

Umweltverträglichkeitsprüfung

Wie vorgesehen in den Richtlinien 2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2

Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie

unter der Referenz 2020/VEF/67514 – Umweltverträglichkeitsstudie

Datum der Veröffentlichung: 2021-04-02

Dieser Bericht wurde aus dem Niederländischen ins Deutsche übersetzt.

© SCK CEN – Publication date: 2021-04-02

Gemeinnützige Stiftung – Stichting van Openbaar Nut – Fondation d'Utilité Publique - Foundation of Public Utility

Eingetragener Sitz:

Avenue Herrmann Debroux 40 – 1160 Brüssel – Belgien

Forschungszentren:

Boeretang 200 - 2400 Mol - Belgien

Chemin du Cyclotron 6 - 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve - Belgien

<http://www.sckcen.be>

Unterschriften von Experten für radiologische Auswirkungen

<p>Johan Camps (SCK CEN)</p> <p>Leiter der Einheit Krisenmanagement und Entscheidungsunterstützung</p> <p>Autorisiert zur Durchführung des radiologischen Teils einer Umweltverträglichkeitsprüfung und -berichterstattung (FANK UVP-003882, Genehmigung vom 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2023)</p>	
<p>Hildegarde Vandenhove (SCK CEN)</p> <p>Direktorin des Instituts für Umwelt, Gesundheit & Sicherheit</p> <p>Genehmigung für die Erstellung eines Berichts über die Umweltverträglichkeitsprüfung hinsichtlich der Aspekte bezüglich ionisierender Strahlung (FANK, Genehmigung ab 16. Juli 2020 für einen Zeitraum von 5 Jahren)</p>	
<p>Christophe Bruggeman (SCK CEN)</p> <p>Stellvertretender Direktor des Instituts für Umwelt, Gesundheit & Sicherheit, Leiter der Expertengruppe Abfall und Entsorgung</p> <p>Genehmigung für die Erstellung eines Berichts über die Umweltverträglichkeitsprüfung hinsichtlich der Aspekte bezüglich ionisierender Strahlung (FANK, Genehmigung ab 16. Juli 2020 für einen Zeitraum von 5 Jahren)</p>	

SCK CEN – 65 Jahre Erfahrung in der kerntechnischen Forschung und Technologie

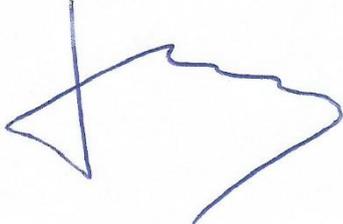
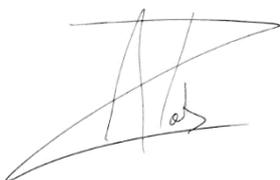
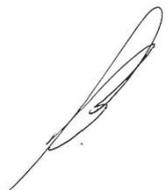
SCK CEN ist eine der größten Forschungseinrichtungen Belgiens. Mehr als 850 Mitarbeiter/-innen setzen sich täglich für die Entwicklung friedlicher Anwendungen von ionisierender Strahlung und Radioaktivität ein. Die Forschungsaktivitäten des SCK CEN konzentrieren sich auf drei große Themen: die Sicherheit kerntechnischer Anlagen, die Entwicklung der Nuklearmedizin und den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung. SCK CEN ist weltweit anerkannt und teilt sein Wissen durch zahlreiche Publikationen und Schulungen, damit dieser Pool an außergewöhnlichen Fähigkeiten erhalten bleibt.

Weitere Informationen: www.sckcen.be

Danksagungen

Wir möchten uns bei den folgenden SCK-CEN-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeitern für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieses Berichts bedanken: Kim Dams (Betriebsjurist), Eef Weetjens, Lieve Sweeck, Christophe Gueibe, Katrijn Vandersteen, Bieke Abelshausen und Kristine Leysen.

Unterschriften von UVP-Experten

<p>Koen Couderé</p> <p>Zugelassener UVP-Koordinator</p> <p>Zulassungsnr. LNE/ERK/MERCO/2019/00033</p> <p>Zugelassener UVP-Experte für Wasser, Teilbereiche Geohydrologie, Meeresgewässer sowie Oberflächen- und Abwasser</p> <p>Zugelassener UVP-Experte für Klima</p> <p>Zulassungsnr. EDA-222</p>	
<p>Annemie Pals</p> <p>Zugelassene UVP-Expertin für biologische Vielfalt</p> <p>Zulassungsnr. EDA-704</p>	
<p>Johan Versieren</p> <p>Zugelassener UVP-Experte für Luft, Teilbereiche Geruch und Luftverschmutzung</p> <p>Zulassungsnr. EDA-059</p>	
<p>Geert Boogaerts</p> <p>Zugelassener UVP-Experte für Mensch, Toxikologie und psychosomatische Aspekte</p> <p>Zulassungsnr. EDA-624</p>	

Danksagungen

Neben den zugelassenen UVP-Experten hat auch Katelijne Verhaegen von KENTER an diesem Bericht mitgearbeitet.

Tabellen

Tabelle 1: Abschaltzeitplan gemäß Kernausstiegsgesetz.	16
Tabelle 2: Abschaltzeitplan gemäß geändertem Kernausstiegsgesetz.	17
Tabelle 3: Übersicht über die Basisdaten des Kernkraftwerks Doel.	25
Tabelle 4: Wichtigste Rohstoffe und Abfallströme.	29
Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Einrichtungen und Tätigkeiten des Kernkraftwerks Doel und deren Beziehung zu möglichen Umweltauswirkungen.	38
Tabelle 6: Übersicht über die Themen, die nicht in der strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht werden mit entsprechender Begründung.	42
Tabelle 7: Bewertung des Zustands des Wasserkörpers Seeschede IV.	52
Tabelle 8: Abgeleitetes Kühlwasservolumen mit und ohne Aufschub der Abschaltung.	56
Tabelle 9: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele des Wassersystems.	62
Tabelle 10: Zielarten für die Natura-2000-Gebiete, die sich mit dem Projektgebiet überschneiden oder in dessen unmittelbarer Nähe vorkommen. x: Art explizit als Ziel aufgenommen, /: Art ist kein Ziel.	67
Tabelle 11: Nummerierung der vorhandenen Naturentwicklungsgebiete.	71
Tabelle 12: Nummerierung der zukünftigen Naturentwicklungsgebiete.	73
Tabelle 13: Ergebnisse der TRIADE-Überwachung am VMM-Messpunkt 154100.	76
<i>Tabelle 14: Emissionshöchstmengen gemäß (überarbeiteter) NEC-Richtlinie (2016).</i>	<i>87</i>
<i>Tabelle 15: Emissionsziele 2030 pro Region (absolute Emissionshöchstmengen; vgl. Dekretentwurf zur Zustimmung zu dem Zusammenarbeitsabkommen vom 24. April 2020 zwischen dem Föderalstaat und den Regionen).</i>	<i>88</i>
<i>Tabelle 16: Emissionen aus Feuerungsanlagen (2014) (UVP-Arbeiten Electrabel, 2021).</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 17: Emissionen aus der Stromerzeugung in Flandern und grobe Schätzung der vermiedenen Emissionen, wenn Doel 1 und 2 außer Betrieb sind, berechnet auf Basis der Extrapolation der festgestellten Emissionen für den Sektor.</i>	<i>91</i>
<i>Tabelle 18: Abschätzung der vermiedenen Emissionen im Falle des Ersatzes der Stromerzeugung von Doel 1 und 2 durch erdgasbefeuerte GuD der neuesten Generation.</i>	<i>92</i>
<i>Tabelle 19: Schätzung des relativen Anteils der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC-2030-Ziel basierend auf einer Berechnungsmethode, die auf der Extrapolation der tatsächlichen Emissionen beruht.</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 20: Schätzung des relativen Anteils der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC-2030-Ziel basierend auf einer Berechnungsmethode, die auf den höchsten Emissionsniveaus der neuesten Generation großer GuD beruht.</i>	<i>95</i>
Tabelle 21: Mit fossilem Kraftstoff betriebene Motoren, die eindeutig dem Betrieb von Doel 1 und Doel 2 zuzuordnen sind.	101
Tabelle 22: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO ₂ eq/Jahr) für das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) und die Blöcke Doel 1 und 2 für den Zeitraum 2015-2019.	101
Tabelle 23: Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen im Falle eines Aufschubs der Abschaltung von Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2025, unter der Annahme eines gemischten nichtnuklearen Energiemixes.	103

Tabelle 24: Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen im Falle eines Aufschubs der Abschaltung von Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2020, bei einer nichtnuklearen Ersatzproduktion auf der Grundlage von GuD der neuesten Generation.....	104
<i>Tabelle 25: Liste Interdisziplinäre Datenübertragung.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabelle 26: Relevante chemische, physikalische und sonstige Stressoren.....</i>	<i>118</i>
Tabelle 27: Beispiele für die Aktivität einiger radioaktiver Quellen.....	124
Tabelle 28: Dosisbelastung pro durchschnittlichem/-r Belgier/-in im Jahr 2015.....	127
Tabelle 29: Dosisgrenzwerte.....	128
Tabelle 30: Effektive Dosis pro Jahr für die am stärksten exponierte Person aus gasförmigen, flüssigen und totalen Ableitungen entsprechend den Ableitungsgrenzwerten für das gesamte KKW Doel.....	137
Tabelle 31: Genehmigte Aktivitäten für gasförmige Ableitungen für das KKW Doel.....	142
Tabelle 32: Signifikanzrahmen für die radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora.....	145
Tabelle 33: Hauptunterschiede zwischen der Methodik zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.....	145
Tabelle 34: Einschlägige internationale und europäische Richtlinien zur Ermittlung von Störfallszenarien.....	146
Tabelle 35: Kategorien von überwachten Ableitungen.....	152
Tabelle 36: Momentane atmosphärische Ableitungsgrenzwerte für Doel 1 und 2, Doel 3 und 4 und das Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB).....	153
Tabelle 37: Ableitungsgrenzwerte für flüssige Abwässer.....	156
Tabelle 38: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Doel.....	161
Tabelle 39: Überwachungsprogramm des Betreibers.....	162
Tabelle 40: Jährliche Mengen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, die zu Belgoprocess transportiert werden, und die daraus resultierenden zu entsorgenden Mengen nach der hiesigen Verarbeitung ^{lxix} . GA: konditionierter Abfall; NGA: nicht konditionierter Abfall; NB: Daten nicht verfügbar. Im Jahr 2014 wurde eine Korrektur der Vorjahreswerte vorgenommen; die korrigierten Werte wurden hier übernommen. Ab 2015 wird das Volumen nach einer anderen Methodik berechnet. Die Volumen der unkonditionierten Harze werden ebenfalls berücksichtigt.....	167
Tabelle 41: Geschätzte Menge des jährlich im KKW Doel anfallenden konditionierten Abfalls (GA) auf der Grundlage der von der FANK bereitgestellten Daten.....	168
Tabelle 42: Anzahl der dauerhaft entladenen Brennelemente in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel.....	169
Tabelle 43: Anzahl der Tonnen Kernbrennstoff (tSM oder Tonne Schwermetall), die in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel endgültig entsorgt wurden.....	169
Tabelle 44: Übersicht über die verschiedenen Typen und die Anzahl der abgebrannten Brennelemente am Ende der Laufzeit der belgischen Kernkraftwerke.....	176
Tabelle 45: Zusammensetzung der Hauptelemente des Reaktorbehälters (in Gew.-%).....	177
Tabelle 46: Relevante europäische und internationale Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.....	181
Tabelle 47: Belgische Gesetzgebung, die für die nukleare Notfallplanung relevant ist.....	182
Tabelle 48: Von Belgien und den Niederlanden eingerichtete Vorbereitungszonen (Radius der Kreise in km) um das KKW Doel für die unmittelbaren Schutzmaßnahmen im Falle eines nuklearen Notfalls.....	183
Tabelle 49: Übungen für das KKW Doel der letzten 15 Jahre.....	184

Abbildungen

Abbildung 1: Bruttostromerzeugung (Gigawattstunden) in Belgien für den Zeitraum 2005-2014 und Anteil der verschiedenen Quellen daran (Quelle: https://statbel.fgov.be/nl/themas/energie/elektriciteitsproductie).	17
Abbildung 2: Standort des KKW Doel (Geopunkt Flandern).....	24
Abbildung 3: Funktionsweise des Kernkraftwerks mit (von links nach rechts) dem Reaktorgebäude, dem Maschinenraum und dem Kühlkreislauf (Quelle: Electrabel AG).	26
Abbildung 4: Die aufeinanderfolgenden Barrieren, die das Uran und die Spaltprodukte von der Außenwelt abschirmen, d. h. das komprimierte Uranoxid in Pellets (1), ist in den verschweißten Brennstäben gestapelt (2). Diese befinden sich im Reaktorbehälter (während des Betriebs geschlossen, zum Be- und Entladen des Kernbrennstoffs geöffnet), einem 25 cm dicken Stahlbehälter (3), der in der primären Stahlkugel des Reaktorgebäudes platziert ist (4) und sukzessive von der sekundären Wand des Reaktorgebäudes aus Stahlbeton umgeben ist (5).	27
Abbildung 5: Entwicklung der Stromerzeugung aus den verschiedenen Quellen im Zeitraum 2020-2030 gemäß dem Nationalen Energie- und Klimaplan.	31
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Referenzzustandes.	33
Abbildung 7: Betrieb der vier Kraftwerke in Doel mit und ohne Aufschub der Abschaltung.	34
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Grundzüge des Scopings für die Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 (UVP-Entscheidung).	41
Abbildung 9: Schlüsselemente des strategisch-operativen Kontinuums der Umweltverträglichkeitsprüfung, angewandt auf die Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts.	46
Abbildung 10: Wasserbilanz des KKW Doel für 2019.	54
Abbildung 11: Abgeleitetes Kühlwasservolumen als Folge der aufgeschobenen Abschaltung im Vergleich zur Referenzsituation (kein Aufschub).	56
Abbildung 12: N-Belastung im Industrieabwasser im Zeitraum 2015-2019.	59
Abbildung 13: Naturschutzgebiete.	66
Abbildung 14: Übersicht über die vorhandenen Naturentwicklungsgebiete (permanent und temporär).	71
Abbildung 15: Zukünftige Naturentwicklungsgebiete.	72
Abbildung 16: Endbild der Naturentwicklung, soweit bekannt und auf Basis des noch nicht geklärten Natursausgleichs.	73
Abbildung 17: Schematische Darstellung des Kühlwassers, mit Darstellung der Wasserentnahmestelle in Doel 1 und 2 sowie Doel 3 und 4 (Quelle: Electrabel AG, 2011).	80
Abbildung 18: Lärmkonturen der kontinuierlich arbeitenden Quellen während des Tages-, Abend- und Nachtzeitraums (Quelle: UVP in Bezug auf die Arbeiten).	81
Abbildung 19: Überschreitungen der kritischen Belastungen (modelliert und flächengewichtet) für Eutrophierung (links) und Versauerung (rechts) in Wald, artenreichem Grünland und Heideland zwischen 1990 und 2017 (Quelle: Schneiders et al., 2020).	82
Abbildung 20: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO ₂ eq/kWh) des Stromsektors für die verschiedenen EU-Mitgliedstaaten.	102
Abbildung 21: Expositionsübersichtskarte.	112
Abbildung 22: Einwohnerübersicht Doel (Quelle: Gemeinde Beveren).	113

Abbildung 23: 4-Schritteplan-Methodik (Quelle: Richtlijnenhandboek Mens – Gezondheid, 2017.....	117
Abbildung 24: Dosis-Wirkungs-Beziehung für deterministische (links) und stochastische Effekte (rechts). Deterministische Effekte treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf. Danach nimmt das Vorhandensein schnell zu, bis es bei jedem auftritt. Das Auftreten von stochastischen Effekten steht in linearer Verbindung zur Dosis, der man ausgesetzt ist. Bei niedrigen Dosen (unter 50-100 mSv effektiver Dosis wurde dies jedoch nie nachgewiesen und es wird vorsichtshalber eine lineare Extrapolation angenommen). Hier ist das gesamte Auftreten von stochastischen Effekten (Krebserkrankungen und genetische Effekte) für eine Person aus der Öffentlichkeit bei niedriger Dosisleistung dargestellt, wobei bei 1 Sv effektiver Dosis ein zusätzliches Auftreten 5,7 % (zusätzlich zum spontanen Auftreten, das viel wahrscheinlicher ist) von stochastischen Effekten zu erwarten ist.....	127
Abbildung 25: Schritte in der Methodik für Ableitungen mit radiologischen Auswirkungen bei Normalbetrieb. ...	136
Abbildung 26: Relatives Auftreten der Windrichtung beim KKW Doel basierend auf stündlichen Daten für einen 3- Jahreszeitraum vom 1. Juni 2017 bis 1. Juni 2020 (Quelle: KMI – ECMWF).....	138
Abbildung 27: Durchschnittliche Konzentration in Bq/m ³ in Bodennähe bei konstanter Ableitung (KKW Doel) von a 1 TBq/Jahr.	140
Abbildung 28: Gesamte Aerosoldeposition in Bq/m ² (ohne Berücksichtigung des Zerfalls) bei konstanter Ableitung (KKW Doel) von 1 TBq/Jahr.....	141
Abbildung 29: Betriebs- und Störfallzustand eines Kernkraftwerks ^{xlv}	147
Abbildung 30: Gasförmige Ableitungen pro Jahr für den gesamten KKW-Doel-Standort.....	154
Abbildung 31: Reale Ableitungen für den Zeitraum 2014-2019, ausgedrückt als Prozentsatz der Ableitungsgrenzwerte für die verschiedenen Gruppen von Radionukliden.	155
Abbildung 32: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde für den Zeitraum 2005-2019.....	157
Abbildung 33: Die Ringstationen des TELERAD-Netzes um Doel (Karte: OpenStreetMap).	159
Abbildung 34: Ring- und Agglomerationsstationen des TELERAD-Netzwerks (Hintergrundkarte: OpenStreetMap).	160
Abbildung 35: Dosistempo im Verlauf der Zeit für das gesamte Jahr 2018, gemessen von zwei TELERAD-Stationen an der Grenze der Domäne des KKW Doel, von denen eine westlich von Doel 1 und 2 (IMR/D 9) und eine östlich von Doel 1 und 2 (IMR/D 15) liegt. Die starken Erhöhungen der Dosisleistung resultieren aus der natürlichen Hintergrundstrahlung, die sich durch wechselnde meteorologische Bedingungen, wie vor allem das Auftreten von Regen (insbesondere nach langen Trockenperioden), verändert. Die Regenintensität ist auch in der unteren Grafik dieser Abbildung dargestellt (Daten zur Dosisleistung: FANK; Daten zum Niederschlag für den Standort des KKW Doel: KMI). Eine Überschreitung des Schwellenwerts für einen Alarm (Wert außerhalb des dargestellten Maßstabs) wurde im Jahr 2018 nie erreicht.....	160
Abbildung 36: Orte für die Probenahme für das vom Betreiber des KKW Doel durchgeführte Zusatzprogramm (Bezeichnungen siehe Tabelle 39, Hintergrundkarte: OpenStreetMap).	162
Abbildung 37: Messkampagne mit einem großvolumigen Detektor im Fahrzeug, die in der Region nordöstlich des KKW Doel durchgeführt wurde (Messungen SCK CEN, 2020). Die Einheiten in der Legende sind detektorspezifisch und zeigen nur relative Unterschiede. Normale Dosisleistungen werden über den gesamten Bereich gemessen. (Hintergrundkarte: Bing VirtualEarth).	163
Abbildung 38: Cs-137-Konzentrationen in Bq/m ² gemessen in einer Kampagne 10 Jahre nach dem Tschernobyl- Unfall. Damals wurden in der Umgebung des KKW Doel 1.810 Bq/m ² Cs-137 gemessen, ein Durchschnittswert für Belgien.....	164
Abbildung 39: Zusammenfassende Übersicht über die ergänzenden Überwachungsaktivitäten zur Nachverfolgung der radiologischen Auswirkungen.	165

