

Risiken der Laufzeitverlängerungen von Doel-4 und Tihange-3

Stellungnahme im Rahmen des UVP-Verfahrens

Oda Becker, Gabriele Mraz (pulswerk GmbH)

Hannover, Wien 11.05.2023

Im Auftrag von Greenpeace Belgien

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung und Verfahren.....	6
1.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	7
2 Alternativen	7
2.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	10
3 Atommüll	10
3.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	11
4 Schwächen des Reaktortyps im Langzeitbetrieb	11
4.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	18
5 Gefahren durch Naturereignisse	19
5.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	22
6 Gefahren durch terroristische und militärische Handlungen	23
6.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	25
7 Auswirkung eines schweren Unfalls auf Belgien und die Nachbarländer	25
7.1 Schlussfolgerungen und Forderung.....	31
Literatur	31

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Kontamination durch einen schweren Unfall in Doel-4 in Bq Cs-137 pro m ² . Quelle: flexrisk.boku.ac.at.	29
Abbildung 2: Kontamination durch einen schweren Unfall in Tihange-3 in Bq Cs-137 pro m ² . Quelle: flexrisk.boku.ac.at.	29
Abbildung 3: Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel-4 und Tihange-3 mit mehr als 37 und 1.480 kBq Cs-137/m ² kontaminiert zu werden. Quelle: flexrisk.boku.ac.at.	30
Tabelle 1: Bevölkerungszahl in Millionen. Der Standort Doel befindet sich zwischen den zwei Provinzen Antwerpen und Ostflandern. Quelle: schriftl. Mitteilung EC/BBLV	6
Tabelle 2: Radioaktive Freisetzungen (Quellterme) für die im UVP-Bericht berechneten Unfälle (SCK CEN 2023a)	18
Tabelle 3: Dosisberechnungen aus SCK CEN (2023a) für die Auslegungsstörfälle und den auslegungsüberschreitenden Unfall in Doel-4 außerhalb der Standortgrenze des AKW, ca. 300m von der Einleitungsstelle (in Klammer Berechnungsergebnisse nach Richtlinien aus 2017).....	26
Tabelle 4: Dosisberechnungen aus SCK CEN (2023a) für die Auslegungsstörfälle und den auslegungsüberschreitenden Unfall in Tihange-3, bis zu 1000 m außerhalb der Standortgrenze des AKW (in Klammer Berechnungsergebnisse nach Richtlinien aus 2017).....	26
Tabelle 5: Vergleich der Dosis-Richtwerte und Interventionsmaßnahmen in Belgien und seinen Nachbarländern, plus Österreich, Quelle: HERCA Country Fact Sheets, www.herca.org)	26

Zusammenfassung

Einleitung und Verfahren

Derzeit läuft eine Umweltverträglichkeitsprüfung für eine Laufzeitverlängerung der beiden Reaktoren Doel-4 und Tihange-3. 2025 sollten beide Reaktoren nach 40 Betriebsjahren abgeschaltet werden, nun sollen sie um 10 Jahre länger in Betrieb sein. Diese 10 Jahre werden allerdings erst ab der ersten industriellen Stromerzeugung nach 2025 gerechnet; das vorgesehene späteste Abschaltdatum ist der 31.12.2037.

Die Reaktoren Doel-4 und Tihange-3 wurden vor dem Inkrafttreten der UVP-Gesetzgebung in Betrieb genommen. Die UVPs zur Laufzeitverlängerung sind somit die ersten UVPs, die für diese beiden Reaktoren durchgeführt wird. Daher sollten auch die Veränderungen in der Umwelt seit der Inbetriebnahme, z.B. die stark steigende Bevölkerungsdichte, einbezogen werden.

Da ein schwerer Unfall in Doel-4 oder Tihange-3 Auswirkungen auf weite Teile Europas haben kann, wäre die Abhaltung eines europaweiten öffentlichen Hearings im Zuge der UVP angebracht.

Alternativen

Obwohl im UVP-Bericht erklärt wird, dass als Alternative theoretisch jede Kombination von Energieformen in Frage käme, die eine ausreichende Kapazität und ein hohes Maß an Betriebssicherheit gewährleisten kann, wurden Alternativen nicht geprüft, sondern eine politische Entscheidung zur Laufzeitverlängerung getroffen. Die Begründung für die Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 ist sachlich unzutreffend, denn es werden aus der aktuellen Situation unlogische Schlüsse gezogen¹.

Das mit der Laufzeitverlängerung verfolgte politische Ziel, die Gewährleistung der Stromversorgungssicherheit, ist zudem nicht gesichert, da die alten Reaktoren auch genau wie in Frankreich durch Stillstände aufgrund von sicherheitsrelevanten Ereignissen bedroht sind.

In dem Zeitraum, wo es Engpässe bei der Energieversorgung geben könnte (2025 bis 2027), wären die AKWs abgeschaltet. Sie würden erst dann wieder ans Netz gehen, wenn ohnehin zusätzliche Off-shore Kapazitäten am Netz oder fast am Netz sind.

Zudem wird laut Elia eine Erhöhung der flexibel einsetzbaren Kapazität erforderlich, das können Doel-4 und Tihange-3 aber nicht erfüllen. Eine Lebensdauerverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 würde den angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energien jedoch behindern.

Es muss eine fachlich fundierte Überprüfung der möglichen Alternative durch erneuerbare Energien erfolgen und deren potenzielle Umweltauswirkung vergleichend bewertet werden anstatt eine auf unlogischen Schlüssen basierte politische Entscheidung zur Laufzeitverlängerung der Reaktoren Doel-4 und Tihange-3 als alternativlos hinzustellen und deren Umweltauswirkungen zu negieren.

Atommüll

Es ist grundsätzlich problematisch, eine Laufzeitverlängerung zu genehmigen, ohne dass die sichere Entsorgung der nuklearen Abfälle inklusive ihrer Endlagerung gesichert ist. Durch die Laufzeitverlängerung würden immerhin ca. 810 abgebrannte Brennelemente zusätzlich anfallen, dies entspricht einem Plus an 7,8% gegenüber der Menge ohne Laufzeitverlängerung. Für diese zusätzlichen Brennelemente wird ein mehr als 1,2 km langer Stollen in einem zukünftigen Endlager benötigt. Dies ist also keine vernachlässigbare Menge. Die komplizierte Endlagersuche und -errichtung wird damit weiter erschwert.

Die Planung eines Endlagers für hochaktiven Müll ist in Belgien zudem in einem sehr frühen Stadium. Es ist keinesfalls gesichert, dass der Betrieb 2080 wirklich starten wird. Die

¹ wegen der Ausfälle der französischen AKWs auf eigene alte von Ausfällen bedrohte AKWs zu setzen; zur Erreichung einer Brennstoffunabhängigkeit eine Abhängigkeit von Uran einzugehen

Zwischenlager sollten daraufhin überprüft werden, ob sie für den langen Zeitraum bis 2080 oder gegebenenfalls auch darüber hinaus ausreichende Sicherheit bieten.

Schwächen des Reaktortyps im Langzeitbetrieb

Die Qualität der in Doel-4 und Tihange-3 eingesetzten Werkstoffe nimmt durch physische Alterung ab, was zum Versagen von Komponenten führen kann. Ein vorsorgliches Austauschen von Komponenten im Rahmen des Alterungsmanagement kann die Risiken mindern. Der Umfang des Austausches wird jedoch in Absprache zwischen dem Betreiber und den Aufsichtsbehörden festgelegt und von wirtschaftlichen Überlegungen dominiert. Erfahrungen zeigen zudem, dass bei längerer Betriebszeit unerwartete Schäden auftreten. Außerdem können nicht alle Komponenten ausgetauscht werden, das betrifft zum Beispiel den Reaktordruckbehälter. Insgesamt steigen die Risiken mit der Betriebszeit durch Alterungseffekte.

Auch das Sicherheitskonzept von Doel-4 und Tihange-3 ist im Vergleich zu aktuellen Sicherheitsanforderungen und Regelwerken veraltet. Im UVP-Bericht wird behauptet, die Anlagen entsprechen weitgehend den neuen Anforderungen, das stimmt gemessen an den internationalen Anforderungen in keiner Weise. Insgesamt wird im UVP-Bericht deutlich, dass Abstriche an den Sicherheitsanforderungen für die Laufzeitverlängerung gemacht werden sollen, was automatisch zur Erhöhung des Risikos führt.

Durch die bisher durchgeführten Nachrüstungen erreichen Doel-4 und Tihange-3 nicht das Sicherheitsniveau neuer Anlagen, Auslegungsdefizite beziehen sich auf den Bereich auslegungsüberschreitender Unfälle. Anstatt technischer Nachrüstungen wurden bisher lediglich Maßnahmen der Betriebsmannschaft eingeführt. **Die Betriebsmannschaft müsste zur Verhinderung einer massiven radioaktiven Freisetzung versuchen unter widrigen Bedingungen und im Wesentlichen mit mobilen Geräten einen schweren Unfall zu verhindern.** Anmerkung: In Schweden wurde bei Reaktoren des gleichen Typs ein unabhängiges Kernkühlsystem nachgerüstet.

Das wichtigste Sicherheitsziel für neue AKWs ist der Ausschluss von Kernschmelzunfällen mit frühen und hohen Freisetzungen. Diese Sicherheitsanforderung wurde bisher für Doel-4 und Tihange-3 nicht erfüllt. Dieses grundlegende Sicherheitsziel muss von neuen AKWs erfüllt werden. Bei bestehenden Anlagen hingegen wird zugestanden, dass eine Umsetzung der Anforderungen eventuell nicht „vernünftig machbar“ sei. Es bleibt damit die Aufgabe der Aufsichtsbehörde zu prüfen, inwieweit vorgesehene Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an den erforderlichen Schutz der Bevölkerung ausreichend sind. **Die Bevölkerung und die Politik haben ein Recht darauf zu erfahren, welche Defizite Doel-4 und Tihange-3 im Vergleich zu den aktuellen Sicherheitsanforderungen aufweisen. Des Weiteren sollten sie Informationen erhalten, welche Nachrüstungen technisch möglich wären, aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgen sollen.**

Anders als in Frankreich – dort werden als Maßstab für die Nachrüstungen zur Laufzeitverlängerung der alten Reaktoren der 900 MW Klasse die aktuellen Sicherheitsziele verwendet – wird in Belgien im Rahmen der geplanten Laufzeitverlängerung nicht einmal versucht diese Anforderungen zu erfüllen.

Doel-4 und Tihange-3 sollten – wie von der WENRA empfohlen – für die Laufzeitverlängerung im Rahmen der PSÜ daraufhin überprüft werden, inwieweit sie die geltenden Sicherheitsziele für neue Reaktoren erfüllen. Nur auf dieser Basis kann die Aufsichtsbehörde entscheiden, ob ein Weiterbetrieb für Doel-4 und Tihange-3 genehmigt werden kann oder das Risiko für die Bevölkerung zu groß ist.

Gefahren durch Naturereignisse

Mögliche Einwirkungen von Naturgefahren sind im Rahmen der alle 10 Jahre stattfindenden Periodischen Sicherheitsüberprüfungen zu überprüfen. Die Ergebnisse der Überprüfung sollen gegebenenfalls zur Anpassung der Auslegungsgrundlage (Design Basis) der Anlage führen und in die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle einfließen. Aus den UVP-Dokumenten ist jedoch nicht ersichtlich, ob dieser Prozess im Rahmen der Laufzeitverlängerung für Doel-4 und Tihange-3

durchgeführt werden soll. Im Gegenteil, die Formulierungen legen nahe, dass auf eine Neubewertung verzichtet wird.

Bezüglich extremer Einwirkungen wird zwar die negativen Änderungen durch den Klimawandel benannt, aber gleichzeitig die Neubewertung nach dem Stresstests 2011 als ausreichend für den Zeitraum bis 2037 angesehen. Sollte die Hochwasserschutzanlage in Tihange versagen, wird das Gelände überflutet, die Sicherheitssysteme fallen aus und Betriebsmannschaft muss mit mobiler Ausrüstung von Booten aus, einen Kernschmelzunfall verhindern. Doel kann ein Deichbruch geschützt, ebenfalls in eine gefährliche Situation führen.

Angesicht der bestehenden und zunehmenden Gefahr durch extreme Naturereignisse muss eine Neubewertung der Risiken erfolgen, die auch den Klimawandel angemessen berücksichtigt, anstatt sich auf die vermeintlichen bestehenden Sicherheitsreserven zu verlassen.

Gefahren durch terroristische und militärische Handlungen

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen – auch für Doel-4 und Tihange-3. Das gilt insbesondere aufgrund der dargestellten Bedrohungslage in Belgien. Dennoch werden sie im UVP-Dokument kaum erwähnt. In vergleichbaren UVP-Dokumenten wurden solche Ereignisse in gewissem Maße diskutiert.

Obwohl die Anlagen Doel-4 und Tihange-3 besser geschützt sind als noch ältere Anlagen, weist ihr Schutzniveau Defizite gegenüber dem heute erwartenden Schutzniveau auf. Zudem genügen die Anforderungen in Belgien an einen derartigen Schutz nicht den aktuell erforderlichen Anforderungen.

Die besondere Bedrohungssituation in Belgien und der nicht ausreichende Schutz der Anlagen Doel-4 und Tihange-3 vor Terrorangriffen und Sabotageakten sollte bei einer Bewertung des Risikos für die Bevölkerung durch eine Verlängerung der Betriebszeit eine entscheidende Rolle spielen.

Auswirkung eines schweren Unfalls auf Belgien und die Nachbarländer

Die in den UVP-Unterlagen berechneten Unfälle (Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitender Unfall) können dazu führen, dass in Belgien Interventionsmaßnahmen wie der Verbleib im Innenraum oder die Gabe von Kaliumiodidtabletten angeordnet werden müssen. Weiters können sowohl die auslegungs- als auch der auslegungsüberschreitende Unfall dazu führen, dass landwirtschaftliche Maßnahmen starten müssen.

Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese berechneten Unfälle keinesfalls die schwerstmöglichen Unfälle sind. Im Projekt flexRISK wurde für beide Reaktoren ein möglicher Unfall berechnet. Diese Ergebnisse zeigen, dass weite Teile von Europa kontaminiert werden könnten. Gebiete nordöstlich der entsprechenden AKWs haben die höchste wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall kontaminiert zu werden. Durch einen solchen Unfall könnte es sogar dazu kommen, dass Gebiete in und rund um Belgien abgesiedelt werden müssten.

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall sollten im UVP-Verfahren berechnet werden, und zwar unabhängig von der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit, solange dieser physikalisch möglich ist, um das Risiko zu verdeutlichen. Die Ergebnisse im Projekt flexRisk ermittelten massiven Auswirkungen eines derartigen Unfalls für Belgien und Europa.

1 Einleitung und Verfahren

Derzeit läuft eine Umweltverträglichkeitsprüfung für eine Laufzeitverlängerung der beiden Reaktoren Doel-4 und Tihange-3. 2025 sollten beide Reaktoren nach 40 Betriebsjahren abgeschaltet werden, nun sollen sie um 10 Jahre länger in Betrieb sein. Diese 10 Jahre werden allerdings erst ab der ersten industriellen Stromerzeugung nach 2025 gerechnet; das vorgesehene späteste Abschaltdatum ist der 31.12.2037.

Die folgenden UVP-Unterlagen liegen dieser Stellungnahme zu Grunde:

- SCK CEN, Kenter, sertius (2023a): Umweltverträglichkeitsprüfung. Im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel-4 und Tihange-3. Veröffentlichungsdatum: 20.03.2023. Zitiert als (SCK CEN 2023a)
- SCK CEN, Kenter, sertius (2023b): Nichttechnische Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel-4 und Tihange-3. Veröffentlichungsdatum: 20.03.2023. Zitiert als (SCK CEN 2023b)

Sowohl Doel als auch Tihange wurden vor dem Inkrafttreten der UVP-Gesetze in Betrieb genommen und daher in ihrer ursprünglichen Laufzeit von 40 Jahren noch keiner UVP unterzogen. Dies ändert sich nun im Zuge der Laufzeitverlängerungen. Über lange Jahre war es strittig, ob eine Laufzeitverlängerung überhaupt einer UVP bedarf. Dies ist u.a. durch die erfolgreiche Klage belgischer NGOs zur fehlenden UVP bei der Laufzeitverlängerung der Reaktoren Doel 1&2 geklärt worden. Weiters ist seit Dezember 2020 mittels der „Espoo Guidance on the Applicability of the Convention to the Lifetime Extension of NPP“ (UNECE 2020) geregelt, dass Laufzeitverlängerungen einer UVP bedürfen, dies auch grenzüberschreitend.

