from the Dutch border.

In August 2020, Belgium notified Austria about the lifetime extension for Doel 1&2 until 2025 as a proposed activity in the framework of the Espoo Convention and the Aarhus Convention, and Austria participates in the trans-boundary Environmental Impact Assessment (EIA). The Austrian Federal Ministry for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology commissioned the Environment Agency Austria to coordinate the assessment of the submitted EIA Documents in the framework of the expert statement at hand. The objective of the Austrian participation in the EIA procedure is to minimise or eliminate possible significant adverse impacts on Austria which might result from this project.

Procedures and alternatives

Belgium had legally determined the operation time of all four reactors in Doel to last 40 years; therefore Doel 1&2 should have been shut-down already in 2015. But with the so-called nuclear phase-out law a 10-year life-time extension was decided in 2015 without conducting an EIA. In 2016 NGOs filed a suit against this law with the Belgium Constitutional Court which asked the European Court of Justice (ECJ) for a preliminary ruling. On 5 March 2020, the amended 2015 nuclear phase-out law was annulled by the Belgium Constitutional Court on the basis of the ECJ ruling. However, the Constitutional Court decided to maintain the law's effect until a new law will be in force to ensure supply security. For this reason the necessary EIA needs to be completed until 31 December 2022.

According to information on the Belgium authorities' websites for the public participation the EIA results will be taken into account for the revised version of the nuclear phase-out law. It is unclear however whether and in which manner the EIA results will be taken into account in the framework of the licensing procedure (e.g. for safety updates) being aware of the fact that the lifetime extension has already been decided in 2015; according to the current status, life-time extension will last only four more years (February and December 2025 respectively). The decommissioning of Doel 1&2 will be subject to an EIA of its own.

The need to maintain supply security was used as the reason for the life-time extension of Doel 1&2. An analysis from 2020 however showed that even immediate shut-down of the reactors Doel 1&2 would not have negative impacts on supply security in Belgium. Whether the argument of maintaining supply security can be kept up is doubtful.

Spent fuel assemblies and radioactive waste

Spent fuel assemblies and radioactive waste can cause negative impacts on human health and the environment, proof of safe disposal is necessary to prevent those. Proof entails defining the estimated amount of the expected additional inventory of spent fuel assemblies and radioactive waste from lifetime extension and the capacities for interim and final disposal. Data on the expected inventory for the 2015-2025 period were presented, but information on necessary storage capacities which are lacking should be delivered later in the EIA framework.

Long-term operation of this reactor type

The Doel 1&2 plants are 2-loop pressurized water reactors (PWR) from Westinghouse, already operating since 45 years. This leads to negative aging effects for the structures, systems and components which constitutes a safety problem. This became visible in April 2018, when a damage in the injection pipe of the Doel 1 reactor pressure vessel occurred. Another age-related problem is the reactor pressure vessel embrittlement.

A comprehensive ageing management program (AMP) is necessary to limit the age-related failures at least to a certain degree. However, the SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) mission which took place in February 2017, revealed deficits in the ageing management program, which were not even removed until the follow-up mission which took place in June 2019.

The entire safety concept for Doel 1&2 is outdated. Significant design deficits remain in spite of extensive safety upgrades.

In 2014, WENRA published a revised version of the Reference Level (RL) for existing reactors. It should be noted that Belgium has not implemented 52 RL out of the 342 RL as of January 1, 2019.

The IAEA, WENRA and the Directive 2014/87/EURATOM each introduce different safety standards for existing plants and new plants. However, the safety requirements for new plants are also to be used as reference for the existing once in the frame of Periodic Safety Assessments to identify “reasonably practicable” safety improvements.

According to the EIA Report (UVP-BERICHT 2021) the proposed technical improvements for Doel 1&2 are designed to reduce the safety deficits compared to the newest PWR nuclear power plants. The process to identify the changes in the plants to be implemented was conducted in three steps: The “Long List of Concerns” was reduced to a “Short List of Main Safety Issues”, which was then the basis to realize the best technical solutions. The EIA documents did not provide any of the two lists nor the respective selection criteria.

Accident analysis

The EU stress test results revealed a large number of deficits in the Severe Accident Management (SAM) of the Belgium nuclear power plants. A wide range of remedies has been realized in the frame of the National Action Plan. However, they partly consisted only in the procurement of mobile equipment.

According to the EIA report (UVP-BERICHT 2021), nuclear safety will be improved after the implementation of the Long Term Operation (LTO) measures. The update of the Probabilistic Safety Assessment (PSA) showed that the core damage frequency has been more than halved in particular thanks to the additional deployment of Filtered Containment Venting Systems (FCVS). Data on core damage frequency (CDF) and large releases (LRF) have not been provided in the EIA Report (UVP-BERICHT 2021). Moreover, the frequencies calculated by the PSA are to be understood only as a rough risk indicator. In terms of safety the fact that the CDF reduction has been achieved by the installation of FCVS which should have taken place years or decades ago, does not deserve praise.

To assess the radiological impacts of a Beyond-Design-Basis-Accident, the Complete Station Black-Out scenario (CSBO) was used. Why this scenario should be sufficient as a covering event was not explained nor why the base would not melt through. No preventive equipment is installed to prevent an accident scenario with late large releases.

According to the EIA Report (UVP-BERICHT 2021) the source term which is used as the covering severe accident resulted from a core melt accident, however with the containment integrity maintained. That the containment integrity would not fail during an accident, in particular caused by an airplane crash, has not been proven.

Several accident scenarios exist which could threaten the containment integrity, thus making large releases possible. NEA (2020) stated that the PSA-2 analyses for Doel 1&2 established that 40% of core-melt accidents cause containment failure (by melt-through of the base, containment-bypass or ex-vessel steam explosions). Those analyses refer to the status of the plant in 2010. The safety up-rates and their impacts on the PSA results are unknown; they should be presented during the EIA procedure.

The incident analysis in the EIA Report should use a possible source term which is deducted from a calculation in the currently valid PSA-2. In any case the EIA Report should contain a sound explanation for the source term used. To make an assessment of Beyond-Design-Basis-Accidents (BDBA) possible it is necessary to analyze severe accidents with containment failure and/or containment bypass. Such severe accidents are possible for Doel 1&2.

The Directive 2014/87/EURATOM should be used as reference to identify reasonably practicable safety improvements. In line with this rule, core-melt accidents which would lead to early or large releases have to be practically eliminated. The EIA Report (UVP-BERICHT 2021) for Doel 1&2 does not mention the concept of "practical elimination".

Accidents caused by external events

The EIA documents contain only very general information on the NPP Doel 1&2 design against the impact of natural hazards and the plant's protection against such impacts. The information is limited to a few specific data on flooding (river floods, extreme precipitation), storm and extreme temperatures, which are discussed in the climate change context. Under this aspect the risk of flooding the plants during heavy rain events is highly relevant, because such flooding and the failure of the drainage systems have been observed in recent years several times. A comprehensive evaluation of natural hazards is lacking. It was not possible to understand whether and to which extent natural hazards have been dealt with in the framework of the most recently conducted Periodic Safety Review (PSR) or in the framework of the „Long Term Operation (LTO)“ project. WENRA (2021) requires a periodic review of possible impacts of natural hazards, the minimum being one during the 10-year PSR. If necessary, the results from the review should lead to an adaptation of the plant design basis and be taken into account for the assessment of Beyond-Design-Basis-Accidents (WENRA 2015, 2021).

That Doel 1&2 is sufficiently protected against the impacts of natural hazards has not been proven.

Accidents caused by third parties

Acts of terrorism and sabotage can have significant impacts on nuclear facilities and cause severe accidents. But the EIA documents leave them out. Comparable EIA documents have discussed such events to a certain degree.

While precautions against acts of sabotage and terrorism cannot be discussed publicly in detail during the EIA process for reasons of confidentiality, EIA documents should present the necessary legal requirements.

Information on the topic of terror acts would be very important when taking into account the significant impact of possible acts of terrorism. Information about the requirements for protection against the intended crashes of a commercial airliner would be of particular interest, because the Doel 1&2 reactor building is vulnerable toward an airplane crash according to a 2012 FANC report. Ageing-related degradation can further decrease the building's robustness.

A recent assessment reveals deficits compared to the necessary requirements: The 2020 NTI index rated the conditions for nuclear safety in relation to the nuclear facilities' protection against acts of sabotage. With a total of 80 points out of 100, Belgium is ranking only 16th out of 47 countries; this points to an improvable level of protection. Deficits exist for protection against insiders and in the area of cyber security.

It has to be noted that in Belgium nuclear facilities were exposed to a specific threat situation.

Trans-boundary impacts

A severe accident with releases reaching Austrian territory can have significant trans-boundary impacts on Austria. The EIA report contains dose calculations for Belgium's neighbouring countries for Beyond-Design-Basis-Accidents with an intact containment. However, it cannot be understood as proven that a higher source term cannot occur. In addition, certain weather conditions can lead to contamination also in Austria. Because the EIA did not provide adequate calculations, the impacts on Austria could be underestimated. Those impacts range from exceeding the 1 mSv annual effective dose for children as well as for adults to possibly reaching the intervention threshold value according to the Federal Emergency Plan (BMK 2020) and the need for agricultural protection measures according to the Austrian catalogue of countermeasures (BMLFUW 1994).

The expert team recommends conducting calculations of trans-boundary impacts for a severe accident with containment failure or containment bypass and a severe accident with fuel damage in the storage pool independently of the determined frequency of occurrence if they are physically possible.

EINLEITUNG

Das belgische Kernkraftwerk (KKW) Doel besteht aus vier Blöcken. Doel 1&2 wurden 1975 in Betrieb genommen, Doel 3 1982 und Doel 4 1985. Der Standort liegt am linken Ufer des Flusses Schelde in ca. 3 Kilometer Entfernung zur Grenze zu den Niederlanden.

Die Laufzeit aller vier Reaktoren in Doel wurde in Belgien gesetzlich mit 40 Jahren festgelegt. Somit hätten die Laufzeiten von Doel 1&2 bereits 2015 enden müssen. Eine Laufzeitverlängerung wurde jedoch 2015 mit dem sogenannten Kernausstiegsgesetz festgelegt, dies ohne Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Aufgrund einer Klage wurde dieses Gesetz jedoch als nichtig eingestuft, und die UVP muss nun durchgeführt werden.

Genau genommen handelt es sich um zwei UVPs, die gemeinsam abgehalten werden. Die erste ist eine UVP auf strategischer Ebene, die vom SCK-CEN (Belgisches Kernforschungszentrum) im Auftrag des belgischen Wirtschaftsministeriums (Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie) durchgeführt wird. Die zweite UVP bezieht sich auf die Arbeiten, die aufgrund des neu zu verabschiedenden Kernausstiegsgesetzes erforderlich sind. Diese zweite UVP wird von Electrabel, dem Betreiber und Eigentümer von Doel 1&2, durchgeführt. Die zuständige Behörde ist hier die Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK).

Belgien hat im August 2020 Österreich die Laufzeitverlängerung als vorgeschlagene Aktivität im Rahmen der Espoo Konvention und der Aarhus Konvention notifiziert und Österreich beteiligt sich an der grenzüberschreitenden UVP.

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 negative Auswirkungen des Projekts auf Österreich zu minimieren oder zu verhindern.

1 VERFAHREN UND ALTERNATIVEN

1.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

Der Hintergrund der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) wird im UVP-BERICHT (2021, Kap. 1) und in UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021) wie folgt erklärt: Alle Kraftwerksblöcke in Doel haben eine unbefristete Betriebsgenehmigung. Am 31.01.2003 wurde jedoch das sogenannte Kernausstiegsgesetz erlassen (FÖD 2003), mit dem die Laufzeit terminlich auf 40 Jahre begrenzt wurde. Für Doel 1&2 erfolgte die Begrenzung somit auf 2015, für Doel 3 auf 2022 und für Doel 4 auf 2025. Ein Stilllegungsprogramm für Doel 1&2 wurde 2012 begonnen, und Doel 1 wurde im Februar 2015 abgeschaltet.

Aufgrund einer Bestimmung im Kernausstiegsgesetz ist jedoch die Verlängerung der Laufzeit im Falle einer Bedrohung der Stromversorgungssicherheit zulässig. Am 28.06.2015 wurde basierend auf dieser Bestimmung eine Änderung des Kernausstiegsgesetzes beschlossen (FÖD 2015). Dieser Änderung umfasste die Wiedereinschaltung von Doel 1 und die Erlaubnis für Doel 1&2, bis Februar bzw. Dezember 2025 in Betrieb zu bleiben.

Nach der Entscheidung der belgischen Regierung im Jahr 2015, den Betrieb von Doel 1&2 bis 2025 zuzulassen, hat die Föderalagentur für Nuklearkontrolle FANK eine Sicherheitsanalyse für diese verlängerte Betriebszeit durchgeführt und dem Betreiber Electrabel anschließend Arbeiten auferlegt, um die Reaktoren an die neuesten Sicherheitsstandards anzupassen. Die Arbeiten erhielten die Bezeichnung „Long Term Operation“ (LTO-Projekt). Electrabel erstellte daraufhin Aktionspläne, die darauf abzielten, diese Tätigkeiten nach einem bestimmten Zeitplan während jeder regelmäßigen Abschaltung der Reaktoren durchzuführen. Die Arbeiten an Doel 1&2 sind inzwischen abgeschlossen. Die FANK gab am 29. bzw. 22. Mai 2020 grünes Licht für die Wiederinbetriebnahme dieser Reaktoren nach der letzten Abschaltung.

Gegen das abgeänderte Kernausstiegsgesetz aus 2015 wurde 2016 von den NGOs Inter-Environnement Wallonie und Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen Klage beim belgischen Verfassungsgerichtshof erhoben. Begründet wurde die Klage damit, dass die Laufzeitverlängerung ohne vorherige Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt worden war, dies unter Berufung auf die Espoo Konvention, die Aarhus Konvention, die Richtlinie 2011/92/EU (UVP-RICHTLINIE), die Richtlinie 92/43/EWG (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) und die Richtlinie 2009/147/EG (Vogelschutz-Richtlinie). Der belgische Verfassungsgerichtshof wiederum ersuchte den Gerichtshof der Europäischen Union um Auslegung dieser Übereinkommen und Richtlinien. Am 29.07.2019 erfolgte der Entscheid des Gerichtshofs der EU (ECJ), dass die Laufzeitverlängerungen untrennbar mit den Modernisierungsarbeiten verbunden und somit ein Projekt im Sinne der UVP-Richtlinie der EU seien; daher seien die Laufzeitverlängerungen einer UVP zu unterziehen und ein grenzüberschreitendes UVP-Verfahren sei ebenfalls durchzuführen, bevor ein entsprechendes Gesetz festgelegt werden könne. Der Europäische Gerichtshof entschied auch, dass die Dringlichkeit des

Projekts nicht als Grundlage für eine Befreiung von der Umweltverträglichkeitsprüfung geltend gemacht werden könne, da Belgien die Europäische Kommission nicht darüber informiert hätte, dass es von dieser Möglichkeit Gebrauch machen wollte. Eine solche Befreiung könne angesichts der grenzüberschreitenden Auswirkungen des Projekts nicht angewandt werden.

Das geänderte Kernausstiegsgesetz aus 2015 wurde basierend auf dem ECJ Urteil am 05.03.2020 vom belgischen Verfassungsgerichtshof aufgehoben. Jedoch entschied der Verfassungsgerichtshof, um die Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten, dennoch die Auswirkungen des Gesetzes aufrechtzuerhalten, bis ein neues Gesetz verabschiedet ist. Dafür muss die erforderliche UVP bis 31.12.2022 durchgeführt worden sein. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, Kap 1.1) Die Auswirkungen des für nichtig erklärten Gesetzes sind somit bis zu diesem Datum weiterhin anwendbar. (NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG 2021, S. 10)

Die benötigte UVP wurde in zwei Teile geteilt, die derzeit gemeinsam bewertet werden.

Die erste UVP („**UVP bezüglich der Entscheidung**“) ist eine UVP auf strategischer Ebene, die die Auswirkungen durch die strategische politische Entscheidung für die Laufzeitverlängerungen bewertet. Sie wird vom SCK-CEN (Belgisches Kernforschungszentrum) und der Beratungsfirma KENTER im Auftrag des belgischen Wirtschaftsministeriums (Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie) durchgeführt.

Zu dieser ersten UVP wurden auf der Website des Umweltbundesamts die beiden folgenden Dokumente veröffentlicht:

- **UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021):** Umweltverträglichkeitsprüfung. Wie vorgesehen in den Richtlinien 2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2. SCK-CEN, KENTER. Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter der Referenz 2020/VEF/67514 – Umweltverträglichkeitsstudie. Datum der Veröffentlichung: 2021-04-02. Dieser Bericht wurde aus dem Niederländischen ins Deutsche übersetzt. FÖD Wirtschaft – Lastenheft Nr. 2020/67014/E2/Milieu-Impactstudie Ref. SCK CEN: CO-90-20-5535-00. Brüssel, Belgien. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/umweltauswirkungen-doel12.pdf>
- **NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG (2021):** Nichttechnische Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Wie vorgesehen in den Richtlinien 2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2. SCK-CEN. Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter der Referenz 2020/VEF/67514 – Umweltverträglichkeitsstudie. Datum der Veröffentlichung: 2021-04-02. Diese Nichttechnische Zusammenfassung wurde aus dem Niederländischen ins Deut-

sche übersetzt. FÖD Wirtschaft –Lastenheft Nr. 2020/67014/E2/Milieu-Impactstudie Ref. SCK CEN: CO-90-20-5535-00. Brüssel, Belgien.

https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/nichttechnische_zusammenfassung.pdf.

Die zweite UVP („**UVP bezüglich der Arbeiten**“) bezieht sich auf die Arbeiten, die aufgrund des neu zu verabschiedenden Kernausstiegsgesetzes erforderlich sind. Diese zweite UVP wurde von Electrabel beauftragt. Electrabel ist ein Teil des Energiekonzerns ENGIE und der Betreiber und Eigentümer von Doel 1&2. Die zuständige Behörde ist die FANK (Föderalagentur für Nuklearkontrolle). Erstellt wurde dieser Bericht von den Beratungsfirmen Arcadis und NRG. Für die radiologische Bewertung wurde auf Berechnungen von Electrabel und Tractebel¹ aus dem Sicherheitsbericht zurückgegriffen, der von Bel-V, der technischen Supportorganisation der FANK, genehmigt worden war. NRG hat die Ergebnisse dieser Berechnungen auf Grundlage von Erfahrungen und „Engineering judgement“ bewertet, wie im UVP-Bericht angemerkt wurde. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 1, S. 13)

Zu dieser zweiten UVP wurden auf der Website des Umweltbundesamts die beiden folgenden Dokumente veröffentlicht:

- UVP-BERICHT (2021): Umweltverträglichkeitsprüfung Kernkraftwerk Doel Laufzeitverlängerung Doel 1&2. NRG, Arcadis. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/uve-lte-doel12.pdf>.
- ZUSAMMENFASSUNG (2021): Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung Kernkraftwerk Doel Laufzeitverlängerung, Doel 1&2. NRG, Arcadis. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/zusammenfassung-uvp-lte-doel12.pdf>.

Da die Stilllegung außerhalb des in dieser UVP untersuchten Zeitraums (2015 – 2025) liegt, ist sie nicht Gegenstand des Projekts. Der Rückbau unterliegt einem gesonderten Genehmigungsverfahren mitsamt einer Umweltverträglichkeitsprüfung. (ZUSAMMENFASSUNG 2021, S. 11)

Alternativen

Der Anteil von Doel 1&2 an der nuklearen Energieerzeugung lag im Zeitraum 2015-2018 zwischen 9 und 16 % bzw. zwischen 3,5 und 8 % der gesamten Stromerzeugung. (NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG 2021, S.8)

Die Änderung des Kernausstiegsgesetz 2015 wurde mit der Sicherung der Versorgung (für den Zeitraum 2015–2025) erklärt, dafür wurden mehrere Studien als Beleg herangezogen:

¹ Tractebel: globale Ingenieurs- und Beratungsfirma für Infrastrukturprojekte im Bereich Energie und Wasser

Die GEMIX-Studie (GEMIX 2009) empfahl die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 und Tihange 1 um 10 Jahre, um einem Mangel an Energie und Kapazität vorzubeugen. Es sei nicht sicher, dass Importe dieses wachsende Defizit ausgleichen können, da die Kapazität der Verbundnetze und die verfügbaren Produktionskapazitäten im Ausland begrenzt seien. Der Bericht wies darauf hin, dass die Stilllegung der Reaktoren Doel 1&2 und Tihange 1 im Jahr 2015 dazu führen müsste, dass bereits ab 2014 nichtnukleare Ersatzblöcke im Umfang von 50 % der Nennleistung der drei genannten Reaktoren in Betrieb genommen werden, wobei eine Mindestinbetriebnahmezeit für neue Gaskraftwerke von vier Jahren zu berücksichtigen sei. Die GEMIX-Studie empfahl auch Laufzeitverlängerungen der anderen belgischen Reaktoren, diese Empfehlung wurde nicht aufgegriffen.

Die Kapazität erneuerbarer Energien und neuer Gaskraftwerke war 2015 noch nicht ausreichend vorhanden. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 29)

Eine Studie schätzte, dass die Lücke in der installierten Kapazität (im Falle der Schließung von Doel 1&2) im Jahr 2017 zwischen 2,42 und 3,16 GW betragen würde. (LALEMAN & ALBRECHT 2016)

Darüber hinaus müsse ein erwarteter Rückgang der französischen Stromexporte und eine steigende Nachfrage nach strukturellen Importen aus Deutschland berücksichtigt werden. Dieser Aspekt wurde in einer aktuellen Studie des belgischen Netzbetreibers Elia bestätigt (ELIA 2019). In der Elia-Studie wird auch für den Zeitraum 2022–2025 von einer Kapazitätslücke von mehr als 1 GW ausgegangen, für die laut Elia keine strukturelle Lösung existiere.

Für die Zeit nach 2025 wird die Versorgung als gesichert bewertet, auch dank des Kapazitätsmechanismus². (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 32)

Eine Bewertung der Umweltauswirkungen erfolgte für den Zeitraum des Weiterbetriebs von Doel 1&2 von 2015–2025 im Abgleich mit dem Szenario, wenn die Abschaltung nicht verschoben worden wäre (dies wird als Referenzzustand gesehen).

Umweltauswirkungen von alternativen Energielösungen wurden nicht untersucht. Dafür wurde auf die GEMIX-Studie aus 2009 und eine weitere Studie (FÖDERALES PLANBÜRO 2015) verwiesen, für die auch eine Plan-UVP erstellt worden war.

² Kapazitätsmechanismus (Capacity Remuneration Mechanism CRM): Ziel ist es, die Produktionskapazitäten noch in diesem Jahr zu versteigern (insgesamt schätzungsweise 3,9 GW), woraufhin die entsprechenden Produktionseinheiten gebaut werden können, um spätestens 2025 betriebsbereit zu sein. CRM hat keine spezifische Präferenz für eine bestimmte Technologie, solange diese flexibel eingesetzt werden kann. In der Praxis wird es sich dabei hauptsächlich um Gas- und Dampfturbinenprozesse (GuD) in geschlossenen Kreisläufen der neuesten Generation handeln, die einen hohen Wirkungsgrad haben und daher relativ kostengünstig betrieben werden können. Aber auch z. B. Biomasseanlagen oder die Kraft-Wärme-Kopplung sind für den Kapazitätsmechanismus geeignet. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 32)

1.2 Diskussion und Bewertung

Die Zweiteilung der UVP in die sogenannte „UVP bezüglich der Entscheidung“ und „UVP bezüglich der Arbeiten“ führt zur Vorlage von zwei UVP-Berichten, die einige Überschneidungen aufweisen.

Die beiden UVP-Berichte behandeln grundsätzlich alle Themen, die von der Espoo-Konvention und der UVP-Richtlinie der EU vorgegeben sind. Ob alle nötigen Details vorgelegt wurden, wird in den einzelnen Kapiteln dieser Fachstellungnahme bewertet.

In der Analyse der Umweltauswirkungen wurde von einem Vergleich der Situation mit Abschaltung von Doel 1&2 im Jahr 2015 versus der erwarteten Situation der Laufzeitverlängerung bis 2025 ausgegangen.