Abbildung 40: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Doel, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Ableitungen. Zum Vergleich wird der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung angezeigt. 165

Abbildung 41: Akkumulation der maximalen Deposition von Cs-137 in Bq/m² über die Laufzeit des KKW Doel mit Abschaltung im Jahr 2015 von Doel 1 und Doel 2 und Aufschub der Abschaltung bis 2025 von Doel 1 und Doel 2. Der Beitrag der verschiedenen Reaktoreinheiten bei verschobener Abschaltung ist ebenfalls dargestellt. 172

Abbildung 42: Strom durch den Reaktorbehälter je nach der Neutronenenergie am mittleren Querschnitt eines Doel I/II-Reaktorbehälters, der vom ALEPH2-Code verwendet wird. 178

Abbildung 43: Akkumulierte Aktivität des Isotopeninventars innerhalb des Kontrollvolumens des Reaktorbehälters in Abhängigkeit von der Zeit (oben: konstante Bestrahlung; unten: mit Zerfall zwischen den Zyklen). 179

Liste der Abkürzungen

ALARA	As low as reasonably achievable – So niedrig wie vernünftigerweise erreichbar
ANB	Agentschap voor Natuur en Bos – Agentur für Natur und Wald
AOSIS	Allgemeine Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
ASP	Artenschutzprogramm
BC	Black Carbon – Schwarzer Kohlenstoff
BEL V	Behörde für die Kontrolle von kerntechnischen Anlagen (Zweigstelle der FANK)
BEZ	Besondere Erhaltungsziele
BPA	Bijzonder plan van aanleg – Sonderbebauungsplan
BSG-H	Besonderes Schutzgebiet der FFH-Richtlinie
BSG-V	Besonderes Schutzgebiet der Vogelschutzrichtlinie
CFVS	Containment Filtered Venting System – Containment gefiltertes Entlüftungssystem
CGCCR	Coördinatie- en Crisiscentrum van de Regering – Koordinations- und Krisenzentrum der Regierung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CRM	Capacity Remuneration Mechanism – Kapazitätsmechanismus
CSBO	Complete Station Black Out – Blackout der kompletten Anlage
dB	Dezibel
DEC	Design Extension Conditions – Erweiterte Auslegungsbedingungen
DIW	Dekret Integrale Waterpolitiek
DWR	Druckwassermoderierter und -gekühlter Leichtwasserreaktor
EC	Elementarer Kohlenstoff
ECA	Extra Containerkapazität Antwerpen
ESD	Effort sharing decision – Entscheidung zur Lastenverteilung
ETS	Emissions trading system – Emissionshandelssystem
EU	Europäische Union
EZ	Erhaltungsziele
FANK	Föderalagentur für Nuklearkontrolle
FFH-Gebiet	Flora-Fauna-Habitat-Richtliniengebiet
FHA	Fuel handling accident – Brennelement-Handhabungsunfall
GNE	Große Natureinheit
GNEE	Große Natureinheit in Entwicklung

GuD	Kombinierter Gas- und Dampfturbinenprozess
Ha	Hektar
HERCA	Heads of the European Radiological protection Competent Authorities – Leiter der für den Strahlenschutz zuständigen europäischen Behörden
ICRP	International Commission on Radiological Protection – Internationale Strahlenschutzkommission
IEAE / IAEA	International Atomic Energy Agency – Internationale Atomenergiebehörde
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale – Internationale Bewertungsskala für nukleare Ereignisse
IVON	Integraal Verweevings- en Ondersteunend Netwerk – Integrales Verflechtungs- und Unterstützungsnetzwerk
K. E.	Königlicher Erlass
KDW	Kritischer Depositionswert
KKW Doel	Kernkraftwerk Doel
LOCA	Loss Of Coolant Accident – Kühlmittelverlust-Unfall
LSU	Linkes Scheldeufer
LTO	Long Term Operation – Langzeitbetrieb
NEHAP	Nationaler Aktionsplan für Umwelt und Gesundheit
NERAS-NIRAS	Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien
NO _x	Stickstoffoxid
NVBG	Naturverbindungsgebiete
OECD/NEA	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung / Nuclear Energy Agency
ÖQE	Ökologischer Qualitätskoeffizient
PÄ	Pkw-Äquivalent
Pb	Blei
PDH	Propylen-Dehydrierung
PM	Particulate Matter – Feinstaub
PRIS	Power Reactor Information System – Leistungsreaktor-Informationssystem
RAP	Räumlicher Ausführungsplan
RRAP	Regionaler räumlicher Ausführungsplan
RSU	Rechtes Scheldeufer
SO ₂	Schwefeldioxid
TAW	Tweede algemene waterpassing – Zweites allgemeines Nivellement
TLD	Thermo-Lumineszenz-Detektor
TMI	Three Mile Island

UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
VEKP	Vlaams Energie- en Klimaatplan – Flämischer Energie- und Klimaplan
VEN	Vlaams Ecologisch Netwerk – Flämisches ökologisches Netzwerk
VLAREBO	Vlaams Reglement betreffende de bodemsanering – Flämische Satzung zur Bodensanierung
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning – Flämische Satzung zur Umweltgenehmigung
VLAREMA	Vlaams Reglement voor het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen – Flämische Satzung für die nachhaltige Bewirtschaftung von Materialkreisläufen und Abfallstoffen
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij – Flämische Umweltagentur
VNSC	Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie – Flämisches-Niederländische Scheldekommision
VRG	Vogelrichtliniengebiet
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association – Verband der westeuropäischen Nuklearaufsichtsbehörden
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Inhalt

Unterschriften von Experten für radiologische Auswirkungen	3
Unterschriften von UVP-Experten.....	4
Tabellen.....	5
Abbildungen.....	7
Liste der Abkürzungen.....	10
1 Einleitung	16
1.1 Kontext der Umweltverträglichkeitsprüfung.....	16
1.1.1 Vorgeschichte.....	16
1.1.2 Ziel dieser Umweltverträglichkeitsprüfung.....	21
1.1.3 Initiator und Expertenteam.....	22
1.1.4 Leseanleitung	22
1.2 Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung und zu untersuchende Alternativen	23
1.2.1 Das Projekt	23
1.2.2 Alternativen.....	29
1.2.3 Entwicklung der Versorgungssicherheit im Zeitraum 2020-2030.....	30
1.2.4 Referenzzustand und Referenzszenario	32
1.2.5 Potenziell relevante autonome und gesteuerte Entwicklungen	34
1.3 Verfahren	35
2 Nichtradiologische Auswirkungen	37
2.1 Allgemeine Methodik.....	37
2.1.1 Scoping	37
2.1.2 Allgemeiner Bewertungsrahmen.....	45
2.1.3 Spezifische Bewertungsrahmen.....	45
2.1.4 Tiefe der Bewertung	45
2.2 Auswirkungen des Projekts.....	46
2.2.1 Allgemeines.....	46
2.2.2 Wasser	47
2.2.3 Biologische Vielfalt.....	63
2.2.4 Luft.....	87
2.2.5 Klima	96
2.2.6 Mensch und Gesundheit.....	111
2.3 Grenzüberschreitende Auswirkungen	122
3 Radiologische Auswirkungen.....	123

3.1	Grundlegende Konzepte des Strahlenschutzes, die bei der Bewertung verwendet werden	123
3.2	Grundlegende Konzepte und Bewirtschaftung von radioaktivem Abfall	129
3.2.1	Herkunft von radioaktivem Abfall.....	129
3.2.2	Klassifizierung.....	130
3.2.3	Bewirtschaftung von radioaktivem Abfall	131
3.3	Methodik.....	135
3.3.1	Routinemäßige Ableitungen	135
3.3.2	Unfallbedingte Ableitungen.....	145
3.3.3	Radioaktive Betriebsabfälle und abgebrannte Brennelemente.....	150
3.3.4	Stilllegung	150
3.4	Bestehende Situation.....	151
3.4.1	Überwachung der Ableitungen.....	151
3.4.2	Überwachung der Radioaktivität am Standort und in der Umwelt	157
3.4.3	Auswirkungen aufgrund von Berechnungen und Messungen.....	164
3.4.4	Radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente.....	166
3.5	Auswirkungen im Fall der Abschaltung	170
3.5.1	Normalbetrieb.....	170
3.5.2	Unfälle	170
3.6	Auswirkungen im Fall des Aufschiebs der Abschaltung	170
3.6.1	Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.....	170
3.6.2	Radiologische Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)	174
3.6.3	Auswirkungen auf radioaktive Abfälle, abgebrannte Brennelemente, Stilllegung.....	175
3.7	Grenzüberschreitende Auswirkungen	180
3.7.1	Normalbetrieb.....	180
3.7.2	Unfälle	180
3.8	Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung.....	181
3.8.1	Ziel und grundlegende Konzepte.....	181
3.8.2	Rechtlicher Rahmen.....	181
3.8.3	Interne und externe Notfallpläne für kerntechnische Anlagen des KKW Doel	183
3.8.4	Harmonisierung zwischen Nachbarländern für das KKW Doel.....	183
3.8.5	Organisation von Notfallplanübungen für das KKW Doel.....	184
3.9	Wissenslücken.....	184
4	Synthese und Fazit.....	186
4.1	Synthese der Auswirkungen	186
4.1.1	Nichtradiologische Auswirkungen.....	186
4.1.2	Radiologische Auswirkungen	191
4.2	Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen	194

4.2.1	Nichtradiologische Auswirkungen.....	194
4.2.2	Radiologische Auswirkungen	194
4.3	Minderungsmaßnahmen	194
4.4	Wissenslücken	194
4.5	Allgemeine Entscheidung	195
	Bibliographie	197

1 Einleitung

1.1 Kontext der Umweltverträglichkeitsprüfung

1.1.1 Vorgeschichte

Relevante Gesetzgebung

Der schrittweise Ausstieg aus der Nutzung von Kernenergie zur industriellen Stromerzeugung auf belgischem Gebiet wird per Gesetz vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für industrielle Stromerzeugung (im Folgenden: Kernausstiegsgesetz) geregelt. Darin wurde festgelegt, dass die Kernkraftwerke 40 Jahre nach ihrer industriellen Inbetriebnahme abgeschaltet werden würden und gleichzeitig alle Einzelgenehmigungen für die Stromerzeugung durch diese Kraftwerke auslaufen würden.

Das Gesetz besagt auch, dass kein neues, zur industriellen Stromerzeugung durch Spaltung von Kernbrennstoffen bestimmtes Kernkraftwerk errichtet und/oder in Betrieb genommen werden darf.

Tabelle 1 zeigt für die verschiedenen belgischen Kernkraftwerke das Datum der industriellen Inbetriebnahme und das Datum, an dem die im Kernausstiegsgesetz vorgesehene 40-jährige Frist enden wird. Um die Kontinuität der Energieversorgung zu gewährleisten, wurde ein schrittweiser Ausstieg gewählt.

Tabelle 1: Abschaltzeitplan gemäß Kernausstiegsgesetz.

Kraftwerk	Datum der industriellen Inbetriebnahme	Datum der Abschaltung (nach 40 Jahren)
Doel 1	15. Februar 1975	15. Februar 2015
Doel 2	1. Dezember 1975	1. Dezember 2015
Doel 3	1. Oktober 1982	1. Oktober 2022
Doel 4	1. Juli 1985	1. Juli 2025
Tihange 1	1. Oktober 1975	1. Oktober 2015
Tihange 2	1. Februar 1983	1. Februar 2023
Tihange 3	1. September 1985	1. September 2025

Diese Übersicht zeigt, dass die Betriebszeit des Kernreaktors Doel 1 am 15. Februar 2015 und die von Doel 2 am 1. Dezember 2015 enden sollte.

Im Laufe des Jahres 2012 wurde ein Stilllegungsprogramm für Doel 1 und 2 gestartet, das die endgültige Abschaltung der Kraftwerke vorsah. Ab Mitte Februar 2015 wurde im Kernkraftwerk (KKW) Doel 1 kein Strom mehr produziert; die Stromproduktion im KKW Doel 2 sollte noch im selben Jahr eingestellt werden.

Das Kernausstiegsgesetz sah jedoch auch vor, dass der König im Falle einer Bedrohung der Stromversorgungssicherheit per Erlass die notwendigen Maßnahmen ergreifen konnte¹.

Der belgische föderale Gesetzgeber hat daher am 28. Juni 2015 ein Gesetz zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für die industrielle Stromerzeugung (Geändertes Kernausstiegsgesetz) verabschiedet. Diese Gesetzesänderung sah vor, dass das (zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschaltete) Kernkraftwerk Doel 1 wieder Strom produzieren darf und am 15. Februar 2025 (also 10 Jahre später als ursprünglich geplant) abgeschaltet werden sollte. In dem „Geänderten Kernausstiegsgesetz“ wurden auch die

¹ Unbeschadet der Artikel 3 bis 7 des Gesetzes, in Bezug auf den Bau neuer Kernkraftwerke, außer in Fällen höherer Gewalt.

Termine genannt, zu denen die anderen Kernkraftwerke abgeschaltet werden sollten. Für Doel 2 bedeutete dies eine Verlängerung um 10 Jahre. Für Tihange 1 wurde bereits am 18. Dezember 2013 ein Gesetz verabschiedet, das die Stilllegung dieses Reaktorblocks um 10 Jahre verschiebt. Für die anderen Kraftwerke hat sich weder durch das Gesetz vom 18. Dezember 2013 noch durch das Gesetz vom 28. Juni 2015 etwas gegenüber dem Kernausstiegsgesetz vom 31. Januar 2003 geändert.

Tabelle 2: Abschaltzeitplan gemäß geändertem Kernausstiegsgesetz.

Kraftwerk	Datum der industriellen Inbetriebnahme	Datum der Abschaltung
Doel 1	15. Februar 1975	15. Februar 2025
Doel 2	1. Dezember 1975	1. Dezember 2025
Doel 3	1. Oktober 1982	1. Oktober 2022
Doel 4	1. Juli 1985	1. Juli 2025
Tihange 1	1. Oktober 1975	1. Oktober 2025
Tihange 2	1. Februar 1983	1. Februar 2023
Tihange 3	1. September 1985	1. September 2025

Wie bereits angedeutet, war der Grund für die Entscheidung für eine Laufzeitverlängerung der ältesten Kernkraftwerke die Tatsache, dass die Versorgungssicherheit im Falle einer Abschaltung im Vorfeld des ursprünglich festgelegten Abschalttermins nicht gewährleistet werden konnte. In den Jahren vor 2015 hing die Versorgungssicherheit zu einem großen Teil von der Stromlieferung der Kernkraftwerke ab, wie in Abbildung 1 dargestellt. Diese Abbildung zeigt die Verteilung der Bruttostromerzeugung in den 10 Jahren vor 2015. Der Anteil der Kernenergie an der Gesamtproduktion schwankte in diesem Zeitraum zwischen 46 % und 55 %.

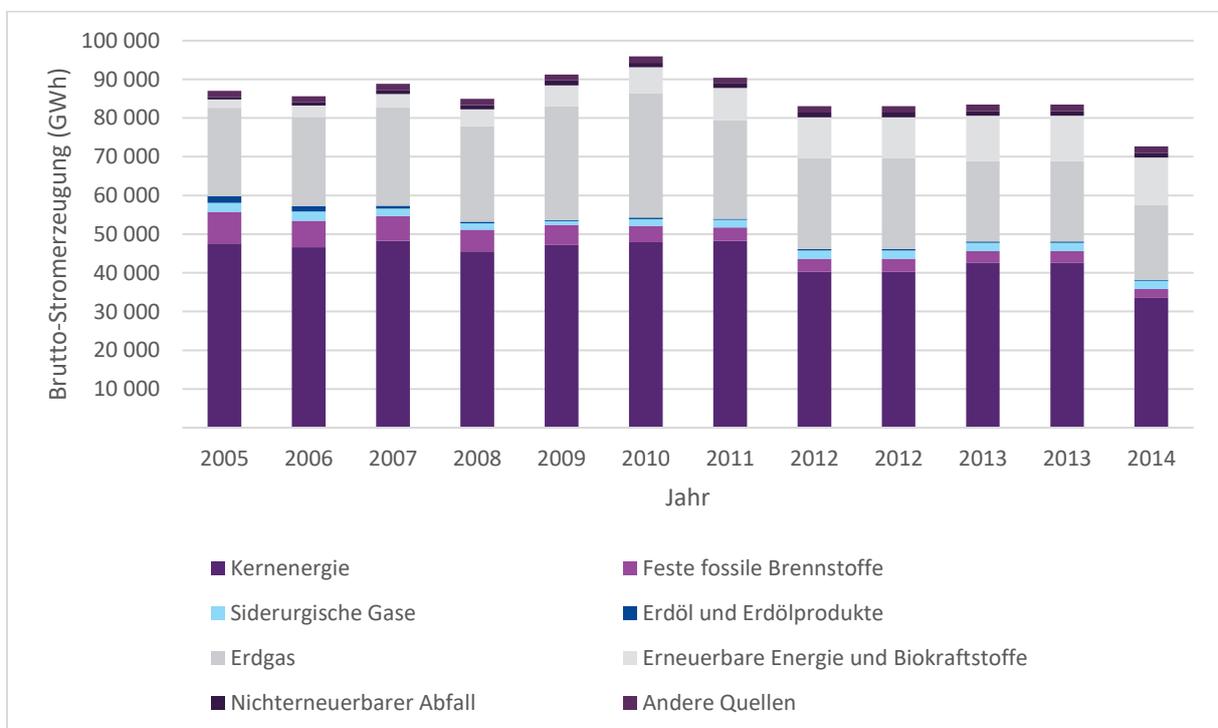


Abbildung 1: Bruttostromerzeugung (Gigawattstunden) in Belgien für den Zeitraum 2005-2014 und Anteil der verschiedenen Quellen daran (Quelle: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/energie/elektriciteitsproductie>).