In der Analyse der Umweltauswirkungen wurde die Situation der Abschaltung von Doel-4 und Tihange-3 im Jahr 2025 als „Referenzsituation“ gesetzt und mit der erwarteten Situation der Laufzeitverlängerung bis 2037 verglichen. Was jedoch nicht betrachtet wurde, war ein Vergleich mit der Situation Mitte der 1980er Jahre, als Doel-4 und Tihange-3 in Betrieb gingen. Abgesehen von Änderungen in diversen sicherheitsrelevanten Aspekten ist auch zu berücksichtigen, dass sich die Umgebung der AKWs in Hinsicht auf die Bevölkerungsdaten in den letzten Jahrzehnten stark verändert hat.

In etwa 30 Kilometer Entfernung vom Standort Doel befindet sich der Ballungsraum Antwerpen, in dem inzwischen weit über eine Millionen Menschen leben. Zum Zeitpunkt, als Doel-4 in Betrieb ging, war die Bevölkerungsdichte noch geringer, und noch geringer war sie, als Doel-1&2 in Betrieb gingen.

Tabelle 1: Bevölkerungszahl in Millionen. Der Standort Doel befindet sich zwischen den zwei Provinzen Antwerpen und Ostflandern. Quelle: schriftl. Mitteilung EC/BBLV

Jahr	Provinz Antwerpen	Provinz Ostflandern
1970	1,538	1,310
1981	1,570	1,331
1990	1,597	1,332
2000	1,644	1,362
2010	1,745	1,432
2020	1,867	1,525

In den UVP-Dokumenten wird nur auf die unmittelbare Umgebung des AKW Doel eingegangen (5 km), deren Bevölkerungsdichte im UVP-Bericht (SCK CEN 2023a) als gering beschrieben wird.

In der Espoo Guidance zur Laufzeitverlängerung wird Bezug genommen auf Änderungen in der Umwelt bzw. Umgebung des AKWs, die auch als „major change“ interpretiert werden sollten:

“2. “Lifetime extension per se”

49. *It is unusual for lifetime extensions to be carried out without, inter alia, any associated physical works or modifications in the operating conditions. Nevertheless, irrespective of whether or not there are physical works or modifications in the operating conditions, the operation of a nuclear power plant is faced with a changing environment that occurs over the course of its lifetime and that may not have been considered in the initial authorization to operate. With respect to the decision on the lifetime extension, the changed environment, depending on its nature and scale, could constitute a factor that may indicate that the change in the likely impact of the proposed activity could, as such, be classified as a major change.” (UNECE 2020 III.C)*

Eine solche Auslegung bedeutet, dass die Veränderungen in der Bevölkerungsdichte in der Nähe des AKW als ein „major change“ gesehen werden können, und somit auch dieser Aspekt in der Umweltbewertung zu berücksichtigen wäre.

Auch wenn es grundsätzlich ein Fortschritt ist, dass für Laufzeitverlängerungen Umweltauswirkungen bewertet werden müssen, bleibt dennoch bei jedem einzelnen UVP-Verfahren die Frage zu klären, ob genügend Informationen frühzeitig genug zur Verfügung gestellt werden, um die Umweltauswirkungen auch wirklich in der nötigen Detailtiefe und Qualität beurteilen zu können.

Einer der umstrittenen Punkte bei jeder UVP zu einem AKW-Neubau oder einer Laufzeitverlängerung ist die Frage, ob wirklich die Folgen des schwerstmöglichen Unfalls herangezogen wurden, um die möglichen Auswirkungen des Projekts zu beschreiben. (siehe Kapitel 7)

Weiters müssen in einer UVP alle Informationen enthalten sein, die es erlauben, den Zustand der Anlage überprüfen zu können. Dazu gehören alle Arbeiten, die im Zuge der Laufzeitverlängerung durchgeführt wurden bzw. werden. Es zeichnet sich allerdings jetzt schon ab, dass die nötigen sicherheitsrelevanten Arbeiten an den Reaktoren Jahre dauern würden². Es wird zudem erklärt, dass sie nicht vor Start der Laufzeitverlängerung abgeschlossen sein werden.

Da ein schwerer Unfall in Doel-4 oder Tihange-3 Auswirkungen auf weite Teile Europas haben kann, wäre die Abhaltung eines europaweiten öffentlichen Hearings im Zuge des UVP-Verfahrens angebracht.

1.1 Schlussfolgerungen und Forderung

Die Reaktoren Doel-4 und Tihange-3 wurden vor dem Inkrafttreten der UVP-Gesetzgebung in Betrieb genommen. Die UVPs zur Laufzeitverlängerung sind somit die ersten UVPs, die für diese beiden Reaktoren durchgeführt wird. Daher sollten auch die Veränderungen in der Umwelt seit der Inbetriebnahme, z.B. die stark steigende Bevölkerungsdichte, einbezogen werden.

Da ein schwerer Unfall in Doel-4 oder Tihange-3 Auswirkungen auf weite Teile Europas haben kann, wäre die Abhaltung eines europaweiten öffentlichen Hearings im Zuge der UVP angebracht.

2 Alternativen

Im UVP-Bericht wird erklärt, dass die Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 um 10 Jahre in erster Linie eine politische Entscheidung ist, die durch unerwartete Entwicklungen auf dem Energiemarkt und in der geopolitischen Lage in Europa bedingt ist. Das damit verfolgte politische Ziel ist die *Gewährleistung der Stromversorgung*. Als Alternative käme theoretisch jede Kombination von Energieformen in Frage, die eine ausreichende Kapazität und ein hohes Maß an Betriebssicherheit gewährleisten kann. (SCK CEN 2023a)

Der Kapazitätsvergütungsmechanismus (capacity remuneration mechanism oder CRM) galt zuvor als die bevorzugte Lösung zur Überbrückung des Zeitraums zwischen der geplanten endgültigen Abschaltung aller AKWs im Jahr 2025 und dem Zeitpunkt, an dem ausreichende Kapazitäten für

² <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/langzeitbetrieb-lto-von-doel-4-und-tihange-3-bis-2035>, gesehen 09.05.2023

erneuerbare Energien zur Verfügung stehen würden. Obwohl der **CRM-Mechanismus** im Prinzip für jede Art Kapazität offen ist, scheint es in der Praxis laut UVP-Bericht so zu sein, dass hauptsächlich auf Gaskraftwerke (GuD) gesetzt wird. (SCK CEN 2023a)

Elia berechnete im Jahr 2021, dass im Jahr 2025, ein Bedarf an zusätzlicher Erzeugungskapazität von etwa 3,6 GW besteht. Dabei muss die so aufgebaute Kapazität in der Lage sein, diese flexibel einzusetzen. Die im Jahr 2025 verfügbare zusätzliche Kapazität beträgt laut Elia rund 4,48 GW. Im UVP-Bericht wird erklärt, dass diese Kapazität im Prinzip ausreiche, um die ab 2025 entstehende Kapazitätslücke zu schließen, aber die Regierung möchte sich nicht ausschließlich auf die CRM-Kapazität verlassen. Laut UVP-Bericht handelt es sich daher hierbei nicht um eine echte Alternative, sondern um eine zusätzliche Garantie, die in Kombination mit der Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 die Stromversorgungssicherheit gewährleistet. (SCK CEN 2023a)

Ein Anstieg der erneuerbaren Energien trägt laut UVP-Bericht ebenfalls dazu bei, einen Teil des Defizits auszugleichen. **Tatsächlich ist der Ausbau der erneuerbaren Energien in Belgien in vollem Gange.** Ende 2021 betrug die installierte Gesamtkapazität an erneuerbaren Energien in Belgien 13,06 GW und der Anteil an der belgischen Gesamtzeugung etwa 18 %. Im Jahr 2022 lag der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten belgischen Nettostromerzeugung bereits bei rund 23,1 Prozent. Die erneuerbaren Energien setzen sich hierbei aus Biomasse, Solar- und der Windenergie (On- sowie Offshore) zusammen.³ **Dennoch wird im UVP-Bericht erklärt, dass auch die Kapazität der erneuerbaren Energien noch nicht ausreichend entwickelt ist und daher keine Alternative zur Laufzeitverlängerung ist. Diese Feststellung ist eine Behauptung, die zum einen nicht zutreffen ist und zudem könnte der Ausbau durch Maßnahmen weiter forciert werden.** Anzumerken ist, dass in den letzten Jahren in der EU ein starkes Wachstum der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu beobachten war.⁴ **Auf dieser Basis sollte eine Neubewertung zur möglichen Alternative erneuerbare Energien zur Schließung der Kapazitätslücke erfolgen.**

Teil der Strategie zum Ausstieg aus der AKWs war der Aufbau von Offshore-Windkapazitäten. Mitte 2021 erreichte Belgien eine installierte Kapazität von 2,3 GW. Die Entwicklung der Offshore-Windenergie soll mit der Ausweisung einer zweiten Zone in der Nordsee fortgesetzt werden, in der die ersten Turbinen 2027-2028 ans Netz gehen und die nationale Flotte letztlich um 3,1-3,5 GW erweitern soll. (WNISR 2022)

Laut UVP-Bericht haben die Energiekrise und der Krieg in der Ukraine die Rahmenbedingungen verändert. Hinzu kämen die Probleme mit den französischen AKWs, denn zeitweise war mehr als die Hälfte der französischen AKWs nicht in Betrieb. Daher läge es insofern auf der Hand, dass die durch den Ausstieg aus der Atomenergie möglicherweise entstehenden Lücken so weit wie möglich durch eigene Kapazitäten geschlossen werden sollten.

Der UVP-Bericht erklärt, dass die Regierung sich stärker auf die inländischen Produktionskapazitäten konzentrieren und die Abhängigkeit von (ausländischen) fossilen Energieträgern verringern möchte. In diesem Zusammenhang sei die Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 eine logische Entscheidung. (SCK CEN 2023a) Die Regierung begründet ihre Entscheidung mit dem Krieg in der Ukraine. Was der Krieg in der Ukraine aber vor allem zeigt ist, dass Atomanlagen extrem gefährlich in Kriegssituationen sind. Die Absicht unabhängiger von fossilen Energiequellen und stattdessen abhängig von Uranimporten zu werden, ist nicht logisch. Auch aus den massiven Ausfällen von AKWs in Frankreich werden unzutreffende Schlüsse gezogen. **Tatsache ist, dass durch alternde AKWs keine Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann, insofern ist davon auszugehen, dass auch die Laufzeitverlängerung der belgischen AKWs keine Versorgungssicherheit garantiert. Zusätzlich zu den altersbedingten Ausfällen sind Versorgungsausfälle durch klimabedingte Abschaltungen und Drossellungen der Anlagen zu erwarten.**

³ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/182166/umfrage/struktur-der-bruttostromerzeugung-in-belgien/>

⁴ Sie lösten im Jahr 2020 erstmals die fossilen Brennstoffe als wichtigste Energiequelle ab.

Im UVP-Bericht wird weiterhin erklärt, dass die Betriebsverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 vor allem für den Zeitraum bis etwa 2028 von Bedeutung sei; danach dürfte eine zusätzliche Kapazität von etwa 2,2 GW Windkraft aus der neu zu erschließenden Prinzessin-Elisabeth-Zone in der Nordsee verfügbar werden. Laut UVP-Bericht sollen Doel-4 und Tihange-3 nach der Abschaltung 2025 im Herbst 2027 wieder hochgefahren werden. (SCK CEN 2023a) **Die geplanten Off-shore Anlagen würden dann bereits fast als Alternative zur Verfügung stehen. Insofern besteht für eine Laufzeitverlängerung bis 2037 keine Notwendigkeit.** Hinzukommt noch, dass sie dem Netz relativ nur eine Kapazität von 2 GW wieder zur Verfügung stellen würden.

Eine Bewertung der Umweltauswirkungen erfolgte für den Zeitraum des Weiterbetriebs im Abgleich mit dem Szenario, wenn die Abschaltung nicht verschoben worden wäre (dies wird als Referenzzustand gesehen). (SCK CEN 2023a) **In der Analyse der Umweltauswirkungen einer Betriebsverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 erfolgt kein Vergleich mit den Auswirkungen alternativer Lösungen, da (unzutreffend) behauptet wird, es gäbe keine Alternative.** Es wird eingangs erklärt, dass der Plan zur Laufzeitverlängerung eine politische Entscheidung ist. Das wird auch dadurch deutlich, dass eine ernsthafte und sachlich folgerichtige Prüfung und Bewertung der vorhandenen Alternativen nicht durchgeführt wird.

Tatsache ist auch, dass Atomkraftwerke nicht – wie von Elia benannt – die erforderliche flexible Kapazität zur Verfügung stellen und der Betrieb der Atomkraftwerke zudem den Ausbau der erneuerbaren Energien behindert.

SOVACOO et al. (2020) analysierten die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Atomkraftwerken in 123 Ländern über einen Zeitraum von 25 Jahren. Sie stellten fest, dass größere nationale Atomenergieanteile in der Regel nicht signifikant mit niedrigeren CO₂ Emissionen einhergehen, erneuerbare Energien hingegen schon. Sie fanden auch einen negativen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der nationalen Verbundenheit mit Atomkraft und dem Wachstum der erneuerbaren Energien. Dies deutet darauf hin, dass sich Atomenergie und erneuerbare Energien gegenseitig verdrängen.

Inzwischen ist bekannt, dass das Grundlastkonzept von Atomkraftwerken für einen Übergang zu einer 100 % erneuerbarer Energieversorgung nicht erforderlich, sondern sogar kontraproduktiv ist. Die begrenzte Flexibilität der Atomkraftwerke und ihre technischen⁵ und wirtschaftlichen Probleme beim Lastfolgebetrieb sind zu einem Handicap geworden, das einen kostengünstigen und stabilen Netzbetrieb mit einem steigenden Anteil an kohlenstofffreien, kostengünstigen variablen erneuerbaren Energien erschwert. (WNISR 2019)

Die „Scientist for Future“ betonen in einer kürzlich veröffentlichten Studie, dass Atomenergie die sozial-ökologische Transformation zu einer klimafreundlichen Energieversorgung blockiert. (WEALER et al. 2021) Die ultimative Herausforderung der großen Transformation, d. h. die Einleitung der sozial-ökologischen Reformen, die zu einem tragfähigen und klimaneutralen Energiesystem führen werden, liegt in der Überwindung des Widerstands ("lock-in") des alten, von den Interessen fossiler Brennstoffe dominierten Systems. Die Atomenergie ist jedoch nicht geeignet, diesen Prozess zu unterstützen. Im Gegenteil, sie blockiert ihn. Die Investitionen, die für eine Sackgassentechnologie erforderlich sind, verdrängen die Entwicklung in den Bereichen erneuerbare Energien, Energiespeicherung und Effizienz. Für die Erzeuger von Atomenergie besteht angesichts des Wettbewerbsumfelds ein Anreiz, Investitionen in erneuerbare Energien zu verhindern oder zu minimieren.

In einem in diesem Jahr veröffentlichten Artikel wies Jean-Jacques Nieuviaert (Präsident der Société d'Etudes et de Prospective Energétique (SEPE))⁶ daraufhin, dass ein verstärkter Lastfolgebetrieb mit

⁵ Der flexible Betrieb, der sogenannte Lastfolgebetrieb, ist für AKWs technisch problematisch. Der Lastfolgebetrieb hat Auswirkungen auf die Anlagen, so führt er zu einer Zunahme der zufälligen Ereignisse (im Durchschnitt + 25 %) und zur Alterung des Primärkreises. Lastfolge bedeutet, dass die Reaktoren mechanisch stärker beansprucht werden, was zu einer schnelleren Abnutzung bestimmter Teile führt.

⁶ Gesellschaft für energetische Studien und Zukunftsforschung

höheren Kosten und Einnahmeverlusten für EDF in Frankreich verbunden ist. Als Lösung schlug er unter anderem eine Drosselung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien vor. (NIEUVIAERT 2023)

Fazit einer kürzlich in Deutschland veröffentlichten Studie zur diskutierten Laufzeitverlängerung der deutschen AKWs war, dass eine zusätzliche unflexible Einspeisung von mehreren GW, wie es bei AKWs der Fall wäre, zu massiven negativen Auswirkungen auf den deutschen Strommarkt für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Volkswirtschaft führen könnte. (BEE 2023)

2.1 Schlussfolgerungen und Forderung

Obwohl im UVP-Bericht erklärt wird, dass als Alternative theoretisch jede Kombination von Energieformen in Frage käme, die eine ausreichende Kapazität und ein hohes Maß an Betriebssicherheit gewährleisten kann, wurden Alternativen nicht geprüft, sondern eine politische Entscheidung zur Laufzeitverlängerung getroffen. Die Begründung für die Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 ist sachlich unzutreffend, denn es werden aus der aktuellen Situation unlogische Schlüsse gezogen⁷.