Was jedoch in den UVP-Unterlagen nicht ausreichend erwähnt wurde, ist, wie die Ergebnisse dieser UVP in den weiteren Schritten berücksichtigt werden.

Auf der Webseite des belgischen Wirtschaftsministeriums (Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie)³ wird informiert, dass nach den öffentlichen und anderen Konsultationen ein Gesetzentwurf im Parlament eingebracht wird, und dass die Diskussionen über den Gesetzentwurf auf der Website der belgischen Abgeordnetenkammer verfügbar sein werden.

Auf dieser Webseite ist auch ein Formular für die Öffentlichkeitsbeteiligung verfügbar. Es wird erklärt, dass die Zusammenstellung und Analyse der Antworten in den Abschlussbericht der öffentlichen Untersuchung einfließen wird.⁴

Alternativen

Die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit war das zentrale Argument für die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2. Von größerer Bedeutung ist jedoch die Frage, wie eine Abschaltung zum jetzigen Zeitpunkt zu bewerten wäre. Welche Alternativen stehen jetzt zur Verfügung, um die Versorgung für den Zeitraum bis 2025 zu garantieren? Existieren vernünftige Alternativen, um Doel 1&2 vorzeitig abgeschaltet zu können?

Ein Factsheet im Auftrag des Umweltinstituts München geht dieser Frage nach. (LIMBACH 2020) Im Zentrum steht dabei die Frage, ob eine Abschaltung von Doel 1&2 oder gar ein vollständiger Atomausstieg möglich wäre, ohne die Versorgungssicherheit Belgiens zu gefährden. Im Factsheet werden die Stromerzeugungskapazitäten aus 2016 und 2020 miteinander verglichen. Auch die zunehmenden Ausfälle der Reaktoren Doel 1&2 sind berücksichtigt. Wegen eines langwierigen Störfalls im Reaktor Doel 1 gab es im Herbst 2018 vom 13.10. bis

³ <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/securite-dapprovisionnement/projet-de-report-de-la#>, gesehen am 7.6.2021

⁴ <https://publieksbevraging.typeform.com/to/o1K3IUf>, gesehen am 7.6.2021

12.11. eine vierwöchige Phase, in der in ganz Belgien überhaupt nur ein Reaktor, nämlich Doel 3, in Betrieb war. Der Herbst gilt als besonders verbrauchsstarke Zeit, dennoch kam es in diesem Herbst 2018 zu keinem Blackout in Belgien, und dies, obwohl nicht alle Gaskraftwerke auf Hochtouren liefen und nicht alle Importmöglichkeiten ausgeschöpft wurden. Das Factsheet kommt zu dem Schluss, dass die sofortige Abschaltung der Reaktoren Doel 1&2 die Versorgungssicherheit in Belgien nicht negativ beeinträchtigen würde. Im Gegenteil – auch ein weiterer Reaktor könnte sofort abgeschaltet werden. Mit dem Abschalten von drei Reaktoren würde das Niveau der Versorgungssicherheit in Belgien dem von 2016 entsprechen. (LIMBACH 2020)

1.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Die Laufzeit aller vier Reaktoren in Doel wurde in Belgien gesetzlich mit 40 Jahren festgelegt. Somit hätten die Laufzeiten von Doel 1&2 bereits 2015 enden müssen. Eine Laufzeitverlängerung um 10 Jahre wurde jedoch 2015 in dem sogenannten Kernausstiegsgesetz festgelegt, dies ohne Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Gegen dieses Gesetz erhoben NGOs 2016 Klage beim belgischen Verfassungsgerichtshof. Dieser wandte sich im Rahmen eines Vorabentscheidungsverfahrens an den Gerichtshof der Europäischen Union. Am 05.03.2020 wurde das geänderte Kernausstiegsgesetz aus 2015 basierend auf dem Urteil des ECJ vom belgischen Verfassungsgerichtshof aufgehoben. Jedoch entschied der Verfassungsgerichtshof, um die Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten, dennoch die Auswirkungen des Gesetzes aufrechtzuerhalten, bis ein neues Gesetz verabschiedet ist. Dafür muss die erforderliche UVP bis 31.12.2022 durchgeführt worden sein.

Die Ergebnisse der UVP werden in der Neufassung des Kernausstiegsgesetzes Berücksichtigung finden, wie auf der offiziellen belgischen Webseite für die Öffentlichkeitsbeteiligung erläutert wird. Darüber hinaus ist jedoch nicht klar, ob und wie die Ergebnisse der UVP im Genehmigungsverfahren (z. B. für allfällige Nachrüstungen) berücksichtigt werden, dies vor dem Hintergrund, dass die Laufzeitverlängerung bereits 2015 beschlossen wurde und die Laufzeit mit jetzigem Stand nur noch ca. vier Jahre (bis Februar bzw. Dezember 2025) beträgt.

Die Stilllegung und der Rückbau von Doel 1&2 werden einer eigenen UVP unterzogen werden.

Die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 wurde mit der Erhaltung der Versorgungssicherheit begründet. Eine Untersuchung aus 2020 zeigt jedoch, dass sogar die sofortige Abschaltung der Reaktoren Doel 1&2 die Versorgungssicherheit in Belgien nicht negativ beeinträchtigen würde. Es ist daher fraglich, ob das Argument des Erhalts der Versorgungssicherheit aufrechterhalten werden kann.

1.3.1 Fragen

- **F1:** *Wie werden die Ergebnisse der UVP bis zum Ende der Laufzeit 2025 Berücksichtigung finden?*

1.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE1:** Es wird empfohlen, dass die Ergebnisse der UVP in die Genehmigung der Laufzeitverlängerung einbezogen werden.

2 ABGEBRANNTRE BRENNELEMENTE UND RADIOAKTIVE ABFÄLLE

2.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

In UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, Kap. 3.2 und 4.1.2.3) werden die folgenden Informationen zu radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen vorgelegt.

Belgien unterteilt seinen radioaktiven Abfall in die Kategorien A, B und C. A umfasst schwach- und mittel radioaktive Abfälle (LILW), die kurzlebig sind, B ebenfalls LILW, der jedoch langlebig ist. C umfasst die wärmeerzeugenden hoch radioaktiven Abfälle (HLW) und abgebrannten Brennelemente.

Radioaktive Abfälle

Die radioaktiven flüssigen und festen Abfälle aus dem Betrieb von Doel 1&2 werden in den Anlagen der Belgoprocess in Dessel konditioniert. Die Belgoprocess AG ist eine Tochtergesellschaft der NIRAS, der Nationalen Einrichtung für Radioaktive Abfälle und angereicherte Spaltmaterialien. Ein Zwischenlager mit Gebäuden für LLW, ILW, HLW und für Abfall mit Alphateilchen befindet sich auf dem Gelände der Belgoprocess.

Insgesamt geht man von ca. 40 m³ konditionierten radioaktiven Abfällen der Kategorien A und B für Doel 1&2 pro Jahr aus. Für den Zeitraum 2015–2025 werden daher ca. 400 m³ konditionierte radioaktive Abfälle anfallen. Es wird angenommen, dass es sich dabei mengenmäßig hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A handelt.

Ein Oberflächen-Endlager für radioaktive Abfälle der Kategorie A soll am Standort Dessel errichtet werden, die Genehmigung ist in Bearbeitung. Das durch die Laufzeitverlängerung zusätzlich anfallende Abfallvolumen entspricht etwa einem Viertel der Module der geplanten Endlageranlage.

Abgebrannte Brennelemente

Die Brennelemente werden nach drei bis vier Jahren Verwendung in Lagerbecken abklingen gelassen (ca. 5-10 Jahre lange). Der größte Teil der abgebrannten Brennelemente aus Doel 1&2 wird danach am Standort Doel in einem trockenen Zwischenlager (SCG) in dual purpose-Behältern gelagert. Ein Teil wurde nach Frankreich zur Wiederaufarbeitung exportiert; verglaster HLW wurde zurückgenommen und wird auf dem Gelände der Belgoprocess zwischengelagert.

Die Kapazität des SCG wird voraussichtlich 2024 erschöpft sein. Bis dahin soll ein neues Zwischenlager errichtet werden, das SF2, für das eine UVP in Vorbereitung ist. Electrabel versichert, dass durch das SF2-Zwischenlager genügend

Kapazität vorhanden sein wird. Im UVP-BERICHT (2021, Kap. 1: 7/45) wird ergänzend erklärt, dass das SF2 für die Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 nicht erforderlich sei, da die abgebrannten Brennelemente aus Doel 1&2 im bestehenden SCG gelagert werden, und nur diejenigen aus Doel 3&4 im SF2 gelagert sollen.

Pro Jahr fallen in Doel 1&2 durchschnittlich 55 abgebrannte Brennelemente an. Der gesamte Mehranfall für die Periode 2015–2025 beträgt laut Abschätzung der NIRAS jedoch ein wenig mehr, und zwar 609 abgebrannte Brennelemente.

Für radioaktiven Abfälle der Kategorien B und C und abgebrannte Brennelemente soll ein geologisches Tiefenendlager entwickelt werden. Für die langfristige Entsorgung ist die NIRAS zuständig. Eine öffentliche Konsultation wurde dazu 2020 abgehalten. Für die zusätzliche Menge an abgebrannten Brennelementen aus der Laufzeitverlängerung schätzt die NIRAS einen Bedarf an 150 Behältern (die je 4 abgebrannte Brennelemente fassen) und 630 Metern zusätzlicher Länge an Endlagerstollen.

Die abgebrannten Brennelemente aus Doel 1&2 sind im Eigentum der Synatom AG, einer 100 % Tochter von Electrabel; der belgische Föderalminister für Energie hat ein Vetorecht. Synatom hat noch keine Entscheidung über die weitere Verarbeitung der abgebrannten Brennelemente getroffen (Wiederaufarbeitung oder direkte Endlagerung).

2.2 Diskussion und Bewertung

Laut UVP-Richtlinie 2014/52/EU Anhang IV ist die Beschreibung der möglichen erheblichen Auswirkungen des Projekts auf die Umwelt im UVP-Bericht vorzulegen, u.a. müssen die Beseitigung und Verwertung von Abfällen beschrieben werden.

Die UVP-Dokumente benennen die zu entsorgenden Mengen an abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen aus der Laufzeitverlängerung.

Die zur Verfügung stehenden Kapazitäten an Zwischenlagern für radioaktive Abfälle der Kategorie A aus der Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 wurden jedoch nicht benannt. Weiters ist nicht klar, wann das Endlager für diese Abfälle zur Verfügung stehen soll.

Auch bezüglich der zusätzlichen abgebrannten Brennelemente aus der Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 sind einige Punkte offengeblieben. Es ist nicht klar, wann die Entscheidung zur Wiederaufarbeitung oder direkten Endlagerung getroffen wird. Weiters wurde zwar angegeben, dass für die Laufzeitverlängerung die bestehende Kapazität im SCG Zwischenlager ausreiche und nur die abgebrannten Brennelemente aus Doel 3&4 das neu zu errichtende Zwischenlager SF2 benötigen. Falls das Zwischenlager SF² seinen Betrieb jedoch verspätet aufnehmen sollte, kann es somit dennoch für die Summe der aus Doel anfallenden

abgebrannten Brennelemente zu einem Problem kommen. Hier wäre klarzulegen, wie in diesem Fall die sichere Zwischenlagerung gewährleistet werden soll.

Auch wurden keine Informationen zum Zeitplan für das geplante Tiefenendlager vorgelegt. Es sollten Alternativen vorgelegt werden, falls keine Endlagerkapazitäten zur Verfügung stehen sollten, wenn die Lebensdauer der Zwischenlager endet.

2.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle können negative Folgen für Mensch und Umwelt verursachen. Um dies zu verhindern, ist ein Nachweis für die sichere Entsorgung notwendig. Dieser Nachweis umfasst eine Abschätzung des aus der Laufzeitverlängerung erwarteten zusätzlichen Inventars an abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen und der Kapazitäten für ihre Zwischen- und Endlagerung. Einige Information zu diesen Lagerkapazitäten fehlen jedoch und sollten im Rahmen der UVP nachgereicht werden.

2.3.1 Fragen

- **F2:** *Wie ist der Status und der Zeitplan für die Errichtung des Zwischenlagers SF2?*
- **F3:** *Welche Auswirkungen könnte es auf die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente aus Doel haben, falls das SF2 nicht rechtzeitig in Betrieb gehen kann?*
- **F4:** *Wie lange ist die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente aus Doel vorgesehen? (Auslegung des bestehenden Zwischenlagers SCG und des geplanten Zwischenlagers SF2)?*
- **F5:** *Was ist vorgesehen, wenn zum Ende der Lebensdauer der Zwischenlager noch kein Endlager für abgebrannte Brennelemente zur Verfügung steht?*
- **F6:** *Wann wird die Entscheidung Wiederaufarbeitung oder direkte Endlagerung getroffen?*
- **F7:** *Sind für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle aus der Laufzeitverlängerung genügend Kapazitäten bei Belgoprocess vorhanden?*

2.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE2:** Um die sichere Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen zu demonstrieren, sollten umfangreichere Informationen über Kapazitäten von Zwischen- und Endlagern zur Verfügung gestellt werden. Weiters sollten alternative Entsorgungsoptionen vorgestellt werden, falls diese Kapazitäten nicht rechtzeitig zur Verfügung stehen sollten.

3 LANGZEITBETRIEB DES REAKTORTYPS

3.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

Electrabel NV betreibt in Doel ein Kernkraftwerk (KKW) mit vier Blöcken und einer Gesamtproduktionskapazität von 3.720 MWe. Bei den Reaktoren des KKW handelt es sich um Druckwasserreaktoren (DWR).

Doel 1&2, im folgenden Text auch als KKW-1 und KKW-2 bezeichnet, wurden nach amerikanischen Vorschriften gebaut. Sie wurden 1974 bzw. 1975 an das Netz angeschlossen und gingen 1975 in den wirtschaftlichen Betrieb. Durch den Austausch der Dampferzeuger in KKW-1 (2010) und KKW-2 (2004) wurde eine Leistungssteigerung von 10 % erreicht. Die Zwillingenblöcke KKW-1 und KKW-2 haben bestimmte Kreisläufe gemeinsam. In Kapitel 1.4.7 des UVP-BERICHTS (2021) werden die wichtigsten Gebäude beschrieben.

Jedes **Reaktorgebäude** enthält einen Zweiloop-Reaktor und dessen Primärkreislauf sowie einen Teil der nuklearen Notfallsysteme: Das Sicherheitseinspeisesystem und das Sprinklersystem sollen gewährleisten, dass der Reaktorkern bei einem Störfall mit Verlust des Kühlmittels gekühlt und der Druckanstieg im Sicherheitsbehälter begrenzt bleibt.

Die Reaktorgebäude verfügen jeweils über ein doppeltes **Containment-System**, das aus einer Metallkugel mit einem Durchmesser von 46 m (dem primären Containment) besteht, die von einer zylindrischen Betonhülle mit einem Außendurchmesser von 50 m (dem sekundären Containment) umgeben und mit einer Kuppel abgedeckt ist. Im Ringraum zwischen den beiden Behältern herrscht Unterdruck, um Leckagen an die Umgebung zu verhindern.

Das **Gebäude für Reaktor-Hilfsanlagen (BAR)** enthält die Frischdampfleitungen und die Speisewasserleitungen, die Anlagen zu diesen Loops und fast alle Anlagen des Hilfs-Speisewasserkreislaufs.

Das **Gebäude für nukleare Notfalldienste (GNN)**, das sich zwischen den Reaktorgebäuden 1 und 2 befindet, wurde in zwei Bereiche unterteilt, um die potenziell hochradioaktiven Bereiche vom Rest des Gebäudes zu trennen. Das Gebäude ist 85 m lang und 22 m breit. Das GNN umfasst u.a. die nuklearen Hilfs- und Sicherheitssysteme der Reaktoren KKW-1 und KKW-2 sowie das Brennstoffbecken für abgebrannten Brennstoff.

Das **Gebäude für Notfallsysteme (GNS)** wurde neben dem Gebäude der nuklearen Notfalldienste (GNN) an der Schelde errichtet. Es enthält die Notfallleitstelle und ist durch einen Gang auf dem Dach des GNN mit dem Gebäude für elektrische Notfalldienste (GEN) verbunden. In diesem Gebäude befinden sich u. a. die Notstromdiesel mit ihren Kraftstofftanks und Kraftstoffpumpen mit ihren Luftkühlern.

Der **Maschinenraum (MAR)** ist 132 m lang, 38 m breit und 40 m hoch. Die Außenwände sind mit einer Metallverkleidung versehen, das Dach besteht ebenfalls aus Metall. Die **Haupttransformatoren** befinden sich an der Westfassade des Maschinenraums (MAR).

Das **Gebäude der elektrischen Notfalldienste (GEN)** befindet sich neben dem Maschinenraum längs der Schelde. Es umfasst auch den Kontrollraum. Es gibt nur einen Kontrollraum, von dem beide Blöcke von separaten Kontrolltischen und -tafeln aus gesteuert werden können.

Das **Gebäude für mechanische Notfalldienste (GMN)** enthält die ehemaligen Sicherheitsdiesel. Dieses Gebäude in Metallrahmenbauweise erstreckt sich entlang der Südfassade des Maschinenraums. Im Erdgeschoss befinden sich voneinander getrennte Räume für die Dieselmotoren, die Luftkompressoren, sowie das Onsite Technical Support Center (OTSC) und die Gemeinschaftsräume.

Die **Wasserentnahme** für die Versorgung mit Schelde-Wasser (Tertiärkreislauf) befindet sich in ca. 200 m Entfernung von der Fahrrinne.

Das **Gebäude für Dieselgeneratoren (DGG)** enthält die Sicherheitsdiesel und die zugehörigen Dieseltanks und -systeme (Elektroräume, Batterieräume, usw.).

Schutzlevel

Die ursprüngliche Auslegung der Anlagen basiert auf den U.S. Nuclear Codes und der 10CFR50-Richtlinie für den gesamten nuklearen Bereich.

Alle Blöcke in Doel verfügen über zwei Schutzlevel: Das erste Schutzlevel ist darauf ausgelegt, die Anlage vor Stör- und Unfällen internen Ursprungs und Erdbeben zu schützen, während das zweite und höchste Schutzlevel der Sicherungssysteme für externe Unfälle bestimmt ist. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 1, S. 34)

Nachrüstungen vor dem LTO-Projekt

Die wichtigsten Änderungen werden im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen (Periodic Safety Reviews, PSR) durchgeführt. In Belgien sehen der Königliche Erlass vom 25. Januar 1974 und der Königliche Erlass vom 30. November 2011 (Artikel 14 PSR) über die Sicherheitsanforderungen für kerntechnische Anlagen vor, dass der Betreiber eine PSR in Abständen von höchstens zehn Jahren durchführen muss. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 1, S. 35)

Bis zum Zeitpunkt der Entscheidung über die Laufzeitverlängerung von KKW-1 und KKW-2 wurden drei PSR durchgeführt. Die vierte PSR wurde im Rahmen des Projekts durchgeführt.

Die erste PSR (1984) führte dazu, dass analog zu den seinerzeit neuen Blöcken KKW-3 und KKW-4 das gebunkerte Gebäude für Notfallsysteme (GNS) für KKW-1

und KKW-2 in Betrieb genommen wurde. Das GNS ist als Backup zu den Systemen des ersten Levels für eine Reihe von Störfallszenarien von Bedeutung. Die Auslegung des GNS basiert auf umfangreichen Untersuchungen externer Unfälle wie Erdbeben, Gasexplosionen und Flugzeugabsturz. Es wurden einige weitere wichtige Verbesserungen vorgenommen:

- Verbesserung der Erdbebensicherheit
- Erhöhung der Feuerbeständigkeit des Kontrollraums und Anpassung der Belüftung des Kontrollraums gegen die Gefahr von toxischen Gasen und radioaktiver Kontamination
- Ersatz der Sicherheitsventile des Reaktorkreislaufs
- Installation von passiven katalytischen Wasserstoff-Rekombinatoren in den Reaktorgebäuden zur Vermeidung oder Minderung des Risikos einer Wasserstoffexplosion
 - Ersatz der vier Absperrventile der Frischdampfleitung zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der Schnellabschaltung der Frischdampfleitungen
 - Installation von zusätzlichen Dieselgeneratoren für die Stromversorgung der Turbinenhilfssysteme
 - Verstärkung der Hochenergie-Leitungen, um die Folgen im Falle eines Defekts zu minimieren

Die zweite PSR wurde 1995 abgeschlossen. Ab dann wurden die Alterungsprozesse überwacht. Außerdem wurden die folgenden Verbesserungen vorgenommen:

- Nachrüstung der Niederdruck-Sicherheitseinspritzpumpen zur Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit,
- Upgrade der Erdbebensicherheit der Blöcke,
- Durchführung der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) zur Identifizierung möglicher Schwachstellen.

Die dritte PSR (2012) konzentrierte sich auf die Bestätigung des anfänglichen Sicherheitsniveaus, die Bewertung der Alterung der Anlagen und die internen und externen Betriebserfahrungen. Als Beispiele für wichtige Verbesserungen wurden genannt:

- Verbesserung der Lüftungsanlagen im Reaktor- und Elektrogebäude
- Aufbringung einer neuen Beschichtung auf die äußere Betonhülle der Reaktorgebäude

Laut UVP-BERICHT (2021, Kap. 1, S. 35f) wurden zusätzlich zu den Verbesserungen, die sich aus den PSR ergeben, viele andere Änderungen und Verbesserungen als Ergebnis interner und externer Inspektionen, Wartungen, Erfahrungsdaten (auch nach großen nuklearen Stör- bzw. Unfällen, wie denen in Three Miles Island, Tschernobyl und Fukushima) vorgenommen. Zudem erfolgte der Austausch der Dampferzeuger in KKW-2 bzw. KKW-1; dadurch wurde die Integrität des Reaktorkreislaufs verbessert (2004 und 2009).

Projektbezogene Änderungen

Um eine Laufzeitverlängerung von KKW-1 und KKW-2 zu ermöglichen, wurde das Projekt LTO (Long Term Operation) aufgelegt. Eine der Komponenten dieses Projekts ist die Durchführung der vierten PSR. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 3, S. 101)

Der Betreiber investiert kontinuierlich in die Sicherheit seiner kerntechnischen Anlagen durch eine verbesserte Auslegung und die Alterungskontrolle⁵ der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSC). Das Projekt wurde im Rahmen der vierten PSR evaluiert, wobei die folgenden Elemente genauer analysiert wurden:

- Alterungskontrolle
- Neubeurteilung und Verbesserung der Auslegung
- Relevante Vorschriften und Referenzen
- Zuverlässigkeit der Anlagen sowie menschliche und organisatorische Faktoren

Das Projekt hat laut UVP-BERICHT (2021, Kap.1, S. 37) gezeigt, dass die Alterungsprozesse und ihre möglichen Folgen unter Kontrolle sind.

Laut UVP-BERICHT (2021) wurde nach dem Störfall im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi eine vollständige und transparente Risiko- und Sicherheitsbewertung für alle Kernkraftwerke in Europa durchgeführt. In Belgien führte diese Evaluierung zu dem Projekt Belgian Stress Tests (BEST).

Am 28. Oktober 2011 legte Electrabel der FANK den Bericht über die in Belgien durchgeführten Stresstests vor (Belgian Stress Tests, BEST). Auf Veranlassung der FANK wurden die in diesem Bericht genannten Maßnahmen, die sich auf langfristige Aktivitäten beziehen, ebenfalls in das Projekt übernommen. Das BEST-Projekt wurde dem LTO-Projekt hinzugefügt. Das LTO-Projekt (einschließlich PSR 4 und BEST) hat zu mehreren Verbesserungen in der Auslegung geführt.

Die FANK genehmigte den vom Betreiber vorgeschlagenen Plan zur Verbesserung der Sicherheit, um die Laufzeit von KKW-1 und KKW-2 um zehn Jahre bis 2025 zu verlängern. Die vorgeschlagenen technischen Verbesserungen sollen die Unterschiede bei der Konzeptsicherheit gegenüber den neuesten DWR-Kernkraftwerken verringern und ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Verfüg-

⁵ Die physische bzw. Materialalterung ist die Alterung von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSC) aufgrund physikalischer, chemischer oder biologischer Prozesse. Verschleiß, Wärmeschäden, Strahlenschäden und Korrosion sind einige Beispiele für die physische Alterung.

barkeit der Anlagen gewährleisten. Die von der FANK und Bel V genehmigten Investitionen⁶ waren vor ihrer Umsetzung Gegenstand eingehender Untersuchungen.