Die Reaktorblöcke Doel 1 und 2 stellen zusammen etwa 15 % der nuklearen Erzeugungskapazität dar, und ihr Anteil an der nuklearen Energieerzeugung lag im Zeitraum 2015-2019 zwischen 9 % und 16 % bzw. zwischen 3,5 % und 8 % der gesamten Stromerzeugung.

Der Verlust eines solchen Anteils an der Produktion hätte natürlich nur verantwortet werden, wenn man sicher hätte sein können, dass dieses Defizit vollständig kompensiert hätte werden können. Sollte dies nicht möglich sein, wären die daraus resultierenden sozioökonomischen Kosten erheblich (siehe Kasten).

Die gesellschaftlichen Kosten von Stromausfällen in Belgien

Wie bereits erwähnt, war die Gewährleistung der kurzfristigen Versorgungssicherheit die Motivation für das Gesetz vom 28. Juni 2015. Stromausfälle sind potenziell tatsächlich mit erheblichen wirtschaftlichen und sozialen Kosten verbunden.

In einer Studie¹ des Föderalen Planbüros aus dem Jahr 2014 wurde eine quantitative Bewertung der Auswirkung von Stromausfällen in Belgien vorgenommen, basierend auf einem österreichischen Modell (Black-out-Simulator). Ein einstündiger Stromausfall auf belgischem Gebiet während eines Arbeitstages zu einer Zeit, in der alle belgischen Unternehmen aktiv sind, würde einen gesamtwirtschaftlichen Schaden von ca. 120 Millionen Euro verursachen (sowohl im Winter als auch im Sommer). Einige alternative Methoden wurden ebenfalls berechnet und ergaben eine Spanne zwischen € 61 Millionen (die „BIP-Methode“) und € 278 Millionen (die „RTE-Methode“). Der genannte wirtschaftliche Schaden schließt den Schaden für Familien ein, der allerdings „nur“ 8 Mio. EUR pro Stunde beträgt. Der Industriesektor hat mit 49 % den größten Anteil an den Gesamtkosten, der tertiäre Sektor macht etwa 40 % der Kosten aus. Das verwendete Modell erlaubte auch die räumliche Zuordnung des berechneten Schadens. Dabei zeigte sich, dass der mit Abstand größte Verlust in der Provinz Antwerpen zu verzeichnen wäre (24,74 Mio. Euro bzw. fast 21 % der Gesamtsumme), mit einigem Abstand gefolgt von der Region Brüssel-Hauptstadt (15,67 Mio. Euro bzw. 13 %).

Dabei ist wichtig zu beachten, dass diese Schätzung immer auf einer einstündigen Unterbrechung beruhte. Die Auswirkungen eines 2-stündigen Ausfalls sind nicht unbedingt doppelt so groß. Das zeigen auch die Zahlen des Simulators: Der Schaden eines 2-stündigen Ausfalls für ganz Belgien beträgt „nur“ 170 Millionen Euro (oder 42 % mehr als bei einem einstündigen Ausfall). Je länger eine Störung jedoch anhält, desto mehr nehmen ihre Auswirkungen linear mit der Zeit zu, und nach etwa 8 Stunden steigt der Schaden exponentiell an. Ein Ausfall von mehr als 8 Stunden kann als Katastrophensituation angesehen werden: Die Anzahl und vor allem die Schwere der Folgen sind dann schwer zu überblicken (und abzuschätzen).

In der Begründung zum Gesetz vom 28. Juni 2015, Gesetzentwurf zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für die industrielle Stromerzeugung und zur Änderung des Gesetzes vom 11. April 2003 über die Rückstellungen für die Stilllegung von Kernkraftwerken und die Verwaltung des in diesen Kraftwerken bestrahlten Spaltmaterials (DOC 53, 3087/001) wird tatsächlich auf die potenziell problematische Situation in Bezug auf die kurzfristige Versorgungssicherheit erwähnt und auf verschiedene Studien verwiesen, die diese Situation belegt haben². Sie verweist auch auf die große Unsicherheit bezüglich der Wiederinbetriebnahme der Kraftwerke Doel 3 und Tihange 2, auf die angekündigte Schließung konventioneller Produktionsblöcke im Jahr 2015 und auf die Tatsache, dass die Integration ausländischer Produktionskapazität in das belgische Stromnetz kurzfristig nicht möglich ist.

In derselben Begründung heißt es, dass bei der Erneuerung die Bestimmungen der Zehnjährlichen Sicherheitsüberprüfung und insbesondere die Maßnahmen des von der Electrabel AG belgischen Rechts. ausgearbeiteten Plans für den Langzeitbetrieb (LTO) für belgische Kernkraftwerke eingehalten werden müssen. Dieser LTO-Plan spezifiziert die Maßnahmen zur Erweiterung der industriellen Stromproduktion der beiden

² Dazu gehören u. a. die „Studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading tegen het jaar 2030“ (Studie über die Perspektiven der Stromversorgung bis zum Jahr 2030, Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft und Föderales Planungsbüro, 2015) und der Bericht „Welke ideale energiemix voor België tegen 2020 en 2030“ (Welcher Energiemix ist ideal für Belgien bis 2020 und 2030, GEMIX-Group, 2009). Dieser letzte Bericht empfiehlt, die Stilllegung der Kernreaktoren Doel 1, Doel 2 und Tihange 1 mit einer Zehnjährlichen Sicherheitsüberprüfung zu verschieben.

Kraftwerke, um diese zu modernisieren und die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften zu gewährleisten. Nach der Begründung sind auch die Anpassung des Aktionsplans für die Stresstests und die erforderlichen Genehmigungen der Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) zu berücksichtigen³.

Empfehlungen im Zusammenhang mit der Versorgungssicherheit aus der GEMIX-Studie von 2009.

In der Begründung des Gesetzes vom 28. Juni 2015 wird unter anderem ausdrücklich auf den Bericht „*Welke ideale energiemix voor België tegen 2020 en 2030*“ (GEMIX-Group, 2009) verwiesen. Die wichtigsten Ergebnisse und Empfehlungen dieser Studie zur Versorgungssicherheit werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Die Studie stellt fest:

„Der derzeitige Zeitplan für die Inbetriebnahme und Stilllegung [...], wie er im Gesetz von 2003 für die drei ersten (und ältesten) Kernkraftwerksblöcke im Jahr 2015 vorgesehen ist, würde zu einem Mangel sowohl an Energie als auch an Kapazität führen. Es ist nicht sicher, dass Importe dieses wachsende Defizit durch die begrenzte Kapazität der Verbundnetze und die bestehenden Produktionskapazitäten im Ausland ausgleichen können. Die Situation der Stromerzeugung in Belgien ist im Laufe der Jahre immer angespannter geworden. Selbst bei einer drastischen Vereinfachung der Verwaltungsverfahren gibt es keine Garantie, dass zu gegebener Zeit zusätzliche Investitionen getätigt werden. Mehrere Produktionsprojekte wurden nur angekündigt, ohne Garantie für die Inbetriebnahme ab 2015, ohne die erhaltene(n) Genehmigung(en) und sogar ohne eine endgültige Entscheidung zur Realisierung vonseiten ihres Konstrukteurs“⁴.

Der Bericht weist darauf hin, dass die Stilllegung der Produktionsblöcke Doel 1, Doel 2 und Tihange 1 im Jahr 2015 dazu führen müsste, dass ab 2014 nichtnukleare Ersatzblöcke im Umfang von 50 % der Nennleistung der drei genannten Reaktoren (entsprechend einer Nennleistung zwischen 700 und 800 MW) in Betrieb genommen werden, wobei eine Mindestinbetriebnahmezeit für neue Gaskraftwerke von vier Jahren zu berücksichtigen sei. Anzumerken ist, dass in einer neueren Studie (Laleman und Albrecht, 2014⁵) die Lücke in der installierten Kapazität (im Falle der Schließung von Doel 1 und 2) im Jahr 2017 zwischen 2,42 und 3,16 GW betragen würde, je nach Annahme der Höhe der Spitzennachfrage, wenn eine 5%ige Reservemarge beibehalten werden soll (und keinen strukturellen zusätzlichen Stromimport in Anspruch nehmen würde).

Die GEMIX-Group gibt u. a. auf der Grundlage der obigen Analyse folgende Empfehlung zur Abschaltung der Kernkraftwerke:

„Angesichts:

- des engen Zeitplans, der Einfluss auf die Realisierung eines Produktionsparks mit ausreichender Kapazität zur Deckung der Nachfrage hat;
- des Bestrebens, die Kontinuität des Funktionierens des Wirtschaftsgefüges in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Umweltschutzes und der Versorgungssicherheit zu gewährleisten,

empfiehlt die Gruppe:

- die Stilllegung der drei Kernreaktoren Doel 1, Doel 2 und Tihange 1 mit einer Zehnjährlichen Sicherheitsüberprüfung zu verschieben;

³ Nach der Entscheidung der belgischen Regierung im Jahr 2015, den Betrieb von Doel 1 und 2 bis 2025 zuzulassen, hat die Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) eine Sicherheitsanalyse für diese verlängerte Betriebszeit durchgeführt und dem Betreiber Electrabel AG anschließend Arbeiten auferlegt, um die Reaktoren an die neuesten Sicherheitsstandards anzupassen. Die Arbeiten erhielten die Bezeichnung LTO-Arbeiten, was für Long Term Operation (zu Deutsch: Langzeitbetrieb) steht. Electrabel AG erstellte daraufhin Aktionspläne, die darauf abzielten, diese Tätigkeiten nach einem bestimmten Zeitplan während jeder regelmäßigen Abschaltung der Reaktoren durchzuführen. Die Arbeiten an Doel 1 und 2 sind inzwischen abgeschlossen. Die FANK gab am 29. bzw. 22. Mai 2020 grünes Licht für die Wiederinbetriebnahme dieser Reaktoren. Siehe auch <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/kerncentrales-belgie/langetermijnuitbating-lto-van-de-belgische-kerncentrales>.

⁴ In einer aktualisierten Version ihres Berichts (Juli 2012) stellt die GEMIX-Kommission noch explizit Folgendes fest: *„du côté de l'offre de capacités, force est de constater un retard dans la réalisation de plusieurs projets de power plants (au gaz) susceptibles de compenser en temps opportune les productions des unités nucléaires déclassées“* [auf der Seite des Kapazitätsangebots hat sich die Fertigstellung mehrerer (gasbefuehrter) Kraftwerksprojekte verzögert, die zu gegebener Zeit die Leistung der stillgelegten Kernkraftwerke kompensieren könnten].

- die Situation innerhalb von zehn Jahren neu zu bewerten, um den Mehrwert einer Verlängerung der Betriebsdauer um weitere zehn Jahre zu ermitteln;
- die Schließung der anderen, neueren Reaktoren (Doel 3, Doel 4, Tihange 2 und Tihange 3) um 20 Jahre zu verschieben⁵. [freie Übersetzung]

Im Hinblick auf diese Empfehlung formuliert der Bericht eine Reihe von *conditios sine qua non* (unabdingbaren Voraussetzungen) für den sicheren Betrieb und die Abfallbewirtschaftung sowie für die Validierung jeder Verlängerung durch die FANK auf der Grundlage eines internationalen Benchmarkings. An anderer Stelle heißt es in dem Bericht auch, dass „die mögliche Verlängerung der Laufzeit von Kernkraftwerken in jedem Fall von einer sehr ehrgeizigen Politik begleitet werden sollte, die auf eine rationelle Energienutzung und eine Verbesserung der Energieeffizienz abzielt“. [freie Übersetzung]

Nichtigkeitsklage vor dem Verfassungsgerichtshof

Am 5. Januar 2016 haben Inter-Environnement Wallonie und Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen beim Verfassungsgericht eine Klage auf Nichtigkeitsklärung des Gesetzes vom 28. Juni 2015 eingereicht. Dieser Einspruch wurde damit begründet, dass die Verlängerung der Kernkraftwerke ohne Umweltverträglichkeitsprüfung und ohne ein Verfahren unter Beteiligung der Öffentlichkeit beschlossen wurde. Die folgenden internationalen Verträge und europäischen Richtlinien wurden zur Begründung des Antrags auf Nichtigkeitsklärung angeführt:

- Die Espoo-Konvention vom 25. Februar 1991 über die Umweltverträglichkeitsprüfung im grenzüberschreitenden Rahmen;
- Die Aarhus-Konvention vom 25. Juni 1998 über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten auf Organe;
- Die Richtlinie 2011/92/EU vom 13. Dezember 2011 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten (UVP-Richtlinie);
- Die Richtlinie 92/43/EWG vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen;
- Die Richtlinie 2009/147/EG vom 30. November über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten.

Mit Zwischenentscheid vom 22. Juni 2017 hat der Verfassungsgerichtshof dem Gerichtshof der Europäischen Union Vorabentscheidungsfragen zur Auslegung der Verträge und Richtlinien vorgelegt.

Der Gerichtshof der Europäischen Union hat mit Entscheid vom 29. Juli 2019⁶ festgelegt, dass das Gesetz und die notwendigen Arbeiten an den Kraftwerken Doel 1 und 2, um sie zu modernisieren und die Einhaltung der geltenden Sicherheitsvorschriften zu gewährleisten, einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterzogen werden müssen. Da das Gesetz vom 28. Juni 2015 zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 untrennbar mit den erforderlichen (UVS-pflichtigen) Modernisierungsarbeiten verbunden ist, entschied der Gerichtshof, dass es zusammen mit diesen Arbeiten ein „Projekt“ im Sinne der Richtlinie 2011/92/EU darstellt und daher grundsätzlich einer Umweltverträglichkeitsprüfung zu unterziehen ist.

Da sich die Kraftwerke in der Nähe der Grenze zwischen Belgien und den Niederlanden befinden, musste das Projekt außerdem dem grenzüberschreitenden Prüfungsverfahren gemäß der Richtlinie unterzogen werden, bevor das entsprechende Gesetz festgelegt wurde. Der Europäische Gerichtshof entschied auch, dass die Dringlichkeit des Projekts nicht als Grundlage für eine Befreiung von der Umweltverträglichkeitsprüfung geltend gemacht werden kann, da Belgien die Europäische Kommission nicht darüber informiert hatte, dass es von dieser Möglichkeit Gebrauch machen wollte. Eine solche Befreiung konnte angesichts der grenzüberschreitenden Auswirkungen des Projekts nicht angewandt werden. Außerdem stellte der Gerichtshof fest, dass das Projekt im Hinblick auf die

⁵ Dieser Empfehlung wurde in der Praxis nicht nachgekommen.

⁶ Entscheid in der Rechtssache C-411/17 Inter-Environnement Wallonie ASBL und Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen VZW gegen Ministerrat.

möglichen Auswirkungen auf besondere Schutzgebiete, darunter die Schelde, einer angemessenen Prüfung unterzogen werden muss.

Nach Erhalt des Urteils des Gerichtshofs der Europäischen Union hat der Verfassungsgerichtshof am 5. März 2020 das Gesetz vom 28. Juni 2015 zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 gekippt. Der Gerichtshof stellte fest, dass „dem angefochtenen Gesetz vor seiner Verabschiedung eine Umweltverträglichkeitsprüfung und eine Befragung der Öffentlichkeit über den Grundsatz der Verlängerung [...] und über die Auswirkungen dieser Verlängerung in Bezug auf Modernisierungs- und Sicherheitsarbeiten hätte vorausgehen müssen“. Das Gericht stellte außerdem fest, dass dem angefochtenen Gesetz vor dessen Annahme, im Zusammenhang mit den damit untrennbar verbundenen Modernisierungs- und Sicherheitsarbeiten eine angemessene Umweltverträglichkeitsprüfung hätte vorausgehen müssen.

„Um das reale und ernsthafte Risiko einer Unterbrechung der Stromversorgung des Landes abzuwenden“, entschied der Verfassungsgerichtshof jedoch, die Auswirkungen des Gesetzes aufrechtzuerhalten, bis ein neues Gesetz verabschiedet wird, dem die erforderliche Umweltverträglichkeitsprüfung und eine angemessene Prüfung, einschließlich der Beteiligung und grenzüberschreitenden Anhörungen der Öffentlichkeit und dies spätestens bis zum 31. Dezember 2022 einschließlich, vorausgehen.

Folglich muss der belgische Staat bis zum 31. Dezember 2022 ein neues Gesetz verabschieden, um den Betrieb der Kernkraftwerke Doel 1 und 2 zu verlängern, und vor der Verabschiedung dieses neuen Gesetzes die erforderlichen Prüfungen durchführen, einschließlich öffentlicher Beteiligung und grenzüberschreitender Konsultationen.

1.1.2 Ziel dieser Umweltverträglichkeitsprüfung

Wie oben beschrieben, muss, um den Konsequenzen aus dem Urteil des Verfassungsgerichtshofs gerecht zu werden, vor der Ausarbeitung eines neuen Gesetzes eine Umweltverträglichkeitsprüfung für die Entscheidung, die Kernkraftwerke für weitere zehn Jahre offen zu halten, sowie für die Modernisierungs- und Sicherheitsarbeiten, die erforderlich sind, um den optimalen Betrieb der Kernkraftwerke Doel 1 und 2 bei einer Betriebsverlängerung zu gewährleisten, erstellt werden. Denn schließlich sind die genannten Arbeiten untrennbar mit der Entscheidung verbunden und bilden zusammen ein einziges Projekt.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung für dieses Projekt hat einen doppelten Charakter, da sie einerseits eine strategische Entscheidung und andererseits konkrete Arbeiten betrifft; sie ist daher in zwei Teile aufgeteilt. **Die vorliegende Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) umfasst die Prüfung der Auswirkungen, die durch die strategische politische Entscheidung, die Abschaltung von Doel 1 und Doel 2 um 10 Jahre zu verschieben, verursacht werden.**

Eine separate, vom Betreiber der Kernkraftwerke in Auftrag gegebene Umweltverträglichkeitsprüfung prüft die Auswirkungen der spezifischen Arbeiten, die aufgrund des vom Gesetzgeber anzunehmenden Gesetzes zur verlängerten Stromerzeugung durchgeführt werden müssen.