Das mit der Laufzeitverlängerung verfolgte politische Ziel, die Gewährleistung der Stromversorgungssicherheit, ist zudem nicht gesichert, da die alten Reaktoren auch genau wie in Frankreich durch Stillstände aufgrund von sicherheitsrelevanten Ereignissen bedroht sind.

In dem Zeitraum, wo es Engpässe bei der Energieversorgung geben könnte (2025 bis 2027), wären die AKWs abgeschaltet. Sie würden erst dann wieder ans Netz gehen, wenn ohnehin zusätzliche Off-shore Kapazitäten am Netz oder fast am Netz sind.

Zudem wird laut Elia eine Erhöhung der flexibel einsetzbaren Kapazität erforderlich, das können Doel-4 und Tihange-3 aber nicht erfüllen. Eine Lebensdauerverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 würde den angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energien jedoch behindern.

Es muss eine fachlich fundierte Überprüfung der möglichen Alternative durch erneuerbare Energien erfolgen und deren potenzielle Umweltauswirkung vergleichend bewertet werden anstatt eine auf unlogischen Schlüssen basierte politische Entscheidung zur Laufzeitverlängerung der Reaktoren Doel-4 und Tihange-3 als alternativlos hinzustellen und deren Umweltauswirkungen zu negieren.

3 Atommüll

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 zunächst eine Abschätzung des aus der Laufzeitverlängerung erwarteten zusätzlichen Inventars an abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen, wobei die abgebrannten Brennelemente die höchste Gefährdung darstellen.

Durch die 10-jährige Laufzeitverlängerung werden laut UVP-Bericht (SCK CEN 2023a) zusätzlich die folgenden abgebrannten Brennelemente anfallen:

- Doel-4: Es werden ca. 390 abgebrannte Brennelemente anfallen (3,5% des gesamten belgischen Bestands), die nach einer Abklingphase im Lagerbecken im Zwischenlager am Standort (SCG) trocken gelagert werden. Die Kapazität des SCG wird voraussichtlich 2024 erschöpft sein. Bis 2025 soll ein neues Zwischenlager in Betrieb sein, das SF². **Der Platzbedarf für die zusätzlichen abgebrannten Brennelemente würde in einem zukünftigen Endlager einer Stollenlänge von ca. 600 m entsprechen.**
- Tihange-3: Es werden ca. 420 abgebrannte Brennelemente zusätzlich anfallen (3,8% des gesamten belgischen Bestands). Derzeit werden die abgebrannten Brennelemente nach der

⁷ wegen der Ausfälle der französischen AKWs auf eigene alte von Ausfällen bedrohte AKWs zu setzen; zur Erreichung einer Brennstoffunabhängigkeit eine Abhängigkeit von Uran einzugehen

Abklingphase im Lagerbecken in einem Nasslager am Standort gelagert (DE), dessen Kapazität bereits 2022 erschöpft war. Ein SF²-Zwischenlager für die trockene Lagerung ist derzeit in Bau und soll 2023 in Betrieb gehen. **Der Platzbedarf für die zusätzlichen abgebrannten Brennelemente würde in einem zukünftigen Endlager einer Stollenlänge von ca. 650 m entsprechen.**

Für einen Entsorgungsnachweis ist es maßgeblich, ob die benötigten Anlagen zur Entsorgung in der benötigten Kapazität rechtzeitig zur Verfügung stehen. Für die durch die Laufzeitverlängerung zusätzlich anfallenden abgebrannten Brennelemente stehen derzeit noch nicht genug Zwischenlagerkapazitäten zur Verfügung, diese befinden sich jedoch bereits in Bau. Die beiden SF²-Zwischenlager werden für eine Betriebszeit von 80 Jahren ausgelegt. (JOINT CONVENTION 2020)

Anders sieht es mit den Endlagerkapazitäten aus. Ein königlicher Erlass vom 22. November 2022 legt die Grundsatzentscheidung zur Tiefenlagerung auf belgischem Hoheitsgebiet fest. Die zuständige NERAS bereitet derzeit eine methodische Sicherheits- und Durchführbarkeitsakte für die geologische Endlagerung vor, die für 2025 geplant ist. Im Zuge der Laufzeitverlängerung für Doel-1 & 2 informierte die belgische Seite, dass ein Endlager für hochaktive Abfälle frühestens 2080 in Betrieb gehen könnte (UMWELTBUNDESAMT 2021). Das bedeutet, dass die Zwischenlagerung in den bestehenden Zwischenlagern mehr als 80 Jahre lang durchgeführt werden muss, bzw. falls sich der Zeitplan für das Endlager verzögert, noch länger. Es muss jedenfalls beizeiten nachgewiesen werden, ob die Zwischenlager und die Behälter für eine Langzeitzwischenlagerung ausgelegt sind.

3. 1 Schlussfolgerungen und Forderung

Es ist grundsätzlich problematisch, eine Laufzeitverlängerung zu genehmigen, ohne dass die sichere Entsorgung der nuklearen Abfälle inklusive ihrer Endlagerung gesichert ist. Durch die Laufzeitverlängerung würden immerhin ca. 810 abgebrannte Brennelemente zusätzlich anfallen, dies entspricht einem Plus an 7,3% gegenüber der Menge ohne Laufzeitverlängerung. Für diese zusätzlichen Brennelemente wird ein mehr als 1,2 km langer Stollen in einem zukünftigen Endlager benötigt. Dies ist also keine vernachlässigbare Menge. **Die komplizierte Endlagersuche und -errichtung wird damit weiter erschwert.**

Die Planung eines Endlagers für hochaktiven Müll ist in Belgien zudem in einem sehr frühen Stadium. Es ist keinesfalls gesichert, dass der Betrieb 2080 wirklich starten wird. Die Zwischenlager sollten daraufhin überprüft werden, ob sie für den langen Zeitraum bis 2080 oder gegebenenfalls auch darüber hinaus ausreichend Sicherheit bieten.

4 Schwächen des Reaktortyps im Langzeitbetrieb

Das AKW Tihange liegt am rechten Ufer der Maas und wird von Engie-Electrabel betrieben. Die Anlage besteht aus drei Druckwasserreaktoren. Die endgültige Abschaltung von Tihange-1 soll im Jahr 2025 erfolgen. Tihange-2 wurde im Februar 2023 endgültig abgeschaltet. Tihange-3 wurde 1985 erstmalig mit dem Netz verbunden und sollte nach einer Betriebszeit von 40 Jahren 2025 endgültig abgeschaltet werden. Es ist nun eine Laufzeitverlängerung bis maximal 2037 geplant.

Auch das AKW Doel wird von Engie-Electrabel betrieben, es liegt im Antwerpener Hafen am linken Schelde-Ufer. Es ist das AKW in Europa, das in der am dichtesten besiedelten Umgebung liegt: In einem Umkreis von 75 Kilometern leben etwa neun Millionen Menschen. Das AKW Doel umfasst vier Druckwasserreaktoren. Die endgültige Abschaltung der Reaktoren Doel 1&2 ist für das Jahr 2025 festgelegt. Doel-3 wurde im September 2022 endgültig abgeschaltet. Auch Doel-4 wurde 1985 das erstmalig mit dem Netz verbunden und soll eine Laufzeitverlängerung bis maximal 2037 erhalten.

Doel-4 und Tihange-3 sind Druckwasserreaktoren vom Typ Westinghouse 3-Loop (WH 3LP) mit einer Nettoleistung von 1038 MW.⁸ In Europa werden noch in Schweden zwei WH 3LP Reaktoren (Ringhals

⁸ Auch die bereits endgültig abgeschalteten Reaktoren Doel 3 und Tihange 2 sind WH 3LP Reaktoren.

3 und 4), die 1980 bzw. 1982 erstmals mit dem Netz verbunden wurden,⁹ und in Spanien fünf WH 3L-Reaktoren (Almaraz 1-2, Asco 1-2, Vandellos 2) betrieben. Diese Reaktoren wurden zwischen 1981 und 1987 mit dem Netz verbunden.

Das Containment von Doel-4 und Tihange-3 ist als Doppel-Containment mit einem inneren metallischen Liner ausgeführt. Doel-4 und Tihange-3 verfügen über ein Brennelement-Lagerbecken zur Lagerung abgebrannter Brennelemente außerhalb des Containments. Das Brennelement-Lagerbecken befindet sich in einem eigenen, an das Reaktorgebäude angrenzenden Lagerbeckengebäude. Der Schutzgrad der Struktur dieses Gebäudes gegen externe Einwirkungen ist deutlich geringer als der des Containments.

Alterungsmanagement für die Laufzeitverlängerung

Im UVP-Bericht wird erklärt, dass im Rahmen des Alterungsmanagements für alle sicherheitsrelevanten Systeme, Bauwerke und Komponenten nachzuweisen ist, dass ihre Qualifikation auch in der neuen Betriebsperiode gültig bleibt. Dies kann entweder durch eine entsprechende Analyse oder durch den Ersatz dieser Komponenten geschehen, bevor sie ihre qualifizierte Lebensdauer überschreiten. Für die großen mechanischen Komponenten (Reaktorbehälter, Reaktordeckel, Dampferzeuger) schätzt die FANC auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes, dass sie nicht ersetzt werden müssen. (SCK CEN 2023a) Große Komponenten wurden bereits ausgetauscht: Die Dampferzeuger 1997 (Doel-4) bzw. 1998 (Tihange-3) und 2015 die Deckel der Reaktordruckbehälter von beiden Blöcken. (FANC 2019a)

Für andere Komponenten (kleinere mechanische Komponenten wie Pumpen oder Ventile, elektrische Ausrüstung, Instrumentierung, Bauwerke) gibt es derzeit kein vollständiges Bild der möglichen Austauscharbeiten, bevor der Betreiber seine Studien abgeschlossen hat.¹⁰ Laut UVP-Bericht kann sich die tatsächliche Liste der im Rahmen von LTO Doel-4 und Tihange-3 durchzuführenden Arbeiten in Absprache zwischen dem Betreiber, Electrabel S.A., und den Sicherheitsbehörden noch weiterentwickeln. (SCK CEN 2023a)

Wie in jeder industriellen Anlage sinkt auch in einem AKW während der Betriebszeit die Qualität der eingesetzten Werkstoffe insbesondere durch physische Alterung.¹¹ Bestrahlung durch ionisierende Strahlen, thermische und mechanische Beanspruchungen sowie korrosive, abrasive und erosive Prozesse bewirken die Alterung der Komponenten. Die Folgen der Alterungsprozesse sind unter anderem das Auftreten von Versprödung, Rissbildung und -wachstum oder 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 den ursprünglichen Betriebsgenehmigungen wurde eine Laufzeit von 40 Jahren erwartet. 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 der Anlage haben sich mit dem Alter verringert. (INRAG 2021)

Reaktordruckbehälter

Die Komponente eines Reaktors, die nicht ausgetauscht werden kann, ist der Reaktordruckbehälter. Die Neutronenstrahlung, die während des Betriebs vom darin befindlichen Reaktorkern ausgeht, führt dazu, dass das Material der RDB-Wand mit der Betriebszeit zunehmend versprödet. Während eines Störfalles

⁹ Ringhals 2, ebenfalls ein WH 3L-Reaktor wurde im Dezember 2019 endgültig stillgelegt.

¹⁰ Neben Designverbesserungen und Alterungsmanagement hat die Behörde für nukleare Sicherheit auch die Humanressourcen (HR) als einen nicht zu unterschätzenden Faktor für einen langfristigen Betrieb identifiziert. Dies liegt jedoch außerhalb des Rahmens der Umweltverträglichkeitsprüfung.

¹¹ 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.

mit Verlust der Kühlung des Reaktors und Einspeisung von Notkühlwasser könnte es bei versprödetem Material zu einem Versagen des RDB kommen. Dies würde zu einem Kernschaden und einer massiven Freisetzung radioaktiver Stoffe führen. Als eine Voraussetzung für die Genehmigung zur Laufzeitverlängerung ist deshalb nachzuweisen, dass die Integrität des RDB bis zum Ende der angestrebten Laufzeit sichergestellt ist. (INRAG 2021)

Der Grad der Versprödung der RDB in Doel-4 ist im UVP-Bericht nicht thematisiert. Laut FANC (2017a) wurden der RDB in Doel-4 im September/Oktober 2015 und der RDB in Tihange-3 Ultraschall-Untersuchungen unterzogen. Es seien keine Rissanzeigen (durch Wasserstofflocken) detektiert worden. In 2012 wurden tausende Rissanzeigen in Doel 3 auch in Tihange 2 in den kernnahen Ringen festgestellt. Doel 3 und Tihange 2 wurde im September 2022 bzw. Februar 2023 endgültig abgeschaltet. Zu diesen Terminen erreichen die Anlagen ihr Auslegungsalter von 40 Jahren.

Schäden an sicherheitsrelevanten Gebäuden

Im Oktober 2017 stellte Electrabel schwerwiegende Mängel am Beton des Gebäudes fest, das an die Reaktorgebäude von Doel-3 angrenzt und die Sicherheitssysteme der 2. Ebene enthält. Ähnliche Probleme wurden bei Tihange-3 sowie Doel-4 festgestellt: 2018 wurden in Tihange-3 Betonschäden festgestellt, die durch Hitze und Feuchtigkeit verursacht worden seien, zudem seien „Anomalien“ in der Positionierung der Stahlverstärkungen im Beton festgestellt worden. Nach Angaben von Engie sind einige dieser Anomalien an den Bewehrungen des Stahlbetons seit dem Bau des Gebäudes vorhanden. Der Vorfall wurde auf der INES-Skala mit Stufe 1 klassifiziert. Auch in Doel-4 wurden 2018 derartige Betonschäden aufgedeckt, wobei es ebenfalls zu einer INES 1 Klassifizierung kam (FANC 2020b). Diese verbunkerten Gebäude enthalten Sicherheitssysteme der Anlagen und sollen einem Aufprall von außen wie einem Flugzeugabsturz standhalten können.

Veralten von Doel-4 und Tihange-3 und Nachrüstungen

Neben dem physischen Altern von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSCs) kann auch durch ein Veralten von Technologie, Konzepten und personellen Kompetenzen die Sicherheit eines AKWs beeinträchtigt werden.

Die konzeptionelle Alterung äußert sich vor allem durch ein veraltetes Sicherheitskonzept im Vergleich zu aktuellen Sicherheitsanforderungen und Regelwerken. Generell ist durch die Auslegung 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 AKWs gibt. **Nicht alle Auslegungsdefizite lassen sich durch Nachrüstungen beseitigen: Ein erheblicher Teil der Sicherheitsstandards wird bereits bei der Auslegung des AKWs festgelegt und kann durch Nachrüstungen grundsätzlich nicht mehr verbessert werden.**

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 AKWs bedingen. Die nicht behebbaren Unterschiede betreffen insbesondere den Schutz vor externen Einwirkungen und die nicht ausreichende Vorsorge gegen auslegungsüberschreitende Störfälle.

Die Nachrüstungen erreichen auch deshalb nicht das Sicherheitsniveau neuer Anlagen, weil – anstatt technischer Nachrüstungen im Bereich der Vorsorge durchzuführen – vielfach lediglich Notfallmaßnahmen eingeführt werden. (INRAG 2021)

Die IAEO bietet ihren Mitgliedsstaaten sogenannte SALTO Mission an (*Safety Aspects of Long Term Operation*), in deren Rahmen ein internationales Expertenteam die Maßnahmen und Prozesse zur Laufzeitverlängerung auf der Grundlage der IAEO-Standards begutachtet. Belgien hat eine entsprechende Mission für Doel-4 und Tihange-3 nicht in Anspruch genommen. (IAEA 2023)

Sicherheitsanforderungen für die Laufzeitverlängerungen

Laut UVP-Bericht entsprechen Doel-4 und Tihange-3 derzeit den geltenden Sicherheitsvorschriften, die im Königlichen Erlass vom 30. November 2011 festgelegt sind. Diese Vorschriften wurden im Jahr 2020 verschärft und ab 2025 gelten zusätzliche Sicherheitsanforderungen. Diese müssen im Rahmen der nächsten Sicherheitsüberprüfung angewendet werden.¹² **Welche Änderungen sich dadurch ergeben, kann erst nach einer umfassenden Überprüfung bewertet werden.**

Dennoch wird im UVP-Bericht erklärt, dass die Anlagen weitgehend den neuen Anforderungen entsprechen. Da Doel-4 und Tihange-3 zu den modernsten Reaktoren Belgiens gehören und bereits Gegenstand mehrerer Verbesserungsprojekte waren (im Rahmen der drei vorangegangenen regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen und der Stresstests nach Fukushima), sind die ermittelten möglichen Erfordernisse laut UVP-Bericht nicht besonders komplex. Dabei wird laut UVP-Bericht unterschieden werden zwischen den „notwendigen Anforderungen“ zur vollständigen Erfüllung der verschärften Anforderungen, die vor dem Beginn der Betriebsverlängerung nach 2025 zu realisieren sind, und den „möglichen Anpassungen“, die möglicherweise danach realisiert werden können, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. (SCK CEN 2023a)

Die wichtigsten Designverbesserungen, die als „notwendigen Anforderungen“ identifiziert wurden, sind folgende:

- Der Umgang mit potenziellen Hitzewellen kann zu konstruktiven Verbesserungen führen, z. B. zu zusätzlichen Luftkühlern oder -befeuchtern in Räumen;
- Stärkung der Notfallplanungszentren: Konstruktive Verbesserungen wie beispielsweise eine bessere Abschirmung oder Belüftung der Notfallplanungszentren;
- Die bestehenden Kühlsysteme der Lagerbecken könnten verbessert und durch zusätzliche (mobile) Kühlsysteme ergänzt werden, die in Unfallsituationen eingeschaltet werden können.