Der integrierte Aktionsplan und die im Rahmen des Projekts durchzuführenden Arbeiten sind im Long Term Synthesis Report – Doel 1 en Doel 2 April 2015 – Version O beschrieben. Jährlich, nach jeder Revision, berichtet der Betreiber über den Fortschritt der durchgeführten Änderungen auf Basis des Syntheseberichts. (UVP-BERICHT 2021, Kap.1, S. 37)

Beschreibung des Projekts

Electrabel plante den Weiterbetrieb der Kernkraftwerke KKW-1 und KKW-2 über 2015 hinaus. Zu diesem Zweck hat Electrabel das Projekt (*Long Term Operation, LTO*) gestartet. Hierbei wird untersucht, ob Electrabel technisch und organisatorisch in der Lage ist, KKW-1 und KKW-2 über das Jahr 2015 hinaus für einen Zeitraum von zehn Jahren sicher weiter zu betreiben. Es wurden eine Reihe von technischen Verbesserungen formuliert.

Der Beschreibung der an den Anlagen vorzunehmenden Änderungen gehen lange Untersuchungen voran, die sich auf nationale und internationale Anforderungen an die kerntechnische Sicherheit stützen und darauf abzielen, das Sicherheitslevel zu verbessern, um es so nah wie möglich an das Niveau der neuesten Anlagen heranzuführen.

Das Verfahren zur Identifizierung der Anlagenänderungen gestaltet sich wie folgt:

- Analyse des Konzepts, insbesondere unter Berücksichtigung folgender Elemente:
 - Kerntechnische Genehmigung
 - Regulatorische Aufsicht (International Atomic Energy Agency (IAEA), United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC) usw.)
 - WENRA (Western European Nuclear Regulators Association) -Referenzlevel
 - Vergleichstests (mit den neuesten Blöcken) auf nationaler und internationaler Ebene sowie mit neueren konzeptionellen Entwicklungen
 - Überprüfung der vorangegangenen PSR
 - Operative Erfahrungsdaten
 - Dokumentation der Basisauslegung
- Erstellung einer *Long List of Concerns* ausgehend von verschiedenen Informationsquellen (siehe oben)

⁶ entsprechend den vereinbarten Verbesserungen der Auslegung bzw. dem ‚*Agreed Design Upgrade*‘, unter Berücksichtigung der Empfehlungen des Wissenschaftlichen Rates und der Kommentare der FANK und Bel V.

- Annäherung an eine Short List of Main Safety Issues (MSI) auf der Grundlage von Risikoanalysen (die den größten Einfluss auf die kerntechnische Sicherheit haben: Vermeidung von nuklearen Schäden)
- Suche nach der besten technischen Lösung zur Klärung der MSI mit Prüfung verschiedener Alternativen

Die Bestimmung der vorgeschlagenen Änderungen ist daher das Ergebnis eines langen Prozesses, bei dem die möglichen Alternativen geprüft und ausgewählt wurden, mit dem Ziel, die kerntechnische Sicherheit zu verbessern. Die endgültigen Entscheidungen sind Gegenstand des LTO-Berichts.

Die Definition der Änderungen basiert auf einer Analyse der vorgeschlagenen Änderungen durch die belgische Aufsichtsbehörde. Ziel dieser Analyse ist es, unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit das höchstmögliche Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Diese Priorität in Bezug auf die kerntechnische Sicherheit hat Vorteile für die Umwelt, indem z. B. radioaktive Ableitungen auf ein Minimum beschränkt und die Risiken von Unfällen und deren Folgen minimiert werden (ALARA-Prinzip – As Low As Reasonably Achievable).

Das LTO-Projekt entspricht vollumfänglich den internationalen Referenzen. Darüber hinaus wird die Auslegung der Anlagen verbessert, indem sie neu bewertet und mit der Auslegung neuerer und neukonzipierter Anlagen verglichen wird. Darüber hinaus werden auch die menschlichen und organisatorischen Faktoren des KKW-Betriebs (Kompetenz, Wissen und Verhalten) gesondert behandelt.

Die wichtigste Verbesserung ist laut UVP-BERICHT (2021) die Installation eines Systems der gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters, eines Filtered Containment Venting System, um den Sicherheitsbehälter im Falle eines Kernschmelzunfalls vor Überdruck zu schützen und damit inakzeptable radiologische Folgen für die Umwelt zu vermeiden.

Betriebsphase des Projekts zwischen 2015-2018

Der LTO-Synthesebericht enthält den integrierten Aktionsplan, der der FANK zur Überprüfung vorgelegt wurde. Die FANK hat zusammen mit Bel V diesen Plan analysiert und ist zu dem Ergebnis gelangt, dass das Projekt durchführbar ist, wobei die Sicherheit von KKW-1 und KKW-2 während des Zeitraums des Langzeitbetriebs als erwiesen gilt. Je nach Art der Arbeiten können die LTO-Maßnahmen während des normalen Betriebs oder nur während einer Revision durchgeführt werden. Diese Revisionen werden bei Bedarf verlängert. Im Zeitraum 2015-2018 sollten diese Maßnahmen umgesetzt werden. Nachstehend werden die Sicherheitsverbesserungen dargestellt:

- Im Gebäude für Notfallsysteme (GNS) die Installation von zwei Not-Sperrwasser-Primärpumpen (RJ) pro Block.
- Erdbebensicherung der *Refuelling Water Storage Tanks* (RWST) zur Erhöhung der Robustheit dieser Blöcke

- Verbesserung der automatischen Feuerlöschanlage im Maschinenraum und Errichtung einer zusätzlichen Brandmauer im dortigen Untergeschoss
- Motorisierung der größeren Absperrventile zwischen den Systemen des stationären Kühlkreislaufs (SC)
- Verbesserung der physischen Trennung der 6-kV-Stromkabel GNS im Gebäude der elektrischen Notdienste (GEN). Durch diese räumliche Trennung wird die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Stromkabel gleichzeitig durch einen Brand ausfallen, erheblich reduziert.
- Verschärfung der Verfahren für die Scram-Tests. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit von Fehlern bei solchen Tests reduziert.

Die LTO-Maßnahmen des Aktionsplans tragen zur Verbesserung der Sicherheit von KKW-1 und KKW-2 bei. Alle diese Maßnahmen zusammen reduzieren die Wahrscheinlichkeit eines Störfalls.

Neben diversen Sicherheitsverbesserungen wurde im Rahmen des integrierten Aktionsplans die Verwaltung der Obsoleszenz und die Qualifizierung von Gerätekomponten mit dem Ziel verbessert, die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von KKW-1 und KKW-2 zu gewährleisten.

Betriebsphase in der zukünftigen Situation (Zeitraum 2019-2025)

Bei der Bewertung der Auswirkungen wurden die Situation nach 2019 betrachtet, wenn die Sicherheitsverbesserungen, die im Zeitraum 2015-2018 im Rahmen der LTO (Long Term Operation) und BEST (Belgian Stress Tests) durchgeführt wurden, abgeschlossen sind.

Es wird erklärt, dass sich nach Umsetzung aller LTO-Maßnahmen die nukleare Sicherheit von KKW-1 und KKW-2 verbessert hat. Die Wahrscheinlichkeit einer störfallbedingten Situation mit einer radioaktiven Freisetzung wird dadurch reduziert, was auch die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Umweltbelastung verringert.

Im Rahmen des Projekts wurden die probabilistische Sicherheitsstudie (PSA) sowie der Risikoindikator für potentielle Nuklearschäden (CDF) aktualisiert. Im Vergleich zur Ausgangssituation hat sich der CDF mehr als halbiert. Es ist laut UVP-BERICHT (2021, Kap. 3, S. 105f) zu beachten, dass der CDF bereits in der Ausgangssituation unter dem IAEA-Richtwert lag. Aufgrund der LTO-Maßnahmen nähern sich KKW-1 und KKW-2 den Richtwerten für neue Reaktoren gemäß IAEA SSG-3 (IAEA 2010).

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.⁷ 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 Schalthandlungen 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 Prüfmethode werden noch heute bei alten KKW fertigungsbedingte Fehler aufgefunden, wie z. B. die Befunde in den Reaktor-druckbehältern 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.

⁷ Die physische Alterung bezeichnet den Prozess, bei dem sich die physischen Eigenschaften von Strukturen, Systemen oder Komponenten (SSC) im Laufe der Zeit oder durch Gebrauch ändern (WENRA 2014).

Bei den ursprünglichen Betriebsgenehmigungen war von einer Betriebszeit von 40 Jahren ausgegangen worden. Darüber hinaus wurde nicht geprüft und gewertet. 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 (MARGINAC 2016).

Die Anlagen Doel 1&2 sind bereits seit mehr als 45 Jahren in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte ein großes Sicherheitsproblem für diese Anlagen darstellen. Die Häufigkeit von alterungsbedingten Vorfällen wird wahrscheinlich zunehmen.

Der Betreiber investiert kontinuierlich in die Sicherheit durch eine verbesserte Alterungskontrolle der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSC). Die Alterungskontrolle wurde im Rahmen der vierten PSR evaluiert. Das Projekt hat laut UVP-BERICHT (2021, Kap.1, S. 37) gezeigt, dass die Alterungsprozesse und ihre möglichen Folgen unter Kontrolle sind.

Ein Leck in einer Injektionsleitung im April 2018 weist allerdings auf das unerwartete Auftreten von alterungsbedingten Fehlern hin, das erst durch ein verhältnismäßig großes Leck bemerkt wurde. Eine Überprüfung zeigte weitere Schadstellen.

Leck in einer oberen Plenum-Injektionsleitung von Doel 1

Im April 2018 trat während des Volllastbetriebs des Kernkraftwerks Doel 1 ein Primärleck von ca. 4 bis 5 l/min auf, woraufhin der Reaktor gestoppt und vollständig heruntergefahren wurde. Untersuchungen ergaben, dass sich das Leck in einem Teil einer der Upper Plenum Injection (UPI)-Leitungen befand, die nicht vom Reaktor isoliert werden konnte.⁸

⁸ Diese Leitungen ermöglichen die Sicherheitseinspritzung direkt im oberen Plenum des Reaktorbehälters.

Nachdem die Leckstelle in der UPI-A-Leitung gefunden wurde, wurde eine umfangreiche zerstörungsfreie Inspektionskampagne an allen UPI-Leitungen sowohl von Doel 1 als auch von Doel 2 gestartet. Diese Inspektionen ergaben, dass auch die entsprechende UPI-Leitung von Doel 2 eine ähnliche Degradation im selben Bereich aufwies. Infolgedessen wurden alle Leitungsabschnitte mit meldepflichtigen Anzeichen aufgeschnitten und ersetzt.

Die Inspektionen und Reparaturen wurden unter schwierigen technischen und logistischen Umständen (schwierige Zugänglichkeit, Platzmangel und hohe Strahlendosis) durchgeführt, da sich die betroffenen UPI-Leitungen im Hohlraum in der Nähe des Reaktorbehälters befinden.

Die ausgebauten Rohre, die das Leck oder Hinweise darauf enthielten, wurden in zwei unabhängigen Labors untersucht. Alle Untersuchungen ergaben, dass der Schadensmechanismus eine Ermüdung mit niedriger Spannung und hoher Zyklusdauer ist, wobei sich die Rissinitiierung und -ausbreitung als ein langsamer, mehrjähriger Prozess herausstellte. Die Ursachenanalyse ergab, dass thermische Ermüdung für die beobachtete Rissbildung verantwortlich ist.

An den UPI-Leitungen beider Blöcke wurde eine umfassende Temperatur-, Verschiebungs- und Schwingungsüberwachung installiert, um eine genaue Beobachtung des thermischen und mechanischen Verhaltens der Leitungen in allen Betriebszuständen zu gewährleisten. Eine erneute Inspektion der problematischen Bereiche ist während der nächsten Revision vorgesehen. (FANC 2019a)

Versprödung der Reaktordruckbehälter (RDB)

Entscheidend für den Langzeitbetrieb von Doel 1 & 2 ist auch die Überwachung der alterungsbedingten Versprödung des Reaktordruckbehälters (RDB). Der Werkstoff eines RDB ist permanent einer hochenergetischen, durch die Kernspaltung entstehenden Neutronenstrahlung ausgesetzt. Die Folge ist eine kontinuierliche Versprödung, d.h. der kontinuierliche Verlust der Zähigkeit des Metalls der RDB-Wand während des Betriebs. Bei Einspeisung kalten Kühlwassers in den Ringraum zwischen Kernbehälter und RDB-Wand (ungeplant bzw. unkontrolliert bei hohem Druck im RDB oder geplant im Notkühlfall) wird diese einem gewaltigen Temperaturschock ausgesetzt, der nur dann beherrscht werden kann, wenn einerseits die Zähigkeit des Materials an allen Stellen des RDB ausreicht und andererseits der Druck im RDB niedrig ist. Ansonsten kann der RDB durch die plötzliche Abkühlung bersten, da das Metall aufgrund der Alterung zu spröde geworden ist. Gravierende radioaktive Freisetzungen wären die Folge.

Die Kenntnisse über neutroneninduzierte Versprödung waren zur Zeit der Auslegung und des Baus vieler Reaktoren begrenzt, so dass zum Teil ungeeignete Materialien bzw. Werkstoffzusammensetzungen, besonders in den kernnahen Schweißnähten, verwendet wurden. Während des Betriebs ist der RDB für Inspektionen oder Interventionsmaßnahmen nicht zugänglich. Während der Revisionszeiten wird der RDB im Allgemeinen nicht vollständig (von außen und innen und im Grundmaterial der RDB Wand) sondern nur zum Teil inspiziert. In-

folgedessen können Defekte auch für lange Zeiträume unentdeckt bleiben. Hinzu kommt, dass die Prognosen über das Verhalten von gealterten Materialien unter Unfallbedingungen mit großen Unsicherheiten verbunden sind. (INRAG 2021)

In GERARD (1999) finden sich Angaben zu den Ergebnissen des Bestrahlungsprogramms für Doel 1 und 2: Die Schweißgutproben haben relativ hohe Cu-Gehalte von 0,12 bis 0,18 Gewichtsprozent (wt%), bei einige Zugproben wurden sogar 0,35 wt% Cu festgestellt. Die gemessene strahlungsbedingte Verschiebung der Sprödbruchübergangstemperatur (RTNDT) für das Schweißgut lag bis zu 45° C über der Trendkurve. Der Sprödbruchsicherheitsnachweis konnte nicht für alle Transienten erbracht werden. Deshalb wurde zunächst ein Vorwärmen des Notkühlwassers auf 35°C verfügt und 1992 eine Veränderung des Safety Injection Systems durchgeführt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die RDB in Doel 1 und 2 hochgradig versprödet sind. (INRAG 2021)

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.⁹

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 Wanddickenschwächung. 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 Zugänglich-

⁹ 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.

keit 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 auftraten. Es ist nicht selbstverständlich, dass alle Strukturen, Systeme und Komponenten (SSCs) nach einem Modernisierungsprogramm fehlerfrei und voll funktionsfähig sind. (INRAG 2021)

Alterungsmanagement wird in der 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 Überprüfung der WENRA RLs von 2008 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.

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, hat die IAEO zudem das Programm „International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL)“ entwickelt (IAEA 2015). Die Empfehlungen der IAEO sind jedoch nicht bindend, da diese keine Behörde ist. Diese IAEO-Dokumente werden im UVP-BERICHT (2021) nicht benannt, insofern ist nicht bekannt, ob diese für das Alterungsmanagement in Doel 1&2 verwendet werden.

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 im Jahr 2011 zu berücksichtigen. In Anerkennung der Bedeutung der Peer Review für die kontinuierliche Verbesserung der nuklearen Sicherheit

wurde mit der überarbeiteten Richtlinie ein europäisches System der Topical Peer Review (TPR) eingeführt. 2017 erfolgte das erste TPR zum Alterungsmanagement von Kernkraftwerken.

In der ersten Phase wurde jedes beteiligte Land aufgefordert, einen Länderbericht zu erstellen, in dem die implementierten Alterungsmanagementprogramme (AMP) beschrieben und bewertet werden. Im anschließenden Peer Review Prozess wurden technische Empfehlungen formuliert und veröffentlicht. Anschließend werden 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. Ergebnis war, dass in keinem Land die bestehenden Anforderungen an die Alterungsmanagementprogramme erfüllt sind. (ENSREG 2018a)

Das Topical Peer Review (TPR) hat im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsniveau in Europa keine Lücken im Alterungsmanagementprogramm in Belgien für die betrachteten Bereiche gezeigt. (ENSREG 2018b) Auch 2017 stellte Electrabel schwerwiegende Mängel im Beton eines Gebäudes fest, das an die Reaktorgebäude von Doel-3 angrenzt. Diese verbunkerten Gebäude enthalten Sicherungssysteme für die Sicherheit der Anlagen und sollen einem Aufprall von außen wie einem Flugzeugabsturz standhalten können. Ähnliche Probleme, in unterschiedlichem Ausmaß, wurden auch bei Doel-4 festgestellt. (INRAG 2021)

SALTO-Mission (Safety Aspects of Long-Term Operation) in Doel 1&2

Auf Einladung der belgischen Nuklearaufsichtsbehörde wurde im Februar 2017 eine SALTO-Mission (Safety Aspects of Long-Term Operation) in Doel 1&2 durchgeführt.

Das IAEO-Team kam zu dem Schluss, dass die Werksleitung bestrebt ist, die Vorbereitung der Anlage auf LTO zu verbessern. Das Team erkannte an, dass die Vorbereitungsarbeiten für eine sichere LTO den IAEA-Sicherheitsstandards und internationalen Praktiken folgen. Es wurden aber auch Bereiche identifiziert, die verbessert werden müssen, um das Niveau der internationalen guten Praxis zu erreichen. Das Team identifizierte die folgenden Punkte als die wichtigsten:

- Die Anlage sollte sicherstellen, dass alle erforderlichen Systeme, Strukturen und Komponenten in den Anwendungsbereich des Alterungsmanagements während der LTO-Periode einbezogen werden;
- Die Anlage sollte die Konsistenz und Vollständigkeit der Daten für bauliche Strukturen und Komponenten während der LTO-Periode sicherstellen;
- Die Anlage sollte die Überprüfung und Aktualisierung der Alterungsmanagementprogramme für zivile Strukturen und Komponenten für die LTO abschließen.

Der Großteil der Probleme steht im Zusammenhang mit dem Stopp der LTO-Arbeiten zwischen Juli 2012 und Dezember 2015 aufgrund der sich ändernden

nationalen Nuklearstrategie. Es wurden insgesamt 13 Punkte angesprochen, darunter auch u. a.:

- Die kontinuierliche Verbesserung des Alterungsmanagementprogramms ist nicht gewährleistet;
- Die Wartungspraktiken für elektrische und leittechnische Ausrüstungen sind nicht vollumfänglich;
- Ein Mangel an ausreichend geschultem und kompetentem Personal kann sich negativ auf die LTO auswirken.

Die SALTO-Follow-up-Mission wurde vom 25. bis 28. Juni 2019 durchgeführt; die Mission fand nur vier der 13 Punkte vollständig gelöst. Eine Follow-up-Mission kam zu dem Schluss, dass weitere Arbeiten erforderlich sind, um sicherzustellen, dass alle erforderlichen Strukturen und Komponenten in den Umfang des Alterungsmanagements während der LTO-Periode einbezogen werden. (FANC 2019a, IAEA 2019a)

Operational Safety Review Team (OSART)

Schwächen in der Betriebspraxis wirken sich negativ auf die Verhinderung von Alterungseffekten aus: Im März 2010 besuchte ein IAEA Operational Safety Review Team (OSART) Doel 1&2, um die Betriebspraktiken zu überprüfen. 15 Sicherheitsprobleme wurden von dem Team identifiziert. Sie wiesen auf einen gefährlichen Mangel an Sicherheitskultur hin (IAEA 2010a):

- Analysen für meldepflichtige Ereignisse werden nicht in der erforderlichen Tiefe durchgeführt und nicht zeitgerecht abgeschlossen.
- In bestimmten Anlagenbereichen bestehen inadäquate Zustände aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit und unzureichender Wartungsarbeiten. Mangelhafte Materialzustände können eine Unzuverlässigkeit der Geräte und Anlagen zur Folge haben.
- In einigen Bereichen des Elektorgebäudes sind die Kabeltrennungsschemata und die Abschottung unzureichend, was zu einem erhöhten Risiko eines elektrischen Brandes führt.

Laut der OSART-Follow-up-Mission (März 2012) waren 2012 einige wichtige Sicherheitsfragen noch nicht behoben. (IAEA 2012a)

Nicht-phisches 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 $n+1$) soll gewährleisten, dass bei Ausfall eines Stranges eines Sicherheitssystems durch den dazu redundanten Strang die sicherheitstechnische Funktion vollständig erfüllt wird. Die Auslegungen neuerer Reaktoren berücksichtigen 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 technischen Nachrüstungen im Bereich der Vorsorge durchzuführen – vielfach lediglich Notfallmaßnahmen eingeführt werden. (INRAG 2021)

Auslegungsdefizite von Doel 1&2

Das gesamte Sicherheitskonzept von Doel 1 & 2 ist veraltet und damit die Verhinderung von Unfällen nicht ausreichend. Im UVP-BERICHT (2021) werden die umfangreichen Nachrüstungen dargestellt, die vor allem im Rahmen der ersten und zweiten PSR durchgeführt worden.

Im Hinblick auf die begrenzte Anzahl von auslösenden Ereignissen, die in der Auslegungsphase berücksichtigt wurden, wiesen Doel 1&2 im Jahr 2011, u. a. die folgenden Auslegungsdefizite auf (FANC 2011):

- Nicht alle Sicherheitssysteme der ersten Ebene sind physikalisch getrennt und/oder auslegungsgemäß erdbebensicher.
- Doel 1&2 teilen sich den Kontrollraum und mehrere Systeme der ersten Ebene. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Störfall beide Einheiten betroffen sind.
- Die Sicherheitseinspritzpumpen der ersten Ebene haben auch Aufgaben im Normalbetrieb.
- Die Stränge der elektrischen Energieversorgung und Instrumentierung der ersten Ebene sind vermascht und ihre räumliche Trennung ist begrenzt.

- Die Nichtverfügbarkeit der Sicherheitssysteme der ersten Ebene sollte durch die Systeme der zweiten Ebene abgedeckt werden, aber diese Systeme sind nicht in einem gebunkerten Gebäude untergebracht und werden hauptsächlich manuell von der Notsteuerstelle aus bedient.
- Die Anzahl der redundanten Sicherheitssysteme der zweiten Ebene ist im Vergleich zum heutigen Stand der Technik gering.
- Der Notkühlkreislauf der Komponenten der zweiten Ebene übernimmt auch Aufgaben im Normalbetrieb.
- Der abgebrannte Kernbrennstoff wird in Becken im nuklearen Servicegebäude statt in einem gebunkerten Kernbrennstoffgebäude gelagert.

WENRA Referenzlevel

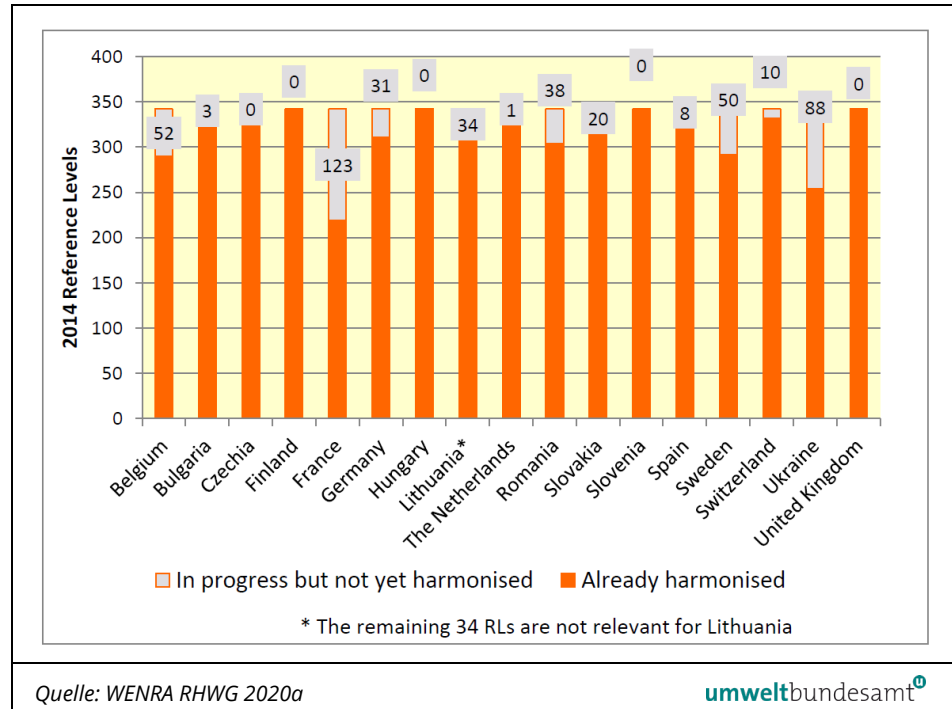
Im Jahr 2006 veröffentlichte die WENRA erstmalig Referenzlevel als Sicherheitsstandard für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke (WENRA 2006). In den Jahren 2007 und 2008 wurden die insgesamt 295 Referenzlevel aktualisiert.