Beide Umweltverträglichkeitsprüfungen wurden separat erstellt, bilden aber zusammen die Umweltverträglichkeitsprüfung des oben definierten Projekts. Um zwischen den beiden Teilen dieser übergreifenden Umweltverträglichkeitsprüfung zu unterscheiden, sprechen wir jeweils von der „Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Entscheidung“ und der „Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten“⁷.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung über die strategische Entscheidung, die Abschaltung von Doel 1 und 2 zu verschieben, beinhaltet die Identifizierung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen des Projekts. Es geht um eine Umweltverträglichkeitsprüfung auf strategischer Ebene, die gemäß Artikel 3 der UVP-Richtlinie (Richtlinie 2011/92/EU über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten

⁷ Für „die Arbeiten“ wurde im Auftrag von der Electrabel AG belgischen Rechts, der Betreiberin des Kernkraftwerks Doel, eine separate Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt.

öffentlichen und privaten Projekten, geändert durch die Richtlinie 2014/52/EU vom 16. April 2014) die folgenden Faktoren berücksichtigen muss:

- a) Bevölkerung und menschliche Gesundheit;
- b) biologische Vielfalt, mit besonderem Schwerpunkt auf die Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen gemäß Richtlinie 92/43/EWG und die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten gemäß Richtlinie 2009/147/EG;
- c) Fläche, Boden, Wasser, Luft und Klima;
- d) Sachgüter, kulturelles Erbe und Landschaft;
- e) Wechselbeziehung zwischen den unter den Buchstaben a bis d genannten Faktoren.

Anhang IV der (geänderten) Richtlinie stellt weiter klar, dass zu den in Artikel 3 aufgeführten Faktoren, die durch das Projekt erheblich beeinträchtigt werden können, „Bevölkerung, menschliche Gesundheit, biologische Vielfalt (z. B. Fauna und Flora), Flächen (z. B. Flächenverbrauch), Boden (z. B. organische Substanz, Bodenerosion, Bodenverdichtung, Bodenversiegelung), Wasser (z. B. hydromorphologische Veränderungen, Quantität und Qualität), Luft, Klima (z. B. Treibhausgasemissionen, anpassungsrelevante Auswirkungen), Sachgüter, kulturelles Erbe einschließlich architektonischer und archäologischer Aspekte und Landschaft“ gehören.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst bezüglich der nichtradiologischen Auswirkungen auf die oben genannten Faktoren. In Abschnitt 2.1.1 geben wir an, welche Auswirkungen hervorgehoben werden und warum. Bei radiologischen Auswirkungen liegt der Schwerpunkt auf den Faktoren „Bevölkerung und menschliche Gesundheit“ und „biologische Vielfalt“.

1.1.3 Initiator und Expertenteam

1.1.3.1 Initiator

Initiator der Umweltprüfung ist der belgische Föderale Öffentliche Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie, Rue du Progrès 50, 1210 Brüssel.

1.1.3.2 Team von Experten

Die UVP wurde von einem Team aus unabhängigen radiologischen und nichtradiologischen UVP-Experten erstellt. Eine Referenz auf ihre Anerkennung kann gefunden werden auf S. 3 und 4.

Radiologische UVP-Experten des SCK CEN:

- Johan Camps (Leiter der Einheit CMD): Projektkoordinator und radiologischer UVP-Experte;
- Hildegard Vandenhove (Institutsleiterin EHS): SPOC SCK CEN mit dem Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft und der Electrabel AG und radiologische UVP-Expertin;
- Christophe Bruggeman (Leiter der Expertise W&D und stellvertretender EHS-Direktor): Radiologischer UVP-Sachverständiger, verantwortlich für die Analyse nuklearer Abfälle.

Nichtradiologische UVP-Experten

- UVP-Koordination: Koen Couderé (KENTER);
- UVP-Experte für Wasser und Klima: Koen Couderé (KENTER);
- UVP-Expertin für biologische Vielfalt: Annemie Pals (Mieco-Effekt);
- UVP-Experte für Luft: Johan Versieren (Joveco);
- UVP-Experte für Mensch und Gesundheit: Geert Boogaerts.

Katelijne Verhaegen (KENTER) arbeitete an der Disziplin Wasser und den allgemeinen methodischen Teilen dieser Umweltverträglichkeitsprüfung mit.

1.1.4 Leseanleitung

Die vorliegende Umweltverträglichkeitsprüfung ist in fünf Kapitel gegliedert.

Das einleitende *Kapitel 1* (dieses Kapitel) beschreibt den Hintergrund des Projekts, das Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist. Oben wurden bereits die rechtliche und politische Vorgeschichte und das Ziel der Prüfung erörtert, und das Team, das diese Studie durchführt, vorgestellt. Im weiteren Verlauf von Kapitel 1 wird das Projekt beschrieben und eine Reihe von methodischen Aspekten diskutiert, wie z. B. die Frage, ob Alternativen untersucht werden sollen oder nicht, und die Definition der Referenzsituation sowie externe Entwicklungen, die diese Referenzsituation beeinflussen können. Außerdem wird kurz auf das angewandte Verfahren eingegangen, wobei der Schwerpunkt auf der Konsultation und Beteiligung der Öffentlichkeit und dem Einholen von Stellungnahmen bei einer Reihe von zuständigen Stellen liegt.

Die Auswirkungen des Projekts werden in zwei separaten Kapiteln beschrieben. Kapitel 2 befasst sich mit den nichtradiologischen Aspekten, Kapitel 3 mit den radiologischen Aspekten.

In *Kapitel 2* wird zunächst der Studienbereichs abgegrenzt (Scoping). In diesem Abschnitt wird angegeben, welchen Themen in dieser UVP besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird, und es wird begründet, warum bestimmte Themen nicht im Detail behandelt werden. Anschließend werden die (nichtradiologischen) Auswirkungen des Projekts auf die Themen Wasser, biologische Vielfalt, Luft, Klima und Gesundheit beschrieben und bewertet. Die Bewertung basiert immer auf einer Überprüfung der für das Thema relevanten politischen Ziele.

In *Kapitel 3* werden zunächst die grundlegenden Konzepte des Strahlenschutzes sowie des radioaktiven Abfalls und seiner Bewirtschaftung erläutert. Anschließend wird die Methodik beschrieben, mit der die Auswirkungen von routinemäßigen und unfallbedingten Ableitungen auf Mensch und Umwelt, von radioaktiven Abfällen und der Stilllegung ermittelt werden. Auch die bestehende Situation in Bezug auf die radiologischen Auswirkungen wird ausführlich diskutiert. Die Auswirkungen der aufgeschobenen Abschaltung von Doel 1 und Doel 2, die im Folgenden beschrieben werden, betreffen die menschliche Gesundheit, die biologische Vielfalt und die Produktion und Bewirtschaftung von radioaktivem Abfall. Es werden sowohl die Auswirkungen bei Normalbetrieb als auch die bei Unfällen berücksichtigt, einschließlich grenzüberschreitender Auswirkungen. Auch Minderungsmaßnahmen in Form einer Notfallplanung werden besprochen.

Kapitel 4 bietet eine Synthese der nichtradiologischen und radiologischen Auswirkungen. Besonderes Augenmerk wird auf grenzüberschreitende Auswirkungen, die Notwendigkeit von Minderungsmaßnahmen und Wissenslücken gelegt. Auf dieser Grundlage wird eine allgemeine Entscheidung formuliert.

Kapitel 5 schließlich enthält die nichttechnische Zusammenfassung dieser UVP, die einem breiten Publikum einen Einblick in die Ergebnisse dieser UVP geben soll. Für die Disziplinen der Rezeptoren Gesundheit und biologische Vielfalt werden die radiologischen und nichtradiologischen Auswirkungen gemeinsam betrachtet.

1.2 Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung und zu untersuchende Alternativen

1.2.1 Das Projekt

1.2.1.1 Einleitung

Diese Umweltverträglichkeitsprüfung bezieht sich auf die strategische Entscheidung, die Abschaltung von Doel 1 und 2 zu verschieben, unter Berücksichtigung aller geltenden europäischen Richtlinien (2011/92/EU, 92/43/EWG und 2009/147/EG). Wie bereits erwähnt, wird vom Betreiber der Kernkraftwerke ebenfalls eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt, um die Auswirkungen der Arbeiten zu bewerten, die im Rahmen der integrierten Aktionspläne für den Weiterbetrieb von Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015-2025 durchgeführt werden. Beide Prüfungen zusammen bilden die Umweltverträglichkeitsprüfung für das Projekt, wie vom Verfassungsgerichtshof in seinem Urteil vom 5. März 2020 vorgeschrieben.

Das Projekt, das Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung (und der separaten Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der zugehörigen Arbeiten) ist, besteht im „Aufschub der Abschaltung“ der Kernreaktoren/Blöcke zur Stromerzeugung Doel 1 und 2, die Teil des Geländes des Kernkraftwerks Doel (KKW Doel) sind, das von der Electrabel AG belgischen Rechts betrieben wird und sich in der Scheldemolenstraat, Haven 1800, 9130 Doel befindet. Das KKW Doel besteht insgesamt aus 4 Kernreaktoren, den notwendigen Nebengebäuden und

Anlagen zur Stromerzeugung sowie der Lagerung von abgebrannten Kernbrennstoffen. Der Standort befindet sich in der Gemeinde Beveren (Ostflandern) am linken Ufer der Schelde und in nur 3,15 km Entfernung zur niederländischen Grenze (siehe Abbildung 2). Der Betrieb des Kernkraftwerks, mit Schwerpunkt auf dem Betrieb der Blöcke Doel 1 und 2, die Teil des Projekts sind, wird in Abschnitt 1.2.1.2 näher beschrieben.



Abbildung 2: Standort des KKW Doel (Geopunkt Flandern).

Das Projekt wird als unabhängig von anderen laufenden und/oder geplanten Projekten am Standort des KKW Doel betrachtet, wie z. B. dem SF²-Projekt (dem Bau einer neuen Anlage zur Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente am Standort Doel (die „Spent Fuel Facility“ oder Anlage für abgebrannte Brennstoffe)ⁱⁱⁱ) und der Abschaltung von Doel 3⁸ (derzeit vorgesehen für den 1. Oktober 2022^{iv} und gefolgt von einer Nachbetriebsphase vor Beginn der eigentlichen Stilllegung). Darüber hinaus wird die Anlage SF² nur abgebrannte Brennelemente (einschließlich Behandlung) aus den Kernblöcken Doel 3 und 4 lagern, um die derzeitige Zwischenlagerkapazität mit einer erwarteten Laufzeit für diese Anlage von 80 Jahren zu erhöhen.

Diese Umweltverträglichkeitsprüfung auf strategischer Ebene betrifft die strategisch-politische Entscheidung über das weitere Offenhalten und den Betrieb der Blöcke Doel 1 und 2 zur Energieerzeugung im Zeitraum 2015-2025.

Die Nachbetriebsphase und die Stilllegung sind nicht Teil des hier betrachteten Projekts, obwohl bestimmte Aspekte des Betriebs der Blöcke Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015-2025, die im Zusammenhang mit der Stilllegung von Bedeutung sein können, berücksichtigt werden.

Der Zeitraum 2015-2025 für Doel 1 und 2 beinhaltet, wie bereits erwähnt, eine zusätzliche Betriebszeit über den ursprünglichen Zeitraum von 40 Jahren hinaus. Gemäß dem Königlichen Erlass vom 25. Januar 1974 und dem Königlichen Erlass vom 30. November 2011 über die Sicherheitsanforderungen an kerntechnische Anlagen muss der Betreiber in Abständen von höchstens 10 Jahren eine periodische Sicherheitsüberprüfung durchführen. Dies wird als Zehnjährliche Sicherheitsüberprüfung oder Periodische Sicherheitsüberprüfung (Periodic Safety Review) bezeichnet. Für den Zeitraum ab 2015 ist dies die vierte Überprüfung und die beiden Blöcke sind ebenfalls seit 40 Jahren in Betrieb. Im Zusammenhang mit dem Betrieb nach 40 Jahren, auch Langzeitbetrieb (Long Term Operations,

⁸ Wie im Königlichen Erlass vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie vorgesehen.

LTO) genannt, wurde ein Aktionsplan erstellt und in den vierten Zehnjährlichen Sicherheitsüberprüfung integriert⁴. Ziel dieses Aktionsplans ist es, die Sicherheit der ältesten Kernkraftwerksblöcke in Belgien (einschließlich Doel 1 und 2) kontinuierlich auf das Niveau zu erhöhen, das für die aktuellsten Kraftwerke vorgesehen ist. Darüber hinaus wurden darin auch Maßnahmen integriert, die aus einem umfassenden Resilienz-Testprogramm („Stresstests“) resultieren, das nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima am 11. März 2011 eingerichtet wurde. Die wichtigsten Maßnahmen sind:

- Der Bau einer neuen seismischen Pumpstation zur Verbesserung der Brandsicherheit, wodurch Doel 1 und 2 besser vor einem durch ein Erdbeben verursachten Brand geschützt werden;
- Die Installation eines Containment Filtered Venting System (CFVS) zur Durchführung einer Druckentlastung des Containments (Reaktorgebäude) im Falle eines Unfalls mit Kernschmelze (schwerer Unfall), um die Integrität des Gebäudes zu erhalten und die radiologischen Folgen für die Umgebung zu begrenzen.

Die Arbeiten betreffen daher hauptsächlich Sicherheitseinrichtungen, die den Betrieb des Kraftwerks unter normalen Bedingungen nicht beeinflussen (z. B. die thermische Leistung). Die im Rahmen dieser integrierten Aktionspläne durchgeführten Arbeiten sind nicht Gegenstand der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts. Die Auswirkungen dieser Arbeiten werden in einer separaten Umweltverträglichkeitsprüfung beschrieben und bewertet, die vom Betreiber der Kernkraftwerke durchgeführt wird, wie oben angegeben. Diese UVP bezieht sich ausschließlich auf die strategische politische Entscheidung für den weiteren Betrieb von Doel 1 und 2 zur Stromerzeugung im Zeitraum 2015-2025.

1.2.1.2 Funktionsweise eines Kernkraftwerkes

Das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) besteht aus vier Kernreaktoren zur Stromerzeugung und der gesamten für den Betrieb notwendigen Hilfsinfrastruktur.

Bei Doel 1 und 2 handelt es sich um Zwillingreaktoren des sogenannten Typs Druckwasserreaktor (DWR, auf Englisch: Pressurized-Water Reactor) oder Hochdruckreaktor der Bauart Westinghouse. Eine Übersicht mit Basisdaten für diese beiden Produktionseinheiten finden Sie in Tabelle 3. Der Vollständigkeit halber sind auch die Daten für Doel 3 und 4 enthalten.

Tabelle 3: Übersicht über die Basisdaten des Kernkraftwerks Doel.

Block	Typ/Ausführung	Thermische Leistung	Elektrische Leistung	Datum der ersten Kritikalität	Containment	Speicherkapazität für Kraftstoff
Doel 1	DWR (2 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	1312	445	18.07.1974	Zweifach (Stahl + Stahlbeton)	Gemeinsam für Doel 1 und 2: 664 Positionen
Doel 2	DWR (2 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	1312	445	04.08.1975	Zweifach (Stahl + Stahlbeton)	
Doel 3	DWR (3 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	3.064	1.006	14.06.1982	Zweifach mit Innenauskleidung	672 Positionen
Doel 4	DWR (3 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	3000	1036	31.03.1985	Zweifach mit Innenauskleidung	628 Positionen

Ein DWR besteht typischerweise aus 3 Kompartimenten mit 3 separaten Kreisläufen: dem Reaktorgebäude mit Primärkreislauf, dem Maschinenraum mit Sekundärkreislauf und dem Kühlkreislauf, der den Tertiärkreislauf bildet. Wir beschreiben hier den typischen Betrieb eines DWR mit spezifischen Daten für Doel 1 und 2.

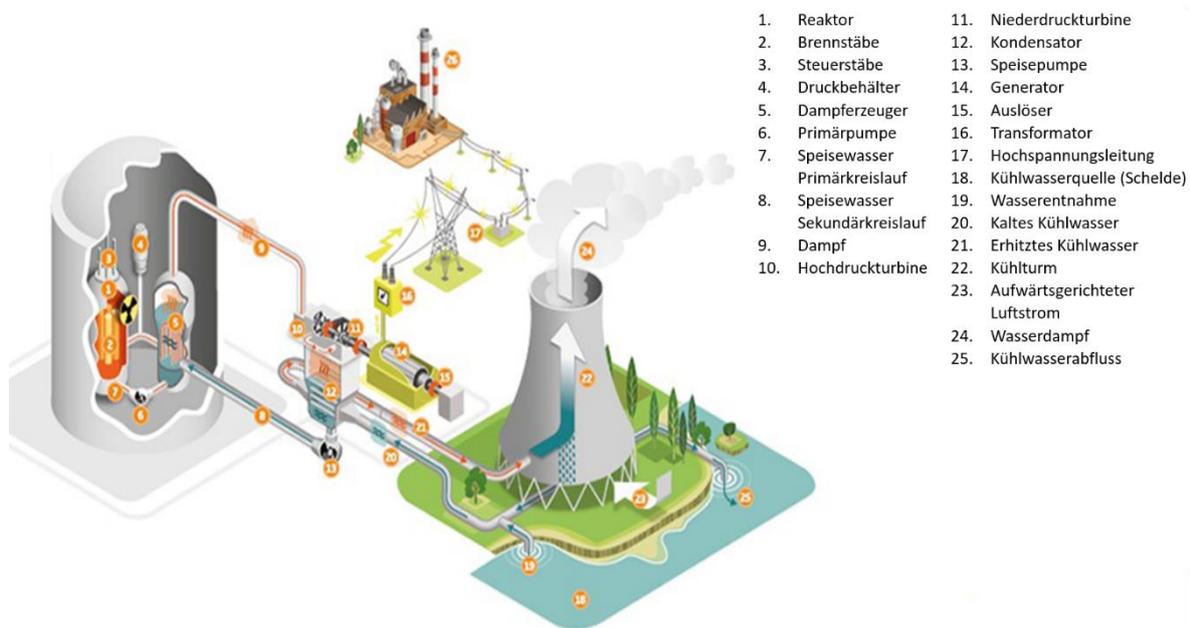


Abbildung 3: Funktionsweise des Kernkraftwerks mit (von links nach rechts) dem Reaktorgebäude, dem Maschinenraum und dem Kühlkreislauf (Quelle: Electrabel AG).