Im UVP-Bericht werden einige Maßnahmen aufgelistet, die aus erforderlichen Verbesserungen im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfungen und des EU-Stresstests resultieren. **Einige der bisherigen Nachrüstungen dienten jedoch nur dazu, den Sicherheitszustand herzustellen, der bei der Genehmigung bereits vorausgesetzt war und sich durch die Alterung verschlechtert hat** (wie auf die Renovierung der Betonschäden an den Gebäuden).

Zudem wird auf einige Maßnahmen zur Verbesserung des Brandschutzes verwiesen (z. B. Installation zusätzlicher Brandmeldeanlagen). Ein Beispiel dafür, dass trotz umfangreicher Nachrüstungen in alten AKWs aktuelle Sicherheitsstandards nicht erreicht werden, 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). (INRAG 2021)

Die Anforderungen an die Sicherheit zurzeit der Auslegung und der Errichtung von Doel-4 und Tihange-3 waren deutlich geringer als gegenwärtig.

Die IAEA hat ein Regelwerk geschaffen, das Sicherheitsanforderungen nach Stand von Wissenschaft und Technik für AKW angibt. Als grundlegendes Ziel für die Sicherheit von AKWs gilt, dass:

- (frühe) Freisetzungen radioaktiver Stoffe aufgrund eines frühzeitigen Versagens oder einer Umgehung des Sicherheitsbehälters, die Maßnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes erfordern, für deren Umsetzung jedoch nicht ausreichend Zeit zur Verfügung steht oder
- (große) Freisetzungen radioaktiver Stoffe, die räumlich umfangreiche und zeitlich langandauernde Maßnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes erfordern

¹² Die WENRA hat 2014 auf Basis der Lehren aus Fukushima ihre Anforderungen erhöht. Die neuen Aspekte der WENRA-Referenzlevel von 2014 wurden in die belgische Verordnung von 2020 aufgenommen. (FANC 2020c) Diese neuen Anforderungen waren bei der 3. PSÜ in 2015 noch nicht verwendet worden und müssten im Rahmen der der neuen PSÜ in 2025 angewendet werden.

praktisch auszuschließen¹³ sind oder die radiologischen Auswirkungen soweit zu begrenzen sind, dass Maßnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes nur in räumlich und zeitlich begrenztem Umfang erforderlich werden. (IAEA 2016)

Dieses grundlegende Sicherheitsziel muss von neuen AKWs erfüllt werden. Bei bestehenden Anlagen hingegen wird zugestanden, dass eine Umsetzung der Anforderungen eventuell nicht „vernünftig machbar“ sei. Es bleibt damit die Aufgabe der nationalen Aufsichtsbehörden zu prüfen, inwieweit vorgesehene Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an den erforderlichen Schutz der Bevölkerung ausreichend sind.¹⁴

Auch laut europäischer Richtlinie 2014/87/EURATOM sollen die „vernünftig machbaren“ („reasonable practicable“) Sicherheitsverbesserungen für die betriebenen AKWs durchgeführt werden. (EU 2014) Diese unverbindliche Forderung wird von den Aufsichtsbehörden der einzelnen Länder unterschiedlich umgesetzt. Denn was unter dieser Bezeichnung genau zu verstehen ist, ist nicht festgelegt. Es bestehen zwar inzwischen neue Sicherheitsanforderungen für AKWs in Europa. **Aber Aufsichtsbehörde und Betreiber verhandeln weiterhin gemeinsam und unter Ausschluss der Öffentlichkeit darüber, welche Nachrüstungen „vernünftig machbar“ sind.** D.h. sie werden nicht erfolgen, wenn sie zu teuer oder technisch zu aufwendig erscheinen. **Bei einer Entscheidung über eine Verlängerung der Betriebszeit trotz der bestehenden und zunehmenden Gefahren sollte die Bevölkerung beteiligt werden und die Politik eingebunden sein.**

Die dritte periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) für die Blöcke Doel-4 und Tihange-3 fand 2015 statt. Die vierte PSÜ wird 2025 durchgeführt werden müssen. **Die Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) empfiehlt eine Anlage bei der Laufzeitverlängerung im Rahmen der PSÜ auch daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie auch die geltenden Sicherheitsziele für neue Reaktoren erfüllen (WENRA 2011)¹⁵, jedoch wird dieser Ansatz in Belgien nicht verfolgt. Aus einer solchen Prüfung würde deutlich, welche Sicherheitsabstände (Deltas) zum heutigen geforderten Sicherheitsstandard bestehen.**

Der UVP-Bericht erklärt nicht, welche Sicherheitsziele der Prüfung zu Grunde lagen. Wie sicher ein AKW ist, kann nur dann beurteilt werden, wenn auch die Risiken bekannt sind. Ohne einen Risikobericht, der offene Punkte, Annahmen, Abschätzungen auf das verbleibende Risiko darstellt und bewertet, wird nicht klar, wie weit die Anlagen von den aktuellen Sicherheitszielen wirklich entfernt sind. Die Anforderungen an die Nachrüstungen sollten derart gestaltet sein, dass sie, nach Stand von Wissenschaft und Technik, das Risiko des Betriebs einer Anlage auf das gesellschaftlich akzeptierte Niveau begrenzen. (INRAG 2021) **Die Bevölkerung und die Politik haben ein Recht darauf zu erfahren, welche Defizite Doel-4 und Tihange-3 im Vergleich zu den aktuellen Sicherheitsanforderungen aufweisen. Des Weiteren sollten sie Informationen erhalten, welche Nachrüstungen technisch möglich wären, aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgen sollen.**

Maßstab bzw. Zielsetzung für die Laufzeitverlängerung von Doel-4 und Tihange-3 könnten beispielweise auch die Sicherheitsziele des heutigen Reaktors von Westinghouse (AP1000) sein. Der AP1000 mit einer Leistung von 1000 MW ist ein Druckwasserreaktor der heutigen 3. Generation von AKWs. Das Sicherheitskonzept des AP1000 beruht vor allem auf passiven Sicherheitssystemen. Bereits seit den 1990er Jahren arbeitete Westinghouse an einem neuen Design. An einem Vergleich der

¹³ Das Eintreten eines Ereignisses oder Ereignisablaufs oder Zustands kann als ausgeschlossen angesehen werden, wenn das Eintreten physikalisch unmöglich ist oder wenn mit einem hohen Maß an Aussagesicherheit das Eintreten als extrem unwahrscheinlich angesehen werden kann.

¹⁴ Das bedeutet auch, dass für alte Anlagen ein Risiko akzeptiert werden müsste, dass neu errichtete Anlagen nicht aufweisen dürften.

¹⁵ In einer Pilotstudie zur Lebensdauererweiterung von AKWs wird das mögliche Vorgehen für den Vergleich der Sicherheitsanforderungen bestehenden Reaktoren und mit den aktuellen Anforderungen im Rahmen einer periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) verdeutlicht.

Auslegung von Doel-4 und Tihange-3 mit dem AP1000 wäre zu sehen, welche Sicherheitsverbesserungen erforderlich wären, um den aktuellen Anforderungen zu entsprechen.

In Frankreich werden als Maßstab für die Prüfung zur Laufzeitverlängerung der alten Reaktoren der 900 MW Klasse die Sicherheitsziele für den in Bau befindlichen EPR in Flamanville 3 (EPR-FLA3) verwendet¹⁶. Der EPR wird ebenfalls der 3. Generation von AKW zugeordnet. Bei der Auslegung der französischen 900-MWe-Reaktoren wurden schwere Unfälle nicht berücksichtigt. Die EDF beabsichtigt daher die Sicherheit der alten Reaktoren bei Unfällen mit Kernschmelze zu verbessern. EDF hat im Rahmen der 4. PSÜ der 900-MWe-Reaktoren Nachrüstungen geplant, um die Auswirkungen von Kernschmelzunfällen zu begrenzen.¹⁷ Die von EDF vorgesehene Strategie zur Begrenzung des Risikos des Durchschmelzens des Fundaments besteht darin, das Corium nach Versagen des Reaktordruckbehälters (RDB) zu verfestigen und langfristig zu kühlen. EDF will zudem ein System (EASu-System) einbauen, um bei einem schweren Unfall die Restwärme aus dem Sicherheitsbehälter ohne eine Freisetzung über das Filtered Venting System abzuleiten.¹⁸ (EDF 2018a)

Auslegungsüberschreitende Unfälle

Im UVP-Bericht wird erklärt, dass für Doel und Tihange auf der Grundlage einer probabilistischen Sicherheitsanalyse und im Einklang mit den WENRA-Leitlinien 2014, die die Lehren aus dem TEPCO-Unfall in Fukushima 2011 berücksichtigen, ein einhüllender auslegungsüberschreitender Unfall ermittelt wurde. Für dieses Szenario wird ein „**Complete Station Black-Out**“ (CSBO) mit **Kernschmelze** (entsprechend DEC-B) angenommen, vorausgesetzt, die Notfallmaßnahmen sind erfolgreich. Infolge einer Kernschmelze bei diesem Unfall wird die Radioaktivität zum einen durch eine Entwurfsleck am Sicherheitsbehälter und zum anderen durch kontrollierte Entlüftungen in die Umwelt freigesetzt, wenn der Druck über das Containment Filtered Venting System (CFVS), zu stark ansteigt. Es wird davon ausgegangen, dass über einen Zeitraum von 10 Tagen mehrere Entlüftungsöffnungen und ein kontinuierliches Entwurfsleck vorhanden sind. Der CSBO-Unfall schließt laut UVP-Bericht auch Ereignisse externen Ursprungs ein, darunter den Absturz eines Flugzeugs. (SCK CEN 2023a)

Ein kompletter Stations-Black-Out (CSBO) besteht in einem Verlust der externen Stromversorgung und der internen Stromversorgungen der ersten und zweiten Ebene.¹⁹ **Das Szenario kompletter Stations-Black-Out (CSBO) wurde als auslegungsüberschreitende Situation betrachtet, für die keine Vorsorge durch die Auslegung vorgesehen ist. Die Stresstests zeigten, dass für dieses Ereignis nur sehr kurze Interventionszeiten für die Betriebsmannschaft bestehen:** Bei einem CSBO steht kurzfristig nur noch die Turbopumpe des Hilfsspeisewassersystems (AFW-System²⁰) zur Verfügung, um Wasser in die Dampferzeuger (SG) einzuspeisen. Ein sogenannter Cliff-Edge Effekt²¹ tritt ein, wenn der AFW-Tank erschöpft ist, was in Doel-4 nach acht Stunden und in Tihange-3 nach 23 Stunden der Fall ist. Es gibt nur begrenzte Möglichkeiten, den AFW-Tank wieder aufzufüllen. (FANC 2011)

Fällt die Kühlung über die Dampferzeuger aus, beginnt der Primärkreislauf zu kochen und verliert stetig an Wasser. Dies führt zur Freilegung und später zum Schmelzen des Brennstoffs, zur Verlagerung des Coriums zum Boden des Reaktordruckbehälters (RDB) und zum Durchstoßen des Bodens des RDB. Ohne das Eingreifen der Betriebsmannschaft dauert dieser Prozess 2-3 Stunden. Die Zeit kann verlängert werden, wenn nicht-konventionelle Mittel wie Löschwasser-Dieselpumpen zur Wasserversorgung eingesetzt werden können. (FANC 2011)

¹⁶ Inwieweit die Sicherheitsziele erreicht werden, wird hier nicht bewertet.

¹⁷ Die Arbeiten der EDF konzentrierten sich auf die Abfuhr der Nachzerfallswärme ohne Öffnung des Filtered Venting System sowie eine Stabilisierung des geschmolzenen Kerns.

¹⁸ Ob die Systeme zuverlässig arbeiten können, ist noch nicht erwiesen.

¹⁹ Doel-4 und Tihange-3 verfügen über zwei Ebenen von Sicherheitssystemen: Die erste Ebene ist für Unfälle internen Ursprungs ausgelegt (z. B. Kühlmittelverluststörfall (LOCA)), die zweite Ebene für externe Gefahren.

²⁰ Auxiliary Feedwater

²¹ ein Punkt, an dem sich eine Situation sehr plötzlich und vollständig zum Nachteil verändert oder an dem sich etwas plötzlich wesentlich verschlechtert, wie ein Schritt an einer Klippe

Eine besonders gefährliche Situation tritt ein, wenn der Primärkreis z. B. zum Brennelementwechsel offen ist. Wenn der Primärkreislauf offen ist, beginnt das Wasser im Primärkreislauf innerhalb von 30 bis 60 Minuten zu kochen. Manuelle Maßnahmen vor Ort sind erforderlich, um die Wassernachspeisung im Primärsystem zu gewährleisten (was etwa 45 Minuten dauern würde) und einen Druckanstieg im Sicherheitsbehälter zu verhindern, der zu einer Blockierung der Schwerkraftspeisung des Primärkreises führen kann und zum Erreichen des Containment-Versagensdrucks führen könnte. In Tihange-3 ist die Schwerkrafteinspeisung nicht möglich, und es würde nach 3 Stunden zu einem Brennstoffschmelzen kommen - wenn keine Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Primärkreislaufs ergriffen würden. (ENSREG BE 2012)

Obwohl der Stresstest zeigte, dass die Mängel groß sind und die Auswirkungen gravierend sein könnten, wird nur begrenzt Abhilfe geschaffen. Das Grundproblem, dass die Betriebsmannschaft schnell mit mobilen Geräten einen schweren Unfall verhindern muss, bleibt bestehen: In Doel-4 wurden 2014 und 2015 Düsen am Einlass und Auslass der Sprühpumpen sowie Verbindungen zur Notkühlung und zum Notspeisewassersystem installiert. Im Falle eines CSBO werden mobile Pumpen eingesetzt, um eine alternative Wassernachspeisung des Reaktors über dieses System zu erreichen. Die mobilen Pumpen und die mobilen Generatoren werden in einem neugebauten Lagergebäude gelagert. Ein neues Feuerwehrauto, das multifunktional ist und im Falle eines CSBO die Rolle einer mobilen Pumpe übernehmen kann, ist vorhanden. In Tihange-3 besteht die CSBO-Strategie im Wesentlichen in der Nutzung vorhandener Geräte (z. B. Sicherheitsdiesel) und dem Einsatz zusätzlicher (ortsfester und mobiler) Ausrüstung. (FANC 2019b)

In Schweden wurden mit den Defiziten dieses Reaktortyps anders umgegangen: In den Blöcken 3 und 4 des AKW Ringhals wurde im Jahr 2020 ein unabhängiges Kernkühlungssystem (ICCS²²) installiert. Der Zweck des ICCS besteht darin, eine alternative Kernkühlung bereitzustellen, wenn die normalen Sicherheitssysteme im Falle eines Ereignisses das den erweiterten Auslegungsbedingungen (DEC) zuzuordnen ist, nicht verfügbar sind. (CNS 2022)

Der im UVP-Bericht dargestellte Unfall soll repräsentativ für alle auslegungsüberschreitenden Unfälle sein, die durch Einwirkungen von außen ausgelöst werden. Es wird dabei aber auch davon ausgegangen, dass die Notfallmaßnahmen erfolgreich sind, um schwere Unfallsequenzen zu verhindern. Das ist aber nicht in allen Unfallsequenzen wie bei einer gleichzeitigen Überflutung des Geländes oder der Anlage als erwiesen anzusehen. Danach muss die Wasserversorgung durch Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes erfolgen. Die Wärmeabfuhr muss mit Notfallmaßnahmen der Betriebsmannschaft abgeführt werden. **Es sind zudem einige Unfallabläufe bei diesem Reaktortyp möglich, die durch dieses Unfallszenario nicht abgedeckt sind.**

Die gefilterte Containment-Entlüftung gilt seit einigen Jahrzehnten als Stand der Technik. 2011 war keines der belgischen AKWs damit ausgestattet. In Doel-4 und Tihange-3 wurden gefilterte Containment-Entlüftungssysteme installiert und Ende 2017 in Betrieb genommen. (FANC 2019b) **Die Systeme gefilterte Containment-Entlüftung reduzieren das Risiko großer Freisetzungen während eines Kernschmelzunfalls, aber nicht für alle Unfallabläufe** (siehe unten).