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 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).

Bis 2019 hat Belgien 52 der 342 WENRA-Referenzniveaus von 2014 nicht in das nationale Regelwerk implementiert (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1:
Status der Implementierung der 2014 WENRA Referenzlevel in 2019



Vernünftig machbare Nachrüstungen

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

Die grundlegenden Sicherheitsprinzipien der IAEO 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 IAEO empfohlenen Sicherheitsanforderungen auf bestehende KKW wird, wie auch bei WENRA, ausgeführt, dass die Bewertung der Sicherheit des jeweiligen KKW sich 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/EURATOM 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 Notfall-schutzmaßnahmen 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

¹⁰ Gemeint sind hier die sich in Betrieb befindlichen KKW.

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."

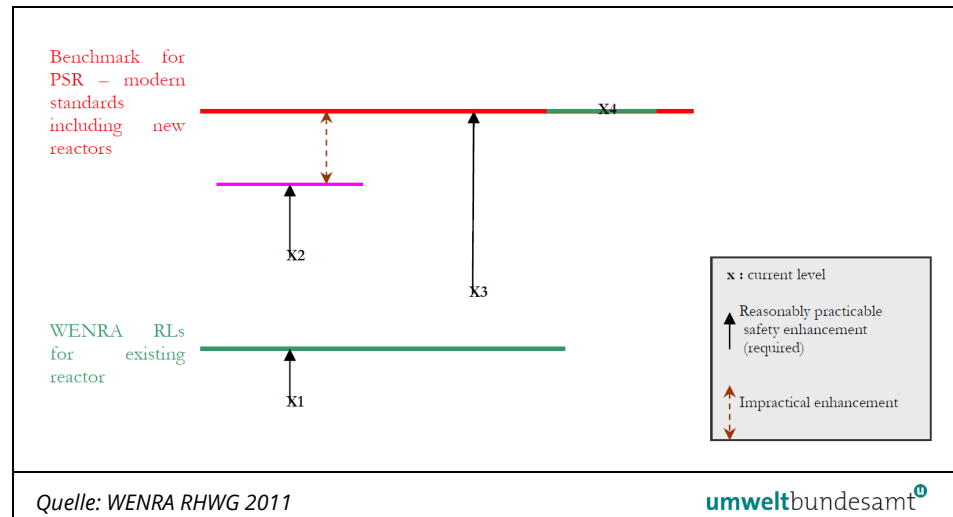
WENRA Sicherheitsziele für neue KKW als Benchmark für Laufzeitverlängerung

Die Sicherheitsziele für neue Atomkraftwerke (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 RHWG 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. Laut IAEA (2012) ist eine Situation 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 Lebensdauererlängerung 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 2).

Abbildung 2:
Prinzipielles
Verfahren eines
Sicherheitsvergleichs



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.

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 Nicht-Wissen 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.
 - Alle Lastannahmen, die nicht nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik ausgewiesen sind und der Grad des damit verbundenen Risikos.

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 Doel 1&2 von den aktuellen Sicherheitszielen wirklich entfernt sind. (INRAG 2021).

Verfahren zur Ermittlung der Sicherheitsverbesserung für Doel 1&2

Wie oben ausgeführt, gilt allgemein, dass für Altanlagen nur diejenigen Maßnahmen und Nachrüstungen verlangt werden, die „reasonably practicable“ sind.

D. h. Sicherheitsverbesserungen erfolgen nicht, wenn sie als zu teuer oder technisch zu aufwendig bewertet werden.¹¹

Laut UVP-BERICHT (2021) sollen die vorgeschlagenen technischen Verbesserungen für Doel 1&2 die Unterschiede bei der Sicherheit gegenüber den neuesten DWR-Kernkraftwerken verringern. Die von der FANK und Bel V genehmigten Investitionen entsprechen den vereinbarten Verbesserungen der Auslegung bzw. dem ‚*Agreed Design Upgrade*‘ und waren vor ihrer Umsetzung Gegenstand eingehender Untersuchungen.

Das Verfahren zur Identifizierung der durchzuführenden Anlagenänderungen wurde in drei Schritten durchgeführt:

1. Erstellung einer Long *List of Concerns* ausgehend von verschiedenen Informationsquellen (zum Beispiel WENRA-Referenzlevel, Vergleich mit den neuesten Blöcken auf nationaler und internationaler Ebene).
2. Annäherung an eine *Short List of Main Safety Issues* (MSI) auf der Grundlage von Risikoanalysen.
3. Suche nach der besten technischen Lösung zur Klärung der MSI mit Prüfung verschiedener Alternativen.

In den UVP-Dokumenten werden weder die Long List of Concern, noch die Short List of Main Safety Issues noch die Suche nach den besten technischen Lösungen präsentiert.

3.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Die Anlagen Doel 1&2 sind bereits seit mehr als 45 Jahren in Betrieb. Das bedeutet, dass negative Alterungseffekte der Strukturen, Systeme und Komponenten ein Sicherheitsproblem darstellen, auch wenn laut UVP-BERICHT (2021) Alterungsprozesse und ihre möglichen Folgen unter Kontrolle sind. Dass letzteres nicht der Fall ist, zeigte im April 2018 ein Schaden in einer Injektionsleitung in den Reaktordruckbehälter, der erst durch ein verhältnismäßig großes Leck bemerkt wurde. Eine Überprüfung zeigte weitere Schadstellen. Ein weiteres alterungsbedingtes Problem ist die Versprödung der Reaktordruckbehälter.

Ein umfassendes Alterungsmanagementprogramm (AMP) ist notwendig, um alterungsbedingte Ausfälle zumindest bis zu einem gewissen Grad zu begrenzen. Das Topical Peer Review (TPR) „Ageing Management“ im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2014/87/EURATOM hat in Belgien für die untersuchten Bereiche keine Lücken im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsniveau in Europa im Alterungsmanagementprogramm gezeigt. Die im Februar 2017 durchgeführte

¹¹ Was als „reasonably practicable“ eingestuft wird, wird von den Experten des Betreibers, der Gutachter und der Aufsichtsbehörde meist unter Ausschluss der Öffentlichkeit und unabhängigen Experten beschlossen.

SALTO (Safety Aspects of Long-Term Operation) Mission fand jedoch Defizite im Alterungsmanagementprogramm, die auch bis zur Follow-up Mission im Juni 2019 nicht beseitigt waren.

Das gesamte Sicherheitskonzept von Doel 1&2 ist veraltet und damit zur Verhinderung von Unfällen nicht ausreichend. Trotz umfangreicher Nachrüstungen wiesen Doel 1&2 noch im Jahr 2011 erhebliche Auslegungsdefizite (zum Beispiel hinsichtlich der modernen Anforderungen an die räumliche Trennung der Sicherheitssysteme und der Anzahl der redundanten Sicherheitsstränge) auf. Zudem teilen sich Doel 1&2 einige Betriebs- und Sicherheitssysteme. Die gemeinsame Nutzung von Sicherheitssystemen erhöht das Risiko von Ausfällen gemeinsamer Ursache. Darüber hinaus sind das Reaktorgebäude und das Gebäude, in dem sich die Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente befinden, verwundbar gegen äußere Einwirkungen.

Im Jahr 2014 veröffentlichte die WENRA eine überarbeitete Version der Reference Level (RL) für bestehende Reaktoren. Ziel der Überarbeitung war es, die Lehren aus dem TEPCO-Unfall in Fukushima Daiichi zu berücksichtigen. Eine wesentliche Aktualisierung der RLs war die Überarbeitung von Issue F, mit der das Konzept der Design Extension Conditions (DEC) eingeführt wurde. Es ist anzumerken, dass Belgien 52 RL der 342 RL zum 1. Januar 2019 noch nicht implementiert hatte.

Die IAEO, 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.

Laut UVP-BERICHT (2021) sollen die vorgeschlagenen technischen Verbesserungen für Doel 1&2 die Unterschiede bei der Sicherheit gegenüber den neuesten DWR-Kernkraftwerken verringern. Das Verfahren zur Identifizierung der durchzuführenden Anlagenänderungen wurde in drei Schritten durchgeführt: Erstellung einer Long List of Concerns auf Basis aktueller Sicherheitsanforderungen, Reduzierung auf eine Short List of Main Safety Issues (MSI) auf der Grundlage von Risikoanalysen und dann die Suche nach der besten technischen Lösung mit Prüfung verschiedener Alternativen. In den UVP-Dokumenten werden weder die Long List of Concern noch die Short List of Main Safety Issues noch die Kriterien für die Auswahl der besten technischen Lösungen präsentiert.

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 Doel 1&2 von den aktuellen Sicherheitsanforderungen entfernt sind.

3.3.1 Fragen

- **F8:** Was war das Ergebnis einer erneuten Inspektion der problematischen Bereiche der Injektionsleitungen während der Revision?
- **F9:** Was sind die aktuellen Ergebnisse zur Versprödung der Reaktordruckbehälter (RDB) in Doel 1&2 (Sprödbruchübergangstemperatur RTNDT, Sprödbruchsicherheitsnachweis)?
- **F10:** Ist eine systematische Bewertung der Auslegungsabweichungen von Doel 1&2 von den aktuellen internationalen Sicherheitsstandards und Anforderungen erfolgt?
- **F11:** Welche Sicherheitssysteme und Severe Accident Management (SAM)-Systeme werden von den Blöcken gemeinsam genutzt?
- **F12:** Inwieweit wurden internationale Dokumente (IAEA, WENRA) bei der Laufzeitverlängerung verbindlich angewandt?
- **F13:** Wann werden die WENRA Referenzlevel (RL) 2014 vollständig in das belgische Regelwerk implementiert? Wann wird überprüft, ob Doel 1&2 die Anforderungen der WENRA RL 2014 erfüllt?
- **F14:** Sind inzwischen die Empfehlungen und Vorschläge der SALTO-Mission aus 2017 vollständig umgesetzt?
- **F15:** Welche technisch möglichen Verbesserungen zur Erfüllung moderner Sicherheitsanforderungen wurden für Doel 1&2 im Rahmen der Laufzeitverlängerung als nicht „vernünftig machbar“ angesehen?
- **F16:** Welche Maßnahmen standen auf der „Long List of Concerns“? Welche Maßnahmen standen auf der „Short List of Main Safety Issues“ und welche davon wurden umgesetzt? Nach welchen Kriterien wurde das jeweils entschieden?
- **F17:** Wurden bereits alle Maßnahmen aus dem Aktionsplan für das LTO-Projekt umgesetzt?

3.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE3:** Es wird empfohlen, technisch verfügbare Sicherheitsverbesserungen zur Verhinderung von Unfällen umzusetzen.

- **VE4:** Es wird empfohlen, alle Anforderungen des WENRA Referenzlevels F zu erfüllen. Bei Abweichungen sollten die Gründe dafür erläutert werden.
- **VE5:** Es wird empfohlen, 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 detaillierte Beschreibung der Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle bzw. zur Abmilderung ihrer Folgen getroffen wurden.
 - b. Angaben zu den angewandten nationalen Anforderungen und internationalen Empfehlungen.
 - c. 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

4.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

Kapitel 3.4.7 des UVP-BERICHTS (2021) behandelt mögliche Störfälle. Einleitend wird erklärt, dass neben dem Alterungsmanagement die Erhöhung der nuklearen Sicherheit der KKW-1 und KKW-2 das Hauptthema der Laufzeitverlängerung ist. Aufgrund der im Rahmen der Laufzeitverlängerung durchgeführten Modifikationen wird eine positive Auswirkung in Bezug auf störfallbedingte Situationen erwartet. (UVP-BERICHT 2021, Kap.3, S. 97ff)

Kapitel 3.4.7.1 thematisiert die Methodologie der Störfallanalysen. Es wird erklärt, dass infolge von Änderungen an der Anlage durch Störfallanalysen sichergestellt werden muss, dass die Auswirkungen der Änderung auf die nukleare Sicherheit mindestens auf dem gleichen Sicherheitsniveau wie vor der Umsetzung gehalten werden. Die Risikoanalysen müssen sowohl Unfälle infolge potenzieller interner als auch externer Ereignisse berücksichtigen. Als Beispiele für Störfälle werden aufgeführt (UVP-BERICHT 2021, Kap.3, S. 100ff):

- Ausfall von Systemen
- Störfälle mit Kältemittelverlust (LOCA)
- Unterbrechung der internen Stromzufuhr
- menschliches Versagen
- Störfälle wie Brände, Explosionen und Überschwemmungen aus interner Ursache
- extreme meteorologische Bedingungen
- Überschwemmungen
- Erdbeben
- Unterbrechung der externen Stromzufuhr
- Flugzeugabsturz
- Ausfall von nahegelegenen industriellen Aktivitäten und Verkehr (Dominoeffekt)

Es wird erklärt, dass das Risiko eines Störfalls von zwei Faktoren abhängt: von der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens und von den Folgen des Eintretens. Basierend auf der Eintrittswahrscheinlichkeit werden mögliche Ereignisse wie folgt klassifiziert:

- **I** normale Betriebsbedingungen und Betriebstransienten
- **II** Vorfälle, die gelegentlich (bis zu einmal pro Jahr) eintreten
- **III** seltene Störfälle (einmalige Störfälle während der Betriebszeit)
- **IV** einschränkende Störfälle (grundsätzlich nie).

Ereignisse der Klassen I und II dürfen nicht zum Verlust der Integrität der Barrieren führen, die die radioaktiven Produkte zurückhalten; Ereignisse der Klasse II dürfen höchstens zur automatischen Abschaltung des Reaktors führen. Ein Ereignis der Klasse III, das während der Betriebszeit höchstens einmal auftreten

darf, kann zu kleineren Schäden führen, die ein sofortiges Wiederanfahren des Reaktors verhindern. Ein Störfall der Klasse IV könnte zur Freisetzung radioaktiver Produkte führen, obwohl die Wahrscheinlichkeit dafür sehr gering ist. Sollte eine Häufung von Ereignissen dennoch zu einem solchen Störfall führen, muss die daraus resultierende Ableitung die geltenden Grenzwerte einhalten.

Um die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Störfälle zu ermitteln, muss eine probabilistische Sicherheitsstudie (*Probabilistic Safety Analysis* - PSA) durchgeführt werden. Die Kernschmelzfrequenz (*Core Damage Frequency* - CDF) ist ein weit verbreiteter Indikator zum Nachweis der Einhaltung der kerntechnischen Sicherheitsziele. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 3, S. 101)

Störfallanalysen im Rahmen des LTO-Projekts

Laut UVP-BERICHT (2021, Kap.3, S. 101ff.) werden die Ausbreitung der Radioaktivität und die daraus resultierende effektive Folgedosis auf der Grundlage einer von der FANK genehmigten Methodik berechnet, die von der *United States Nuclear Regulatory Commission* erstellt wurde. Die geforderten Sicherheitsstudien sind im Sicherheitsbericht dokumentiert und werden aufgrund neuerer Erkenntnisse und Normen periodisch aktualisiert.

In KKW-1 und KKW-2 sind der Störfall Bruch einer Primärleitung (*Loss Of Coolant Accident*, LOCA) und ein Brennelement-Handhabungsstörfall (*Fuel Handling Accident*, FHA) die sogenannten Referenzstörfälle; d. h. die Störfälle, die die größten denkbaren radiologischen Folgen nach sich ziehen können.

In Übereinstimmung mit dem internationalen Regelwerk sollen auch die radiologischen Folgen von auslegungsüberschreitenden Störfällen (*Beyond Design Base Accident* BDBA) evaluiert werden. Dieser internationale Regelungsrahmen sieht auch vor, dass bei der Berechnung der radiologischen Folgen von auslegungsüberschreitenden Störfällen realistischere Annahmen berücksichtigt werden können als bei Auslegungsstörfällen. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines auslegungsüberschreitenden Störfalls ist immer noch weitaus geringer als die Wahrscheinlichkeit eines Auslegungsstörfalls. Aus diesem Grund wird bei der Auslegung für auslegungsüberschreitende Störfälle nur berücksichtigt, wie das verbleibende Risiko mit vertretbaren Mitteln (technisch, organisatorisch) reduziert werden kann.

Für KKW-1 und KKW-2 wurde ein auslegungsüberschreitender Störfall analysiert, der laut UVP-BERICHT (2021) repräsentativ für alle anderen auslegungsüberschreitenden Störfälle internen und externen Ursprungs ist, einschließlich des von Electrabel betrachteten Szenarios *Absturz eines Flugzeugs auf das Kernkraftwerk*. Es handelt sich um die Annahme eines sehr schweren Unfalls (d. h. eines Unfalls mit Kernschmelze), dessen erstes Ereignis der Totalausfall der elektrischen Energieversorgung (sowohl intern als auch extern) ist, ohne Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen oder Eingriffen seitens des Bedienungspersonals oder des Notfallplans. Dieses Szenario wird als *Complete Station Black-Out* (CSBO) bezeichnet. In diesem Fall wird angenommen, dass der Störfall mit dem Schmelzen der Brennstäbe im Reaktorkern, dem Bruch des Behälters, dem

Druckaufbau im Primärcontainment bis zum Auslegungsdruck der gefilterten Ventilationsöffnung einhergeht und letztlich zur Freisetzung des gesamten vorhandenen radioaktiven gasförmigen Materials durch das *Filtered Containment Venting System* in die Umgebung führt.

Die für KKW-1 und KKW-2 gültigen Referenz-Auslegungsstörfälle LOCA (Bruch einer Primärleitung) und FHA (Brennstoffhandhabungsstörfall am Brennstoffbecken) wurden im Rahmen des Projekts neu analysiert. Dies erfolgte auch für den auslegungsüberschreitenden Referenzstörfall *Complete Station Black-Out* (CSBO).

Die konservativ ermittelte effektive Dosis und die Schilddrüsendosis aus diesen Störfällen ist in Tabelle 3-42 des UVP-BERICHTS (2021, Kap. 3. S. 106) dargestellt. Diese ist im Folgenden abgebildet.

Tabelle 1: Effektive Dosis und Schilddrüsendosis an der Standortgrenze des KKW für die Auslegungsstörfälle (LOCA und FHA) und den auslegungsüberschreitenden Unfall (CSBO) verglichen mit den Grenzwerten aus Genehmigung.

Referenz-Störfall		Dosis an der Standortgrenze [mSv]	Zulässiger Grenzwert [mSv]
LOCA	Effektive Dosis	1,96	20,4
	Schilddrüsen-Dosis	38,5	38,5
FHA Brennstoffbecken	Effektive Dosis	1,44	5,7
	Schilddrüsen-Dosis	16,9	24,7
CSBO	Effektive Dosis	13,2	kein
	Schilddrüsen-Dosis	5,5	kein

Quelle UVP-BERICHT 2021

Die Tabelle 1 zeigt, dass die effektiven Folgedosen, die sich aus beiden Referenzauslegungsstörfällen ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen. Es wird auch darauf hingewiesen, dass die Dosen für den auslegungsüberschreitenden Störfall CSBO niedriger sind als die an der Standortgrenze geltenden Grenzwerte, wie gemäß Artikel 37 des EURATOM-Vertrags als Teil der Genehmigung beschrieben. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 3, S. 106)

Laut UVP-BERICHT (2021, Kap. 3, S. 109) verbessert sich nach Umsetzung der LTO-Maßnahmen (des Projekts) die nukleare Sicherheit. Die Aktualisierung der probabilistischen Sicherheitsstudie (PSA) zeigt, dass sich die Kernschmelzfrequenz (CDF) mehr als halbiert hat. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit einer Störfallsituation mit radioaktiven Ableitungen während der Betriebszeit geringer als in der Ausgangssituation. Insbesondere das *Filtered Containment Venting System* reduziert die Wahrscheinlichkeit einer radioaktiven Ableitung infolge eines möglichen Störfalls.

Richtlinien für Störfallszenarien

In Kapitel 3.3.2 werden die relevanten internationalen und europäischen Richtlinien im Hinblick auf Störfallszenarien sowie eine Zusammenfassung ihrer (wichtigsten) Inhalte dargelegt und in einer Tabelle aufgeführt. Genannt werden die IAEA Safety Standard Series SSR 2/1 aus 2012, IAEA Safety Standard Series SSR

2/1 (Rev. 1) aus 2017, IAEA Safety Standard Series SSG-2 aus 2010, IAEA Safety Standard Series SSG-2 (Rev. 1) aus 2019, der Euratom Vertrag aus 2012 und die Richtlinie 2014/87/Euratom. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 146)

Zusätzlich hat die WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association), deren Mitglied Belgien ist, 2014 harmonisierte Sicherheitsniveaus und -anforderungen an die Auslegungsbasis und erweiterte Auslegung für bestehende Reaktoren veröffentlicht.

Auf belgischer Ebene wurden die Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Unfälle im Königlichen Erlass (K.E.) vom 30. November 2011 zur Festlegung der Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen definiert und die notwendigen Anforderungen festgelegt (KÖNIGLICHER ERLASS 2012). Der K. E. wurde im Laufe der Jahre sowohl inhaltlich als auch terminologisch angepasst. Der K. E. vom 30. November 2011 ist die Umsetzung der Euratom-Richtlinie und der WENRA-Sicherheitslevel in belgisches Recht. Die neueste Version des K. E. von 2020 berücksichtigt Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Unfälle in Übereinstimmung mit den neuesten IAEA-Standards und der Euratom-Richtlinie. (KÖNIGLICHER ERLASS 2020). Diese beiden Unfallsituationen werden im Folgenden dargestellt.

Auslegungsstörfall

In Kapitel 3.3.2.1 von UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 147f) werden die Anforderungen an Auslegungsstörfälle beschrieben. Das Ziel der Auslegungsbasis im oben erwähnten K.E. ist es, Maßnahmen zu ergreifen, *„um sicherzustellen, dass die potenziellen radiologischen Folgen für die Bevölkerung, die Arbeitnehmer und die Umwelt die vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten und so niedrig wie vernünftigerweise möglich gehalten werden.“* Speziell in Bezug auf Unfälle gilt: *„Die Auslegungsbasis sollte sein, vorhersehbare Betriebsstörungen und Unfälle zu verhindern und, falls dies nicht gelingt, deren Folgen zu begrenzen.“*

Bei der Erstellung der Auslegungsbasis ist *„eine Liste aller mutmaßlichen auslösenden Ereignisse zu erstellen, die alle Ereignisse enthält, die die nukleare Sicherheit der Anlage beeinträchtigen können.“*

Zu den ausgewählten Ereignissen externen Ursprungs gehören mindestens folgende Ereignisse, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind:

- Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs;
- Unfälle, die durch Transport und industrielle Aktivitäten in der Umgebung verursacht werden, einschließlich Brände, Explosionen und andere plausible Bedrohungen für die Sicherheit von Kernanlagen.