Das Reaktorgebäude (RGB) enthält den Reaktorbehälter (oder -kessel), der den Kernbrennstoff oder das spaltbare Material enthält. Das Spaltmaterial ist angereichertes Uran in Form von gesinterem Uranoxid (UO_2) mit einem Anreicherungsprozentsatz an Uran-235 (U-235) von etwa 4 % (natürliches Uran enthält etwa 0,7 % U-235). Die Brennstoffpellets sind in Rohren aus einer Zirkoniumlegierung gestapelt. Sie sorgen für den Einschluss der Spaltprodukte. Die so entstandenen Stifte werden zu Brennelementen gebündelt und durch Gitter in einem Netzwerk gehalten. Bei der Spaltung entstehen Spaltprodukte und Neutronen; letztere können neue Spaltungen auslösen, wodurch eine Kettenreaktion entsteht. Um diese Kettenreaktion zu kontrollieren und die Reaktivität des Kernreaktors zu überwachen, werden absorbierende Bündel (Steuerstäbe) und Bor⁹ (ein Element, das Neutronen leicht einfängt) verwendet. Die Kontrollstäbe sind in zwei Gruppen unterteilt:

- die Steuerstäbe (21 Stück), die für die schnelle Kontrolle der Reaktivität sorgen;
- die Stoppstäbe oder das Abschaltssystem (auch SCRAM genannt, 12 Stück), zusammen mit den Steuerstäben kann damit ein Notstopp durchgeführt werden.

Die Steuerstäbe haben eine starke absorbierende Eigenschaft auf Neutronen und fallen bei einem automatischen Stopp oder einer Notabschaltung aufgrund der Schwerkraft von selbst zwischen die Brennelemente und stoppen so die Spaltreaktionen (passive Sicherheit). Durch den radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte bleibt der Reaktorkern nach der Abschaltung jedoch heiß und muss weiter gekühlt werden.

Die bei der Spaltung freigesetzte Energie, die sich aus der Energie und dem radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte und der Energie der Neutronen zusammensetzt, wird in einem DWR wie Doel 1 und 2 unter hohem Druck (155 bar) auf Wasser übertragen. Das Wasser wird zugleich als „Moderator“ verwendet, um die bei der Spaltung entstehenden Neutronen zu verlangsamen (auch „thermalisieren“ genannt), um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass sie eine weitere Spaltung verursachen. Pro Spaltung werden im Durchschnitt zwei bis drei Neutronen freigesetzt, bei Normalbetrieb verursacht eines dieser Neutronen eine einzige weitere Spaltung. Der hohe Druck sorgt dafür, dass

⁹ Im Wasser des Primärkreislaufs in Form von Borsäure vorhanden.

das Wasser nicht anfängt zu kochen. Bei Doel 1 und 2 wird dieses Wasser vom Reaktorkern zum Dampferzeuger über zwei Kreisläufe gepumpt, die zusammen den primären Kühlkreislauf bilden (jeweils mit einer eigenen Pumpe). Ein Druckbehälter regelt den Druck. Die Reaktorgebäude bestehen im Inneren aus einer (kugelförmigen?) Stahlhülle, während das zylindrische Äußere aus Stahlbeton besteht, auf dem eine halbkreisförmige Kuppel ruht. Der Raum zwischen der Stahlkugel und dem Stahlbeton wird immer unter Druck gehalten. Die Reaktorgebäude (RGB) Doel 1 und 2 befinden sich symmetrisch auf beiden Seiten des Gebäudes der nuklearen Notdienste (GNH), das beide Reaktoren gemeinsam nutzen. Es enthält die wichtigsten Sicherheitssysteme für die beiden Blöcke (Kühl- und Sprühsysteme), das Außenlager für die frischen Brennelemente, die Becken für abgebrannte Brennelemente (deren Wasser kontinuierlich gereinigt und gekühlt wird) und die Lagertanks für die flüssigen und gasförmigen Abwässer.

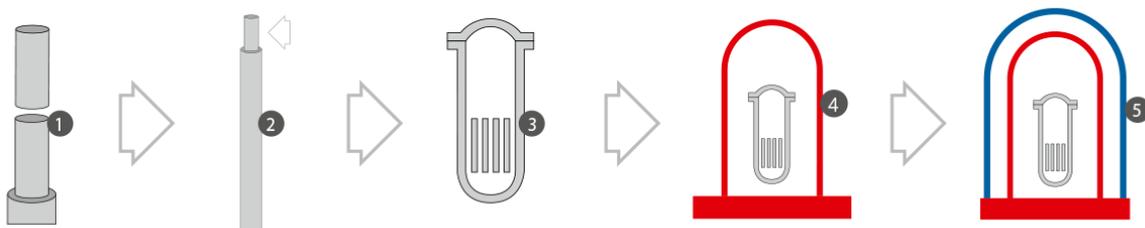


Abbildung 4: Die aufeinanderfolgenden Barrieren, die das Uran und die Spaltprodukte von der Außenwelt abschirmen, d. h. das komprimierte Uranoxid in Pellets (1), ist in den verschweißten Brennstäben gestapelt (2). Diese befinden sich im Reaktorbehälter (während des Betriebs geschlossen, zum Be- und Entladen des Kernbrennstoffs geöffnet), einem 25 cm dicken Stahlbehälter (3), der in der primären Stahlkugel des Reaktorgebäudes platziert ist (4) und sukzessive von der sekundären Wand des Reaktorgebäudes aus Stahlbeton umgeben ist (5).

Die wichtigsten Sicherheitssysteme sind im gemeinsamen Gebäude (GNH) untergebracht, und die Eigenschaften dieser Gebäude haben zu spezifischen Problemen geführt, die im belgischen Stresstest, dem Nationalen Bericht der belgischen Kernkraftwerke^{vi}, der Teil der 10-jährlichen Sicherheitsüberprüfung/Long Term Operations für Doel 1 und 2 ist, ausführlich diskutiert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Sicherheitssysteme finden Sie im Nationalen Sicherheitsbericht der FANK^{vii}.

Das erhitzte, unter hohem Druck stehende Wasser aus dem Primärkreislauf gelangt in den Dampferzeuger, wo es über tausende von Rohren seine Wärme an das Wasser auf der anderen Seite abgibt (Sekundärkreislauf), wo Dampf mit einem Druck von 60 bar erzeugt wird. Es besteht also nie ein direkter Kontakt zwischen dem Wasser im Primär- und Sekundärkreislauf. Der Dampf treibt im Maschinenraum eine Turbine an und der daran angeschlossene Generator wandelt die Drehbewegung der Turbine in elektrischen Strom um. Der Dampf im Sekundärkreislauf gelangt weiter zum Kondensator, wo er wieder in flüssiges Wasser umgewandelt wird, das zum Dampferzeuger zurückgepumpt wird. Der Kondensator wird mit Wasser aus dem Tertiärkreislauf im Kältekreislauf gekühlt, wobei erneut nie ein direkter Kontakt mit dem Wasser des Sekundärkreislaufs besteht. Der Tertiärkreislauf wird mit Scheldewasser gespeist. Der Dampf aus dem Sekundärkreislauf gibt seine Wärme an das Scheldewasser aus dem Tertiärkreislauf ab, wodurch sich dieses Scheldewasser leicht erwärmt. Deshalb geht es zunächst zu den Kühltürmen mit Saugzugsystem, bevor es entweder wieder zum Kondensator oder zurück in die Schelde fließt.

Radioaktivität und Strahlung¹⁰ sind in einem Kernreaktor vorhanden oder haben ihren Ursprung:

- im Kernbrennstoff: Dieser besteht aus Uranoxid und enthält mehrere Uranisotope, genauer gesagt U-238, U-235 und U-236, die alle spontan radioaktiv sind, aber lange Halbwertszeiten haben und hauptsächlich durch Alphazerfall zerfallen;

¹⁰ Siehe Abschnitt 3.1.

- in der Kernspaltung während des Betriebs des Reaktors: Dabei entstehen Spaltprodukte, von denen viele radioaktiv sind, mit Halbwertszeiten von Millisekunden bis zu Millionen von Jahren, und hauptsächlich unter Aussendung von Beta- und Gammastrahlung zerfallen; die bei der Spaltung freigesetzten Neutronen sind selbst eine Form von ionisierender Strahlung;
- in der Aktivierung verschiedener Materialien, Primärwasser usw., radioaktive und nichtradioaktive Kerne können ein Neutron einfangen und neue Radionuklide bilden, wir nennen dies Aktivierungsprodukte (Beispiele sind die Aktivierung des Stahls des Reaktorbehälters oder die Bildung von Tritium);
- in der sukzessive Neutronenabsorption und im Betazerfall ausgehend vom Uran im Kernbrennstoff. Dabei entstehen mehrere Isotope von Neptunium, Plutonium, Americium und Curium, die alle radioaktiv sind, darunter mehrere mit sehr langen Halbwertszeiten.

Wie bei allen industriellen Prozessen können während des normalen Betriebs und der Wartung in der Nuklearzone kleine Mengen dieser radioaktiven Elemente freigesetzt werden. Dabei entstehen neben den abgebrannten Brennelementen eine Reihe von radioaktiven Abfallströmen in gasförmiger, flüssiger und fester Form. Dazu gibt es am Standort KKW Doel ebenfalls Behandlungssysteme für feste und flüssige Abwässer, untergebracht im Gebäude für die Wasser- und Abfallbehandlung (WAB).

An den Anlagen Doel 1 und 2 wurden eine Reihe von Modifikationen vorgenommen, um den Anschluss an das WAB zu ermöglichen. Der Hauptzweck der Änderungen besteht darin, die bestehende Abfalltrennung an die in Doel 3 und 4 geltenden Grundsätze anzupassen:

- wiederverwendbare Abwässer mit einerseits nicht entgaste Abflüsse von Primärwasser und andererseits entgasten Abflüsse von Primärwasser;
- nicht wiederverwertbare Abwässer mit: den Betriebsabwässern (Bodenabläufe, Dusch- und Waschwasser), den Chemieabwässern und den Regenerationsabwässern aus der kontinuierlichen Reinigung der Kondensate.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Komponenten gibt es außerhalb des nuklearen Teils des Kraftwerks eine Reihe von Hilfsgebäuden, die zum Teil sicherheitsrelevant sind:

- Gebäude für Diesel-Generatoren (DGG, 5 Diesel-Generatoren);
- Gebäude für Elektrische Notfalldienste (GEH), in dem sich der Kontrollraum befindet; es gibt nur einen Kontrollraum für die beiden Blöcke Doel 1 und Doel 2;
- Gebäude für Mechanische Notfalldienste (GMH);
- Im Wasser-Dampf-Gebäude (BAR) befinden sich die Absperrventile der Dampferzeuger-Speisewasseranlagen, der Dampfleitungen, die Sicherheitsventile, die Ventile zur Abgabe von Dampf in die Atmosphäre und der Speisewassersysteme;
- das Gebäude des Notfallsystems (GNS, 2. Schutzebene). Dieses Gebäude wurde während der ersten Sicherheitsüberprüfung hinzugefügt. Das Gebäude beherbergt ein Notspeisewassersystem, ein Notinjektionssystem für die primären Pumpenabdichtungen, einen Notfallkontrollraum und eine Reihe von Hilfssystemen;
- die Kühltürme mit Saugzug (HUK) zur Kühlung des Komponentenkühlsystems.

Andere Gebäude sind nicht speziell sicherheitsrelevant:

- Der Maschinenraum (MAZ, wie oben erwähnt);
- Die Pumpstationen für die Versorgung mit Scheldewasser (WVA), der zugehörige Einlauftunnel und der Abflusskanal für das unbehandelte Wasser;
- Keller für die Neutralisationstanks und zugehörigen Pumpen (NBK).

Der Betrieb des Kernkraftwerks als Ganzes und von Doel 1 und Doel 2 speziell zur Stromerzeugung erfordert, wie jeder industrielle Prozess, Rohstoffe und erzeugt auch eine Reihe von Abfallströmen. Die wichtigsten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Wichtigste Rohstoffe und Abfallströme.

Wichtigste Rohstoffe	Abfallströme
Angereichertes Uran (Kernbrennstoff)	Radioaktive Abfallströme: atmosphärische und flüssige Ableitungen, radioaktiver Abfall einschließlich abgebrannter Kernbrennstoffe
Heizöl	Nichtradioaktiver gefährlicher Abfall (Recycling)
Öle	Nichtradioaktiver ungefährlicher Abfall
Oberflächenwasser zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser	Nichtradioaktive Luftemissionen
Scheldewasser (Kühlwasser)	Sanitär- und Industrieabwässer
Stadtwasser	Zurückgeführtes Kühlwasser
Bodennutzung	

1.2.2 Alternativen

Eine Alternative für ein Projekt kann definiert werden als „eine andere Art zur Erreichung der Plan- oder Projektziele“. Es stellt sich also zunächst die Frage, was das Ziel des vorliegenden Projekts (Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2) ist, und dann, ob es alternative Möglichkeiten gibt (oder gab), um dieses Ziel zu erreichen.

Wie bereits erwähnt, ist das politische Ziel, das mit dem Aufschub der Abschaltung verfolgt wird, die *Gewährleistung der Versorgungssicherheit* im Bereich Strom. Durch die längere Offenhaltung der Reaktoren Doel 1 und 2 (bis 2025 statt 2015) und der damit verbundene Aufschub der zuvor beschlossenen Abschaltung wird dieses Ziel tatsächlich erreicht (für den Zeitraum bis 2025).

Die Frage, die sich im Anschluss daran stellt, ist, ob es zum Zeitpunkt der Verabschiedung des Gesetzes vom 28. Juni 2015 (oder genauer gesagt zum Zeitpunkt der Regierungsentscheidung vom 18. Dezember 2014) alternative Möglichkeiten gab, das Ziel (Gewährleistung der Versorgungssicherheit für den Zeitraum 2015 – 2025) zu erreichen. Es reicht nicht aus, theoretische Ersatzalternativen in Form alternativer Energiemixe zu entwerfen. Auch diese Alternativen müssen den Test der Angemessenheit bestehen. Das bedeutet u. a., dass sie realistisch und erfolgversprechend sein müssen, d. h., dass die kurzfristige Realisierung dieser Alternativen eine plausible Option war.

Die Antwort auf diese Frage lautet, dass es 2015 keine validen, operationalisierbaren Alternativen gab, die die Versorgungssicherheit nachhaltig gewährleisten konnten. Die Kapazität für erneuerbare Energien war noch nicht ausreichend entwickelt und konnte nicht kurzfristig ausgebaut werden. Gleiches gilt für (neue) Gaskraftwerke, die als mögliche Übergangslösung zwischen der nuklearen und der erneuerbaren Phase genutzt werden könnten; auch diese mussten 2015 noch gebaut werden.

In Bezug auf den Import von Strom aus dem Ausland heißt es in der Begründung des Gesetzes vom 28. Juni 2015, dass „die Integration der ausländischen Kapazitäten ins belgische Netz kurzfristig nicht möglich ist“. Die GEMIX-Studie (2009) argumentierte ihrerseits, dass eine übermäßige strukturelle Abhängigkeit von Stromimporten eine Form der Anfälligkeit in das System einführe. Die Studie stellte fest, dass eine strukturelle Abhängigkeit von Importen von mehr als 10 % das Stromsystem bei einem Ausfall anfällig mache. Darüber hinaus müsse ein erwarteter Rückgang der französischen Stromexporte und eine steigende Nachfrage nach strukturellen Importen aus Deutschland berücksichtigt werden¹¹. Schließlich wurde in der GEMIX-Studie auch festgestellt, dass der chronische

¹¹Dieser Aspekt wird in einer aktuellen Studie von Elia bestätigt (*Adequacy and flexibility study for Belgium 2020 – 2030. ELIA, 2019*). In dieser Studie heißt es u. a.: „In der kommenden Dekade werden in Europa rund 100 GW an Kohle- und Kernkraftwerken stillgelegt, der Großteil davon in Westeuropa [...] Insbesondere die beschleunigten Kohleabschaltungen in unseren Nachbarländern (Niederlande, Großbritannien, Italien, Frankreich, aber vor allem Deutschland) wirken sich negativ auf unsere Importmöglichkeiten in den Wintermonaten aus.“ [freie Übersetzung]

Mangel an Produktionskapazitäten in Belgien (vor der Wirtschaftskrise) bereits an die Grenzen der Importkapazitäten stoße und diese bis 2020 voraussichtlich nicht steigen würden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Stromimporte keine strukturelle Lösung für den Wegfall von Kernkraftkapazitäten im Jahr 2015 darstellten.

Sie kommt daher zu dem Schluss, dass es keine gültigen Alternativen zu dem spezifischen politischen Ziel gab, auf das der Aufschub der Abschaltung abzielte.

Damit soll nicht gesagt werden, dass es keine alternativen Mischungen von Produktionsmitteln gibt – jeweils mit ihren eigenen Vor- und Nachteilen in Bezug in Sachen Umweltauswirkungen¹². Es ist jedoch nicht der Zweck der vorliegenden Analyse, solche Szenarien zu vergleichen, die aus klar unterscheidbaren politischen Präferenzen konstruiert werden könnten.

In dieser Analyse beschränken wir uns darauf, die Umweltauswirkungen einer längeren Offenhaltung der Kernreaktoren Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2025 darzustellen. Dabei stellen wir also keinen Vergleich mit den Auswirkungen alternativer (hypothetischer) Lösungen an¹³. Wir vergleichen sie jedoch sehr wohl mit der Situation, wenn das Projekt nicht durchgeführt und die Abschaltung nicht verschoben worden wäre (siehe Abschnitt 1.2.3).

Wie bereits erwähnt, war die mangelnde Sicherheit bezüglich der belgischen Stromversorgung der Hauptgrund für die Entscheidung, die Abschaltung der Reaktorblöcke Doel 1 und 2 um 10 Jahre zu verschieben. Natürlich hat sich der Umfang, in dem die Stromversorgung gewährleistet werden kann, seither weiterentwickelt hat und wird dies auch in Zukunft tun. Sicher ist, dass durch den vollständigen Kernausstieg, der 2025 abgeschlossen sein wird, etwa 5,9 GW Erzeugungskapazität wegfallen werden. Die Art und Weise, wie die Versorgungssicherheit im Zeitraum 2020-2030 gewährleistet werden kann, wird in Abschnitt 1.2.3 diskutiert. Diese Informationen werden zur Verfügung gestellt, um den weiteren Kontext des Themas zu skizzieren, sind aber ansonsten nicht Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung.

1.2.3 Entwicklung der Versorgungssicherheit im Zeitraum 2020-2030

Der Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) enthält eine Prognose, wie die notwendigen Kapazitäten für die Stromerzeugung im Zeitraum bis 2030 ausgefüllt werden und wie die damit verbundene Stromproduktion aussehen wird. Abbildung 5 fasst die angenommene Entwicklung zwischen 2020 und 2030 in Bezug auf die Stromproduktion (in GWh) zusammen.