Hinsichtlich auslegungsüberschreitender Unfälle (4. Sicherheitsebene) besteht für Tihange-3 ein wesentliches Defizit in der Dicke des Fundamentes, die mit 2,64 m (FANC 2011) deutlich geringer ist als bei neuen Anlagen.²³ **Im Falle eines Kernschmelzunfalls kann die Integrität des Sicherheitseinschlusses (Containment) nicht ausreichend gewährleistet werden, Folge wäre eine erhebliche radioaktive Freisetzung.** Eine effektive Nachrüstung ist hier ausgeschlossen. Ein Corecatcher, wie z. B. beim EPR oder anderen Reaktoren der 3. Generation, implementiert ist, kann hier nicht mehr nachträglich realisiert werden. Als Folge eines Kernschmelzunfalls

²² Independent Core-Cooling System

²³ Das Fundament von Doel-4 weist eine Dicke von 3,45 m (FANC 2011) auf, die möglicherweise ausreichend ist, um ein Durchschmelzen des Fundaments zu verhindern.

Radioaktiven Freisetzungen (Quellterm)

Im UVP-Verfahren wurden die Auswirkungen von zwei Auslegungsstörfällen untersucht, der Kühlmittelverluststörfall (Loss Of Coolant Accident - LOCA) und der Brennstoffhandhabungsstörfall (Fuel Handling Accident - FHA) sowie eines auslegungsüberschreitenden Unfalls, ein kompletter Station-Blackout (Complete Station Blackout - CSBO) mit Kernschmelze, der als repräsentativ für diese Art von Unfällen angesehen wird. Obwohl es sich um sehr ähnliche Reaktoren handelt, gibt es Unterschiede bei der Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt zwischen Doel-4 und Tihange-3. Diese hängen mit Unterschieden in der Konstruktion der Reaktoren zusammen. (SCK CEN 2023a) In der folgenden Tabelle sind die Quellterme aufgeführt.

Tabelle 2: Radioaktive Freisetzungen (Quellterme) für die im UVP-Bericht berechneten Unfälle (SCK CEN 2023a)

Doel-4 / Tihange-3	Auslegungsstörfälle		Auslegungsüberschreitender Unfall
	LOCA	FHA	CSBO
Jod	64,5 TBq / 11,9 TBq	7,23 TBq / 10,1 TBq	0.49 TBq / 0.25 TBq
Cs-137 (+Cs-134) ²⁴	1,88 GBq / 11 GBq	-	58.3 GBq / 0.38 TBq

Die Quellterme, die im FlexRisk Projekt verwendet werden, wurden aus veröffentlichten Studien zu möglichen Freisetzungen aus probabilistischen Sicherheitsanalysen verwendet.

Ein ISLOCA (Interfacing Systems Loss-Of-Coolant Accident) ist ein Bruch in einem System, das eine Schnittstelle zum Reaktorkühlsystem (RCS) bildet und zu einem Kühlmittelverluststörfall führen kann, wenn der Bruch nicht vom RCS isoliert ist.²⁵ Wenn sich Teile eines Anschlusssystems außerhalb des Sicherheitsbehälters befinden, kann dies zu einer Freisetzung von Radionukliden führen, die das Filtered Venting System umgeht. **Bei einem derartigen Unfallszenario würden 30 % des Iod- und Cäsiuminventars des jeweiligen Reaktorkerns freigesetzt.** (FLEXRISK 2012)

4.1 Schlussfolgerungen und Forderung

Die Qualität der in Doel-4 und Tihange-3 eingesetzten Werkstoffe nimmt durch physische Alterung ab, was zum Versagen von Komponenten führen kann. Ein vorsorgliches Austauschen von Komponenten im Rahmen des Alterungsmanagement kann die Risiken mindern. Der Umfang des Austausches wird jedoch in Absprache zwischen dem Betreiber und den Aufsichtsbehörden festgelegt und von wirtschaftlichen Überlegungen dominiert. Erfahrungen zeigen zudem, dass bei längerer Betriebszeit unerwartete Schäden auftreten. Außerdem können nicht alle Komponenten ausgetauscht werden, das betrifft zum Beispiel den Reaktordruckbehälter. Insgesamt steigen die Risiken mit der Betriebszeit durch Alterungseffekte.

Auch das Sicherheitskonzept von Doel-4 und Tihange-3 ist im Vergleich zu aktuellen Sicherheitsanforderungen und Regelwerken veraltet. Im UVP-Bericht wird behauptet, die Anlagen entsprechen weitgehend den neuen Anforderungen, das stimmt gemessen an den internationalen Anforderungen in keiner Weise. Insgesamt wird im UVP-Bericht deutlich, dass Abstriche an den Sicherheitsanforderungen für die Laufzeitverlängerung gemacht werden sollen, was automatisch zur Erhöhung des Risikos führt.

Durch die bisher durchgeführten Nachrüstungen erreichen Doel-4 und Tihange-3 nicht das Sicherheitsniveau neuer Anlagen, Auslegungsdefizite beziehen sich auf den Bereich auslegungsüberschreitender Unfälle. Anstatt technischer Nachrüstungen wurden bisher lediglich Maßnahmen der Betriebsmannschaft eingeführt. **Die Betriebsmannschaft müsste zur Verhinderung einer massiven radioaktiven Freisetzung versuchen unter widrigen Bedingungen und im Wesentlichen mit mobilen Geräten einen schweren Unfall zu verhindern.** Anmerkung: In Schweden wurde bei Reaktoren des gleichen Typs ein unabhängiges Kernkühlsystem nachgerüstet.

²⁴ C-134 ist nur bei dem auslegungsüberschreitenden Unfall berücksichtigt.

²⁵ Ein solcher Bruch kann verursacht werden, wenn Ventile versagen, die das RCS von einem Anschlusssystem isolieren, das nicht für die hohen RCS-Drücke ausgelegt ist

Das wichtigste Sicherheitsziel für neue AKWs ist der Ausschluss von Kernschmelzunfällen mit frühen und hohen Freisetzungen. Diese Sicherheitsanforderung wurde bisher für Doel-4 und Tihange-3 nicht erfüllt. Dieses grundlegende Sicherheitsziel muss von neuen AKWs erfüllt werden. Bei bestehenden Anlagen hingegen wird zugestanden, dass eine Umsetzung der Anforderungen eventuell nicht „vernünftig machbar“ sei. Es bleibt damit die Aufgabe der Aufsichtsbehörde zu prüfen, inwieweit vorgesehene Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an den erforderlichen Schutz der Bevölkerung ausreichend sind. **Die Bevölkerung und die Politik haben ein Recht darauf zu erfahren, welche Defizite Doel-4 und Tihange-3 im Vergleich zu den aktuellen Sicherheitsanforderungen aufweisen. Des Weiteren sollten sie Informationen erhalten, welche Nachrüstungen technisch möglich wären, aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgen sollen.**

Anders als in Frankreich – dort werden als Maßstab für die Nachrüstungen zur Laufzeitverlängerung der alten Reaktoren der 900 MW Klasse die aktuellen Sicherheitsziele verwendet – wird in Belgien im Rahmen der geplanten Laufzeitverlängerung nicht einmal versucht diese Anforderungen zu erfüllen.

Doel-4 und Tihange-3 sollten – wie von der WENRA empfohlen – für die Laufzeitverlängerung im Rahmen der PSÜ daraufhin überprüft werden, inwieweit sie die geltenden Sicherheitsziele für neue Reaktoren erfüllen. Nur auf dieser Basis kann die Aufsichtsbehörde entscheiden, ob ein Weiterbetrieb für Doel-4 und Tihange-3 genehmigt werden kann oder das Risiko für die Bevölkerung zu groß ist.

5 Gefahren durch Naturereignisse

Die UVP-Dokumente enthalten nur sehr allgemeine Informationen über die Auslegung von Doel-4 und Tihange-3 gegen die Einwirkung von Naturgefahren und den Schutz der Anlagen gegen solche Einwirkungen.

Erdbeben

Die UVP-Dokumente enthalten keine Informationen zur Erdbebengefährdung und zum seismischen Schutz. Die probabilistische seismische Gefährdungsanalyse (PSHA) im Rahmen der Europäischen Stresstests ermittelte eine erhebliche Erhöhung der Intensität des Bemessungserdbebens (DBE): Für den Standort Tihange stieg der Wert der Spitzenbodenbeschleunigung (PGA) von 0,17 g auf 0,23 g (Anstieg um 35 %), für den Standort Doel von 0,056 g auf 0,081 g (45 %). Aus den UVP-Dokumenten geht nicht hervor, ob alle notwendigen Nachrüstungen erfolgt sind bzw. für die Laufzeitverlängerung vorgeschrieben werden. **Erfahrungen zeigen, dass durch Verwendung nicht spezifikationsgerechte Bauteile und Montagefehler mit Nachrüstungen in einigen Fällen nur theoretisch das erforderliche Sicherheitsniveau erreicht wird.**

Um das Risiko einer erdbebenbedingten internen Überflutung zu mindern, sind folgende Maßnahme für Doel-4 und Tihange-3 erforderlich: Eine Person muss nach einem Erdbeben so schnell wie möglich zum Kühlturm laufen, um zu prüfen, ob er überläuft, in diesem Fall müssen die Pumpen schnell abgeschaltet werden. (FANC 2011) **Dies ist nur ein Beispiel von vielen, bei denen Konstruktionsmängel der Anlagen durch die Handlungen der Betriebsmannschaft behoben werden müssen.**

Hochwassergefahr für den AKW-Standort Tihange

Der EU-Stresstest verdeutlichte, dass mögliche Überflutungsereignisse zu einem schweren Unfall mit massiven radioaktiven Freisetzungen führen könnten. Die Anwendung des probabilistischen Ansatzes nach internationalen Standards²⁶ führte zu neuen DBF-Parametern. Die ermittelten Wasserstände würden die Plattformhöhe am Standort deutlich übersteigen (bis zu 1,70 m), was zu einer Überflutung der drei Blöcke und zum kompletten Verlust der sicherheitsrelevanten Systeme und so zu einem Kernschmelzunfall führen würde. (FANC 2011)

²⁶ zur Berechnung einer Überschwemmungsrate mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren (3488 m³/s)

Die zur Nachrüstung konzipierten Maßnahmen umfassten zunächst drei sogenannte Verteidigungslinien: Peripherer Schutz des Geländes (erste Verteidigungslinie), lokaler volumetrischer Schutz der Gebäude (zweite Verteidigungslinie), Einsatz von mobilen nicht konventioneller Mittel vor Ort (dritte Verteidigungslinie).

Der neu errichtete periphere Schutz des Standorts besteht aus einer *Hochwasserschutzanlage (Hochwasserschutzmauer, Deich, Rückschlagventile)*. Electrabel plante den Bau einer Mauer, die nicht höher als der Wasserspiegel des DBF sein sollte. FANC forderte eine Sicherheitsmarge, um Unsicherheiten bei der Berechnung zu berücksichtigen. Wie hoch die Sicherheitsmarge ist, ist nicht bekannt. **Es ist daher nicht auszuschließen, dass der Schutz für die Zukunft unzureichend ist.**

Das ist daher besonders relevant, da die Implementierung eines Schutzes der Gebäude (2. Verteidigungslinie) aufgegeben wurde und die 3. Verteidigungslinie wenig Schutz bietet:

Wenn konventionelle Mittel durch Hochwasser nicht mehr zur Verfügung stehen, sollten die in der Alarmierungsphase vorinstallierten nicht-konventionellen Mittel (NCM) eingesetzt werden (3. Verteidigungslinie). Diese bestehen aus zusätzlichen mobilen Dieselgeneratoren und Pumpen. Es wird jedoch sehr schwierig für die Betriebsmannschaft sein, einen Kernschmelzunfall mit mobilen Geräten zu verhindern. *Die Handlungen des Personals werden noch erschwert, da Boote (Amphibienfahrzeuge) für den Transport von Personal und Ausrüstung eingesetzt werden müssen.* **Dies ist ein unverantwortlicher Ansatz, insbesondere im Hinblick auf das zunehmende Risiko von Überschwemmung aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels. Insgesamt besteht eine Gefährdung durch Überschwemmung des Standorts.**

Das Risiko einer externen Überschwemmung besteht zudem bei einem starken Hochwasser der Maas nördlich des Standorts Tihange, bei einem unfallbedingten Bruch des Staudamms von Ampsin-Neuville oder bei einem Überlaufen der Luftkühler von Tihange 2 und Tihange-3. Um Überschwemmungsrisiken zu vermeiden, wurde ein Schutzdamm errichtet. (SCK CEN 2023a)

Überschwemmungsgefahr für den Standort Doel

Die wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Minimierung der Überflutungsgefährdung sind die erhöhte Lage des Standorts und der Deich, der den Standort zum Fluss Schelde begrenzt.²⁷ Die Deichhöhe wird auch im Zusammenhang mit dem erwarteten klimawandelbedingten Meeresspiegelanstieg als ausreichend angesehen. (SCK CEN 2023a)

Zu einer Überflutung des Geländes kann es jedoch kommen, wenn ein sehr hoher Scheldepegel und ein Deichbruch gleichzeitig auftreten. Ein Deichversagen an der kritischsten Stelle des Deiches ist nicht so unwahrscheinlich.²⁸ Bei diesem Szenario würde das Wasser die ersten Gebäude sehr schnell erreichen (nach etwa einer Stunde), es könnten Wasserstände von lokal bis zu 60 cm auftreten. Der Standort, der sich auf einer erhöhten Plattform befindet, würde zu einer Insel werden.

In diesem Fall muss der volumetrische Schutz (zweite Verteidigungslinie) unter allen Umständen halten. Alle Gebäude und Keller, in denen sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten untergebracht sind, sowie alle unterirdischen Leitungen, die zu diesen Gebäuden und Kellern führen, müssen so geschützt bzw. abgedichtet sein, dass kein Wasser eindringen kann. **Erfahrungen zeigen, dass derartige Abdichtungen insbesondere durch Alterung aber auch bei höheren Wasserständen versagen können.**

Extreme Wetterbedingungen

Die EU-Stresstests zeigten, dass die Auslegungsparameter für extreme Wetterbedingungen für die belgischen AKWs hauptsächlich auf historischen Daten und somit auf einer Wiederkehrperiode in der Größenordnung von 100 Jahren basierten. Eine Lehre aus dem Unfall in Fukushima war, dass der Schutz

²⁷ Beim Bau des AKWs wurde eine Plattform auf der Höhe von 8,86 m TAW errichtet. Der Deich hat eine Höhe von 12,08 m TAW. Das Auslegungshochwasser wurde später auf 9,35 m TAW erhöht.

²⁸ Wiederkehrperiode von 1.700 Jahren

vor Naturgefahren erheblich verbessert werden muss. Eine Anlage muss daher gegen die identifizierten Naturgefahren und Gefahrenkombinationen auf der Basis von Ereignissen mit einem durchschnittlichen Wiederholungszeitraum von 10.000 Jahren geschützt sein.

Der UVP-Bericht thematisiert die Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels (z. B. in Form von Dürren, Überschwemmungen ...). Es wird erklärt, dass die Anzeichen für einen Klimawandel in den letzten Jahrzehnten und insbesondere in den letzten Jahren immer deutlicher geworden sind. Die prognostizierten und bereits festgestellten Entwicklungen werden sich fortsetzen und zudem intensiver werden. Innerhalb des Referenzzeitraums des Projekts muss daher Folgendes berücksichtigt werden (SCK CEN 2023a):

- höhere Durchschnittstemperaturen, mit milderem Winter und wärmeren Sommern;
- häufigere Hitzewellen, die auch intensiver sein und länger anhalten können;
- eine Zunahme des jährlichen Gesamtniederschlags, mit mehr Regen im Winter und möglicherweise mehr Überschwemmungen),
- eine Zunahme der Spitzen-Niederschlagsintensität von kurzen, intensiven Schauern, die Überschwemmungen verursachen können;
- ein Anstieg des Meeresspiegels, mit als Folge einer größeren Überschwemmungsgefahr entlang der Küste und der Ästuare;
- höhere Windgeschwindigkeiten.