Für Ereignisse externen Ursprungs, genauer gesagt für den Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linien- oder Militärflugzeugs, kann auch ein alternatives Ereignis in Betracht gezogen werden, aber ein angemessenes Schutzniveau muss durch die Gewährleistung angemessener Margen und die Verwendung

konservativer Methoden, Hypothesen und Argumente nachgewiesen werden. UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 148)

Auslegungsüberschreitender Unfall

In Kapitel 3.3.2.2 von UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 148ff) werden auslegungsüberschreitende Unfälle behandelt. Es wird dazu erklärt, dass der Entwurf der Erweiterung im K. E. darauf abzielt, die Sicherheit zu verbessern, „*indem die Fähigkeit verbessert wird, mit Störfällen oder Bedingungen umzugehen, die schwerer sind als die der Auslegungsbasis; indem, soweit vernünftigerweise praktikabel, radioaktive Ableitungen minimiert werden, die für die Öffentlichkeit und die Umwelt während solcher Störfälle oder Bedingungen schädlich sind.*“ (KÖNIGLICHER ERLASS 2020)

Der K. E. unterscheidet zwischen einer Analyse der DEC-A („Design Extension Conditions“ – A) und DEC-B:

- Die DEC-A-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um signifikante Brennstoffschäden und Bedingungen verhindern zu können, die zu vorzeitigen oder massiven radioaktiven Ableitungen führen könnten. Erhebliche Schäden durch die abgebrannten Brennelemente im Abklingbecken sind mit hoher Wahrscheinlichkeit als extrem unwahrscheinlich einzustufen, es sei denn, die Folgen können durch einen Einschluss ausreichend begrenzt werden.
- Die DEC-B-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden und Bedingungen abzuschwächen, die zu vorzeitigen oder massiven radioaktiven Ableitungen führen könnten, soweit solche Schäden oder Zustände nicht mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft wurden.

Im K. E. werden die auslegungsüberschreitenden Unfälle in Artikel 21 näher beschrieben. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 149f)

Dort heißt es, die Auswahl der Ereignisse für die Analyse der erweiterten Auslegungsanalyse basiert, wenn möglich, auf einer Überschreitungshäufigkeit, der Schwere des Unfalls oder auf anderen Parametern bezüglich des Unfalls. Weiterhin wird erklärt, die Analyse von auslegungsüberschreitenden Unfällen:

1. zeigt, dass ein ausreichender Spielraum in Bezug auf die „Cliff-Edge-Effekte“ besteht, die zum Verlust einer grundlegenden Sicherheitsfunktion führen könnten;
2. identifiziert und bewertet die robustesten Mittel zur Gewährleistung der grundlegenden Sicherheitsfunktionen;
3. trägt der Tatsache Rechnung, dass:
 - a. verschiedene redundante oder diversifizierte Gruppen eines Sicherheitssystems;
 - b. unterschiedliche Strukturen, Systeme und Komponenten;

- c. verschiedene Installationen des Standorts sowie die Infrastruktur des Standorts;
 - d. die umliegende Infrastruktur, externe Versorgung und andere Gegenmaßnahmen von den Ereignissen betroffen sein können;
4. zeigt, dass an Standorten mit mehreren Reaktorblöcken, die eine gemeinsame Nutzung von Geräten oder Dienstleistungen vorsehen, ausreichend Ressourcen verfügbar bleiben;
5. umfasst Kontrollen vor Ort so weit wie möglich.

Für Doel wurde auf der Grundlage einer probabilistischen Sicherheitsanalyse ein einziger einhüllender auslegungsüberschreitender Unfall identifiziert. Für dieses Szenario wird ein „Complete Station Black-Out“ (CSBO) mit Kernschmelze (entsprechend DEC-B) angenommen. Der auslegungsüberschreitende CSBO-Unfall schließt auch Unfälle externen Ursprungs ein, darunter den Absturz eines Flugzeugs auf das Kernkraftwerk. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 150)

Es wird abschließend erklärt, wenn die Abschaltung von Doel 1 und 2 verschoben wird, ist das Risiko eines Unfalls im Zeitraum 2015-2025 eindeutig größer als es bei der Abschaltung von Doel 1 und 2 wäre. In Anbetracht der im Rahmen des LTO- und BEST-Projekts durchgeführten Arbeiten ist jedoch festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen eines Unfalls seit 2019 in den Blöcken Doel 1 und 2 für die gleiche Menge an erzeugtem Strom geringer geworden sind als zuvor. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 173)

4.2 Diskussion und Bewertung

EU-Stresstest

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. Anders als im UVP-BERICHT (2021) erklärt, handelte es sich dabei nicht um eine vollständige Sicherheitsbewertung.

Der Nationale Aktionsplan (NACP) von Belgien, der zur Beseitigung der im EU-Stresstest identifizierten Mängel aufgestellt wurde, enthält etwa 600 standort- und reaktorspezifische Maßnahmen. (FANC 2012) Als er aufgestellt wurde, sollte der Großteil der geplanten Maßnahmen bis Ende 2013 umgesetzt werden. Eine Reihe dieser Maßnahmen waren Analysen, aus denen teilweise notwendige Nachrüstungen resultierten. Das vorgesehene Zieldatum für die Umsetzung aller Aktionen wurde nicht genannt.

Die belgische Aufsichtsbehörde veröffentlichte mehrere Aktualisierungen des NAcP. Im NAcP 2016 wurde erklärt: Im Laufe der Zeit wurden einige reaktorspezifische Maßnahmen im Zusammenhang mit Entscheidungen über den zukünftigen Betrieb der Reaktoren geändert oder (vorübergehend) gestoppt. Dies war der Fall bei den für Doel 1&2 geplanten Maßnahmen und teilweise bei den für Doel 3 und Tihange 2 geplanten Maßnahmen. (FANC 2016)

In den Jahren 2012-2013 beschloss die belgische Regierung, den Betrieb von Doel 1&2 im Jahr 2015 einzustellen. Der NAcP wurde für diese beiden Reaktoren entsprechend geändert, da bestimmte Maßnahmen angesichts der Abschalt- und Stilllegungspläne unnötig geworden waren. Im Jahr 2014 beschloss die belgische Regierung, für diese beiden Reaktoren doch eine 10-jährige Laufzeitverlängerung zuzulassen. Für Doel 1&2 wurde ein spezieller Long Term Operation (LTO) Plan aufgestellt. Dieser LTO-Aktionsplan beinhaltet alle verbleibenden Stresstest-Aktionen für Doel 1&2.

Die Atomaufsichtsbehörde FANK erklärte im NAcP von 2019, dass die Überprüfung und Bewertung etwas langsamer als erwartet voranschreitet. Als Gründe wurden die Arbeitsbelastung sowohl des Lizenznehmers als auch der Aufsichtsbehörde angegeben, ausgelöst durch die Sicherheitsereignisse im Jahr 2018 (auch in Doel 1, siehe Kapitel 4.2) und durch den Langzeitbetrieb von Tihange 1 oder Doel 1&2, die für beide Organisationen ressourcenintensiv sind. (FANC 2019b)

Im September 2020 wurde der Abschlussbericht des NAcP veröffentlicht, darin wird erklärt, dass Electrabel den NAcP bis Mitte 2020 fertiggestellt hatte. Die belgischen Aufsichtsbehörden (FANK und Bel V) erklärte den NAcP für abgeschlossen. (FANC 2020)

Im Stresstest wird auch der als auslegungsüberschreitende Unfall im UVP-BERICHT (2021) betrachtete Unfall behandelt:

Ein kompletter Stations-Black-Out (CSBO) besteht in einem Verlust der externen Stromversorgung und der internen Stromversorgungen der ersten und zweiten Ebene. Die Stresstests ergaben sehr kurze Eingreifzeiten, z. B. für Doel 1&2: Bei einem totalen SBO bleibt kurzfristig nur die Turbopumpe des Hilfsspeisewassersystems (AFW) zur Einspeisung von Wasser in die Dampferzeuger (SG) verfügbar. Nach 90 Minuten setzt der erste Cliff-Edge-Effekt ein: Die Hilfsspeisewasserbehälter sind leer, der SG kann nur noch für einige Stunden den Primärkreis kühlen. Es gibt nur begrenzte Möglichkeiten, den AFW-Behälter wieder aufzufüllen. Fällt die Kühlung aus, beginnt der Primärkreislauf zu kochen und verliert stetig an Wasservolumen. Dies führt zur Freilegung und später zum Schmelzen des Brennstoffs, zur Verlagerung des Coriums zum Boden des Reaktordruckbehälters (RDB) und zum Durchbrechen des Bodens des RDB. Ohne Eingreifen des Betreibers dauert dieser Vorgang zwischen 2 und 3 Stunden.

Um dieses Szenario zu verhindern, hat sich Electrabel verpflichtet, nicht-konventionelle Mittel (im Wesentlichen mobile Geräte) einzusetzen:

- um die Dampferzeuger und die Becken für abgebrannte Brennelemente wieder zu füllen,

- um die Nachspeisung für den Primärkreislauf in offener Konfiguration zu gewährleisten,
- um den Überdruck im Reaktorgebäude zu vermeiden,
- die elektrische Versorgung der Instrumentierung und der Schalttafeln wiederherzustellen, und
- um den Notdruckluftkreislauf betriebsbereit zu machen.

Einige weitere Ergebnisse des Stresstest bezüglich der Verhinderung von Unfällen bzw. Milderung ihrer Auswirkungen:

- Auch der "Verlust der primären und alternativen Wärmesenke" ist ein auslegungsüberschreitender Störfall. Zur Vermeidung von Cliff-Edge-Effekten wurden vom Lizenznehmer mehrere Maßnahmen vorgeschlagen. Einige davon ähneln den CSBO-Maßnahmen, wie z. B. die Verwendung nicht konventioneller Mittel zum Nachfüllen der Dampferzeuger und der Becken für abgebrannte Brennelemente, zur Sicherstellung der Nachspeisung für den Primärkreislauf in offener Konfiguration oder zur Vermeidung des Überdrucks im Reaktorgebäude.
- Es wurde auch ein neues Feuerwehrfahrzeug angeschafft, das multifunktional ist und auch die Rolle einer mobilen Pumpe und eines Tankwagens zum Transport von Dieselmotorkraftstoff übernehmen kann. (FANC 2014)
- In Doel 1&2 wurde 2014-2015 die alternative Wasserversorgung für die Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente (SFP) mit zusätzlichen Düsen, Anschlüssen und mobilen Pumpen in Betrieb genommen.
- Es sollte eine Studie durchgeführt werden, um das Restrisiko der Wasserstoffakkumulation in den Gebäuden der abgebrannten Brennelementbecken zu bewerten. Eine von Electrabel durchgeführte Studie zeigt, dass kein Explosionsrisiko aufgrund der Ansammlung von Wasserstoff in den Brennelementlagerbecken-Gebäuden besteht. (FANC 2014) Im Jahr 2012 hatte das Peer Review Team empfohlen, die Installation von passiven autokatalytischen Wasserstoffrekombinatoren (PARs) zu erwägen, unabhängig vom Ergebnis der Studie des Lizenznehmers. Ob FANC die Installation von PARs forderte, wie es das Peer Review Team empfohlen hatte, ist nicht bekannt.
- Bei einem schweren Unfall, wenn der Kern durch den Reaktordruckbehälter geschmolzen ist und die Nachwärmeabfuhr versagt hat, steigt der Druck im Sicherheitsbehälter an. Nur eine Entlüftung könnte ein Containmentversagen verhindern. Die gefilterte Containment-Entlüftung gilt seit einigen Jahrzehnten als Stand der Technik, aber keines der belgischen KKW war 2011 mit einem gefilterten Entlüftungssystem ausgestattet. Gefilterte Containment-Entlüftungssysteme wurden im LTO-Aktionsplan integriert).
- Als Folge des Fukushima-Unfalls wurde eine Studie zur Modifizierung und Stärkung der Notfallmanagement-Organisation gestartet, um "Multi-Block"-Ereignisse in Doel und Tihange zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang wurden mehrere Verfahren modifiziert, um die Reaktion des Betreibers zu verbessern. Viele Verbesserungen waren nur die Einführung neuer Verfahren.

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)

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) ohne signifikantem Kernschaden sollen eine Wahrscheinlichkeit von 10^{-4} bis 10^{-6} pro Jahr haben.
- Design Extension Conditions mit Kernschmelze 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.

Kernschadenhäufigkeiten lassen sich nicht gut vergleichen, da der Umfang der Analysen von Kraftwerk zu Kraftwerk – selbst im selben Land – variieren kann. Hinzu kommen die inhärenten Unsicherheiten der Methode.

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)

Entwicklung von probabilistischen Sicherheitsanalysen in Belgien

Laut FANC (2019a) sollten die Aktualisierungen der PSA-Modelle für interne Ereignisse der Stufen 1 und 2 bis 2020 abgeschlossen sein. Diese Aktualisierungen berücksichtigen eine Auswahl von Modellierungsverbesserungen, die aus der Periodischen Sicherheitsüberprüfung stammen, sowie Anlagendaten und -konfiguration für den Anlagenstatus Ende 2017. Mobile und tragbare Ausrüstung, die nach den Stresstests installiert wurde, wird in der PSA-Modellierung berücksichtigt.

PSA-Modelle der Stufe 1 für Brand und Überschwemmung wurden für alle Reaktoren erstellt, um die Anforderungen der WENRA-Referenzlevel von 2008 zu erfüllen. Ein Aktionsplan zur Verbesserung der Brandsicherheit, der die durch die Brandgefahrenanalyse (FHA) und die Brand-PSA identifizierten Maßnahmen kombiniert, sollte bis 2020 umgesetzt werden. Dieser Aktionsplan umfasst Hardware-Verbesserungen wie die Installation zusätzlicher Feuermelder, Feuerlöscher und Sprinkler, die Verbesserung der physischen Trennung in bestimmten Gebäuden, eine zusätzliche Feuerlösch-Pumpstation, die Beschichtung und Neuverlegung von Kabeln sowie Verfahrens- und Arbeitsprozessverbesserungen.

Erst seit 2011 ist die Entwicklung von Level-1- und Level-2-PSA-Modellen für interne Ereignisse (einschließlich interner Brand- und Überflutungsereignisse) für KKW durch die belgische Gesetzgebung vorgeschrieben.

Nach dem Unfall in Fukushima Daiichi wurden an jedem Standort mehrere Sicherheitsverbesserungen vorgenommen, die jedoch noch nicht in den aktuellen PSA-Modellen berücksichtigt sind. Die letzten PSA-Modelle der Stufe 2 gelten für die Auslegung zu Beginn des Jahres 2010. Alle PSA-Modelle der Stufe 2 beinhalten die Identifizierung von Containment-Versagensarten und radioaktiven Freisetzungskategorien.

In NEA (2020) wurde angegeben, dass in den PSA 2 Analysen für Doel 1&2 ermittelt wurde, dass 40 % der Kernschmelzunfälle ein Containmentversagen verursachen. Die Phänomene dafür sind Durchschmelzen des Fundaments, Containment-Bypass und Ex-Vessel-Dampfexplosion. Weiterhin wird erklärt, dass 12 % der Kernschmelzunfälle zu einer „nicht kleinen“ frühen Freisetzung und 63 % zu einer „nicht kleinen“ späten Freisetzung führen. „Nicht klein“ ist definiert als Freisetzungen von mehr als 0,01 % des Kerninventars. Diese Analysen beziehen sich auf den Anlagenstand von 2010. Die seitdem erfolgten Sicherheitsverbesserungen und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse der PSA sind nicht bekannt und sollten im Rahmen des UVP-Verfahrens dargestellt werden.

Laut UVP-BERICHT (2021) verbessert sich nach Umsetzung der LTO-Maßnahmen (des Projekts) die nukleare Sicherheit. Die Aktualisierung der probabilistischen Sicherheitsstudie (PSA) zeigt, dass sich die Kernschmelzfrequenz (CDF) mehr als halbiert hat. Insbesondere das *Filtered Containment Venting Systems* reduziert die Wahrscheinlichkeit einer radioaktiven Ableitung infolge eines möglichen Störfalls. In den UVP-Dokumenten sind Angaben über Ergebnisse der PSA, d. h. Angaben zu Häufigkeiten für Kernschadensfälle (CDF) und große Freisetzungen (LRF) als Beleg dieser Aussage 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.

Unter Sicherheitsgesichtspunkten ist es außerdem wenig aner kennenswert, dass die Reduzierung der CDF durch eine seit Jahren bzw. Jahrzehnten überfällige Nachrüstung erfolgte.

Quellterme und Ermittlung der Auswirkungen

Im UVP-Dokument fehlt die Angabe eines Quellterms, der für die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen nach einem schweren Unfall in der UVP verwendet werden soll.

Als auslegungsüberschreitendes Ereignis zur Ermittlung der radiologischen Auswirkungen wird das Szenario *Complete Station Black-Out* (CSBO) verwendet. In diesem Fall wird angenommen, dass sich der Störfall mit dem Schmelzen der Brennstäbe im Reaktorkern, dem Bruch des Behälters, dem Druckaufbau im Primärcontainment und letztlich bis zur Freisetzung des gesamten vorhandenen radioaktiven gasförmigen Materials durch die Filter des *Filtered Containment Venting Systems* (FCVS) in die Umgebung ereignet. Es wird nicht erklärt, wieso dieses Szenario als abdeckendes Ereignis aufgefasst wird. So wird zum Beispiel nicht erklärt, warum kein Durchschmelzen des Fundaments zu unterstellen ist. Einrichtungen zur Verhinderung eines derartigen Unfallszenarios mit späten großen Freisetzungen sind nicht vorhanden.

Zu den in den Störfallanalysen betrachteten Ereignissen externen Ursprungs gehören laut UVP-BERICHT (2021) auch der Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs. Es wird aber erklärt, dass für diese Ereignisse auch ein alternatives Ereignis in Betracht gezogen werden kann.

In UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021) wird ebenfalls erklärt, dass auf der Grundlage einer PSA ein einziger einhüllender auslegungsüberschreitender Unfall identifiziert wurde. Für dieses Szenario wird ein „Complete Station Black-Out“ (CSBO) mit Kernschmelze angenommen. Der auslegungsüberschreitende CSBO-Unfall schließt auch Unfälle externen Ursprungs ein, darunter den Absturz eines Flugzeugs. Es wird erklärt, dass dieses Unfallszenario DEC-B entspreche. Das ist wenig nachvollziehbar, denn eine DEC-B-Analyse zielt darauf ab, vernünftige machbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden und 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. Weder sind Maßnahmen zum Schutz vor signifikanten Schäden durch einen Flugzeugabsturz genannt, noch können solche Schäden mit hohem Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft werden.

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, insbesondere ausgelöst durch einen Flugzeugabsturz ist nicht belegt und sollte im Rahmen des UVP-Verfahrens nachgewiesen werden. Ansonsten sollten die Auswirkungen eines schweren Unfalls mit Versagen des Containments betrachtet werden.

Für die Abschätzung der maximalen möglichen Auswirkungen auf Österreich im Fall eines Unfalls mit Kernschmelze wäre zudem ein Containment-Bypass Szenario zu unterstellen.

Die in der UVP zu verwendenden (abdeckenden) Quellterme sollten auf Basis von vorhandenen Unfallanalysen bzw. PSA-Ergebnissen belegbar sein. In jedem Fall sollte die UVP 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 Doel 1&2 nicht geplant und auch nicht von der Aufsichtsbehörde gefordert.

Der Aktionsplan für die Umsetzung der WENRA RL 2014 zeigt, dass es für Doel 1&2 nicht geplant ist, Maßnahmen entsprechend DEC-B umzusetzen. (FANC 2019a)

Soweit es aus den UVP-Dokumenten zu entnehmen ist, wird für das grenzüberschreitende UVP-Verfahren zwar ein auslegungsüberschreitender Unfall entsprechend DEC-B analysiert, aber ohne, dass entsprechende Sicherheitsverbesserungen für Doel 1&2 umgesetzt wurden.

4.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Die Ergebnisse der EU-Stresstests haben Mängel des Severe Accident Managements (SAM) in den belgischen KKW aufgezeigt. Im Rahmen des Nationalen Aktionsplans wurden zahlreiche Abhilfemaßnahmen umgesetzt. Diese bestanden zum Teil aber nur in der Beschaffung mobiler Geräte, die eingesetzt werden sollen, um einen schweren Unfall zu verhindern oder seine Folgen zu mindern.

Laut UVP-BERICHT (2021) verbessert sich nach Umsetzung der LTO-Maßnahmen die nukleare Sicherheit. Die Aktualisierung der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) zeigt, dass sich die Kernschadensfrequenz, insbesondere durch die Nachrüstung der Filtered Containment Venting Systeme (FCVS), mehr als halbiert hat. Angaben zu Häufigkeiten für Kernschadensfrequenz (CDF) und große Freisetzungen (LRF) werden im UVP-BERICHT (2021) nicht genannt. Zudem sind die in der PSA ermittelten Häufigkeiten lediglich als grober Risiko-Indikator zu verstehen. Ergebnisse der PSA sollten grundsätzlich nur ergänzend zu deterministischen Überlegungen als Kriterien für ausreichende Sicherheit herangezogen werden. Unter Sicherheitsgesichtspunkten ist es außerdem wenig anerkanntenswert, dass die Reduzierung der CDF durch eine seit Jahren bzw. Jahrzehnten überfällige Nachrüstung eines FCVS erfolgte.

Als auslegungsüberschreitender Unfall zur Ermittlung der radiologischen Auswirkungen wird das Szenario Complete Station Black-Out (CSBO) verwendet. Es wird nicht erklärt, wieso dieses Szenario als abdeckendes Ereignis aufgefasst

wird. So wird zum Beispiel nicht erklärt, warum kein Durchschmelzen des Fundaments zu unterstellen ist. Einrichtungen zur Verhinderung eines derartigen Unfallszenarios mit späten großen Freisetzungen sind nicht vorhanden.

Laut UVP-BERICHT (2021) resultiert der Quellterm des schweren Unfalls, der als abdeckender schwerer Unfall bezeichnet wird, aus einem Kernschmelzunfall, jedoch unter der Annahme der Erhaltung der Integrität des Containments. Der Erhalt der Containments während eines Unfalls, insbesondere ausgelöst durch einen Flugzeugabsturz, ist nicht belegt und sollte im Rahmen des UVP-Verfahrens nachgewiesen werden. Ansonsten sollten die Auswirkungen eines schweren Unfalls mit Versagen des Containments betrachtet werden.

Es gibt einige Unfallszenarien, die die Integrität des Sicherheitsbehälters gefährden könnten, so dass große Freisetzungen möglich sind. In NEA (2020) wurde angegeben, dass in den PSA 2 Analysen für Doel 1&2 ermittelt wurde, dass 40 % der Kernschmelzunfälle ein Containmentversagen verursachen. Die Phänomene dafür sind Durchschmelzen des Fundaments, Containment-Bypass und Ex-Vessel-Dampfexplosion. Diese Analysen beziehen sich auf den Anlagenstand von 2010. Die seitdem erfolgten Sicherheitsverbesserungen und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse der PSA sind nicht bekannt und sollten im Rahmen des UVP-Verfahrens dargestellt werden.

Die Störfallanalysen im UVP-Verfahren sollten einen möglichen Quellterm verwenden, der aus der Berechnung der aktuellen PSA 2 abgeleitet ist. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit von schweren Unfällen mit einer frühen und/oder großen Freisetzung für die bestehenden Anlagen als sehr gering eingeschätzt wird, sind die Folgen dieser Unfälle sehr schwerwiegend.

In jedem Fall sollte der UVP-Bericht eine nachvollziehbare Begründung für den verwendeten Quellterm enthalten. Um die Folgen von BDBAs beurteilen zu können, ist es notwendig, eine Reihe von schweren Unfällen zu analysieren, einschließlich solcher mit Containment-Versagen und Containment-Bypass. Derartige schwere Unfälle sind für Doel 1&2 möglich.

Die WENRA „Safety Objectives for New Power Reactors“ sollten als Referenz für die Identifizierung von vernünftigerweise durchführbaren Sicherheitsverbesserungen für Doel 1&2 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 Doel 1&2 im UVP-BERICHT (2021) nicht erwähnt.