¹²Die Machbarkeit mehrerer solcher Alternativen wurde u. a. in der „Studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading tegen 2030“ (Studie zu den Perspektiven der Stromversorgung bis 2030) des FÖD Wirtschaft (2015) und in der GEMIX-Studie (2009) untersucht. Für erstere Studie wurde ebenfalls eine Plan-UVP erstellt (Arcadis, 2015).

¹³ Eine Ausnahme sind dabei die sogenannten „vermiedenen Emissionen“, siehe unten.

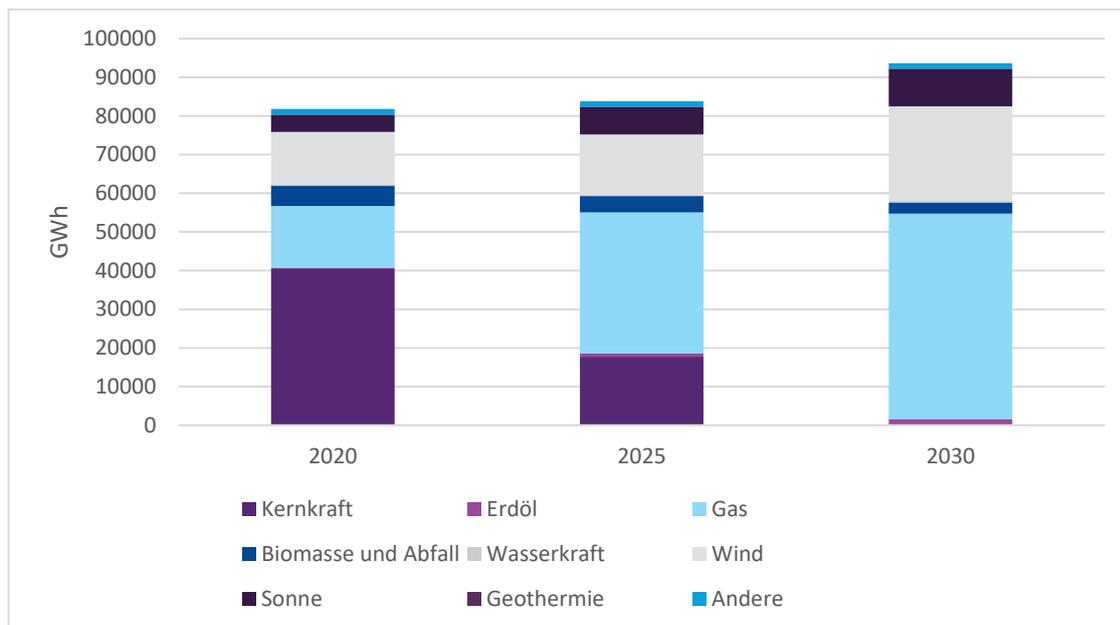


Abbildung 5: Entwicklung der Stromerzeugung aus den verschiedenen Quellen im Zeitraum 2020-2030 gemäß dem Nationalen Energie- und Klimaplan.

Eine erste Beobachtung zu dieser Zahl ist, dass die Produktion im Jahr 2030 voraussichtlich deutlich höher sein wird als im Jahr 2025. Dies ist in erster Linie auf die fortschreitende Elektrifizierung in mehreren Sektoren zurückzuführen, wie u. a. dem Verkehrssektor (Elektroautos) und dem Heizungssektor (Wärmepumpen). Darüber hinaus kann es aufgrund des Wirtschaftswachstums zu einem Anstieg der Stromnachfrage kommen, der jedoch durch eine erhöhte Energieeffizienz gedeckt werden soll.

Eine zweite Beobachtung ist, dass laut dieser Prognose die Stromproduktion im Jahr 2030 aus zwei Hauptsäulen bestehen wird: Gaskraftwerke auf der einen Seite (laut NEKP-Angaben mit einem Produktionsanteil von ca. 57 %) und auf der anderen Seite erneuerbare Energien in Form von (hauptsächlich) Solar- und Windenergie (laut NEKP zusammen mit einem Gesamtproduktionsanteil von ca. 35 %). Andere Studien gehen von leicht abweichenden Anteilen aus, aber letztlich wird der Markt (in Kombination mit eventuellen staatlichen Anreizen) den genauen Anteil der verschiedenen Quellen an der Energieversorgung bestimmen.

Natürlich sind Investitionen in Produktionskapazitäten (Gaskraftwerke und erneuerbare Energien) nicht der einzige Weg, um die Stromnachfrage zu decken: Neben der Steigerung der Energieeffizienz können u. a. auch Stromimporte eine wichtige Rolle spielen. Im Jahr 2017 ging Elia¹⁴ zum Beispiel davon aus, dass (Netto-)Stromimporte einen Beitrag von 21 TWh zur Nachfrage leisten könnten. Speicher- und Demand-Side-Management (Laststeuerung) können ihrerseits helfen, Nachfragespitzen abzufangen oder auszugleichen.

Wichtiger als der genaue Anteil von Gas, Sonne oder Wind ist die Art und Weise, wie der Übergang nach 2025 realisiert werden soll. Elia^{viii} hat kürzlich berechnet, dass bis 2025 nach der Abschaltung von Kernkraftwerken zusätzliche 3,9 GW an flexibler Erzeugungskapazität benötigt werden, um die Standards in Sachen Versorgungssicherheit und Flexibilität zu erfüllen. Diese Schätzung stellt einen Anstieg von etwa 8 % gegenüber der Schätzung von Elia aus dem Jahr 2017 dar. Der Hauptgrund für diese Anpassung ist der Kohleausstieg, den mehrere europäische Länder beschleunigt umsetzen wollen. Dies reduziert die Möglichkeiten für Belgien, in Zeiten der Knappheit Strom aus Nachbarländern zu importieren. Dann wird das verfügbare Angebot und nicht der Durchschnitt

¹⁴ Electricity scenarios for Belgium towards 2050. Elia's quantified study on the energy transition in 2030 and 2040. Elia, November 2017.

zum begrenzenden Faktor. Die Zahl von 3,9 GW berücksichtigt bereits eine verbesserte Energieeffizienz, Demand-Side-Management, Energiespeicherung, den bestehenden Produktionspark und einen Anstieg der erneuerbaren Energien. Es wurde auch eine Situation berücksichtigt, in der unvorhergesehene Umstände in den Nachbarländern zu einer Nettoverringerung der Strommenge führen würden, die importiert werden kann.

Elia stellt fest, dass die Marktbedingungen (einschließlich niedriger Energiepreise) an sich nicht die notwendigen Anreize für Unternehmen bieten, in die erforderlichen Produktionskapazitäten zu investieren. Um diese Investitionen zu ermöglichen, sind also neben den bestehenden Marktmechanismen zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Im Moment (und bis zum Winter 2021-2022) ist in Belgien noch das System der „strategischen Reserve“ in Kraft. Das bedeutet, dass die Produzenten dafür bezahlt werden, bei drohenden (temporären) Engpässen zusätzliche Produktion auf Abruf bereitzustellen. Jedes Jahr ermittelt Elia anhand von Prognosen und Modellberechnungen, ob im folgenden Winter ein Einsatz der strategischen Reserve erforderlich sein könnte und wie groß die zusätzliche Kapazität sein muss. Das System der strategischen Reserve eignet sich jedoch nicht als strukturelle Lösung für einen systemischen Kapazitätsengpass.

Als Alternative wird seit einigen Jahren ein „Kapazitätsmechanismus“ (Capacity Remuneration Mechanism, kurz: CRM) befürwortet. Seit kurzem hat dieses System auch eine gesetzliche Grundlage erhalten. Ziel ist es, die Produktionskapazitäten noch in diesem Jahr zu versteigern (insgesamt schätzungsweise 3,9 GW; siehe oben), woraufhin die entsprechenden Produktionseinheiten gebaut werden können, um spätestens 2025 betriebsbereit zu sein. CRM hat keine spezifische Präferenz für eine bestimmte Technologie, solange diese flexibel eingesetzt werden kann. In der Praxis wird es sich dabei hauptsächlich um Gas- und Dampfturbinenprozesse (GuD) in geschlossenen Kreisläufen der neuesten Generation handeln, die einen hohen Wirkungsgrad haben und daher relativ kostengünstig betrieben werden können. Aber auch z. B. Biomasseanlagen oder die Kraft-Wärme-Kopplung sind für den Kapazitätsmechanismus geeignet.

Es wird erwartet, dass der Zeitraum, in dem GuD eine wichtige Rolle bei der Ersetzung von Kernkraftkapazitäten spielen (und daher auf hohem Niveau laufen), mindestens bis 2040 läuft. In der anschließenden Back-up-Phase werden die Betriebsstunden allmählich abnehmen, wenn mehr erneuerbare Energie zur Verfügung steht. Die Gaskraftwerke kommen dann nur zum Einsatz, wenn die erneuerbaren Quellen nicht genug Energie produzieren. In jedem Fall sollte die Energieerzeugung bis 2050 vollständig kohlenstoffneutral sein.

Für die Zeit nach 2025 scheint die Versorgung also gesichert, auch dank des Kapazitätsmechanismus. Elia weist auch darauf hin, dass selbst wenn beschlossen würde, bestimmte Kernreaktorblöcke über das Jahr 2025 hinaus offen zu halten, immer noch die Notwendigkeit bestünde, zusätzliche (fossile) Kapazitäten und damit ein Kapazitätsvergütungssystem einzusetzen. Gleichzeitig weist das Unternehmen darauf hin, dass es neben dem Einsatz von CRM ebenso wichtig ist, sich weiterhin auf die Energieeffizienz zu konzentrieren und die Entwicklung von erneuerbaren Energiequellen zu beschleunigen.

Es gibt jedoch keine strukturelle Lösung für den Zeitraum zwischen der Abschaltung des ersten Kernkraftwerks (Doel 3) im Jahr 2022 und dem Beginn des Kapazitätsmechanismus im Jahr 2025. Es ist nicht sicher, ob es in diesem Zeitraum tatsächlich zu Engpässen kommen wird. Vieles hängt auch von der Verfügbarkeit der anderen Produktionseinheiten ab.¹⁵ Für den Zeitraum 2022-2025 (und unter Berücksichtigung unerwarteter Ereignisse in den Nachbarländern, die Importe bremsen könnten) geht Elia von einer Kapazitätslücke von mehr als 1 GW aus, für die keine strukturelle Lösung existiert. Elia glaubt, dass eine Ausweitung des strategischen Reservesystems oder eine schnellere Aktivierung des Kapazitätsmechanismus dabei eine Lösung bieten könnte.

1.2.4 Referenzzustand und Referenzszenario

Bei einer Umweltprüfung ist eine klare Definition der Referenzsituation wichtig, um die Auswirkungen des Plans oder Projekts zu veranschaulichen. Der Referenzzustand ist per Definition der Zustand der Umwelt, der sich ergeben

¹⁵ Die Berechnung von Elia berücksichtigt die geplanten Wartungsabschaltungen der Kernkraftwerke und die (geschätzte) ungeplante Nichtverfügbarkeit sowohl der Kernkraftwerke als auch der GuD.

würde, wenn ein Plan oder Projekt nicht durchgeführt würde; er ist die Grundlage für den Vergleich der Auswirkungen des Plans oder Projekts. Die Referenzsituation ist im diesem Fall also die Situation, die sich ergeben würde, wenn die Abschaltung nicht aufgeschoben wird, also wenn Doel 1 und 2 gemäß Zeitplan des Kernausstiegsgesetzes im Jahr 2015 abgeschaltet worden wären. Die Situation, die sich ergeben würde, wenn der Plan oder das Projekt umgesetzt würde (Aufschub der Abschaltung), wird mit der Referenzsituation (Abschaltung) verglichen. Die Differenz zwischen den beiden gibt das Ausmaß der Auswirkung des Plans oder Projekts an (in diesem Fall die Entscheidung für den Aufschub der Abschaltung) (Abbildung 6).

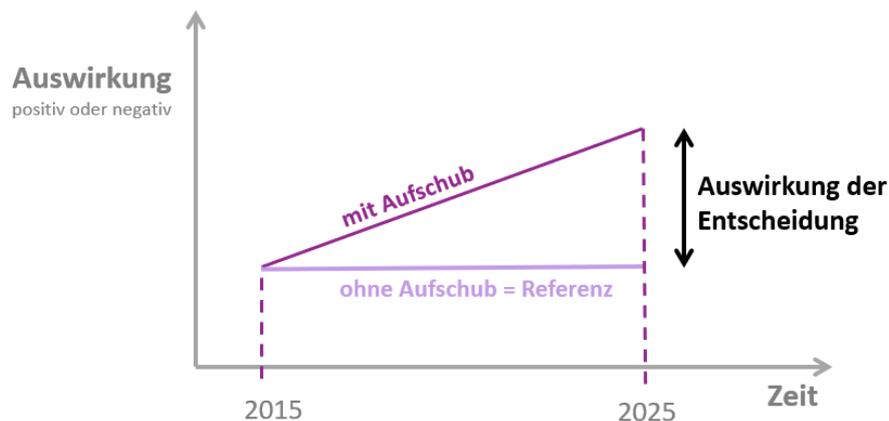


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Referenzzustandes.

Der Referenzzustand ist in diesem Fall im Prinzip der Zustand der Umwelt im Jahr 2015.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sich diese Referenzsituation (unter dem Einfluss von Entwicklungen, die nicht mit dem Betrieb von Doel 1 oder 2 zusammenhängen) zwischen 2015 und 2025 nicht grundlegend ändert, zumindest nicht in einer Weise, die die Bewertung der Umweltauswirkungen verändert. Sollte dem jedoch doch so sein, muss die (veränderte) Referenzsituation im Jahr 2025 berücksichtigt werden. Dies wird in Abschnitt 1.2.5 näher erläutert.

Neben dem Referenzzustand verwenden wir in dieser UVP auch die Begriffe „Referenzzeitraum“ und „Referenzszenario“. Diese Begriffe ergeben sich aus der Besonderheit des Projekts, das darin besteht, dass die Auswirkungen auf einen bestimmten Zeitraum begrenzt sind, mit feststehendem Beginn und Ende. Dieser zeitlich begrenzte Zeitraum wird als *Referenzzeitraum* bezeichnet. Bei Auswirkungen, die eine klare zeitliche Dimension haben (z. B. Menge der emittierten Schadstoffe pro Jahr, Menge des erzeugten Abfalls pro Jahr etc.), wird bei der Umweltprüfung auch die kumulative Auswirkung über den Bezugszeitraum betrachtet, indem die Mengen pro Jahr zu einer Gesamtsumme für den Zeitraum addiert werden oder eine vergleichbare Schätzung der kumulativen Auswirkungen über den Zeitraum 2015-2025 vorgenommen wird. Schließlich sprechen wir in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung auch über das *Referenzszenario*. Dies beschreibt die projektbezogenen Entwicklungen im Referenzzeitraum, wenn das Projekt nicht umgesetzt wird, d. h., wenn die Abschaltung von Doel 1 und 2 im Jahr 2015 stattgefunden hätte. Konkret bedeutet dies:

- Keine Stromproduktion mehr in Doel 1 und 2 nach dem 15. Februar bzw. 1. Dezember 2015;
- Die anderen Reaktoren am Standort Doel werden nach dem im Kernausstiegsgesetz vorgesehenen Zeitplan stillgelegt (vgl. § 1.1.1).

Dieses Szenario dient als Vergleichsbasis für die Zwecke dieser Umweltverträglichkeitsprüfung (Abbildung 7).

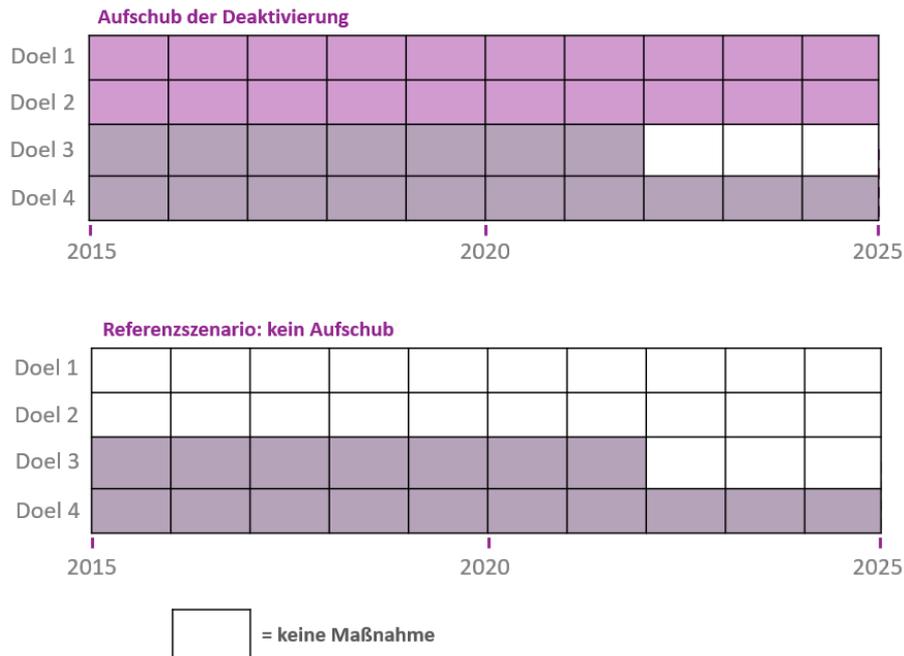


Abbildung 7: Betrieb der vier Kraftwerke in Doel mit und ohne Aufschub der Abschaltung.

1.2.5 Potenziell relevante autonome und gesteuerte Entwicklungen

Wie bereits erwähnt, ist der Ausgangspunkt für diese UVP, dass die Referenzsituation (die Situation, die sich ergeben würde, wenn die Abschaltung 2015 nicht verschoben worden wäre) selbst im Referenzzeitraum keine Änderungen erfährt, die für die Umweltverträglichkeitsprüfung von Bedeutung sind.

Um zu prüfen, ob dies der Fall ist, wird im Folgenden ein Überblick über eine Reihe von autonomen und gesteuerten Entwicklungen (im Untersuchungsgebiet oder in dessen Nähe) gegeben, die relevant sein können, und ihre Relevanz für die Umweltverträglichkeitsprüfung der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 wird kurz bewertet.

1. Komplexes Projekt „Extra Containerkapazität Antwerpen“ (KP ECA): Dieses Projekt umfasst den Bau eines neuen Gezeitendocks im Hafen von Antwerpen, östlich des Dorfes Doel, das an das bestehende Deurganck-Dock angeschlossen wird. Hier werden große Containerschiffe (bis zu 400 m Länge) andocken. An den Containerkais werden Container transportiert, be- und entladen und/oder zwischengelagert. Angrenzend an den Containerkai entsteht zudem ein neues Logistikareal, auf dem z. B. Aktivitäten im Bereich der *Mehrwertlogistik* stattfinden können.