Der UVP-Bericht erklärt, dass sich die meisten Prognosen auf die Zukunft, wie zum Beispiel das Jahr 2050 oder sogar 2100 beziehen. Solche Richtjahre wären für das vorliegende Projekt logischerweise nicht relevant. Für Doel werden die Informationen des VMM-Klimaportals verwendet, die einige Parameter für das Jahr 2030 enthalten, was für die durchschnittliche Situation im Zeitraum 2027-2037 als repräsentativ betrachtet werden kann (SCK CEN 2023a). **Eine fachliche Begründung für diese un plausible Annahme wird nicht gegeben.**

Extreme Niederschläge

Electrabel hat eine Neubewertung der Auswirkungen von Starkregenfällen in Doel im Rahmen der Stresstests 2011 durchgeführt. Im UVP-Bericht wird erklärt, dass die Intensitäten seither (und sicherlich bis 2037) tatsächlich zugenommen haben, daher können die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Situationen als auch das Ausmaß der Folgen natürlich ebenfalls zunehmen. In Anbetracht der relativ hohen verwendeten Wiederkehrperiode und der Tatsache, dass durch eine mögliche Überschwemmung keine kritischen Funktionen bedroht sind, wird die Bedeutung dieser Auswirkung als gering bewertet. (SCK CEN 2023a)

Auch für Tihange wird davon ausgegangen, dass die Annahme einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren ausreicht, um die mit dem Klimawandel einhergehende Risikoentwicklung zu berücksichtigen. Infolge des Klimawandels mit intensiveren Niederschlägen werden in Zukunft keine größeren Probleme erwartet. (SCK CEN 2023a) **Eine Neubewertung ist offenbar nicht geplant, ob tatsächlich keine kritischen Funktionen bedroht sind, kann erst nach einer entsprechenden Analyse bewertet werden. Insbesondere kann in Kombination mit anderen externen Ereignissen eine Gefährdung bestehen.**

Extreme Temperaturen

Auch extreme Temperaturen wurden in der Auslegungsbasis und bei der Dimensionierung der Ausrüstung berücksichtigt. Im Rahmen der Vorbereitung der Verlängerung der Lebensdauer von Doel-4 wurde festgestellt, dass der Umgang mit potenziellen Hitzewellen zu konstruktiven Verbesserungen führen kann (z. B. zu zusätzlichen Luftkühlern oder Luftbefeuchtern in Räumen). Die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Anlagen gegenüber den Auswirkungen extremer Temperaturen infolge des

Klimawandels ist somit von vornherein in das Projekt integriert. (SCK CEN 2023a) Hinsichtlich des Klimawandels ist es die einzige anvisierte Änderung. Für Tihange wird erklärt: Da in den letzten Jahren mit teilweise sehr heißen Sommern keine Probleme aufgetreten sind, wird davon ausgegangen, dass dies auch für den Zeitraum 2025-2037 der Fall sein wird. (SCK CEN 2023a)

Höhere Durchschnittstemperaturen

Anzumerken ist noch, dass für Doel erklärt wird, dass die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers normalerweise 30 °C nicht überschreiten darf, für Kraftwerke gilt jedoch ein separater Emissionsgrenzwert von maximal 33 °C. Dieser Grenzwert muss nicht angewendet werden, wenn im Falle außergewöhnlicher meteorologischer Umstände (Hitzewelle) die Netzsicherheit gefährdet ist. Allerdings werden Hitzewellen, die zu höheren Einleitungstemperaturen führen, in Zukunft häufiger auftreten, sodass die „außergewöhnlichen meteorologischen Umstände“ viel weniger außergewöhnlich werden. Für Tihange-3 wird in diesem Zusammenhang erklärt, dass sich die hohen Durchschnittswerte negativ auf die Stromerzeugung auswirken. (SCK CEN 2023a)

Starker Wind und Tornado

Die maximale Windgeschwindigkeit von 49 m/s, die als Auslegungsbasis für alle Gebäude diente, wurde bisher nie in Belgien gemessen. Die Auslegung von Doel-4 und Tihange-3 berücksichtigt einen Referenz tornado, der in dieser Region noch nie aufgetreten ist.²⁹ Laut UVP-Bericht können wichtige sicherheitsrelevante Gebäude auch Tornados standhalten, die stärker sind als der Referenz tornado. Extreme Windgeschwindigkeiten oder Tornados können aber zu einem teilweisen oder vollständigen Verlust der externen Stromversorgung (LOOP) führen. (SCK CEN 2023a) Diese könnten in Kombination mit anderen Überflutungsereignissen in eine gefährliche Situation münden.

Gefahrenkombinationen

Laut WENRA (2015) müssen zum Schutz vor Naturgefahren auch relevante Gefahrenkombinationen identifiziert werden. Im Rahmen des UVP-Verfahrens zur Laufzeitverlängerung von Doel 1&2 wurde erklärt, dass die Bewertung der für den Standort Doel geltenden Gefahrenkombinationen gemäß ANSI (1978) durchgeführt worden ist. Dabei handelt es sich jedoch um eine veraltete Norm, die von der American Nuclear Society bereits 1988 zurückgezogen wurde. **Aktuelle WENRA-Anforderungen und -Leitlinien wurden für die Analyse von Gefahrenkombinationen bisher nicht berücksichtigt.** Es wurde daher empfohlen, aktuelle Anforderungen (WENRA 2021) und Leitlinien (WENRA 2015; DECKER & BRINKMAN 2017) für die Analyse der für den Standort relevanten Gefahrenkombinationen zu berücksichtigen. (UBA 2021)

5.1 Schlussfolgerungen und Forderung

WENRA (2011) fordert, mögliche Einwirkungen von Naturgefahren im Rahmen der alle 10 Jahre stattfindenden Periodischen Sicherheitsüberprüfungen zu überprüfen. Die Ergebnisse der Überprüfung sollen gegebenenfalls zur Anpassung der Auslegungsgrundlage (Design Basis) der Anlage führen und in die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle einfließen. Aus den UVP-Dokumenten ist jedoch nicht ersichtlich, ob dieser Prozess im Rahmen der Laufzeitverlängerung für Doel-4 und Tihange-3 durchgeführt werden soll. Im Gegenteil, die Formulierungen legen nahe, dass auf eine Neubewertung verzichtet wird.

Bezüglich extremer Einwirkungen wird zwar die negativen Änderungen durch den Klimawandel benannt, aber gleichzeitig die Neubewertung nach dem Stresstests 2011 als ausreichend für den Zeitraum bis 2037 angesehen. Sollte die Hochwasserschutzanlage in Tihange versagen, wird das Gelände überflutet, die Sicherheitssysteme fallen aus und Betriebsmannschaft muss mit mobiler Ausrüstung von Booten aus, einen Kernschmelzunfall verhindern. Doel kann ein Deichbruch geschützt, ebenfalls in eine gefährliche Situation führen.

²⁹ 107,3 m/s, während in Belgien maximal 70 m/s als möglich angesehen werden

Angesichts der bestehenden und zunehmenden Gefahr durch extreme Naturereignisse muss eine Neubewertung der Risiken erfolgen, die auch den Klimawandel angemessen berücksichtigt, anstatt sich auf die vermeintlichen bestehenden Sicherheitsreserven zu verlassen.

6 Gefahren durch terroristische und militärische Handlungen

In den UVP-Dokumenten wird das Risiko vor militärischen oder terroristischen Handlungen nicht behandelt. Dies ist angesichts der generellen Gefährdung und der speziellen Bedrohung in Belgien unangemessen.

Sabotage der Dampfturbine von Doel-4 und gefährliche Spionage

Am 5. August 2014 wurden Informationen über einen Sabotageakt bekannt, der in Doel-4 erheblichen Schaden angerichtet hatte. Aus der Hochdruckturbine war Schmiermittel durch ein Ventil ausgetreten. Da dieses Ventil absichtlich aber ohne diesbezügliche Anweisung geöffnet worden war, wird von **Sabotage** ausgegangen. Electrabel erstattete Anzeige gegen Unbekannt und trat dem Verfahren als Nebenklägerin bei. Anfang 2022 stellte die Bundesanwaltschaft die Ermittlungen ein, da sie nicht genügend Beweise hatte, um den oder die Täter zu identifizieren.

Um zu verhindern, dass sich ein solcher Vorfall wiederholt, hat die FANK allen AKWs in Belgien eine Reihe ergänzender Sicherheitsmaßnahmen auferlegt. Diese Maßnahmen umfassten unter anderem die Anbringung zusätzlicher Kameras, Veränderungen des Dienstausweis-Zugangssystems und die Erweiterung des Anwendungsbereichs des Vier-Augen-Prinzips. 2020 hat die FANK zusammen mit einer Reihe von internationalen Partnern die Arbeitsgruppe „*Insider Threat Mitigation*“ gegründet, um eine gezielte Strategie zur Bekämpfung von Insider-Bedrohungen in Atomanlagen zu entwickeln. (FANC 2023a)

Ende 2015 wurde bekannt, dass das Haus eines hochrangigen Beamten des belgischen Nuklearsektors von Personen ausspioniert wurde, die mit den Tätern der Pariser Anschläge vom November 2015 in Verbindung stehen. Auch wenn es keinen konkreten Hinweis auf einen Anschlag gab, galt für den gesamten belgischen Nuklearsektor erhöhte Alarmbereitschaft. Die belgische Regierung hat danach beschlossen, innerhalb der belgischen Staatspolizei ein spezialisiertes Überwachungs- und Schutzkorps zum Schutz der kerntechnischen Anlagen in Belgien einzurichten.³⁰ (FANC 2020a) Nach den Terroranschlägen vom 22. März 2016 in Brüssel und Zaventem beschloss die FANK eine Beibehaltung aller ergänzender Sicherheitsmaßnahmen.

Bedrohung durch Innentäter

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

Diese Gefahr muss für Belgien hoch eingeschätzt werden, wie die Sabotage in Doel-4 zeigt, die bis heute nicht aufgeklärt werden konnte. Laut Nuclear Security Index sind zudem die Anforderungen vor dem Schutz vor Innentäter und die Sicherheitskultur unzureichend, was die Gefahr erhöht. **Die nach der Sabotage in Doel-4 ergriffenen Maßnahmen, entsprechen den Standardmaßnahmen, die nicht ausreichend sind.**

³⁰ Bis zur effektiven Schaffung dieses spezialisierten Polizeikorps werden an belgischen Nuklearstandorten Soldaten zur Unterstützung der Polizei eingesetzt.

Nuclear Threat Initiative (NTI)

Eine aktuelle Bewertung der nuklearen Sicherheit in Belgien weist auf Defizite im Vergleich zu den notwendigen Anforderungen an die nukleare Sicherheit hin: Die US-amerikanische Nuclear Threat Initiative (NTI) bewertete im sogenannten Nuclear Security Index 2020 die Maßnahmen, die Länder zum Schutz vor Terrorangriffen und Sabotage in ihren kerntechnischen Anlagen ergriffen haben. Im Nuclear Security Index entspricht 100 der höchsten möglichen Punktzahl. Belgien liegt mit einer Gesamtpunktzahl von 80 Punkten auf Platz 16 von 47 Ländern. Es zeigen sich niedrige Punktzahlen für die "Sicherheitskultur" (50), die "Cybersicherheit" (50) und dem "Schutz vor Insider-Bedrohungen" (55). **Diese niedrigen Punktzahlen deuten auf Schwächen beim Schutz hin.** (NTI 2021)

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 AKWs so zu verändern, dass die ausreichende Kühlung des Reaktorkerns verhindert wird (MAJER 2013). In 2012 erklärte Engie, dass ein Cyberangriff nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen in einem belgischen AKWs führen kann. Nach Meinung der FANC entwickeln sich die Aspekte der Cybersicherheit und die damit verbundenen Technologien aber ständig weiter, so dass die Sicherheitsaspekte regelmäßig überprüft werden müssen. **Laut Nuclear Security Index weisen die Anforderungen an den Schutz vor Cyberangriffen Defizite auf.**

Bedrohung durch Angriffe aus der Luft

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 der Untersuchung war, dass im Falle eines Absturzes eines Verkehrsflugzeugs kein gefährlicher Schaden an dem Doppelcontainment von Doel-4 und Tihange-3 auftreten kann. Es wird weiterhin erklärt, dass sich die Sicherheitssysteme der zweiten Ebene in gebunkerten Gebäuden befinden, die räumlich von den Sicherheitssystemen der ersten Ebene getrennt sind. Daher sei es fast unmöglich, dass ein Flugzeugabsturz den gleichzeitigen Ausfall der Systeme beider Ebenen verursacht. (FANC 2012a)

Für neue AKWs wird laut WENRA (2013) erwartet, dass ein gezielter Absturz eines Verkehrsflugzeugs 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, die Sicherheitssysteme und Kernbrennstoff enthalten, so ausgelegt sein, dass kein Kerosin eindringen kann.

Die Auslegung von Doel-4 und Tihange-3 erfüllt aus mehreren Gründen die aktuellen Anforderungen nicht.

- In den obengenannten Untersuchungen der belgischen Aufsichtsbehörde, sind die Untersuchungen zu Erschütterungen vermutlich nicht ausreichend betrachtet worden, so dass schwere Schäden am Primärkreislauf, die einen Kernschmelzunfall bewirken könnten, nicht ausgeschlossen werden können.
- Zu beachten sind auch Alterungseffekte: Eine aktuelle Studie untersucht mit numerischen Simulationen den Einfluss der Alterung auf die Auswirkungen eines Einschlags eines Militärflugzeugs auf ein AKW. Die Ergebnisse zeigen, dass die Alterung einer Anlage die Anfälligkeit für großflächige oder lokalisierte Penetrationen erhöht. Bei der gleichen Stoßkraft wird die Festigkeit des gealterten Containments um ca. 30 % reduziert. (FRANO 2021)
- Die Gebäude, die die Sicherheitssysteme der zweiten Ebene enthalten, sind so ausgelegt, dass sie dem Aufprall eines kleinen Zivilflugzeugs von etwa 90 Tonnen mit einer Geschwindigkeit von ca. 306 km/h standhalten. (INRAG 2021) In Doel-4 und Tihange-3 gab es zudem herstellungs- und alterungsbedingte Schäden an Gebäuden. Insofern kann insgesamt nicht

komplett ausgeschlossen werden, dass ein Absturz eines Verkehrsflugzeugs zu einem schweren Unfall führen würde.

- Zudem ist das Eindringen von Kerosin in die Gebäude zur Lagerung der abgebrannten Brennelemente nicht ausgeschlossen, da diese nicht gegen extreme externe Einwirkungen geschützt 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 AKWs und vor allem in der Abwehr solcher potenziellen Angriffe aus der Luft. Im Herbst 2014 wurden insgesamt 31 Drohnenüberflüge über 19 französischen Atomanlagen registriert.³¹ Drohnen können z. B. – wie in der militärischen Anwendung – zur Vorbereitung oder Unterstützung eines Terroranschlags eingesetzt werden. (GP 2014) Die gleichen Defizite hinsichtlich eines Angriffs aus der Luft bestehen auch in anderen Ländern wie auch in Belgien.

Militärische Handlungen

Mit dem gezielten Terrorangriff am 11. September 2001 ist deutlich geworden, dass auch extreme terroristische Aktivitäten konkrete Bedrohungslagen darstellen können, was zu einer Verschärfung von Sicherheitsauflagen für nukleare Anlagen führte. Mit dem Angriff Russlands auf die Ukraine sind jedoch Szenarien eingetreten, die bisher als kaum realistisch galten. Das Risiko katastrophaler Unfälle hat sich nochmals verschärft. Russland hat deutlich gemacht, dass internationale Regeln, die Kriegshandlungen rund um AKWs untersagen, nur so lange Bestand haben können, wie sich alle Akteure daran gebunden fühlen. Kerntechnische Anlagen werden in derartigen Fällen zu einer besonderen Bedrohung. (BASE 2022)

Der langanhaltende Krieg in der Ukraine führt zur weiteren Verbreitung von militärischen Waffen, und damit einhergehend zur Erhöhung der Gefahr von terroristischen Angriffen.