4.3.1 Fragen

- **F18:** *Wie lauten die Quellterme der in der PSA Level 2 berechneten auslegungsüberschreitenden Unfälle?*
- **F19:** *Was ist die technische Begründung für den BDBA, der für die Berechnung möglicher grenzüberschreitender Auswirkungen gewählt wird? Wieso wird dieser Unfall als abdeckend – auch für den Absturz eines Flugzeugs – angesehen?*
- **F20:** *Wie soll ein Durchschmelzen des Fundaments infolge eines Kernschmelzunfalls verhindert werden?*
- **F21:** *Warum wird im Rahmen der UVP kein Unfallszenario mit Containment-Bypass berechnet?*
- **F22:** *Wurde im Rahmen des UVP-Verfahrens der Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs analysiert oder wurde stattdessen ein alternatives Ereignis in Betracht gezogen? Welche Flugzeuge wurden als repräsentativ bestimmt?*
- **F23:** *Ist bereits und wird 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?*

4.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE6:** Es wird empfohlen, die WENRA-Sicherheitsziele für neue KKW zu verwenden, um vernünftig machbare Sicherheitsverbesserungen für Doel 1&2 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 (Level 1 und 2) bereitzustellen, um nachvollziehbar beurteilen zu können, ob Österreich potenziell betroffen ist:
 - Kernschadenshäufigkeit (CDF) und Häufigkeit großer (früher) Freisetzungen (L(E)RF)
 - Beitrag interner Ereignisse sowie interner und externer Gefährdungen zu CDF und L(E)RF
 - Anteil der Kernschmelzunfälle, die zum Containmentversagen führen
 - Liste der auslegungsüberschreitenden Störfälle (BDBAs) und der zugehörigen Quellterme
 - Quellterme der BDBAs einschließlich Freisetzungen aus den Brennelementlagerbecken

- Zeitspannen zur Wiederherstellung der Sicherheitsfunktionen nach dem Verlust der Wärmeabfuhr und/oder Stations-Blackout und Cliff Edge-Effekten.
- Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle oder zur Minderung ihrer Folgen ergriffen wurden

5 UNFÄLLE DURCH EXTERNE EREIGNISSE

5.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

Bewältigung von Auslegungsstörfällen

Die den österreichischen Expert_innen zur Verfügung stehenden Dokumente enthalten nur sehr allgemeine Informationen über die Auslegung des KKW Doel 1&2 gegen die Einwirkung von Naturgefahren und den Schutz der Anlagen gegen solche Einwirkungen (z. B. UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 109). Die Unterlagen enthalten keine umfassenden und systematischen Informationen über Naturgefahren, die Doel 1&2 betreffen können. Einige Informationen über Überflutungsgefahren und meteorologische Gefährdungen sind in der Diskussion der erwarteten Auswirkungen der globalen Klimaveränderung auf die Sicherheit der Anlage in UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 107) enthalten.

Seismische Gefährdung (Erdbeben): ZUSAMMENFASSUNG (2021, S. 11) erwähnt, dass im Rahmen des Laufzeitverlängerungsprojekts (Project Long Term Operation, LTO) Maßnahmen zur seismischen Ertüchtigung der Feuerbekämpfungssysteme implementiert werden sollen.

In Bezug auf sicherheitsrelevante Schutzeinrichtungen zählt der UVP-BERICHT (2021, Kapitel 1, S. 35-36; Kapitel 3, S. 102, 104) eine Anzahl von Verbesserungen für Doel 1&2 auf, die sich aus dem LTO Projekt ergeben haben:

- Verbunkerte Notsysteme zur Aufrechterhaltung des Wasserpegels im Reaktorkreislauf, Aufrechterhaltung der Unterkritikalität des Reaktors, Abführung der Nachwärme, Notfallleitstelle;
- Bewertung und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben;
- Verbesserung der seismischen Widerstandsfähigkeit verschiedener Systeme.

Überflutung durch Flusshochwasser: Die wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Minimierung der Überflutungsgefährdung sind die erhöhte Lage des Standorts und der Deich, der den Standort zum Fluss Schelde begrenzt. Beim Bau des KKW wurde eine Plattform auf der Höhe von 8,86 m TAW¹² errichtet. Der Deich, der den Standort vor der Schelde schützt, hat eine Höhe von 12,08 m. Das Auslegungshochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren wurde ursprünglich mit 9,13 m TAW festgelegt und später auf 9,35 m TAW erhöht. Dieser Wert liegt deutlich unter der Höhe des Scheldedeichs. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 107) Alle Strukturen, Systeme und Komponenten sind daher gegen das Auslegungshochwasser geschützt. Die Deichhöhe wird auch im Zusammenhang mit dem erwarteten klimawandelbedingten Meeresspiegelanstieg als ausreichend angesehen.

Bei Fluthöhen des Auslegungshochwassers wird die Plattform mit dem Kühlwassereinlauf für Doel 1&2, die außerhalb des Deiches liegt, überflutet. Dies

¹² TAW: tweede algemene waterpassing / second general leveling

führt dazu, dass die primäre Kühlquelle, die Schelde, nicht mehr zur Verfügung steht. In diesem Fall kann die Kühlung durch eine alternative Kühlquelle, den Rohwasserkreislauf, ersetzt werden, die sich am Standort im Schutz des Deiches befindet.

UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 107) erwähnt außerdem, dass ein Versagen des Deiches an der "kritischsten Stelle" mit einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 1.700 Jahren erfolgen kann. In diesem Fall kann die Fluthöhe am Standort bis zu 60 cm Wassertiefe erreichen.

Wellenbedingtes Überlaufen des Deiches wird mit einer Wiederkehrperiode von 200 bis 300 Jahren erwartet. Für die Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren wird mit einer Überflutung des Standortes mit durchschnittlich 10 cm Höhe gerechnet, wobei der Wasserspiegel diesen Wert lokal überschreiten kann. Es wird weiters erwartet, dass solche Wasserstände zur Überflutung einiger Gebäude führen werden, ohne allerdings Sicherheitsfunktionen zu beeinträchtigen.

Bei einem Deichbruch würden weitere Bereiche des Standorts überschwemmt. Es wird zwar festgehalten, dass „die zweite Sicherheitsebene unter allen Umständen eingehalten“ wird, trotzdem sind Maßnahmen wie die Errichtung permanenter Barrieren mit „einigen Dutzend Zentimetern Höhe“ an kritischen Gebäudeeingängen geplant, um sicherheitsrelevante Einrichtungen zu schützen.

Im Falle eines Deichbruchs besteht außerdem die Möglichkeit, dass der Standort Doel zu einer Insel wird. Für diesen Fall existieren Notfallpläne zur Sicherung des Zugangs zur Anlage und zur Kraftstoffversorgung von Sicherheitssystemen und Notstromdiesel.

Extreme Niederschläge: Der UVP-BERICHT (2021, Kapitel 2, S. 46-47) vermerkt, dass Doel 1&2 kein eigenes System zur Drainage von Niederschlagswasser besitzt. Niederschläge werden in fünf Schächten gesammelt, die mit Tauchpumpen ausgerüstet sind. Letztere pumpen das gesammelte Wasser in die Schelde. Das zitierte Dokument gibt an, dass die Schächte relativ häufig, nämlich an 14 bis 46 Tagen im Jahr, überlaufen.

UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 108) ergänzt die Darstellung durch die Erwähnung von Daten, die auf eine Erhöhung der Intensität von extremen Niederschlagsereignissen in der jüngsten Vergangenheit hinweisen. Außerdem wurde die Kapazität des Drainagesystems bei Starkregen, die einem 100-jährigen Ereignis entsprechen, wiederholt überschritten. Dies führte zu lokalen und temporären Überflutungen des Standortes. Von diesen sei jedoch keine Bedrohung „kritischer“ Funktionen des KKW ausgegangen.

Niederschlagssimulationen zeigen, dass Überflutungen des Standorts durch Starkregen relativ häufig erwartet werden. (UVP-BERICHT 2021, Kapitel 2, S. 82, Abbildungen 2-29 and 2-30) Gezeigt werden Simulationen für Starkregen mit Wiederholungszeiträumen von 10, 100 und 1.000 Jahren. Die Ergebnisse und die Erwartung, dass der Klimawandel zu einem weiteren Anstieg der Häufigkeit von Extremereignissen führen wird, führen zur Empfehlung, die Kapazität des Drainagesystems zu erhöhen. Die genannten Beobachtungen und Simulationen

dürften außerdem zur Planung weiterer Maßnahmen zum Schutz von Untergeschoßen, die sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten enthalten, geführt haben. Die geplanten Maßnahmen sind Teil des Projekts „Long Term Operation (LTO)“, das aus der 4. Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) resultiert. Das Programm wird in den verfügbaren Unterlagen nicht im Detail vorgestellt.

Klimawandel: Als Auswirkungen des Klimawandels werden eine mögliche Erhöhung des Überflutungsrisikos durch die Schelde und erhöhte Spitzenwerte von Niederschlägen genannt (NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG 2021, S. 29). Entsprechende Analysen sollen jedoch zeigen, dass der Standort in Bezug auf Überschwemmungen und extremes Wetter, die über die für das Jahr 2025 zu erwartende Situation hinausgehen, vor 10.000-jährigen Überschwemmungen durch die Schelde geschützt ist.

Sturm: UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 109) gibt die Auslegungsgrundlage für die Gefährdung durch Stürme mit einer Windgeschwindigkeit von 49 m/s an und bemerkt, dass solche Werte in Belgien bisher nicht erreicht wurden. Es wird darauf hingewiesen, dass sicherheitsrelevante Gebäude für noch höhere Windlasten ausgelegt sind. Extreme Windgeschwindigkeiten können zum Verlust der Stromversorgung von außen (Loss of Offsite Power, LOOP) führen. Eine solche Situation gefährdet die Kühlung des Brennstoffs jedoch weder bei Normalbetrieb noch im Stillstand der Anlage.

Tornado: Die Auslegungsgrundlage der Blöcke Doel 1&2 gegen Belastungen durch Tornados ist geringer als die Auslegung der Anlagen Doel 3&4, die für einen stärkeren „Referenztornado“ ausgelegt sind. (UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 109) Es wird jedoch erwartet, dass sicherheitsrelevante Gebäude höheren Belastungen als dem Referenztornado standhalten. Starke Tornados können zum teilweisen oder vollständigen Verlust der Stromversorgung von außen (LOOP), zum vollständigen Stromausfall in der Anlage (Station Blackout, SBO) und zum Verlust der primären Kühlungsquelle führen.

Hohe Temperaturen: In Bezug auf die durch den Klimawandel erwartete Erhöhung der Luft- und Kühlwassertemperaturen erwähnt UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 109), dass diese Effekte Auswirkungen auf die Stromproduktion von Doel 1&2 haben können. Die Temperaturerhöhung kann neue Richtlinien notwendig machen, um die Temperatur des in die Schelde eingeleiteten Kühlwassers innerhalb der erlaubten Grenzwerte zu halten. Extreme Temperaturen sind in der Auslegungsgrundlage der Anlage berücksichtigt. (UMWELTAUSWIRKUNGEN, 2021, S. 109) Die Parameter wurden auf der Grundlage von statistischen Auswertungen der lokalen Verhältnisse festgelegt. Es wird argumentiert, dass Perioden mit extremen Temperaturen vorhersehbar sind, und ihre Auswirkungen daher mit administrativen Maßnahmen begrenzt werden können. Es wird jedoch festgehalten, dass es unklar ist, ob die bestehenden Regelungen auch dem erwarteten jüngsten Anstieg der Durchschnittstemperatur und dem Auftreten von häufigeren und längeren Hitzewellen Rechnung tragen.

Auslegungsüberschreitende Unfälle

Für Doel 1&2 wurde ein auslegungsüberschreitender Störfall analysiert, der repräsentativ für alle anderen, durch Einwirkungen von außen ausgelösten auslegungsüberschreitenden Störfälle sein soll. Es handelt sich um die Annahme eines Unfalls mit Kernschmelze (Design Extension Conditions DEC-B nach WENRA 2021), dessen erstes Ereignis ein vollständiger Ausfall der elektrischen Energieversorgung (Station Blackout, SBO) ist, ohne Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen oder Eingriffen seitens des Bedienpersonals oder des Notfallplans. Es wird angenommen, dass sich der Störfall mit dem Schmelzen der Brennstäbe im Reaktorkern, dem Bruch des Behälters, dem Druckaufbau im Primärcontainment bis zum Auslegungsdruck der gefilterten Ventilationsöffnung und letztlich bis zur Freisetzung des gesamten vorhandenen radioaktiven gasförmigen Materials durch die Filter des Filtered Containment Vent (FCV) in die Umgebung verschärft. Für diesen repräsentativen, auslegungsüberschreitenden Störfall wurden die radiologischen Folgen bewertet.

5.2 Diskussion und Bewertung

Bewältigung von Auslegungsstörfällen

Die den österreichischen Expert_innen vorliegenden Unterlagen enthalten keine systematische Bewertung von Naturgefahren, die das KKW Doel 1&2 betreffen. Die Erwähnung von Naturgefahren beschränkt sich auf Beispiele einiger weniger extremer meteorologischer Ereignisse, Überflutungen durch den Fluss Schelde, die fast alle im Kontext mit dem Klimawandel behandelt werden, und sehr wenige Erwähnungen von seismischen Gefahren (NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG 2021, S. 29; UMWELTAUSWIRKUNGEN 2021, S. 10z ff.; 9 UVP-BERICHT 2021, Kapitel 3, S. 100).

Es ist nicht nachvollziehbar, ob bzw. in welchem Ausmaß standortspezifische Naturgefahren im Rahmen der 4. Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) oder im Rahmen des Projekts LTO behandelt wurden. WENRA (2021) fordert, mögliche Einwirkungen von Naturgefahren regelmäßig, mindestens jedoch im Rahmen der 10-jährigen PSÜs zu überprüfen (WENRA 2021, Issue P; WENRA, 2015). Die Ergebnisse der Überprüfung sollen gegebenenfalls zur Anpassung der Auslegungsgrundlage (Design Basis) der Anlage führen und in die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle einfließen (WENRA 2015, 2021). Aus den vorliegenden Unterlagen ist jedoch nicht ersichtlich, ob dieser Prozess für Einwirkungen von Naturgefahren im Rahmen der PSÜ und/oder des Projekts LTO durchgeführt wurde.

Die wenigen, in den UVP-Dokumenten angesprochenen möglichen Auswirkungen von Naturgefahren werden wie folgt eingeschätzt:

Seismische Gefährdung (Erdbeben): Die verfügbaren Dokumente enthalten keine Informationen zur Erdbebengefährdung und der seismischen Sicherheit

der Anlagen Doel 1&2. Den Expert_innen ist aus anderen Quellen bekannt, dass für den Standort Doel nach den Europäischen Stress Tests Neubewertungen der Erdbebengefährdung vorgenommen wurden (FANC 2020). Aus den UVP-Dokumenten geht jedoch nicht hervor, ob die Ergebnisse der Gefährdungsanalysen in das Programm LTO eingeflossen sind und ob allenfalls notwendige Nachrüstungen des KKW erfolgt sind bzw. für die Laufzeitverlängerung vorgeschrieben wurden.

Extreme Niederschläge: Simulationen von Starkregenereignissen zeigen, dass Überflutungen des Standorts schon von häufigen Ereignissen mit Wiederholungszeiträumen von 10 und 100 Jahren ausgelöst werden. (UVP-BERICHT 2021, Kapitel 2, S. 82, Abbildungen 2-29 und 2-30) Aus den UVP-Dokumenten kann geschlossen werden, dass die Drainage des Standorts durch Sammelschächte und Tauchpumpen unzureichend ist. Die Kapazitäten des Systems wurden in der Vergangenheit regelmäßig, an bis zu 46 Tagen im Jahr zwischen 2015 und 2019, überschritten. UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 108) beschreibt, „*dass die Abflusskapazität der Kanalisation bei Starkregen (Wiederkehrperiode 100 Jahre) lokal, an wenigen Stellen und für einen begrenzten Zeitraum überschritten wurde.*“ Die Formulierung legt außerdem nahe, dass Starkregen mit 100-jähriger Wiederkehrperiode am Standort mehrfach aufgetreten sind. Die mittlere Wiederkehrperiode der Ereignisse, die die Kapazität des Drainagesystems übersteigen, dürfte daher deutlich kleiner als 100 Jahre sein. Es ist somit möglich, dass die Intensität und Häufigkeit von Starkregenereignissen deutlich unterschätzt werden. Daten oder Angaben zu Überflutungen durch extreme Niederschläge mit einem Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren, wie sie von WENRA (2016a, 2021¹³) gefordert werden, fehlen.

Die beobachteten lokalen Überschwemmungen bei Starkregen und die Erwartung, dass solche Ereignisse durch den Klimawandel häufiger werden, führt die UVP-Dokumente zur Empfehlung, die Kapazität des Drainagesystems zu erhöhen. Die Maßnahmen werden hauptsächlich im Zusammenhang mit der Vermeidung von Schadstoffeintrag in den Schelde-Fluss diskutiert. Mögliche Auswirkungen von extremen Niederschlägen auf die Sicherheit der Reaktoren, etwa durch Überflutung von Untergeschoßen, die sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten enthalten, werden nicht diskutiert. Die verfügbaren UVP-Dokumente enthalten auch keine Information über getroffene Entscheidungen und Zeitpläne für den Ausbau des Drainagesystems.

Sturm: Aus den UVP-Dokumenten geht nicht hervor, ob die Auslegungsgrundlage für Windlasten von 49 m/s Stürmen mit einem Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren entspricht. (WENRA 2016a, 2021)

Tornado: UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021, S. 109) enthält keine detaillierte Angabe über die Auslegungsgrundlage für Tornados, auch auf die Gründe für die unterschiedliche Auslegung von Doel 3&4 und Doel 1&2 wird nicht eingegangen. Es ist nicht klar, warum Doel 1&2 nicht für die höheren Belastungen, die für

¹³ WENRA Reference Levels Issue TU, External Hazards

das benachbarten KKW Doel 3&4 gelten, ausgelegt ist oder für solche Belastungen nachgerüstet wurde. Es ist auch unklar, ob die Auslegungsgrundlage in Übereinstimmung mit den Anforderungen von WENRA (2016a, 2021) bestimmt wurde.

Hohe Temperaturen: Die vorliegenden UVP-Dokumente enthalten weder Angaben über die Auslegungsgrundlage der Anlagen noch über das Ausmaß der erwarteten Zunahme extremer Temperaturen durch Klimawandel. Mögliche Auswirkungen extrem hoher Luft- und Kühlwassertemperaturen werden ausschließlich im Zusammenhang mit den ökologischen Auswirkungen der Einleitung des erwärmten Kühlwassers in die Schelde diskutiert. Mögliche Auswirkungen auf die Sicherheit der Reaktoren werden nicht erörtert. Zudem bleibt unklar, ob bzw. welche Auslegungsgrundlagen für extreme Temperaturen in Übereinstimmung mit WENRA (2016a, 2021) festgelegt wurden.

Auslegungsüberschreitende Unfälle

Informationen über die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle beschränken sich auf eine angenommene Unfallabfolge, die repräsentativ für alle anderen, durch Einwirkungen von außen ausgelösten auslegungsüberschreitenden Störfälle sein soll. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Freisetzung des gesamten vorhandenen radioaktiven gasförmigen Materials durch die Filter des Filtered Containment Vent erfolgt. Das Szenario setzt voraus, dass das Containment und die Filtereinrichtungen der Ventilationsöffnung des Containments intakt bleiben.

Diese Annahme erscheint für die große Mehrzahl der Einwirkungen von Naturgefahren wie etwa extreme meteorologische Ereignisse und Überflutungen plausibel. Offen bleibt die Frage, inwieweit der ausgewählte Störfall auch für auslegungsüberschreitende Erdbebenbelastungen repräsentativ ist. Dazu müsste geklärt werden, ob das Containment und die Einrichtungen für die gefilterte Ventilation des Containments für Erdbebenbelastungen ausgelegt sind, die höher sind als die Belastungen durch das Auslegungserdbeben.

5.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Die Bewertung von Naturgefahren, die sich nachteilig auf die Sicherheit des KKW Doel 1&2 auswirken können, beschränkt sich auf eine geringe Anzahl von Phänomenen. Die UVP-Dokumente enthalten keine Angaben darüber, ob bei der Standortbewertung in der jüngsten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) beziehungsweise im Projekt LTO alle für den Standort relevanten Naturgefahren berücksichtigt wurden. Aus den UVP-Dokumenten kann auch nicht geschlossen werden, dass die Anlagen ausreichend vor Einwirkungen von Naturgefahren geschützt sind. Da Österreich von den Folgen von Unfällen, die durch

Naturgefahren ausgelöst werden, potentiell betroffen werden kann, ist dieser Umstand in der gegenständlichen UVP relevant.

WENRA (2015, Kapitel 7; 2021, Issue P, Reference Level P2.2 (g)) fordert für die PSÜ eine Überprüfung der Gefährdungsanalyse für den KKW-Standort. Es ist unklar, ob eine umfassende Bewertung einschließlich der Schritte

- Identifizierung der standortspezifischen Naturgefahren einschließlich von Gefahrenkombinationen,
- Gefährdungsbeurteilung,
- Definition der Auslegungsgrundlagen gegen die identifizierten Naturgefahren und Gefahrenkombinationen auf der Basis von Ereignissen mit einem durchschnittlichen Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren,
- Entwicklung eines Schutzkonzepts,
- Analyse der Bedingungen für auslegungsüberschreitende Störfälle

wie von WENRA (2015, 2021, Issues E, F, TU) gefordert, durchgeführt wurde.

Das Expert_innenteam empfiehlt für diese Schritte die Verwendung einer generischen Liste von Naturgefahren als Ausgangspunkt für die Identifizierung standortspezifischer Naturgefahren und die Identifizierung relevanter Gefahrenkombinationen (WENRA 2015; Decker & Brinkman 2017), um sicherzugehen, dass alle relevanten Gefahren und Gefahrenkombinationen berücksichtigt sind.

5.3.1 Fragen

- **F24:** *Wurden im Rahmen des UVP-Prozesses und/oder im Rahmen der Verlängerung der Betriebserlaubnis für Doel 1&2 (LTO) die ursprünglichen Auslegungsgrundlagen in Bezug auf die Einwirkung von Naturgefahren systematisch überprüft?*
- **F25:** *Wurden im Rahmen des UVP-Prozesses und/oder im Rahmen der Verlängerung der Betriebserlaubnis (LTO) für Doel 1&2 und/oder anderen Projekten neue Gefährdungsanalysen für Naturgefahren am Standort durchgeführt?*
- **F26:** *Falls neue Gefährdungsanalysen durchgeführt wurden: haben diese die ursprüngliche Auslegung der Anlagen bestätigt, oder wurden sicherheitsrelevante Nachrüstungen notwendig?*
- **F27:** *Wurden bei der Auslegung von Doel 1&2 Einwirkungen von extremen meteorologischen Ereignissen, besonders für Starkregen (Flash Flood), Ereignisse mit einem durchschnittlichen Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren berücksichtigt?*
- **F28:** *Entspricht die Auslegung der Kapazität des Drainagesystems des Standorts den Anforderungen, die sich aus einem Starkregen (Flash Flood) mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren ergeben?*
- **F29:** *In den UVP-Unterlagen wird die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs an der „kritischsten Stelle“ mit einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 1.700 Jahren*

und die daraus resultierende Fluthöhe am Standort mit bis zu 60 cm Wassertiefe angegeben. Sind diese Werte im Einklang mit den Sicherheitserwartungen der WENRA (2021) in Bezug auf Naturgefahren, besonders mit der Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeit von 10⁻⁴ pro Jahr für Auslegungsstörfälle?