Im Moment befindet sich dieses Projekt noch in der Entwicklungsphase (= Studienphase). Diese Phase läuft normalerweise bis Ende 2021 und wird mit einer Projektentscheidung abgeschlossen. Nach der Projektentscheidung wird mit dem Bau des Docks begonnen. Der Bau des Docks wird mehr als drei Jahre dauern. Die Betriebsphase des Projekts wird daher nicht mit dem Zeitraum zusammenfallen, in dem Doel 1 und Doel 2 noch aktiv sind oder nicht, sondern die letzten drei Jahre dieses Zeitraums werden mit der Bauphase des Projekts zusammenfallen.

Obwohl es sich um ein Infrastrukturprojekt von (sehr) großer Bedeutung handelt, wird nicht davon ausgegangen, dass es das Projekt, das Gegenstand dieser UVP ist, beeinträchtigt. Soweit durch die Bauphase von KP ECA Umweltauswirkungen (Lärm, Emissionen, Verkehrserzeugung ...) entstehen, sind diese Auswirkungen Teil der Referenzsituation der Umweltverträglichkeitsprüfung für Doel 1 und 2. Die Beschreibung der Auswirkungen der Verschiebung der Abschaltung sollte daher, soweit relevant, während der letzten drei Jahre der Projektlaufzeit eine veränderte Referenzsituation berücksichtigen.

2. Für das Dorf Doel, das nicht für ECA verschwinden muss, und die Pufferzone entlang des neuen Docks ist ein separates Projekt in Arbeit. Am 17. Mai 2019 wurde der Auftrag erteilt, eine nachhaltige Zukunftsperspektive für Doel sowie für die Mobilitätsproblematik im gesamten Waasland im Rahmen der Vorzugsentscheidung über ECA zu erarbeiten. Diese Forschung ist nicht Teil des komplexen Projekts ECA, aber die beiden sind eng aufeinander abgestimmt. Da die Vorzugsentscheidung für ECA derzeit im Staatsrat angefochten wird, wurde die Untersuchung über die Zukunft von Doel vorübergehend gestoppt. Derzeit ist Doel Wohngebiet (laut Flächennutzungsplan) und es ist faktisch auch eine Nutzung als Wohnraum vorhanden.
3. Auf der anderen Seite der Schelde, zwischen Scheldelaan und Kanaaldok B2, plant INEOS das „Project ONE“, eine Propandehydrierungsanlage (PDH), in der Propangas in Propylen umgewandelt wird, und einen Ethancracker, in dem Ethangas in Ethylen umgewandelt wird. Im Oktober 2019 wurden die Genehmigungen für die vorbereitenden Arbeiten (einschließlich einer Abholzung von 49 ha) erteilt. In der nächsten Phase werden die Genehmigungen für die Anlagen selbst beantragt. Aufgrund seiner Größe und Komplexität wird die Realisierung des Projekts in verschiedenen Phasen über einen Zeitraum von vier bis fünf Jahren erfolgen. Folglich gibt es keine wirkliche Überschneidung zwischen dem Betrieb dieses Projekts und dem vorliegenden Projekt, Doel 1 und 2 für weitere 10 Jahre offen zu halten.
4. Naturentwicklung: Im Rahmen der Entwicklung des Hafens von Antwerpen und des Sigma-Plans werden Naturentwicklungsprojekte in unmittelbarer Nähe des KKW Doel geplant und umgesetzt. Diese Projekte erhöhen die Naturwerte und damit die potenzielle Anfälligkeit der Umgebung für bestimmte Auswirkungen, die mit der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 verbunden sind (siehe weiter Abschnitt 0
5. Umsetzung der verschiedenen Schritte im Kernausstiegsgesetz: Die vorliegende UVP untersucht die Folgen einer längeren Offenhaltung der Reaktoren Doel 1 und 2. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die anderen Schritte, die im Kernausstiegsgesetz vorgesehen sind. Für den Referenzzeitraum bedeutet dies, dass die Stromproduktion in Doel 3 am 1. Oktober 2022 eingestellt wird. Soweit dies einen signifikanten Einfluss auf die Auswirkungen des Betriebs von Doel 1 und 2 hätte (weil sich die Referenzsituation ändert, z. B. durch die Reduzierung der Ableitungen), wird dies in dieser UVP berücksichtigt. Sofern in der Diskussion der verschiedenen Disziplinen nicht anders angegeben, gehen wir jedoch davon aus, dass sich innerhalb der verbleibenden drei Betriebsjahre von Doel 1 und 2 die nichtradiologische Hintergrundqualität der Umwelt durch die Abschaltung von Doel 3 nicht signifikant ändern wird.

Die oben genannten Entwicklungen werden in der Besprechung und Bewertung der Auswirkungen in der UVP berücksichtigt, insbesondere das Ausmaß, in dem sie das Ausmaß der Auswirkungen erhöhen können, z. B. weil die Anfälligkeit der Umgebung zugenommen hat oder weil die besprochenen Projekte eigene Auswirkungen verursachen, die zu den in dieser UVP beschriebenen Auswirkungen hinzukommen.

1.3 Verfahren

Wie oben erwähnt, wird diese Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen der europäischen UVP-Richtlinie, der FFH-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie durchgeführt. Diese Richtlinien enthalten jedoch wenige oder keine Verfahrensvorschriften, wie der Prozess der Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die wichtigsten Bestimmungen mit verfahrensrechtlicher Tragweite in der UVP-Richtlinie enthalten sind:

1. Konsultation der Behörden, die „in ihrem umweltbezogenen Aufgabenbereich von dem Projekt berührt sein könnten“ (Artikel 6.1);
2. Frühzeitige Information der Öffentlichkeit im umweltbezogenen Entscheidungsverfahren über das Verfahren, die Möglichkeiten der Öffentlichkeitsbeteiligung und den Gegenstand des Genehmigungsantrags (Artikel 6.2);
3. Zugänglichmachung der Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung und der Stellungnahmen für die Öffentlichkeit (Artikel 6.3);
4. Konsultation der zuständigen Behörden in anderen Mitgliedstaaten (Artikel 7);

5. Information der Öffentlichkeit u. a. über den Inhalt der Entscheidung über die Genehmigung und die Erwägungen, auf denen die Entscheidung beruht (Artikel 9);
6. Überprüfungsverfahren (Artikel 11)

Diese Bestimmungen werden selbstverständlich befolgt. Es ist auch zu beachten, dass für die Umweltverträglichkeitsprüfung für das vorliegende Projekt, die detaillierten Verfahren, die durch föderale oder regionale Vorschriften vorgeschrieben sind (in Bezug auf z. B. Fristen), nicht anwendbar sind.

Die erforderlichen Notifizierungen gemäß der Espoo-Konvention, der Aarhus-Konvention und der UVP-Richtlinie (grenzüberschreitend und innerhalb Belgiens) werden durch die belgische Regierung, den Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft und der Minister für Energie durchgeführt.

Am 13. August 2020 informierte der Föderale Öffentliche Dienst Wirtschaft die Behörden der Länder, die sich in einem Radius von 1.000 km um Doel 1 und 2 befinden, im Rahmen des neuen Gesetzes über den Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 über das geplante Projekt. Die Notifizierung und die Konsultation wurden vom Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft in Übereinstimmung mit Artikel 7.1 der UVP-Richtlinie durchgeführt. Die Länder, die an einer Teilnahme an der grenzüberschreitenden Konsultation interessiert sind, werden konsultiert und haben die Möglichkeit, die Stellungnahmen Ihrer Öffentlichkeit und der zuständigen Behörden zur Umweltverträglichkeitsprüfung in zusammengefasster Form an die Generaldirektion Energie des FÖD Wirtschaft, KMB, Mittelstand, und Energie zu übermitteln, die die Aktivitäten im Zusammenhang mit der Umweltverträglichkeitsprüfung koordiniert.

Sobald die Umweltverträglichkeitsprüfungen auf strategischer Ebene und die von der Electrabel AG durchgeführte Umweltverträglichkeitsprüfung abgeschlossen sind, wird der Föderale Öffentliche Dienst diese beiden Umweltverträglichkeitsprüfungen den genannten belgischen Behörden zur Verfügung stellen (Konsultation). Die Konsultation wird in den 3 belgischen Regionen, den belgischen Provinzen, bei den interessierten lokalen Behörden, dem Föderalen Rat für Nachhaltige Entwicklung, der Nationalen Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien (NIRAS) und der Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) durchgeführt.

Zusätzlich wird 60 Kalendertage lang eine Online-Konsultation der Öffentlichkeit über die vollständige Akte der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 organisiert (d. h. sowohl die vorliegende strategische UVP als auch die UVP auf Projektebene). Die Bekanntmachung dieser Konsultation und der Möglichkeiten zur Beteiligung der Öffentlichkeit erfolgt durch den Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft.

2 Nichtradiologische Auswirkungen

2.1 Allgemeine Methodik

2.1.1 Scoping

2.1.1.1 Konzept

Das Scoping (Auswahl der potenziell bedeutsamen Auswirkungen) zielt darauf ab, die (wahrscheinlich) bedeutendsten Umweltthemen und -auswirkungen von Beginn der UVP an zu identifizieren und von anderen, weniger relevanten Themen zu unterscheiden. Auf diese Weise konzentriert sich der UVP-Prozess auf das Wesentliche.

Das Scoping besteht aus zwei klar unterscheidbaren Schritten:

- der Identifizierung möglicher Auswirkungen (kann die Auswirkung auftreten?);
- der Überprüfung der Signifikanz (besteht die Möglichkeit, dass die Auswirkung signifikant ist?).

Um eine Antwort darauf geben zu können, sind Kenntnisse über das Projekt, die Eigenschaften der Umgebung und die erwarteten Ursache-Wirkungs-Beziehungen erforderlich.

Im ersten Schritt wird versucht, sich einen möglichst vollständigen Überblick über alle möglichen Auswirkungen zu verschaffen. Im zweiten Schritt wird die Liste der möglichen Auswirkungen eingegrenzt, indem ermittelt wird, welche dieser Auswirkungen (potenziell) signifikant sind. Bei der Feststellung, ob Auswirkungen potenziell signifikant sind, werden in der Regel u. a. folgende Faktoren berücksichtigt:

- die Art, das Ausmaß, die Dauer und die Reversibilität der Auswirkungen;
- die Bedeutung, Seltenheit, Empfindlichkeit oder Anfälligkeit der von der Auswirkung betroffenen Umweltfaktoren;
- der Ort der geplanten Initiative in Bezug auf die politischen Ziele und gesetzlichen Bestimmungen, die für das Aufnahmemilieu gelten (Umweltprioritäten);
- das Ausmaß, in dem die Untersuchung einer bestimmten Auswirkung wesentlich zu der durch die UVP gestützten Entscheidung beiträgt.

2.1.1.2 Vorgehensweise

Das Scoping wurde im Rahmen der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung mit Unterstützung der folgenden Maßnahmen durchgeführt:

- Analyse der Komponenten des Projekts (d. h. der Kraftwerke Doel 1 und 2) und der durch sie verursachten Umweltauswirkungen;
- Analyse der Anfälligkeit der Umgebung;
- Konsultation der früher durchgeführten Umweltverträglichkeitsprüfungen und des darin durchgeführten Scopings (UVP Kernkraftwerk Doel 2010, Langzeitbetrieb - Screening der Umweltaspekte für Doel 1 und 2 - 2015, UVP Electrabel AG - 2021 - UVP SF² 2020, strategische Umweltprüfung der Studie zu den Perspektiven der Stromversorgung bis 2030 von 2015);
- Organisation eines Scoping-Workshops in Anwesenheit der verschiedenen UVP-Experten (radiologisch und nichtradiologisch). Die daraus entstandene Interaktion führte zu zusätzlichen Erkenntnissen über den Betrieb des Kraftwerks und die Auswirkungen, die sich daraus ergeben können;
- Auf die so ermittelte Auswahl potenziell erheblicher Auswirkungen wird bei der Diskussion der einzelnen Themen näher eingegangen. Die Ergebnisse des Scopings werden im Folgenden in groben Zügen erläutert.

Die Schlussfolgerung aus dieser Übung war, dass sich die Diskussion der Auswirkungen auf die finalen Rezeptoren dieser Auswirkungen konzentrieren muss, nämlich die menschliche Gesundheit einerseits und die biologische Vielfalt andererseits. Dies gilt sowohl für radiologische als auch für nichtradiologische Auswirkungen.

Für nichtradiologische Auswirkungen wurden auch andere in Artikel 3 und Anhang IV der europäischen UVP-Richtlinie aufgeführte Rezeptoren identifiziert, für die signifikante nachteilige Auswirkungen auftreten könnten. Dies wird in Abschnitt 2.1.1.3 näher erläutert.

2.1.1.3 Scoping in Umrissen

Schritt 1: Analyse der potenziell auswirkungsgenerierenden Elemente

Im ersten Schritt des Scoping-Prozesses wird abgesteckt, welcher Art die Auswirkungen, die auftreten können, sind. Diese Analyse beginnt mit einer Auflistung der wichtigsten Komponenten und Einrichtungen des Kraftwerks und bewertet dann, ob der Betrieb oder das Vorhandensein dieser Komponenten und Einrichtungen zu Umweltauswirkungen führen kann. Sie nutzt das Wissen von Experten auf dem Gebiet der Ursache-Wirkungs-Beziehungen und stützt sich auch auf Informationen, die in früheren Umweltverträglichkeitsberichten oder Auswirkungsschriftsätzen (UVP 2010, Screening-Schriftsatz 2015, UVP in Bezug auf die Arbeiten 2021) verfügbar sind.

Das Ergebnis dieser Analyse ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Symbole in dieser Tabelle haben die folgenden Bedeutungen:

- X Auswirkung kann auftreten und ist potenziell signifikant;
- (x) Auswirkung kann auftreten, ist aber wahrscheinlich vernachlässigbar;
- N Auswirkung kann auftreten und kann signifikant sein, ist aber nicht unterscheidend dafür, ob die Abschaltung von Doel 1 und 2 verschoben wird oder nicht.

Die Tabelle unterscheidet zwischen den Rezeptorendisziplinen (Klima, biologische Vielfalt, Mensch und Landschaft) und den anderen Disziplinen, die wir hier als Hilfsdisziplinen bezeichnen. Auswirkungen des Kraftwerks auf die Disziplinen der Rezeptoren erfolgen oft nicht direkt, sondern über die Hilfsdisziplinen. Zum Beispiel haben Pumpen und Generatoren keine direkte Auswirkung auf die biologische Vielfalt, wohl aber durch die von ihnen verursachten Lärm- und Luftemissionen.

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Einrichtungen und Tätigkeiten des Kernkraftwerks Doel und deren Beziehung zu möglichen Umweltauswirkungen.

Komponente	Hilfsdisziplinen					Rezeptorendisziplinen			
	Wasser	Boden/Grundwasser	Luft	Mobilität	Lärm	Klima	Biologische Vielfalt	Gesundheit	Landschaft
1. Aufbereitung und Ableitung von Industrieabwässern	X		(x)				X	(x)	
2. Aufbereitung und Ableitung von Sanitärabwässern	X		(x)				X	(x)	
3. Ableitung von Kühlwasser	X						X		
4. Bewirtschaftung von Regenwasser	X	(x)							
5. Entnahme von Kühlwasser	X						X		
6. Kühltürme (Doel 3 und 4)	X		N		N		N	N	N
7. Hilfskühltürme (Doel 1 und 2)			(x)		(x)				
8. Kühlkreisläufe			(x)		(x)	(x)		(x)	
9. DeMin-Anlagen	(x)								

Komponente	Hilfsdisziplinen					Rezeptorendisziplinen			
	Wasser	Boden/Grundwasser	Luft	Mobilität	Lärm	Klima	Biologische Vielfalt	Gesundheit	Landschaft
10. Verbrauch von Leitungswasser	(x)								
11. Belüftung der Gebäude			(x)		(x)		(x)		
12. Hilfsdampfkessel									
13. Notstromgeneratoren			(x)		(x)	X	(x)	X	
14. Heizungsanlage			(x)		(x)	X	(x)	X	
15. Reaktor(-gebäude)									N
16. Dampfturbinen + Wechselstromgenerator					(x)				
17. Transformatoren		(x)			(x)		(x)		
18. Kompressoren					(x)		(x)		
19. Pumpen/Pumpstationen					(x)		(x)		
20. Stationäre Batterien									
21. Lagerung von Altöl		(x)							
22. Lagerung von Diesel		(x)	(x)						
23. Lagerung von Ammoniak		(x)	(x)						
24. Lagerung von Hydrazin		(x)	(x)						
25. Nichtnuklearer Abfall		(x)							
26. Diverse Einrichtungen (Büros; Sanitäranlagen, Kantine usw.)	(x)								
27. Flächennutzung/Bodenversiegelung	X	(x)							
28. Außenbeleuchtung							(x)		
29. Verkehr			(x)				(x)		
30. Hochspannungs-Infrastruktur								(x)	
31. Betrieb des Kraftwerks als Ganzes	X	(x)	(x)	(x)	(x)	X	X	X	N

Diese UVP zielt nicht darauf ab, die vollständigen Auswirkungen des Kernkraftwerks Doel zu beschreiben, sondern nur den Unterschied zwischen den Auswirkungen im Falle einer Abschaltung von Doel 1 und 2 im Jahr 2015 einerseits und einer Verschiebung dieser Abschaltung bis 2025 andererseits aufzuzeigen. Das bedeutet, dass nicht alle Auswirkungen, die durch das Kernkraftwerk generiert werden, für diese UVP relevant sind.

Auswirkungen, die nur Doel 3 und 4 zuzuordnen sind, sind Teil der Referenzsituation dieser UVP; sie treten in beiden Fällen auf und bestimmen daher nicht den Unterschied zwischen den Situationen mit oder ohne die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2¹⁶. Diese sind in der Tabelle mit einem großen N gekennzeichnet. Ob diese Auswirkungen signifikant sind oder nicht, ist unerheblich. Ein Beispiel ist der Betrieb von Kühltürmen und die damit

¹⁶ Es ist zu beachten, dass die geplante Schließung von Doel 3 am 1. Oktober 2022 in diesem Augenblick die Referenzsituation verändert.

verbundenen Auswirkungen in Bezug auf z. B. Lärm, visuelle Auswirkungen oder Wasserhaushalt. Da Doel 1 und 2 über eigene und (unter normalen Umständen) unabhängige Kühlwassersysteme verfügen, die die großen Kühltürme nicht nutzen, sind ihre Auswirkungen für diese UVP nicht relevant.