6.1 Schlussfolgerungen und Forderung

Terroristische Anschläge und Sabotageakte können erhebliche Auswirkungen auf kerntechnische Anlagen haben und schwere Unfälle verursachen – auch für Doel-4 und Tihange-3. Das gilt insbesondere aufgrund der dargestellten Bedrohungslage in Belgien. Dennoch werden sie im UVP-Dokument kaum erwähnt. In vergleichbaren UVP-Dokumenten wurden solche Ereignisse in gewissem Maße diskutiert.

Obwohl die Anlagen Doel-4 und Tihange-3 besser geschützt sind als noch ältere Anlagen, weist ihr Schutzniveau Defizite gegenüber dem heute erwartenden Schutzniveau auf. Zudem genügen die Anforderungen in Belgien an einen derartigen Schutz nicht den aktuell erforderlichen Anforderungen.

Die besondere Bedrohungssituation in Belgien und der nicht ausreichende Schutz der Anlagen Doel-4 und Tihange-3 vor Terrorangriffen und Sabotageakten sollte bei einer Bewertung des Risikos für die Bevölkerung durch eine Verlängerung der Betriebszeit eine entscheidende Rolle spielen.

7 Auswirkung eines schweren Unfalls auf Belgien und die Nachbarländer

Unfälle, die in den UVP-Unterlagen berechnet werden

In den UVP-Unterlagen (SCK CEN 2023a) werden zwei Auslegungsstörfälle und ein auslegungsüberschreitender Unfall berechnet. Einer der beiden Auslegungsstörfälle ist ein sogenannter LOCA (loss of coolant, Unfall mit Kühlmittelverlust), der andere ein Unfall bei der Brennelement-

³¹ Es ist immer noch unklar, wer die Drohnen gesteuert hat.

Handhabung (FHA). Als auslegungsüberschreitender Unfall wurde ein kompletter Station Blackout mit Kernschmelze (CSBO) angenommen.

Die folgenden Tabellen zeigen die berechneten Dosiswerte für diese drei Unfälle für Belgien. Für die Auslegungsstörfälle werden dafür Ergebnisse aus zwei verschiedenen Untersuchungen herangezogen. Es handelt sich dabei einerseits um die Ergebnisse der Sicherheitsanalyse zum jeweiligen AKW basierend auf den General Data gemäß Euratom-Vertrag Art. 37 aus dem Jahr 1981, und andererseits um eine Analyse basierend auf den Richtlinien aus 2017 für neue kerntechnische Anlagen von FANK und Bel-V (die lt. UVP-Bericht somit eigentlich nicht auf Doel-4 und Tihange-3 anwendbar sind, da sie keine neuen Anlagen sind). Diese beiden Berechnungen unterscheiden sich in der Methodik der Ausbreitungsrechnung und der Verwendung neuerer Dosiskoeffizienten. In der folgenden Tabelle werden beide Varianten dargestellt, die Ergebnisse der Analyse nach den Richtlinien aus 2017 stehen dabei in (Klammer); sie sind durchwegs niedriger, da weniger konservative Annahmen zugrunde liegen.

Tabelle 3: Dosisberechnungen aus SCK CEN (2023a) für die Auslegungsstörfälle und den auslegungsüberschreitenden Unfall in Doel-4 außerhalb der Standortgrenze des AKW, ca. 300m von der Einleitungsstelle (in Klammer Berechnungsergebnisse nach Richtlinien aus 2017)

	LOCA	FHA	CSBO
Effektivdosis	20,4 mSv (2 mSv)	5,7 mSv (2,8 mSv)	8,89 mSv
Schilddrüsen-Äquivalentdosis	38,5 mSv (36,7 mSv)	33,28 mSv (24,7 mSv)	0,4 mSv

Tabelle 4: Dosisberechnungen aus SCK CEN (2023a) für die Auslegungsstörfälle und den auslegungsüberschreitenden Unfall in Tihange-3, bis zu 1000 m außerhalb der Standortgrenze des AKW (in Klammer Berechnungsergebnisse nach Richtlinien aus 2017)

	LOCA	FHA	CSBO
Effektivdosis	5 mSv (0,89 mSv)	1,16 mSv (0,35 mSv)	4,29 mSv
Schilddrüsen-Äquivalentdosis	4,91 mSv (1,45 mSv)	22,5 mSv (4,95 mSv)	0,033 mSv

Berechnungen zur Höhe der Dosis in anderen Ländern werden in SCK CEN (2023a) für Tihange-3 vorgestellt. Weder bei den Auslegungsstörfällen noch bei dem auslegungsüberschreitenden Unfall werden Effektivdosen von mehr als 0,6 mSv errechnet. Die Schilddrüsen-Äquivalentdosen liegen unter 0,3 mSv. Wie hoch die errechneten Dosiswerte in den Nachbarländern für Doel-4 sind, wird nicht aufgelistet.

Ab welchem Dosis-Richtwert müssen Interventionen starten? Dies ist in verschiedenen Ländern unterschiedlich. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Interventionswerte in Belgien und den Nachbarländern.

Tabelle 5: Vergleich der Dosis-Richtwerte und Interventionsmaßnahmen in Belgien und seinen Nachbarländern, plus Österreich, Quelle: HERCA Country Fact Sheets, www.herca.org

Interventionsmaßnah me/Land	Art der Dosis	Belgi en	Nieder- lande	Luxem- burg	Frank- -reich	Deutsch- land	Öste- reich
Verbleib im Innenraum	Effektivdosis in mSv (Kinder und Schwangere /Erwachsene)	5	5-10	10	10	10	1/10
Gabe von Kaliumiodidtabletten	Schilddrüsenäquivalentdos is in mSv (Kinder und Schwangere/Erwachsene)	10/50	10-50/ 50-250	50	50	50/250	10/100
Evakuierung	mSv (meist über 7 Tage)	50	50-100	100	50	100	50

Temporäre Umsiedelung	mSv in einem Monat						30
Dauerhafte Umsiedelung	mSv in einem Jahr						100

Je nach angenommenem Unfall und Berechnungsart kann also eine Dosis erreicht werden, die Interventionsmaßnahmen auslöst.

Die obige Tabelle zeigt, dass dieselben Interventionsmaßnahmen in verschiedenen Ländern an unterschiedliche Dosis-Richtwerte geknüpft sind. Dies führt zu Verwirrungen, v.a. im grenznahen Bericht, in dem üblicherweise viel gependelt wird. Eine Harmonisierung ist anzustreben, und zwar auf den niedrigsten Richtwerten, um Auswirkungen von Strahlung durch Interventionsmaßnahmen möglichst gering halten zu können.

Selbst die Auslegungsstörfälle haben Folgen für die Landwirtschaft

Im Falle einer drohenden Kontamination landwirtschaftlich genutzter Flächen müssen Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Aufnahme von Radionukliden durch Tiere und Pflanzen starten. Ab wann diese Maßnahmen starten, ist wiederum von Land zu Land verschieden.

- In Doel-4 werden für die beiden berechneten Auslegungsstörfälle 220 kBq I-131/m² (LOCA) bzw. 925 kBq I-131/m² (FHA) berechnet. Für Cs-137 bleibt die berechnete Kontamination bei ca. 9 Bq/m². Auch für den auslegungsüberschreitenden Unfall wird von einer Kontamination mit I-131 von über 4 kBq/m² ausgegangen (ohne Nennung des berechneten Wertes); zur Deposition von Cs-137 werden für den auslegungsüberschreitenden Unfall keine Angaben gemacht.
- In Tihange-3 ergeben die Berechnungen der Auslegungsstörfälle 20,5 kBq I-131/m² (LOCA) und 65 kBq I-131/m² (FHA). Für Cs-137 beträgt die Kontamination bei ca. 23 Bq/m². Für den auslegungsüberschreitenden Unfall werden keine Angaben vorgelegt.

Es wird nicht erklärt, in welcher Entfernung von den Reaktoren diese Kontaminationswerte auftreten. Bzgl. Doel-4 wird jedoch in SCK CEN (2023a Kap.7.6) angemerkt, dass auch in den Niederlanden und Deutschland Iod-Kontaminationen über 4 kBq/m² auftreten können.

Bei den berechneten Auslegungsstörfällen in beiden Reaktoren müssten in Belgien aufgrund der Iod-Kontamination Gegenmaßnahmen starten, da diese die belgische abgeleiteten Kontaminationswerte für Milch (4 kBq I-131/m²), Gemüse (10 kBq I-131/m²) und Fleisch (40 kBq I-131/m²) übersteigt. Die abgeleiteten Cs-137 Werte von 6 bzw. 10 kBq/m² werden nicht überschritten. Es wird laut UVP-Unterlagen damit gerechnet, dass die Ernte eines Jahres ausfallen könnte.

Dabei ist zu bedenken, dass die berechneten Unfälle nicht die schwerstmöglichen sind, somit könnten bei einem schweren Unfall mit Containmentbypass landwirtschaftliche Maßnahmen in großen Gebieten notwendig werden, auch außerhalb von Belgien.

Weiters sind die Werte für den Start landwirtschaftlicher Gegenmaßnahmen in Belgien höher als z.B. in Österreich, hier starten Maßnahmen bereits ab einer Iod-Kontamination von 700 Bq/m².

Der größte anzunehmende Unfall?

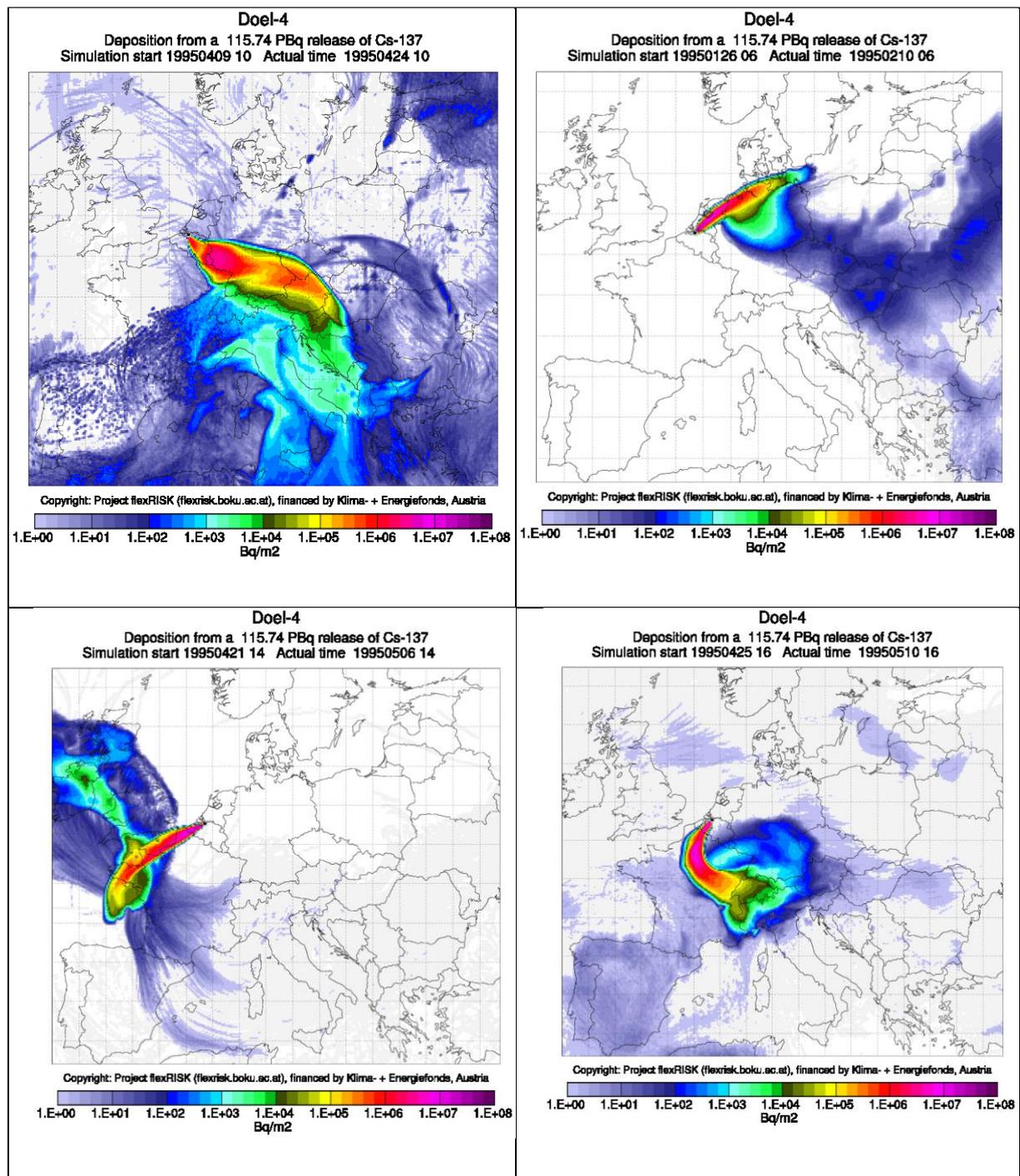
Die im UVP-Bericht betrachteten Unfälle sind keinesfalls die schwerstmöglichen Unfälle.

Als Vergleich wird hier das **Forschungsprojekt flexRISK** verwendet, in dem das Risiko durch schwere Unfälle in Atomkraftwerken in Europa untersucht wurde³². Auf der Grundlage von Quelltermen wurde ein aktuelles Ausbreitungsmodell verwendet, um die Bodenkontamination von Cs-137 und I-131

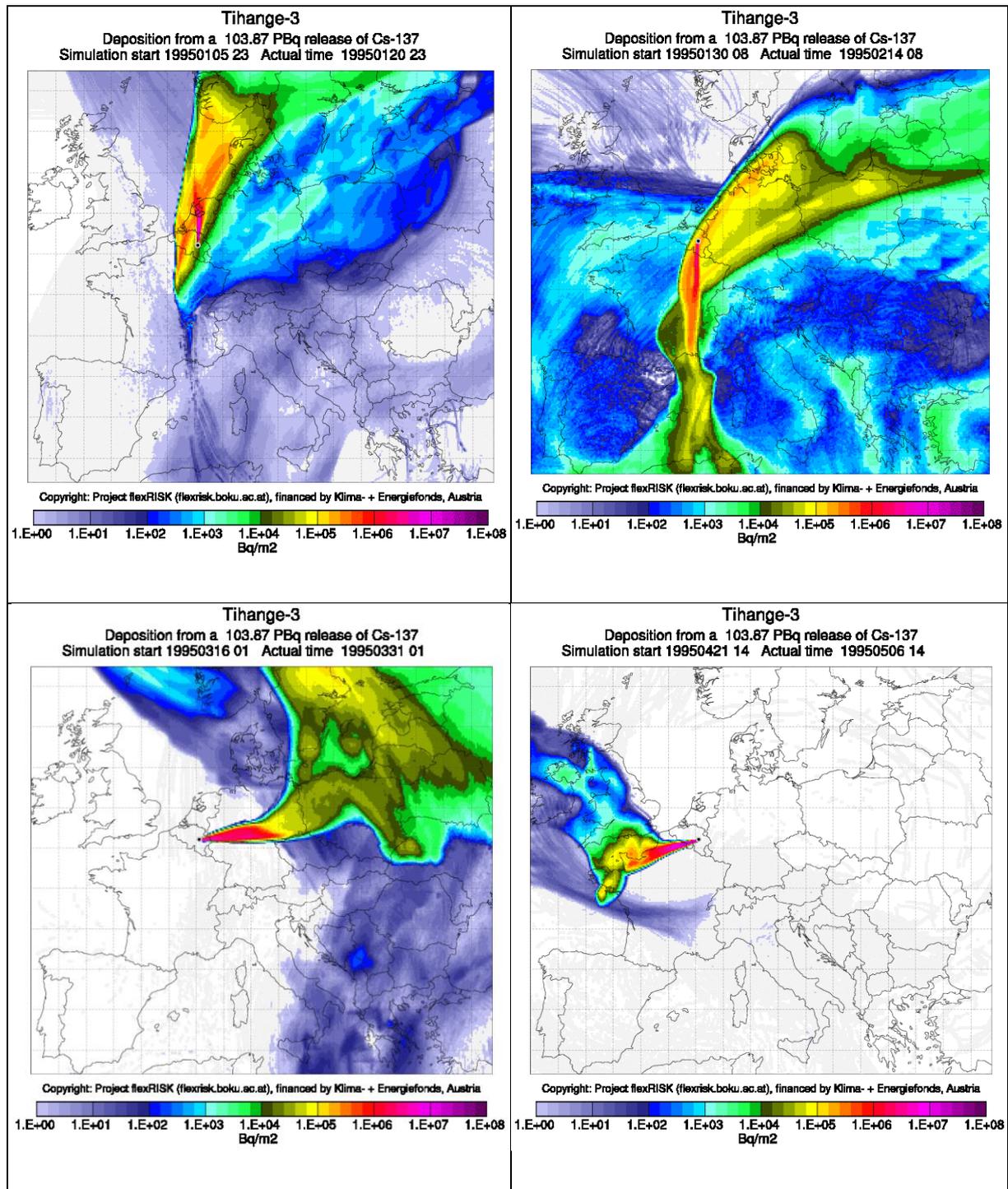
³² <http://flexrisk.boku.ac.at/en/index.html> bei

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. Für Doel-4 verwendete flexRISK für die Berechnungen eine Freisetzung von 115,74 PBq Cs-137 und 726,2 PBq I-131, und für Tihange-3 von 103,87 PBq Cs-137 und 810,87 PBq I-131. Solche Quellterme können aus einem schweren ISLOCA-Unfall resultieren und sind vergleichbar mit der Freisetzung aus Tschernobyl³³.