- **F30:** *Ist der untersuchte „repräsentative auslegungsüberschreitende Störfall“ auch für auslegungsüberschreitende Erdbebenbelastungen repräsentativ? Wie groß ist die Sicherheitsmarge der Auslegung des Containments und der Anlagen zur gefilterten Entlüftung des Containments relativ zum Auslegungserdbeben?*

5.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE8:** Es erscheint unsicher, ob bei der Standortsicherheitsanalyse alle für den Standort relevanten Naturgefahren berücksichtigt wurden, wie das von WENRA (2021) gefordert und von WENRA (2015) weiter erläutert wird. Das Expert_innenteam empfiehlt die Verwendung der „Nicht erschöpfenden Liste der Naturgefahren“ (WENRA 2015) als Ausgangspunkt, um sicherzustellen, dass alle standortspezifischen Gefahren, die Doel 1&2 betreffen, berücksichtigt werden.
- **VE9:** Es erscheint unsicher, ob bei der Bewertung des Standorts auch alle Gefahrenkombinationen berücksichtigt wurden, wie das von WENRA (2021) gefordert und von WENRA (2015) weiter erläutert wird. Das Expert_innenteam empfiehlt die Verwendung eines Gefahrenkorrelationsdiagramms (z.B. Decker & Brinkman 2017) als Ausgangspunkt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Kombinationen berücksichtigt werden.
- **VE10:** Das Expert_innenteam empfiehlt die Neubewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Niederschläge, die zur Überflutung des Standorts führen, und den Vergleich der Ergebnisse mit der Kapazität des Drainagesystems. Die Niederschlagsintensität entsprechend der Eintrittswahrscheinlichkeit von 10⁻⁴ pro Jahr sollte als Auslegungsgrundlage für die Kapazität des Abwassersystems herangezogen werden.
- **VE11:** Das Expert_innenteam empfiehlt die Aufrüstung der Kapazität der Abwassersysteme, um sicherzustellen, dass Niederschlagsintensitäten mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 10⁻⁴ pro Jahr nicht zu (a) dem Eindringen von Wasser in Gebäude führen, in denen sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten untergebracht sind, (b) Überflutung der Untergeschoße solcher Gebäude führen.
- **VE12:** Das Expert_innenteam empfiehlt bei der Bewertung der Überflutungsgefahr durch die Schelde alle Kombinationen von relevanten, die Fluthöhe bestimmenden Prozessen wie etwa Flusshochwasser, Springtiden, Sturmfluten und Wellen zu berücksichtigen. (WENRA 2016a)

6 UNFÄLLE DURCH BETEILIGUNG DRITTER

6.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

In den UVP-Dokumenten werden Unfälle unter Beteiligung Dritter nicht thematisiert.

6.2 Diskussion und Bewertung

Die zurzeit betriebenen Kernkraftwerke haben auslegungsbedingt einen gewissen Schutz vor möglichen Terrorangriffen, z. B. durch verhältnismäßige 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 Doel 1 und 2. 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 Reaktoren 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, Verbrennen 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 Verkehrsflugzeuges (absichtlich und unfallbedingt) ein erheblicher Schaden am äußeren Containment der alten Reaktorblöcke, Doel 1 und 2 sowie Tihange 1 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.

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 (siehe Kapitel 4.1) und den mangelnden baulichen Schutz ist nicht auszuschließen, dass ein Flugzeugabsturz – selbst wenn das Reaktorgebäude nicht durchstanz wird – erhebliche Auswirkungen hat, eventuell sogar für beide Blöcke. Auch das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente ist verwundbar, da es nicht in einem gegen extreme externe Einwirkungen geschützten Gebäude untergebracht ist.

Insgesamt ist für Doel 1&2 festzustellen, dass der Schutz gegen schwere Einwirkungen im Vergleich zu heutigen Sicherheitsanforderungen gering ist, gleichzeitig aber (wie in Kapitel 4 und 5 dargestellt) 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.¹⁴ 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 kern-technischen Anlagen tätig sind. Diese erschweren das Einschleusen von Innentätern in Kernkraftwerke, sie verhindern es aber nicht vollständig.

¹⁴ Es ist immer noch unklar, wer die Drohnen gesteuert hat.

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.

Im inneren Sicherheitsbereich im belgischen KKW Doel 4 wurde 5. August 2014 durch eine Sabotage-Aktion Einfluss auf Reaktorbetrieb genommen, eine Notabschaltung erfolgte, nachdem Schmiermittel aus der Hochdruckturbine durch ein geöffnetes Ventil austrat. Weitere Untersuchungen ergaben, dass sich der Öltank vollständig entleert hatte, nachdem das Ablassventil, mit dem im Brandfall schnell Öl in einen Hilfstank geleitet werden kann, manuell geöffnet worden war. Da zahlreiche Indizien darauf hindeuteten, dass dieses Ventil absichtlich geöffnet worden war, ohne dass eine diesbezügliche Anweisung gegeben worden war, wurde schnell gemutmaßt, dass **Sabotage** vorlag. Electrabel erstattete Anzeige gegen Unbekannt und trat dem Verfahren als Nebenklägerin bei. Die Bundesstaatsanwaltschaft leitete ein Ermittlungsverfahren ein. Dieses Verfahren hat noch nicht zur Identifizierung des bzw. der Täter geführt. (FANC 2020b)

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).

Besondere Bedrohungssituation in Belgien

Ende 2015 stellte sich heraus, dass das Haus eines hochrangigen Beamten des belgischen Nuklearsektors von Personen ausspioniert worden war, die mit den Tätern der Pariser Anschläge im November 2015 in Verbindung standen. Auch wenn es keinen konkreten Hinweis auf eine speziell gegen ein Nuklearunternehmen gerichtete terroristische Bedrohung gab, galt für den gesamten belgischen Nuklearsektor fortan erhöhte Wachsamkeit.

Nach den Terroranschlägen vom 22. März 2016 in Brüssel und Zaventem sowie dem Übergang auf Bedrohungsstufe 4 (und anschließender Rückstufung auf Stufe 3) beschloss die FANK eine Beibehaltung aller ergänzenden Sicherheitsmaßnahmen.

In diesem Zusammenhang hatte die belgische Regierung bereits Ende 2015 beschlossen, innerhalb der belgischen Staatspolizei ein spezialisiertes Überwachungs- und Schutzkorps einzurichten. Diese neue Abteilung soll insbesondere

für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen in Belgien zuständig sein. Bis zur effektiven Schaffung dieses spezialisierten Polizeikorps werden an belgischen Nuklearstandorten Soldaten eingesetzt.¹⁵ Die Soldaten stellen vor Ort bewaffnete Einsatzkräfte zur Unterstützung der örtlichen und föderalen Polizei. (FANC 2020c)

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 Belgien mit einer Gesamtpunktzahl von 80 Punkten auf Platz 16 von 47 Ländern. Es zeigen sich niedrige Punktzahlen für die "Sicherheitskultur" (50), "Cybersicherheit" (50) und "Schutz vor Insider-Bedrohungen" (55). Diese niedrigen Punktzahlen deuten auf Schwächen beim Schutz hin. (NTI 2021)

International Physical Protection Advisory Service (IPPAS)

Die IAEO 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 IAEO-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) Im Juni 2019 hat eine IPPAS-Mission in Belgien stattgefunden, die Ergebnisse sind nicht bekannt. (IAEA 2021b)

¹⁵ Die Soldaten werden nicht im Auftrag des Betreibers tätig und übernehmen keine Aufgaben der Sicherheitsdienste der Nuklearstandorte. Der Betreiber bleibt somit für die Bereitstellung der erforderlichen Zugangskontrollen und die Gewährleistung einer angemessenen Absicherung verantwortlich.

6.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen – auch für Doel 1&2. Dennoch werden sie im UVP-Dokument nicht 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 sollte das UVP-Dokument 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 Doel 1&2 laut eines Berichts der FANK aus 2012 gegenüber einem Flugzeugabsturz verwundbar sind. Alterungsbedingte Degradation kann die Widerstandsfähigkeit der Gebäude weiter reduzieren.

Eine aktuelle Bewertung der nuklearen Sicherheit in Belgien weist auf Defizite im Vergleich zu den notwendigen Anforderungen an die nukleare Sicherheit hin: Der NTI-Index 2020 bewertet die Bedingungen für die nukleare Sicherheit in Bezug auf den Schutz der Nuklearanlagen vor Sabotageakten. Mit einer Gesamtpunktzahl von 80 von 100 Punkten rangiert Belgien nur auf Platz 16 von 47 Ländern, was auf ein verbesserungsfähiges Schutzniveau hinweist. Defizite bestehen im Schutz vor Innentätern und im Bereich Cybersicherheit.

Anzumerken ist, dass in Belgien eine besondere Bedrohungslage für kerntechnische Anlagen bestand.

6.3.1 Fragen

- **F31:** Was sind die Anforderungen an den Schutz von Doel 1&2 in Bezug auf den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs?
- **F32:** Gegen welche Angriffe von außen müssen das Reaktorgebäude und andere sicherheitsrelevante Gebäude ausgelegt sein? Ist dieser Schutz trotz nachteiliger Alterungseffekte noch gewährleistet?
- **F33:** Was waren die wesentlichen Ergebnisse der IAEO-Mission International Physical Protection Advisory Service (IPPAS), die 2019 durchgeführt wurde?
- **F34:** Wie wird die derzeitige Bedrohungslage für kerntechnische Anlagen in Belgien bewertet, welche Bedrohungsstufe besteht aktuell und was bedeutet dies für Doel 1&2?

6.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE13:** 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.
- **VE14:** In Anbetracht der besonderen Bedrohungssituation in Belgien sollte den möglichen Unfällen durch Dritte (Terroranschläge oder Sabotageakte) eine hohe Priorität eingeräumt werden. Der Schutz vor potenziellen Cyberangriffen und Innentätern sollte verbessert werden.

7 GRENZÜBERSCHREITENDE AUSWIRKUNGEN

7.1 Darstellung in den UVP-Dokumenten

Es wurden die Auswirkungen von zwei Auslegungsstörfällen und von einem auslegungsüberschreitenden Unfall berechnet: Kühlmittelverlust (LOCA), Brennstoffhandhabungsstörfall (FHA) am Brennstoffbecken, und für den auslegungsüberschreitenden Unfall ein Complete Station Black-Out (CSBO). Für die niederländische Grenze wurden für diese drei Unfälle Effektivdosen von 1,44 – 13,2 mSv ermittelt, und Schilddrüsendosen von 5,5-38,5 mSv (siehe auch Tabelle 1). Für Länder, die einen größeren Abstand zum KKW aufweisen als die Niederlande, sind die berechneten Dosen deutlich niedriger, daher werden die grenzüberschreitenden radiologischen Auswirkungen dieser drei Unfälle als nicht signifikant eingestuft. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 3: 107f./128)

Während für die niederländische Grenze für die Referenzszenarien LOCA und FHA zulässige Dosisgrenzwerte definiert sind, fehlen diese für weiter entfernte Gebiete. Für diese wird als Anhaltspunkt der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr aus der BSS-Richtlinie 2013/59/Euratom verwendet. (UVP-BERICHT 2021, Kap. 3: 108./128)

7.2 Diskussion und Bewertung

Als auslegungsüberschreitendes Ereignis zur Ermittlung der radiologischen Auswirkungen wird das Szenario Complete Station Black-Out (CSBO) verwendet. Es wird nicht erklärt, wieso dieses Szenario als abdeckendes Ereignis für Doel 1&2 aufgefasst wird.

Der Quellterm dieses Unfallszenarios resultiert aus einem Kernschmelzunfall, jedoch unter der Annahme der Erhaltung der Containment-Integrität. Diese Annahme ist nicht belegt. Für die Abschätzung der maximalen möglichen Auswirkungen auf Österreich in Folge eines schweren Unfalls ist ein Unfallszenario mit Versagen des Containments und/oder ein Containment-Bypass-Szenario zu unterstellen.

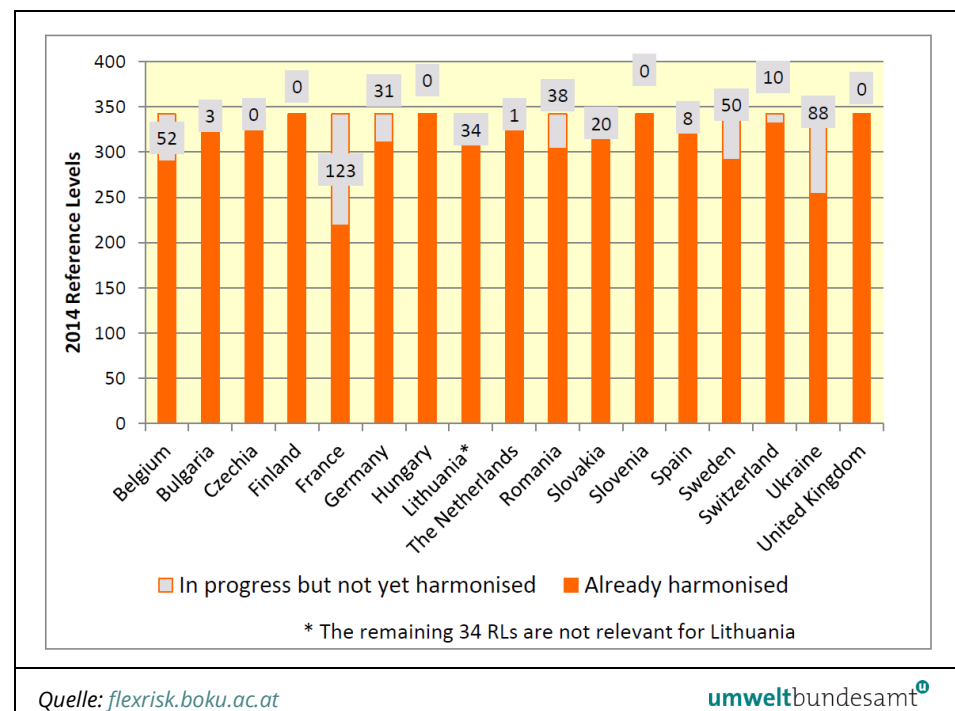
Die in der UVP zu verwendenden (abdeckenden) Quellterme sollten auf Basis von vorhandenen Unfallanalysen bzw. PSA-Ergebnissen belegbar sein. In jedem Fall sollte die UVP eine nachvollziehbare Begründung für die verwendeten Quellterme enthalten. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit großen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

Im Forschungsprojekt flexRISK wurde die geografische Verteilung des Risikos durch schwere Unfälle in Kernkraftwerken in Europa untersucht. Auf der Grundlage von Quelltermen wurde ein aktuelles Ausbreitungsmodell verwendet, um die Bodenkontamination von Cs-137 und I-131 und die Dosen für etwa 2.800 verschiedene Wettersituationen zu berechnen. Weiterhin wurde die Cs-137-Deposition für 88 reale Wetterszenarien eines repräsentativen Jahres (1995) ermittelt. Die Ergebnisse wurden in Karten visualisiert. Die Ausbreitungsrechnungen wurden mit dem Lagrange'schen Partikelmodell FLEXPART durchgeführt. Als meteorologische Eingangsdaten wurden Daten des European Centre for Medium-Term Weather Forecasting (ECMWF) verwendet.

Für Doel-1 verwendete flexRISK für die Berechnungen eine Freisetzung von 45,39 PBq Cs-137 und 354,4 PBq I-131. Ein solcher Quellterm kann aus einem schweren Unfall mit einem Containment-Bypass resultieren.

Die folgende Abbildung zeigt die flexRISK Ergebnisse für die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, bei einem schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 5 kBq Cs-137/m² kontaminiert zu werden.

Abbildung 3:
Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 5 kBq Cs-137/m² kontaminiert zu werden.



Quelle: flexrisk.boku.ac.at

umweltbundesamt[®]

Die maximale Wahrscheinlichkeit, dass Teile von Österreich im Falle dieses schweren Unfalls mit mehr als 5 kBq Cs-137/m² kontaminiert werden könnten, liegt bei 6,56 %.

In Österreich kommt ein Maßnahmenkatalog für radiologische Krisensituationen zum Einsatz (BMLFUW 2014), der bereits bei geringen Kontaminationen die Einleitung landwirtschaftlicher Schutzmaßnahmen fordert. Darin findet sich u. a. die Maßnahme A07 („Die unverzügliche Ernte von vermarktungsfähigen

Produkten, insbesondere von lagerfähigen Produkten“) mit ihr zugeordneten (Prognose)Werten:

Tabelle 2: (Prognose-)Werte für die landwirtschaftliche Maßnahme A07

	I-131 Bq*h/m ³	I-131 Bq/m ²	Cs-137 Bq*h/m ³	Cs-137 Bq/m ²
Start von Maßnahme A07	170	700	350	650

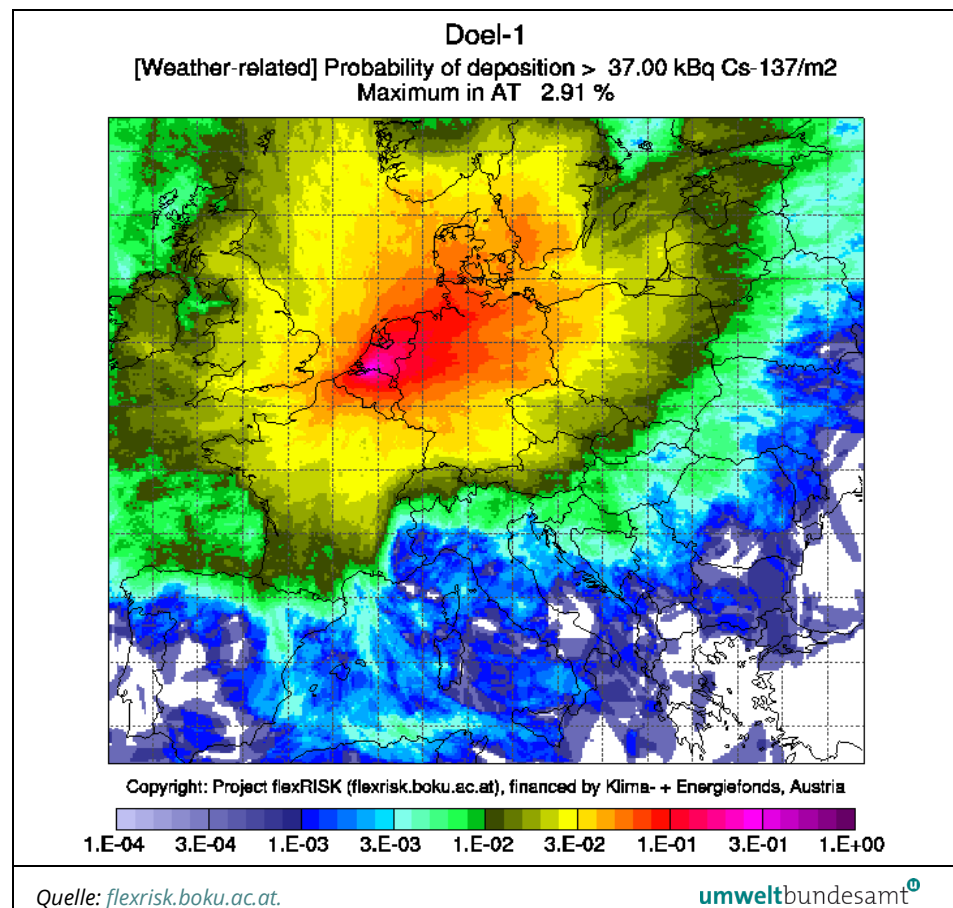
Quelle: BMLFUW 2014

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

Eine Kontamination von 5 kBq Cs-137/m² wie in der obigen Abbildung ist viel höher als der Wert für die Cs-137-Kontamination in der obigen Tabelle, daher könnten im Falle eines schweren Unfalls in Doel auf österreichischem Territorium landwirtschaftliche Gegenmaßnahmen erforderlich sein.

Die folgende Abbildung zeigt die flexRISK Ergebnisse für die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, bei einem schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 37 kBq Cs-137/m² kontaminiert zu werden.

Abbildung 4:
Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 37 kBq Cs-137/m² kontaminiert zu werden

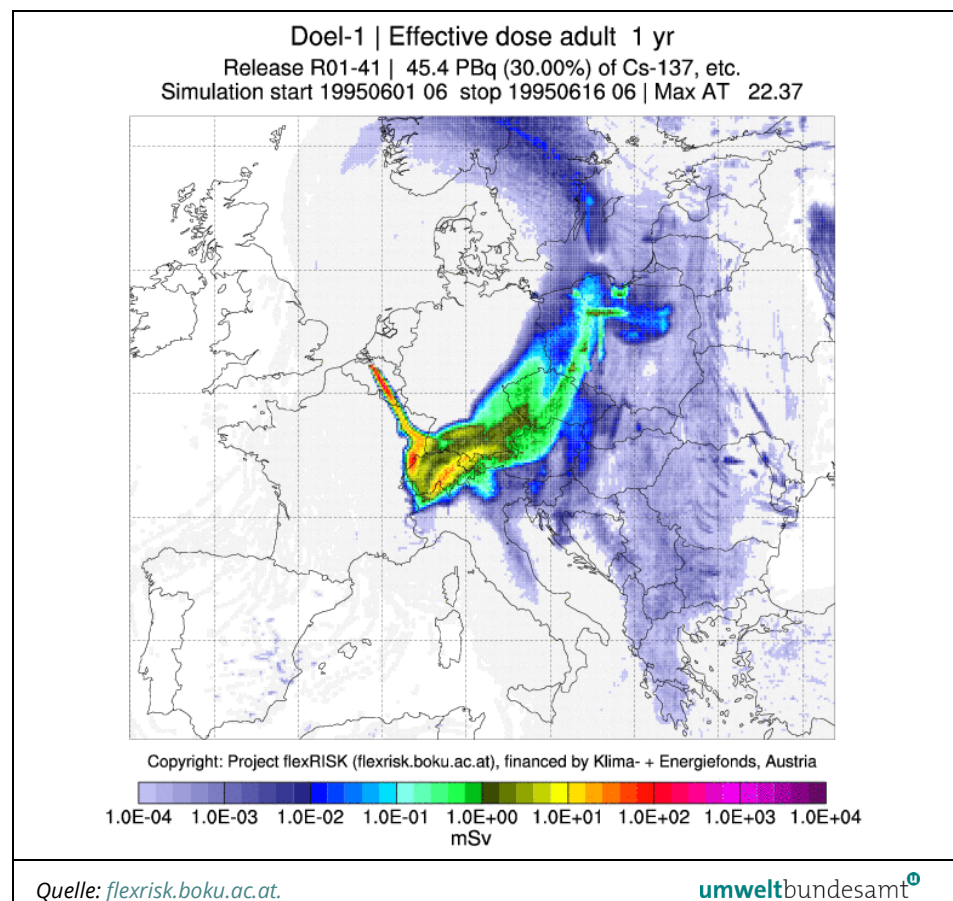


Die maximale Wahrscheinlichkeit, dass Teile von Österreich im Falle dieses schweren Unfalls mit mehr 37 kBq Cs-137/m² kontaminiert werden könnten, liegt bei 2,91 %.

Nach Tschernobyl wurden in der ehemaligen Sowjetunion Gebiete mit einer Deposition von 37 kBq Cs-137/m² oder mehr als „kontaminiert“ definiert und einer kontinuierlichen Überwachung unterzogen.

In den UVP-Dokumenten wird erklärt, dass bei Unfällen als Anhaltspunkt der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr aus der BSS-Richtlinie 2013/59/Euratom zur Beurteilung grenzüberschreitender Auswirkungen verwendet wird. Die flexRISK Berechnungen liefern auch Ergebnisse zur Effektivdosis im ersten Jahr nach einem schweren Unfall, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene. In dieser Dosisberechnung werden die Inhalation, die Boden- und die Wolkenstrahlung berücksichtigt, jeweils unter Berücksichtigung von Dosisreduktionsfaktoren¹⁶.

Abbildung 5:
1-Jahres-Effektidosis für Erwachsene durch einen schweren Unfall in Doel 1, Wettersituation vom 01.06.1995.



¹⁶ <http://flexrisk.boku.ac.at/en/wp4.html>

In Österreich könnte ein schwerer Unfall in Doel in einer Wettersituation, die der am 01.06.1995 vergleichbar ist, zu einer 1-Jahres-Effektivdosis für Erwachsene von maximal 22,37 mSv führen (für Kinder maximal 33,25 mSv). Dieser Dosiswert liegt deutlich über dem Wert von 1 mSv.

Auch ist nicht auszuschließen, dass bei einem schweren Unfall in einer solchen für Österreich ungünstigen Wettersituation in kleinen Teilen Österreichs die Notwendigkeit zur Iodprophylaxe für Kinder und Schwangere gegeben wäre. Für die oben berechnete Wettersituation ist in Österreich eine Schilddrüsendosis von maximal 12,7 mSv für Kinder möglich. Ab 10 mSv startet die Iodprophylaxe für Kinder und Schwangere. (BMK 2020)

7.3 Schlussfolgerungen, Fragen und vorläufige Empfehlungen

Ein schwerer Unfall mit Freisetzungen, die österreichisches Territorium erreichen, kann zu signifikanten grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Österreich führen. Im UVP-Bericht werden für einen auslegungsüberschreitenden Unfall mit intaktem Containment Dosisberechnungen für die Nachbarländer Belgiens durchgeführt. Es ist jedoch nicht nachgewiesen, dass das Auftreten eines höheren Quellterms ausgeschlossen werden kann. Zudem können bei bestimmten Wettersituationen Kontaminationen auch in Österreich auftreten. Da entsprechende Berechnungen in der UVP nicht vorgelegt wurden, könnten die Auswirkungen auf Österreich unterschätzt werden. Diese Auswirkungen beinhalten die Überschreitung der 1-Jahres-Effektivdosis von 1 mSv sowohl für Kinder als auch für Erwachsene, weiters mögliche Überschreitungen der Interventionswerte laut Gesamtstaatlichem Notfallplan (BMK 2020) und die Notwendigkeit für landwirtschaftliche Schutzmaßnahmen wie etwa die vorgezogene Ernte laut Maßnahmenkatalog (BMLFUW 1994).

7.3.1 Fragen

- **F35:** *Was ist der größte Quellterm, der in den probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) ermittelt wurde (unabhängig von seiner Wahrscheinlichkeit)?*
- **F36:** *Wie lauten die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung für diesen Quellterm? Es wird ersucht, diese Ergebnisse auch für österreichisches Staatsgebiet vorzulegen. Es wäre zu begrüßen, wenn die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung mit dem österreichischen Katalog der Gegenmaßnahmen (siehe auch Tabelle 3: Werte für die landwirtschaftlichen Gegenmaßnahmen A07 (BMLFUW 2014), und mit dem österreichischen Gesamtstaatlichen Notfallplan (BMK 2020) vergleichbar wären.*

7.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE15:** Es wird empfohlen, die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall mit Versagen des Containments bzw. mit Containment-Bypass sowie für einen schweren Unfall mit einem Brennelementschaden im Lagerbecken zu berechnen, und zwar unabhängig von deren ermittelter Eintrittswahrscheinlichkeit, solange diese physikalisch möglich sind.

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 Fragen

- **F1:** *Wie werden die Ergebnisse der UVP bis zum Ende der Laufzeit 2025 Berücksichtigung finden?*

8.1.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE1:** Es wird empfohlen, dass die Ergebnisse der UVP in die Genehmigung der Laufzeitverlängerung einbezogen werden.

8.2 Abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle

8.2.1 Fragen

- **F2:** *Wie ist der Status und der Zeitplan für die Errichtung des Zwischenlagers SF2?*
- **F3:** *Welche Auswirkungen könnte es auf die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente aus Doel haben, falls das SF2 nicht rechtzeitig in Betrieb gehen kann?*
- **F4:** *Wie lange ist die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente aus Doel vorgesehen? (Auslegung des bestehenden Zwischenlagers SCG und des geplanten Zwischenlagers SF2)?*
- **F5:** *Was ist vorgesehen, wenn zum Ende der Lebensdauer der Zwischenlager noch kein Endlager für abgebrannte Brennelemente zur Verfügung steht?*
- **F6:** *Wann wird die Entscheidung Wiederaufarbeitung oder direkte Endlagerung getroffen?*
- **F7:** *Sind für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle aus der Laufzeitverlängerung genügend Kapazitäten bei Belgoprocess vorhanden?*

8.2.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE2:** Um die sichere Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen zu demonstrieren, sollten umfangreichere Informationen über Kapazitäten von Zwischen- und Endlagern zur Verfügung gestellt werden. Weiters sollten alternative Entsorgungsoptionen vorgestellt werden, falls diese Kapazitäten nicht rechtzeitig zur Verfügung stehen sollten.

8.3 Langzeitbetrieb des Reaktortyps

8.3.1 Fragen

- **F8:** Was war das Ergebnis einer erneuten Inspektion der problematischen Bereiche der Injektionsleitungen während der Revision?
- **F9:** Was sind die aktuellen Ergebnisse zur Versprödung der Reaktordruckbehälter (RDB) in Doel 1&2 (Sprödbruchübergangstemperatur RTNDT, Sprödbruchsicherheitsnachweis)?
- **F10:** Ist eine systematische Bewertung der Auslegungsabweichungen von Doel 1&2 von den aktuellen internationalen Sicherheitsstandards und Anforderungen erfolgt?
- **F11:** Welche Sicherheitssysteme und Severe Accident Management (SAM)-Systeme werden von den Blöcken gemeinsam genutzt?
- **F12:** Inwieweit wurden internationale Dokumente (IAEA, WENRA) bei der Laufzeitverlängerung verbindlich angewandt?
- **F13:** Wann werden die WENRA Referenzlevel (RL) 2014 vollständig in das belgische Regelwerk implementiert? Wann wird überprüft, ob Doel 1&2 die Anforderungen der WENRA RL 2014 erfüllt?
- **F14:** Sind inzwischen die Empfehlungen und Vorschläge der SALTO-Mission aus 2017 vollständig umgesetzt?
- **F15:** Welche technisch möglichen Verbesserungen zur Erfüllung moderner Sicherheitsanforderungen wurden für Doel 1&2 im Rahmen der Laufzeitverlängerung als nicht „vernünftig machbar“ angesehen?
- **F16:** Welche Maßnahmen standen auf der „Long List of Concerns“? Welche Maßnahmen standen auf der „Short List of Main Safety Issues“ und welche davon wurden umgesetzt? Nach welchen Kriterien wurde das jeweils entschieden?
- **F17:** Wurden bereits alle Maßnahmen aus dem Aktionsplan für das LTO-Projekt umgesetzt?

8.3.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE3:** Es wird empfohlen, technisch verfügbare Sicherheitsverbesserungen zur Verhinderung von Unfällen umzusetzen.
- **VE4:** Es wird empfohlen, alle Anforderungen des WENRA Referenzlevels F zu erfüllen. Bei Abweichungen sollten die Gründe dafür erläutert werden.
- **VE5:** Es wird empfohlen, 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 detaillierte Beschreibung der Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle bzw. zur Abmilderung ihrer Folgen getroffen wurden.
 - b. Angaben zu den angewandten nationalen Anforderungen und internationalen Empfehlungen.
 - c. 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

8.4.1 Fragen

- **F18:** *Wie lauten die Quellterme der in der PSA Level 2 berechneten auslegungsüberschreitenden Unfälle?*
- **F19:** *Was ist die technische Begründung für den BDBA, der für die Berechnung möglicher grenzüberschreitender Auswirkungen gewählt wird? Wieso wird dieser Unfall als abdeckend – auch für den Absturz eines Flugzeugs – angesehen?*

- **F20:** *Wie soll ein Durchschmelzen des Fundaments infolge eines Kernschmelzunfalls verhindert werden?*
- **F21:** *Warum wird im Rahmen der UVP kein Unfallszenario mit Containment-Bypass berechnet?*
- **F22:** *Wurde im Rahmen des UVP-Verfahrens der Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs analysiert oder wurde stattdessen ein alternatives Ereignis in Betracht gezogen? Welche Flugzeuge wurden als repräsentativ bestimmt?*
- **F23:** *Ist bereits und wird 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?*

8.4.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE6:** Es wird empfohlen, die WENRA-Sicherheitsziele für neue KKW zu verwenden, um vernünftig machbare Sicherheitsverbesserungen für Doel 1&2 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 (Level 1 und 2) bereitzustellen, um nachvollziehbar beurteilen zu können, ob Österreich potenziell betroffen ist:
 - Kernschadenshäufigkeit (CDF) und Häufigkeit großer (früher) Freisetzungen (L(E)RF)
 - Beitrag interner Ereignisse sowie interner und externer Gefährdungen zu CDF und L(E)RF
 - Anteil der Kernschmelzunfälle, die zum Containmentversagen führen
 - Liste der auslegungsüberschreitenden Störfälle (BDBAs) und der zugehörigen Quellterme
 - Quellterme der BDBAs einschließlich Freisetzungen aus den Brennelementlagerbecken
 - Zeitspannen zur Wiederherstellung der Sicherheitsfunktionen nach dem Verlust der Wärmeabfuhr und/oder Stations-Blackout und Cliff Edge-Effekten.
 - Maßnahmen, die zur Beherrschung schwerer Unfälle oder zur Minderung ihrer Folgen ergriffen wurden

8.5 Unfälle durch externe Ereignisse

8.5.1 Fragen

- **F24:** *Wurden im Rahmen des UVP-Prozesses und/oder im Rahmen der Verlängerung der Betriebserlaubnis für Doel 1&2 (LTO) die ursprünglichen Auslegungsgrundlagen in Bezug auf die Einwirkung von Naturgefahren systematisch überprüft?*
- **F25:** *Wurden im Rahmen des UVP-Prozesses und/oder im Rahmen der Verlängerung der Betriebserlaubnis (LTO) für Doel 1&2 und/oder anderen Projekten neue Gefährdungsanalysen für Naturgefahren am Standort durchgeführt?*
- **F26:** *Falls neue Gefährdungsanalysen durchgeführt wurden: haben diese die ursprüngliche Auslegung der Anlagen bestätigt, oder wurden sicherheitsrelevante Nachrüstungen notwendig?*
- **F27:** *Wurden bei der Auslegung von Doel 1&2 Einwirkungen von extremen meteorologischen Ereignissen, besonders für Starkregen (Flash Flood), Ereignisse mit einem durchschnittlichen Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren berücksichtigt?*
- **F28:** *Entspricht die Auslegung der Kapazität des Drainagesystems des Standorts den Anforderungen, die sich aus einem Starkregen (Flash Flood) mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren ergeben?*
- **F29:** *In den UVP-Unterlagen wird die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs an der „kritischsten Stelle“ mit einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 1.700 Jahren und die daraus resultierende Fluthöhe am Standort mit bis zu 60 cm Wassertiefe angegeben. Sind diese Werte im Einklang mit den Sicherheitserwartungen der WENRA (2021) in Bezug auf Naturgefahren, besonders mit der Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeit von 10-4 pro Jahr für Auslegungsstörfälle?*
- **F30:** *Ist der untersuchte „repräsentative auslegungsüberschreitende Störfall“ auch für auslegungsüberschreitende Erdbebenbelastungen repräsentativ? Wie groß ist die Sicherheitsmarge der Auslegung des Containments und der Anlagen zur gefilterten Entlüftung des Containments relativ zum Auslegungserdbeben?*

8.5.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE8:** Es erscheint unsicher, ob bei der Standortsicherheitsanalyse alle für den Standort relevanten Naturgefahren berücksichtigt wurden, wie das von WENRA (2021) gefordert und von WENRA (2015) weiter erläutert wird. Das Expert_innenteam empfiehlt die Verwendung der „Nicht erschöpfenden Liste der Naturgefahren“ (WENRA 2015) als Ausgangspunkt, um sicherzustellen, dass alle standortspezifischen Gefahren, die Doel 1&2 betreffen, berücksichtigt werden.
- **VE9:** Es erscheint unsicher, ob bei der Bewertung des Standorts auch alle Gefahrenkombinationen berücksichtigt wurden, wie das von WENRA

(2021) gefordert und von WENRA (2015) weiter erläutert wird. Das Expert_innenteam empfiehlt die Verwendung eines Gefahrenkorrelationsdiagramms (z.B. Decker & Brinkman 2017) als Ausgangspunkt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Kombinationen berücksichtigt werden.

- **VE10:** Das Expert_innenteam empfiehlt die Neubewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Niederschläge, die zur Überflutung des Standorts führen, und den Vergleich der Ergebnisse mit der Kapazität des Drainagesystems. Die Niederschlagsintensität entsprechend der Eintrittswahrscheinlichkeit von 10⁻⁴ pro Jahr sollte als Auslegungsgrundlage für die Kapazität des Abwassersystems herangezogen werden.
- **VE11:** Das Expert_innenteam empfiehlt die Aufrüstung der Kapazität der Abwassersysteme, um sicherzustellen, dass Niederschlagsintensitäten mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 10⁻⁴ pro Jahr nicht zu (a) dem Eindringen von Wasser in Gebäude führen, in denen sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten untergebracht sind, (b) Überflutung der Untergeschoße solcher Gebäude führen.
- **VE12:** Das Expert_innenteam empfiehlt bei der Bewertung der Überflutungsgefahr durch die Schelde alle Kombinationen von relevanten, die Fluthöhe bestimmenden Prozessen wie etwa Flusshochwasser, Springtiden, Sturmfluten und Wellen zu berücksichtigen. (WENRA 2016a)

8.6 Unfälle durch Beteiligung Dritter

8.6.1 Fragen

- **F31:** *Was sind die Anforderungen an den Schutz von Doel 1&2 in Bezug auf den absichtlichen Absturz eines Verkehrsflugzeugs?*
- **F32:** *Gegen welche Angriffe von außen müssen das Reaktorgebäude und andere sicherheitsrelevante Gebäude ausgelegt sein? Ist dieser Schutz trotz nachteiliger Alterungseffekte noch gewährleistet?*
- **F33:** *Was waren die wesentlichen Ergebnisse der IAEO-Mission International Physical Protection Advisory Service (IPPAS), die 2019 durchgeführt wurde?*
- **F34:** *Wie wird die derzeitige Bedrohungslage für kerntechnische Anlagen in Belgien bewertet, welche Bedrohungsstufe besteht aktuell und was bedeutet dies für Doel 1&2?*

8.6.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE13:** 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.

- **VE14:** In Anbetracht der besonderen Bedrohungssituation in Belgien sollte den möglichen Unfällen durch Dritte (Terroranschläge oder Sabotageakte) eine hohe Priorität eingeräumt werden. Der Schutz vor potenziellen Cyberangriffen und Innentätern sollte verbessert werden.

8.7 Grenzüberschreitende Auswirkungen

8.7.1 Fragen

- **F35:** *Was ist der größte Quellterm, der in den probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) ermittelt wurde (unabhängig von seiner Wahrscheinlichkeit)?*
- **F36:** *Wie lauten die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung für diesen Quellterm? Es wird ersucht, diese Ergebnisse auch für österreichisches Staatsgebiet vorzulegen. Es wäre zu begrüßen, wenn die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung mit dem österreichischen Katalog der Gegenmaßnahmen (siehe auch Tabelle 3: Werte für die landwirtschaftlichen Gegenmaßnahmen A07 (BMLFUW 2014), und mit dem österreichischen Gesamtstaatlichen Notfallplan (BMK 2020) vergleichbar wären.*

8.7.2 Vorläufige Empfehlungen

- **VE15:** Es wird empfohlen, die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall mit Versagen des Containments bzw. mit Containment-Bypass sowie für einen schweren Unfall mit einem Brennelementschaden im Lagerbecken zu berechnen, und zwar unabhängig von deren ermittelter Eintrittswahrscheinlichkeit, solange diese physikalisch möglich sind.

LITERATURVERZEICHNIS

- 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.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2002): Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001 – Ergebnisse der GRS-Untersuchungen aus dem Vorhaben „Gutachterliche Untersuchungen zu terroristischen Flugzeugabstürzen auf deutsche Kernkraftwerke.
- DECKER, K.; BRINKMAN H. (2017): List of external hazards to be considered in ASAMPSA_E. Technical report ASAMPSA_E /WP21/D21.2/2017-41, IRSN PSN-RES/SAG/2017-00011.
- ELIA (2019): Adequacy and flexibility study for Belgium 2020–2030.
- 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.
- 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.
- 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.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2014): Belgian Stress Tests, National progress report on the stress tests of nuclear power plants, December 2014.

- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2016): Belgian Stress Tests, National progress report on the stress tests of nuclear power plants, March 2016.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2019a): Eighth Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety National Report; August 2019.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2019b): Belgian Stress Tests, National progress report on the stress tests of nuclear power plants, March 2019.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2020): Belgian Stress Tests. National final report on the stress tests of nuclear power plants.
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/best-2020.pdf>.
- FANC – Federal Agency for Nuclear Control (2020b): Sabotage der Dampfturbine von Doel 4; <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/aktuelles/sabotage-der-dampfturbine-von-doel-4>.
- FANC – FEDERAL AGENCY FOR NUCLEAR CONTROL (2020c): Terroristische Bedrohung; <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/aktuelles/terroristische-bedrohung>
- FANK (2009): Strategiepapier. Long term operation von belgischen Kernkraftwerken: Doel 1&2 und Tihange 1. Memorandum Nr. 008-194, herz.2, FANK, September 2009. Zitiert nach UVP-BERICHT (2021).
- FÖD (2003): Gesetz vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für die industrielle Stromerzeugung. Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie. Zitiert nach UVP-BERICHT (2021).
- FÖD (2015): Gesetz vom 28. Juni 2015 zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für die industrielle Stromerzeugung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit im Bereich der Energie, Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie. Zitiert nach UVP-BERICHT (2021).
- FÖDERALES PLANBÜRO (2015). Studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading tegen het jaar 2030. FÖD Wirtschaft.
- FRANO, R.L. (2021): Aircraft Impact Effects on an Aged NPP. Materials 2021, 14, 816.
<https://doi.org/10.3390/ma14040816>.
- GEMIX (2009): GEMIX-Group. Welche ideale energiemix voor België tegen 2020 en 2030? Zitiert nach UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021).
- GERARD, R. (1999): Life Management of Doel 1-2 reactor pressure vessels. Konferenzbeitrag bei 7th Conference on Nuclear Engineering, Tokyo.

- 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.
- HERCA (2014): HERCA-WENRA Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident.
https://www.herca.org/herca_news.asp?newsID=80.
- 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): Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA Specific Safety Guide SSG-3, 2010.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2010a): Report of the OSART Mission to the Doel NPP, 8-25 March 2010
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2012a): Report of the OSART Follow-up Mission to the Doel NPP, 2012
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2015): 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 (2018): Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, SSG-48.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2019a): SALTO Follow-up Mission to Doel 1 and 2, 2019
- 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 (2021b): 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

- KÖNIGLICHER ERLASS (2012): Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen, 01.03.2012.
- KÖNIGLICHER ERLASS (2020): Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen, 09.03.2020
- LALEMAN, R., ALBRECHT, J. (2016) Belgian blackout? Estimations of the reserve margin during the nuclear phase-out. *Electrical Power and Energy Systems* 81 (2016). Zitiert nach NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG (2021).
- LIMBACH, A. (2020): Zur Sicherheit der Stromversorgung in Belgien – aktuelle Situation und Entwicklung. Im Auftrag des Umweltinstituts München. Bonn/München, Oktober 2020.
- MAJER (2013): Risiko von Altreaktoren; Eine Studie von Dipl. Ing. Dieter Majer; im Auftrag der Schweizerische Energie-Stiftung SES.
- MARIGNAC, Y. (2016): Zusammenfassung der Studie «Reduktion der Sicherheitsmargen von Alt-KKW. Der Fall Beznau. WISE-Paris.
- NEA – NUCLEAR ENERGY AGENCY (2020): Use and Development of Probabilistic Safety Assessments at Nuclear Facilities Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2019)10.
- NICHTTECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG (2021): Nichttechnische Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Wie vorgesehen in den Richtlinien 2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2. SCK-CEN. Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter der Referenz 2020/VEF/67514 – Umweltverträglichkeitsstudie. Datum der Veröffentlichung: 2021-04-02. Diese Nichttechnische Zusammenfassung wurde aus dem Niederländischen ins Deutsche übersetzt. FÖD Wirtschaft –Lastenheft Nr. 2020/67014/E2/Milieu-Impactstudie Ref. SCK CEN: CO-90-20-5535-00. Brüssel, Belgien.
https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/nichttechnische_zusammenfassung.pdf.
- NTI – NUCLEAR THREAT INITIATIVE (2021): Nuclear Security Index.
<http://ntiindex.org>.

UMWELTAUSWIRKUNGEN (2021): Umweltverträglichkeitsprüfung. Wie vorgesehen in den Richtlinien 2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2. SCK-CEN, KENTER. Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter der Referenz 2020/VEF/67514 – Umweltverträglichkeitsstudie. Datum der Veröffentlichung: 2021-04-02. Dieser Bericht wurde aus dem Niederländischen ins Deutsche übersetzt. FÖD Wirtschaft – Lastenheft Nr. 2020/67014/E2/Milieu-Impactstudie Ref. SCK CEN: CO-90-20-5535-00. Brüssel, Belgien.

<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/umweltauswirkungen-doel12.pdf>.

UNECE (2020): Meeting of the Parties to the Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Guidance on the applicability of the Convention to the lifetime extension of nuclear power plants. As endorsed by the Meeting of the Parties at its eighth session (8–11 December 2020) and pre-edited. To be issued as a publication.

<https://unece.org/environment/documents/2021/03/working-documents/guidance-applicability-convention-lifetime>.

UVP-BERICHT (2021): Umweltverträglichkeitsprüfung Kernkraftwerk Doel Laufzeitverlängerung Doel 1&2. NRG, Arcadis.

<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/uve-lte-doel12.pdf>.

WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION (2006): Harmonization of Reactor Safety in WENRA Countries, Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group. Referenzniveaus, Arbeitsübersetzung, Mai 2006.

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 (2015): Guidance Document Issue T: Guidance Head Document

<http://www.wenra.org/publications/>.

WENRA – WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS ASSOCIATION (2016a): Guidance Document Issue T: Guidance on Extreme Weather Conditions. Annex to the Guidance Head Document on Natural Hazards

<http://www.wenra.org/publications/>.

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 RHWG – WENRA REACTOR HARMONIZATION WORKING GROUP (2011): Pilot study on Long term operation (LTO) of nuclear power plants Study by WENRA, March 2011

WENRA RHWG – WENRA REACTOR HARMONIZATION WORKING GROUP (2013): Safety on new NPP Design; Study by Reactor Harmonization Working Group.

WENRA RHWG – WENRA Reactor Harmonization Working Group (2020a): Status of the Implementation of the 2014 Safety Reference Levels in National Regulatory Frameworks as of 1 January 2020, Report, WENRA Reactor Harmonization Working Group, 1 January 2020

WENRA RHWG – WENRA Reactor Harmonization Working Group (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.

ZUSAMMENFASSUNG (2021): Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung Kernkraftwerk Doel Laufzeitverlängerung, Doel 1&2. NRG, Arcadis.
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/belgien/doel12/zusammenfassung-uvp-lte-doel12.pdf>.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Status der Implementierung der 2014 WENRA Referenzlevel in 2019.....	45
Abbildung 2: Prinzipielles Verfahren eines Sicherheitsvergleichs	48
Abbildung 3: Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 5 kBq Cs-137/m ₂ kontaminiert zu werden.	85
Abbildung 4: Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel 1 mit mehr als 37 kBq Cs-137/m ² kontaminiert zu werden	86
Abbildung 5: 1-Jahres-Effektidosis für Erwachsene durch einen schweren Unfall in Doel 1, Wettersituation vom 01.06.1995.....	87

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Effektive Dosis und Schilddrüsendosis an der Standortgrenze des KKW für die Auslegungsstörfälle (LOCA und FHA) und den auslegungsüberschreitenden Unfall (CSBO) verglichen mit den Grenzwerten aus Genehmigung.....	56
Tabelle 2:	(Prognose-)Werte für die landwirtschaftliche Maßnahme A07 ..	86

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AMP	Ageing Management Program
Cs-137	Cäsium-137
BDBA	Beyond Design Basis Accident
CDF	Core Damage Frequency
DEC	Design Extension Conditions
DWR	Druckwasserreaktor, auf Englisch: PWR
ENSREG	European Nuclear Safety Regulation Group
FANK, FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
.....	Föderalagentur für Nuklearkontrolle
FCVS	Filtered Containment Venting System
HLW	Hoch radioactive Abfälle, high level waste
I-131	Iod-131
IAEA	International Atomic Energy Agency,
.....	Internationale Atomenergie Organisation
kBq	KiloBecquerel
KKW	Kernkraftwerk
LILW	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle,
.....	low and intermediate level waste
LOOP	Loss of Offsite Power
LRF	Large Release Frequency
LTE	Life-time Extension, Laufzeitverlängerung
LTO	Langzeitbetrieb, Long Term Operation
NIRAS	Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und
.....	angereicherte Spaltmaterialien; auf Französisch auch
.....	ONDRAF
NGO	Nichtregierungsorganisation
NTI	Nuclear Threat Initiative

PGA.....	Peak Ground Acceleration [Maximale (horizontale) Bodenbeschleunigung]
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSR	Periodic Safety Review, auf dt. PSÜ
PSÜ	Periodische Sicherheitsüberprüfung, auf engl. PSR
RL.....	Reference Level
SAM	Severe Accident Management
SBO.....	Station Blackout
SCG.....	Lagergebäude für abgebrannte Brennelemente, auch BCG genannt
SF2.....	Spent Fuel Storage Facility, Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente
SRL.....	Safety Reference Level
TAW	tweede algemene waterpassing, second general leveling
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

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at