Die folgende Abbildung zeigt die flexRISK Ergebnisse für denselben angenommenen schweren Unfall, aber an vier verschiedenen Tagen und somit in vier verschiedenen Wettersituationen; dies für Doel-4 und für Tihange-3.



³³ Freisetzung beim Unfall von Tschernobyl laut verschiedener Literaturquellen ca. 78-112 PBq Cs-137.

Abbildung 1: Kontamination durch einen schweren Unfall in Doel-4 in Bq Cs-137 pro m². Quelle: flexrisk.boku.ac.at.Abbildung 2: Kontamination durch einen schweren Unfall in Tihange-3 in Bq Cs-137 pro m². Quelle: flexrisk.boku.ac.at.

Zum Vergleich: die Kontamination mit Cs-137 lag in Belgien, Luxemburg und den Niederlanden nach dem Unfall von Tschernobyl bei maximal 10 kBq/m², dies entspricht in der obigen Abbildung dem hellgrünen Bereich bis zu 1E+04 Bq/m². In Frankreich lag sie ein wenig höher bei maximal 20 kBq/m² (olivgrüner Bereich), in Deutschland hingegen bei maximal 100 kBq/m² (dunkelgelb, 1E+05 Bq/m²)

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; Menschen in Gebieten mit einer Kontamination über 185 kBq Cs-137/m² hatten das Recht auf

Umsiedelung, und Gebiete mit einer Kontamination über 1.480 kBq Cs-137/m² wurden abgesiedelt. (In den obigen Abbildungen entspricht eine Kontamination von 185 kBq/m² dem orangen und 1.480 kBq Cs-137/m² dem lila Bereich.)

Gut zu sehen ist, dass die mögliche Kontamination durch diesen angenommenen schweren Unfall stark vom Wetter abhängt. **Aufgrund der Wetterlage können weite Teile von Europa betroffen sein, wie an der Lage und Größe der orangen bzw. roten und lila Gebiete zu erkennen ist. Zum Beispiel würde die radioaktive Wolke aus einem schweren Unfall in Doel-4 bei Wetterbedingungen wie vom 09.04.1995 zunächst nach Südosten ziehen (über Luxemburg), danach über Mittel- und Süddeutschland weiterziehen, über Tschechien, Österreich und der Schweiz abdrehen und nach Italien weiterziehen.**

Wenn alle einzelnen Wettersituationen übereinandergelegt werden, erhält man wetterbedingte Wahrscheinlichkeiten, welche Gebiete Europas bei einem schweren Unfall in Doel-4 bzw. Tihange-3 mit mehr als 37 oder 1.480 kBq Cs-137/m² kontaminiert werden könnten.

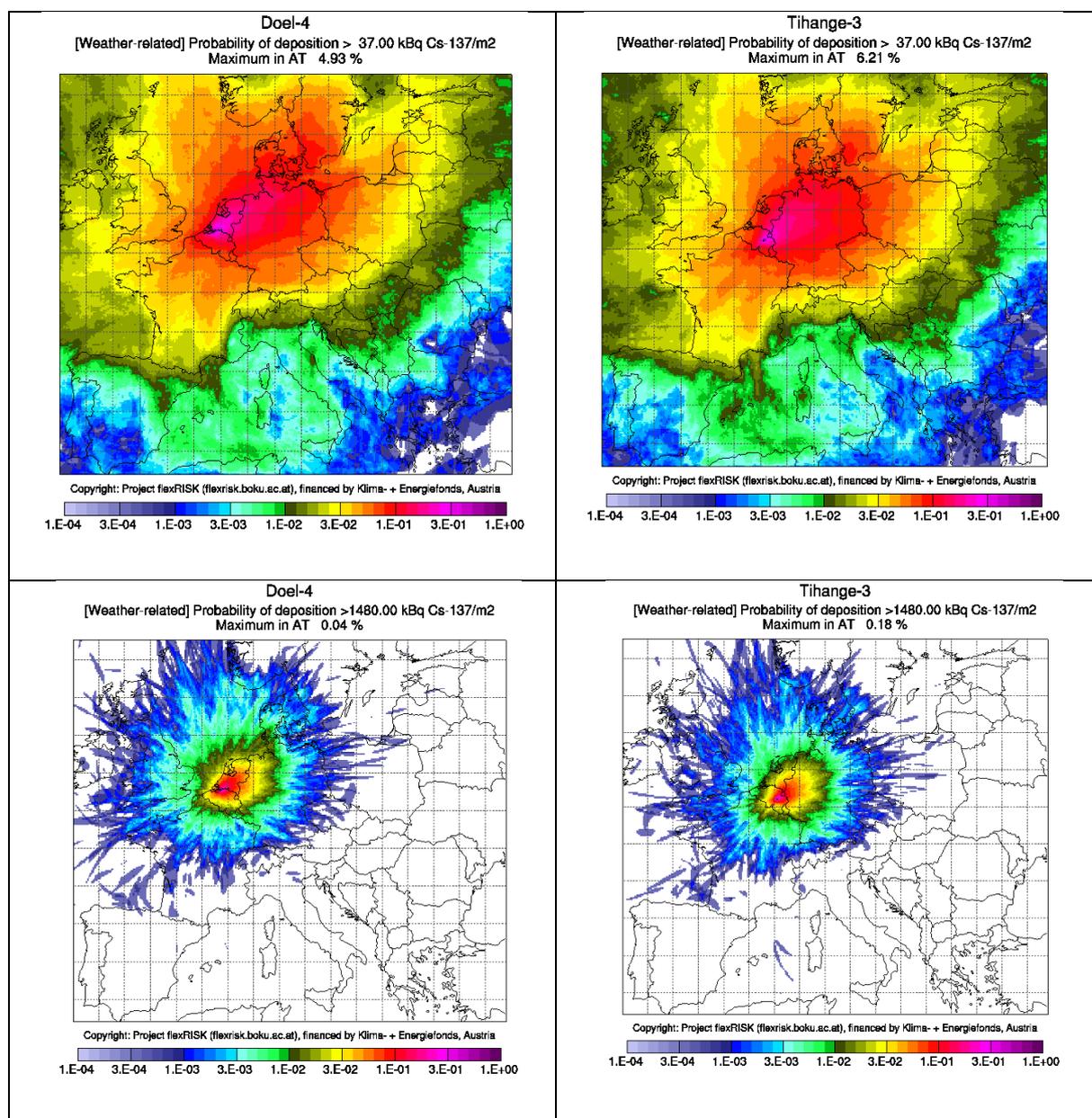


Abbildung 3: Wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall in Doel-4 und Tihange-3 mit mehr als 37 und 1.480 kBq Cs-137/m² kontaminiert zu werden. Quelle: flexrisk.boku.ac.at.

Die Skala reicht von 1E-04 (Wahrscheinlichkeit von 0,01%) bis zu 1E+00 (Wahrscheinlichkeit von 100%) – letztere betrifft die Gebiete in unmittelbarer Nähe der AKWs.

Gebiete nordöstlich der entsprechenden AKWs haben die höchste wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall kontaminiert zu werden, dies ist die häufigste Windrichtung. **In den beiden unteren Abbildungen (Wahrscheinlichkeit für Kontamination mit 1.480 kBq Cs-137/m²) ist zu erkennen, welche Gebiete eine hohe Wahrscheinlichkeit haben, bei dem angenommenen schweren Unfall abgesiedelt werden zu müssen; dies sind keinesfalls nur Gebiete in Belgien, sondern auch in den Nachbarländern, wobei die Wahrscheinlichkeit in nordöstlicher Richtung höher ist.**

7.1 Schlussfolgerungen und Forderung

Die in den UVP-Unterlagen berechneten Unfälle (Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitender Unfall) können dazu führen, dass in Belgien Interventionsmaßnahmen wie der Verbleib im Innenraum oder die Gabe von Kaliumiodidtabletten angeordnet werden müssen. Weiters können sowohl die auslegungs- als auch der auslegungsüberschreitende Unfall dazu führen, dass landwirtschaftliche Maßnahmen starten müssen.

Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese berechneten Unfälle keinesfalls die schwerstmöglichen Unfälle sind. **Im Projekt flexRISK wurde für beide Reaktoren ein möglicher Unfall mit Containmentversagen berechnet. Diese Ergebnisse zeigen, dass weite Teile von Europa kontaminiert werden könnten.** Gebiete nordöstlich der entsprechenden AKWs haben die höchste wetterbedingte Wahrscheinlichkeit, durch einen schweren Unfall kontaminiert zu werden. **Durch einen solchen Unfall könnte es sogar dazu kommen, dass Gebiete in und rund um Belgien abgesiedelt werden müssten.**

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen für einen schweren Unfall sollten im UVP-Verfahren berechnet werden, und zwar unabhängig von der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit, solange dieser physikalisch möglich ist, um das Risiko zu verdeutlichen. Die Ergebnisse im Projekt flexRisk ermittelten massiven Auswirkungen eines derartigen Unfalls für Belgien und Europa.

Literatur

- ANSI (1978): Guidelines for combining natural and external man-made hazards at power reactor sites. American Nuclear Society, American National Standard, ANSI/ANS-2.2.1978, Withdrawn on July 25, 1988
- BASE – Bundesamt für Sicherheit der nuklearen Entsorgung (2022): Laufzeitverlängerung deutscher Atomkraftwerke? Stand 26.07.2022.
- BEE – Bundesverband Erneuerbare Energien e. V. (2023); Studie: Effekte einer Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke- Bewertung der aktuellen Debatte und Auswirkungen auf Versorgungssicherheit und Preisniveaus im Stromsektor, 15. März 2023; <https://www.bee-ev.de/service/publikationen-medien/beitrag/effekte-einer-laufzeitverlaengerung-der-atomkraftwerke>
- CNS (2022): Sweden's Ninth National Report under the Convention on Nuclear Safety Sweden's implementation of the obligations of the Convention; Government Offices of Sweden Ministry of the Environment; Ds 2022:19
- DECKER & BRINKMAN (2017): Decker, K.; Brinkman H.: 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.
- EDF (2018): 4th Periodic Safety Review of the 900 Mwe Reactor Fleet; Summarised version of the Fulfilment Report; August 2018.
- ENSREG BE (2012): Peer review country report -Stress tests performed on European nuclear power plants, Belgium; 2012.

- EU 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 of Nuclear Control (2017a): Centres nucléaires en Belgique, Situation des autres réacteurs belges, <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers-dinformation/centrales-nucleaires-en-belgique/actualite/indications-de-defauts-dans-les>
- 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 (2020a): Terroristische Bedrohung; last update 11/06/2020; <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/aktuelles/terroristische-bedrohung>
- FANC – Federal Agency for Nuclear Control (2020b): Beschädigung des Betons in Doel und Tihange; last update 12/06/2020; <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/aktuelles/beschaedigung-des-betons-doel-und-tihange>
- FANC – Federal Agency for Nuclear Control (2020c): Belgian Stress Tests. National final report on the stress tests of nuclear power plants. September 2020.
- FANC – Federal Agency for Nuclear Control (2023a): Sabotage der Dampfturbine von Doel-4; last update: 14/03/2023; <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/aktuelles/sabotage-der-dampfturbine-von-doel-4>
- FLEXRISK (2012): The Project "flexRISK" - Flexible tools for assessment of nuclear risk in Europe; 2012; <http://flexrisk.boku.ac.at/en/index.html>
- FRANO (2021): Frano, R.L.: Aircraft Impact Effects on an Aged NPP. Materials 2021, 14, 816. <https://doi.org/10.3390/ma14040816>.
- GP (2014): Gefahr aus der Luft – Drohnenüberflüge bedrohen französische Atomanlagen Risikoanalyse am Beispiel der AKW Fessenheim, Cattenom und Gravelines; Kurzstudie von Dipl.-Physikerin Oda Becker; Erstellt im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V.; November 2014.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2016): Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1 (Rev. 1), Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA, Vienna 2016
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2023): Peer Review and Advisory Services Calendar; Status 10/05/; 023; <https://www.iaea.org/services/review-missions/calendar>
- INRAG – International Nuclear Risk Assessment Group (2021): Risiken von Laufzeitverlängerungen alter Atomkraftwerke, Revision 4; April 2021
- JOINT CONVENTION (2020): Kingdom of Belgium: Seventh meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. National Report. October 2020.
- MAJER (2013): Risiko von Altreaktoren; Eine Studie von Dipl. Ing. Dieter Majer; im Auftrag der Schweizerische Energie-Stiftung SES.
- NIEUVIAERT (2023): La modulation nucléaire: un risque majeur (Nuclear modulation: a major risk; Jean-Jacques Nieuviaert: 09/02/2023; www.lemondedelenergie.com/modulation-nucleaire-risque-majeur/2023/02/09/
- NTI – Nuclear Threat Initiative (2021): Nuclear Security Index. <http://ntiindex.org> .
- SCK CEN (2023a): Umweltverträglichkeitsprüfung - Im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel-4 und Tihange-3; im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter Zeichen 2020/77251/E2/EIE (Ref. SCK CEN: CO-90-22-6049-00); 20.03.2023

- SCK CEN (2023b): Nichttechnische Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel-4 und Tihange-3. Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie unter Zeichen 2022/77251/E2/EIE (Ref. SCK CEN: CO-90-22-6049-00); 20.03.2023.
- SOVACOOL et al. (2020): B.K. Sovacool, P. Schmid, A. Stirling, G. Walter, G. MacKerron: Differences in carbon emissions reduction between countries pursuing renewable electricity versus nuclear power, *Nat. Energy* 5, 928 (2020)
- UBA (2021): EIA NPP Doel 1&2 LTE: Final Expert Statement; Umweltbundesamt, Environment Agency Austria; Report REP-786; Oda Becker, Kurt Decker, Gabriele Mraz; Vienna, 2021; www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0786.pdf
- UMWELTBUNDESAMT (2021): Becker, O.; Decker, K.; Mraz, G.: Umweltverträglichkeitsprüfung KKW Doel 1&2/Belgien Laufzeitverlängerung. Abschließende Fachstellungnahme. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abteilung VI/9 Allgemeine Koordination von Nuklearangelegenheiten. REP-0786, Wien 2021.
- 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>
- WEALER et al. (2021): Kernenergie und Klima. In *Diskussionsbeiträge der Scientists for Future* (1.0, Vol. 9, pp. 1–98). Wealer, B.; Breyer, C.; Hennicke, P.; Hirsch, H.; von Hirschhausen, C.; Klafka, P.; Kromp-Kolb, H.; Präger, F.; Steigerwald, B.; Traber, T.; Baumann, F.; Herold, A.; Kemfert, C.; Kromp, W.; Liebert, W.; Müschen, K. (2021).Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5573719>
- WENRA – Western European Nuclear Regulator Association (2011): Pilot study on Long term operation (LTO) of nuclear power plants, Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group, March 2011
- WENRA – Western European Nuclear Regulator Association (2013): Safety on new NPP Design; Study by Reactor Harmonization Working Group.
- WENRA – Western European Nuclear Regulators Association (2015): Guidance Document Issue T: Guidance Head Document; www.wenra.org/publications/.
- WENRA – Western European Nuclear Regulators Association (2021): WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, Update in relation to lessons learned from TEPCO Fukushima Dai-ichi Accident; 17th February 2021.; www.wenra.org/media/filer_public/2021/02/24/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_2020.pdf
- WNISR (2019): The World Nuclear Industry Status Report 2019; Mycle Schneider, Antony Froggatt et. al.; September 2019, www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2019-v2-lr.pdf
- WNISR (2022): The World Nuclear Industry Status Report 2022; Mycle Schneider, Antony Froggatt et. al.; October 2022 (V3–02/2023); www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2022-v3-lr.pdf