Bei den anderen Auswirkungen unterscheiden wir zwischen solchen, die potenziell relevant sind (X) und solchen, die zwar auftreten können, aber mit hoher Wahrscheinlichkeit vernachlässigbar sind ((x)). Letztere werden in dieser UVP nicht im Detail untersucht. Es ist zu beachten, dass es nicht immer möglich ist, den Anteil der Auswirkung zu bestimmen, der nicht allein Doel 3 und 4 zugeschrieben werden kann und der allein auf den Betrieb von Doel 1 und 2 zurückzuführen ist. Dies kann daran liegen, dass es sich um gemeinsame Systeme handelt, die nicht spezifisch einem oder mehreren der Reaktoren zugeordnet werden können, oder weil die Daten fehlen, um diese Unterscheidung zu treffen.

Schritt 2: Auswahl von Themen (Disziplinen), innerhalb derer potenziell relevante Auswirkungen auftreten können

In diesem Schritt wird auf der Grundlage von Tabelle 5 festgelegt, welche Themen in dieser strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung weiter beachtet werden müssen. In der Praxis sind dies die Themen, innerhalb derer potenziell signifikante Auswirkungen auftreten können, die zumindest teilweise auf den Betrieb oder das Vorhandensein von Doel 1 und 2 zurückgeführt werden können.

Darüber hinaus erweitern wir in diesem Schritt den Fokus auch auf einige sogenannte „vermeidene“ Auswirkungen des Projekts; dabei handelt es sich um Auswirkungen, die nicht auftreten, wenn die Abschaltung verschoben wird, wohl aber wenn Doel 1 und 2 abgeschaltet werden. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

Die Grundzüge des Scopings auf Ebene der Themen ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt.

Wie in diesem Diagramm dargestellt, ergeben sich aus dem Scoping drei Gruppen von potenziell erheblichen Auswirkungen: Auswirkungen des Projekts, vermiedene Auswirkungen des Projekts und Auswirkungen auf das Projekt.

Auswirkungen des Projekts

Diese Auswirkungen sind direkt auf das Projekt zurückzuführen, d. h. auf die strategische politische Entscheidung, die zum Betrieb der Blöcke Doel 1 und 2 für einen Zeitraum von 10 Jahren führt. Wie oben erwähnt, werden bei der Diskussion der Themen weitere Details zu den genauen Auswirkungen gegeben. Wir verfolgen einen rezeptorenbasierten Ansatz, bei dem wir zunächst die Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die menschliche Gesundheit bewerten. Dazu ist es jedoch wichtig, einen Einblick in die Auswirkungen der Kraftwerke auf die Luftqualität einerseits und auf das Wassersystem andererseits zu haben. Treibhausgasemissionen werden in dieser UVP ebenfalls angesprochen, sowohl als direkte Auswirkung als auch als „vermeidene“ Auswirkung. Das Thema Landschaft wird in diesem Diagramm nicht weiter diskutiert, da die zusammenfassende Analyse zeigt, dass innerhalb dieses Themas keine Auswirkungen zu erwarten sind, die signifikant und entscheidend für den Unterschied sind, ob die Abschaltung verschoben wird oder nicht. Dies gilt auch für die Teildisziplinen Boden, Grundwasser, Lärm und Mobilität.

Luft, Oberflächengewässer, biologische Vielfalt, Gesundheit und Klima sind somit die fünf Themen (Disziplinen), für die in dieser UVP die direkten Auswirkungen des Projekts ermittelt werden. Die Bewertungskriterien und die erwarteten Auswirkungen für jedes dieser Themen werden später in dieser UVP ausführlicher behandelt.

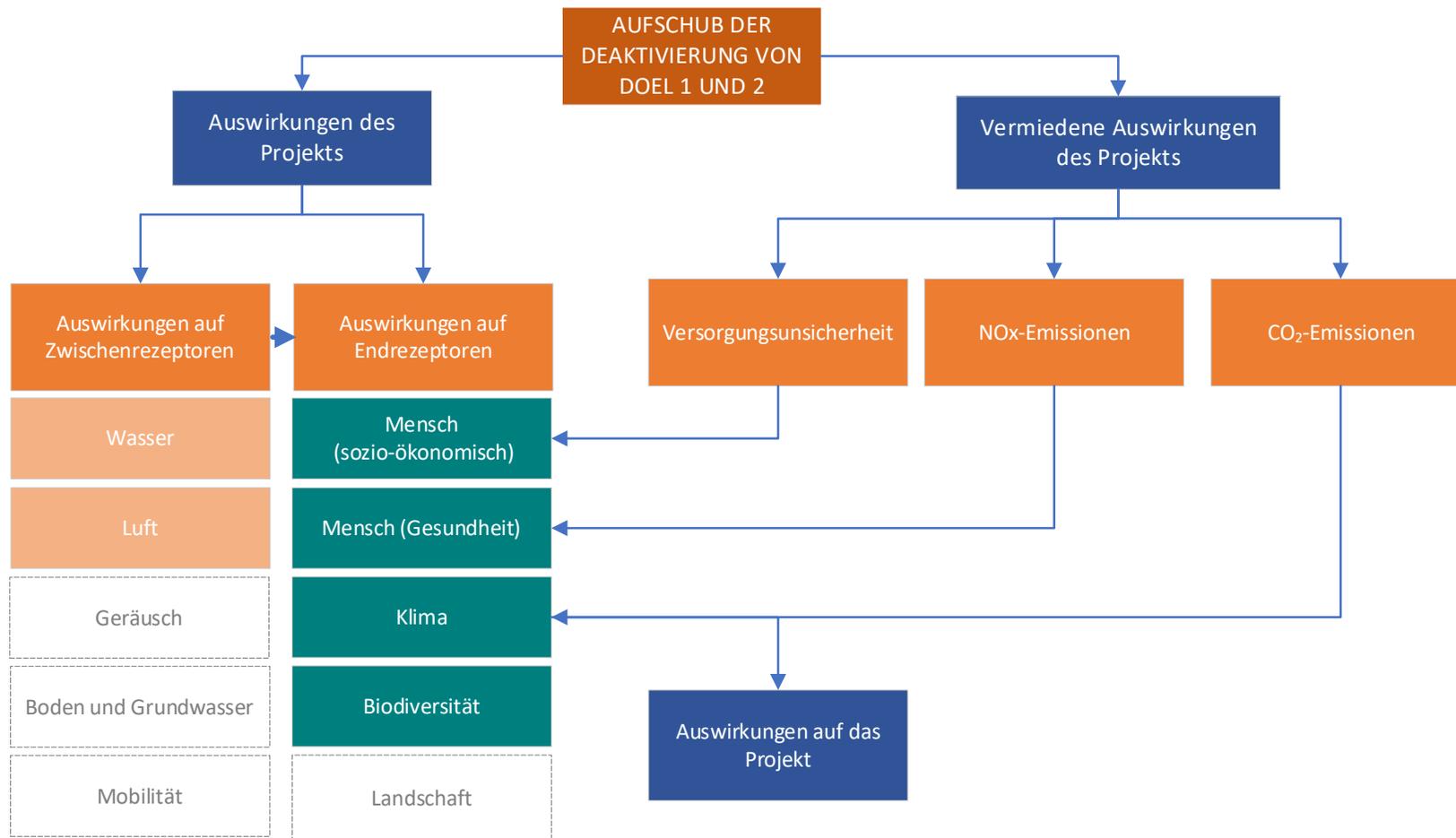


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Grundzüge des Scopings für die Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 (UVP-Entscheidung).

Eine Reihe anderer Themen wird daher in dieser strategischen UVP (UVP-Entscheidung) nicht behandelt. Tabelle 6 fasst die Gründe für jedes dieser Themen kurz zusammen. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Fragen in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten zur Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 behandelt werden.

Tabelle 6: Übersicht über die Themen, die nicht in der strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht werden mit entsprechender Begründung.

Thema	Gründe für die Nichtberücksichtigung dieses Themas bei der Umweltverträglichkeitsprüfung auf strategischer Ebene
Boden	<p>Die Anlage ist aufgrund der Risiken, die mit der Lagerung von Gefahrstoffen in der Anlage verbunden sind, gesetzlich verpflichtet, eine regelmäßige Bodenuntersuchung durchzuführen. Diese Lagerung erfolgt nach den Bedingungen von VLAREM II.</p> <p>Aufgrund früherer Untersuchungen wurden mehrere Parzellen auf dem Gelände des KKW Doel in das Register der verunreinigten Böden aufgenommen, aber keine der Verunreinigungen stellte eine ernsthafte Bedrohung für Mensch oder Umwelt dar oder erforderte eine Bodensanierung.</p> <p>Die Lagerung und der Umgang mit gefährlichen Stoffen in großen Mengen (Diesel, Neutralisationsmittel etc.) bergen potentiell gewisse Risiken einer Boden- und Grundwasserkontamination. Ein Teil dieser Lagerung steht auch in direktem Zusammenhang mit Doel 1 und 2 (z. B. ein Teil des Diesellagers, das benötigt wird, um die Pumpen im Falle eines Ausfalls der Stromversorgung am Laufen zu halten). Ein längeres Offenhalten von Doel 1 und 2 erhöht daher theoretisch das Risiko einer zusätzlichen Bodenverunreinigung durch undefinierbare Undichtigkeiten oder Unfälle. Unter Berücksichtigung der gemäß den VLAREM-Bedingungen getroffenen Maßnahmen (z. B. Auffang, Ortung von Undichtigkeiten etc.) kann festgestellt werden, dass die Wahrscheinlichkeit, dass während der zusätzlichen 10-jährigen Betriebszeit eine signifikante neue Bodenverschmutzung auftritt, sehr gering ist.</p> <p>Der Betrieb von Doel 1 und 2 beinhaltet auch die Bodenversiegelung des Geländeteils, auf dem sich die Anlagen befinden. Ein Aufschub der Abschaltung bedeutet, dass diese Bodenbedeckung für 10 Jahre aufrechterhalten wird. Es ist jedoch davon auszugehen, dass selbst bei einer Stilllegung der Kraftwerke im Jahr 2015 die Bodenversiegelung in den folgenden zehn Jahren nicht entfernt worden wäre, da die Stilllegung sehr lange braucht. Das LTO-Projekt beinhaltet den Bau einiger neuer Gebäude (Pumpstation und Tank für Löschwasser), was jedoch keine wesentliche Zunahme der Bodenversiegelung mit sich bringt.</p>
Landschaft	<p>Die landschaftliche Wirkung des Kernkraftwerks Doel wird in erster Linie durch die 170 m hohen Kühltürme und ihre charakteristischen Wasserdampffahnen bestimmt, in geringerem Maße auch durch die Anlagen von Doel 3 und 4. Die Hochspannungsleitungen tragen ebenfalls zur optischen Wirkung bei. Im Vergleich dazu sind die Anlagen Doel 1 und 2 relativ bescheiden in Höhe und Größe. Ihre Präsenz während eines zusätzlichen Zeitraums von zehn Jahren hat keinen wesentlichen Einfluss auf die visuelle Gesamtwirkung des Kraftwerks. Das Gleiche gilt für die Auswirkungen der wenigen zusätzlichen Anlagen, die im Rahmen des LTO-Projekts errichtet wurden.</p>
Grundwasser	<p>Das Kraftwerk Doel nutzt kein Grundwasser. Ob die Abschaltung von Doel 1 und 2 verschoben wird oder nicht, hat daher in dieser Hinsicht keine Konsequenzen. Das Vorhandensein mehrerer bereits bestehender Gebäude, deren Fundamente und Pfähle bis in die Tiefe der tertiären Sedimente (-15 m) reichen, und von Schlitzwänden rund um verschiedene Teile des Kraftwerks kann den natürlichen Grundwasserfluss sehr wohl stören. Diese Situation würde sich jedoch nicht grundlegend ändern, wenn Doel 1 und 2 abgeschaltet würden, jedenfalls nicht kurzfristig.</p> <p>Hinsichtlich einer möglichen Grundwasserverschmutzung kann zunächst auf die Überlegungen bzgl. des Boden-Themas (s. o.) verwiesen werden, aus denen hervorgeht, dass die Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Verschmutzung des Bodens (und damit des Grundwassers) durch die Lagerung von Schadstoffen aufgrund der getroffenen Maßnahmen nach den geltenden Vorschriften sehr gering ist.</p> <p>Eine Auswirkung auf den Grundwasserhaushalt wird ebenfalls nicht erwartet, da innerhalb des Referenzzeitraums keine signifikanten Unterschiede in der versiegelten Fläche zwischen der Situation mit und ohne Aufschub der Abschaltung zu erwarten sind.</p>

	<p>Aus der Beschreibung in der von der Electrabel AG erstellten Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten (das LTO-Projekt) geht hervor, dass auf dem Gelände Kanalisationen und undichte Abwasser- und Kühlwasserleitungen vorkommen, was theoretisch die Grundlage für eine Beeinträchtigung des Grundwassers sein könnte. Diese Auswirkungen werden in der genannten Umweltverträglichkeitsprüfung näher beschrieben. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Situation bei der Abschaltung von Doel 1 und 2 teilweise behoben würde, aber angesichts der Tatsache, dass die verschiedenen Anlagen auf dem Gelände viele der erwähnten Rohre und Kanalisationen gemeinsam nutzen, ist zu erwarten, dass die positive Auswirkung dieser Sanierung (die im Übrigen nicht kurzfristig erfolgen würde) begrenzt sein würde.</p>
<p>Mobilität</p>	<p>Die aus dem Betrieb des KKW Doel resultierenden Verkehrsbewegungen werden in erster Linie durch die Fahrzeuge von Mitarbeitern und Subunternehmern zur und von der Baustelle verursacht. Es gibt auch Fahrzeugbewegungen von Mitarbeitern auf dem Gelände des KKW Doel. Hinzu kommen die Transporte für die Versorgung und Wartung der Anlagen (Chemikalien, Treibstoff, Ersatzteile, Abfallentsorgung). Der Transport im Zusammenhang mit dem täglichen Betrieb des Kraftwerks erfolgt über die Straße. Der (Schwerlast-)Verkehr zum und vom Kernkraftwerk führt durch den Waasland-Hafen, genauer gesagt um das Deurganck-Dock herum, und von dort zur Kreuzung mit der R2 (und vor hier entweder zur A12, E34, E17 oder zur R1). Es werden keine Wohngebiete durchquert. Von dieser Hauptroute gibt es natürlich eine Reihe von Varianten, bei denen der Verkehr durch die Polder, eventuell über Kieldrecht und über die N451 direkt zur Kreuzung mit der E34 verläuft.</p> <p>Im Durchschnitt sind ca. 1.700 Personen auf dem Gelände anwesend (tagsüber) und diese Anwesenheit kann mit ca. 1.300 Fahrzeugen in Verbindung gebracht werden, die sich grob in 900 PKW, 300 Lieferwagen und 100 LKW aufteilen. Die Anzahl der Fahrzeugbewegungen steigt bei größeren Arbeiten/Revisionen.</p> <p>In Spitzenzeiten beträgt der Personenverkehr bis zu 600 Pkw-Äquivalente/h, ergänzt durch eine Lkw-Dichte von 25 Pkw-Äquivalenten/h. Zu den am stärksten belasteten Zeiten (morgens zwischen 7 und 9 Uhr und abends zwischen 16 und 18 Uhr) ergibt dies 625 Pkw-Äquivalente/h (UVP-Projekt Electrabel KKW Doel, 2010). Eine Sättigung des lokalen Straßennetzes zum KKW Doel tritt nicht auf. Allerdings ist starker Verkehr im morgendlichen und abendlichen Berufsverkehr möglich.</p> <p>Der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 erhöht die Anzahl der Fahrzeugbewegungen im Vergleich zum Zeitraum vor 2015 nicht. Im Vergleich zu einer Situation mit einer Abschaltung im Jahr 2015 wird kein signifikanter Rückgang der Fahrzeugbewegungen erwartet, da ein großer Teil davon das Kraftwerk als Ganzes betrifft und nicht spezifisch dem Betrieb von Doel 1 und 2 zuzuordnen ist. Im Gegenteil, die Stilllegung beider Reaktoren könnte ein hohes zusätzliches Verkehrsaufkommen generieren, das bei einer Abschaltung im Jahr 2015 möglicherweise sogar größer ausfiele als bei einer bis 2025 aufgeschobenen Abschaltung. Wie bereits erwähnt, kann der Unterschied örtlich relevant sein, aber nicht auf einer größeren räumlichen Skala.</p> <p>In diesem Zusammenhang müssen auch die Arbeiten am ECA-Projekt berücksichtigt werden, die in den letzten Jahren der verlängerten Betriebszeit von Doel 1 und 2 beginnen sollen. Diese Arbeiten können vorübergehend zusätzlichen Werftverkehr erzeugen, aber ein Teil dieser Arbeiten zielt auch speziell darauf ab, die Mobilitätssituation rund um das Deurganck-Dock und das neue zweite Gezeitendock durch den Bau der Westlichen Zufahrtstraße zu verbessern. Der Bau dieser Zufahrtsstraße wird sich auch positiv auf die Erreichbarkeit des Kernkraftwerks Doel auswirken.</p>
<p>Lärm</p>	<p>Auf dem Gelände des KKW Doel lassen sich mehrere Lärmquellen unterscheiden, die zusammen die gesamte Lärmemission des Betriebs im Freien darstellen. Es muss unterschieden werden zwischen Quellen, die im Dauerbetrieb sind und Quellen, die nur einen begrenzten Teil der Zeit (< 1 %) tatsächlich in Betrieb sind, wie z. B. Notstromgruppen und Notkühlbänke. Die zeitlich begrenzt betriebenen Quellen werden nur in Notsituationen betrieben, aus Sicherheits- und Wartungsgründen jedoch zudem monatlich getestet.</p> <p>Die UVP aus dem Jahr 2010 zeigt, dass die beiden Kühltürme für 55 % des Lärms verantwortlich sind (hauptsächlich das Geräusch von fallendem Wasser). Die Hilfskühltürme (Ventilatoren) machen einen Anteil von 20 % aus und die Öffnungen und Wände von Maschinenräumen und Reaktorgebäuden weitere 15 %.</p> <p>Im Technischen LTO-Schriftsatz aus dem Jahr 2015 (Tractebel Engineering) wird gezeigt, dass die im Rahmen der LTO vorgesehenen neuen Anlagen keine zusätzlichen Lärmbelastungen verursachen werden. Umgekehrt kann auch festgestellt werden, dass die Abschaltung von Doel 1 und 2 nur eine begrenzte (positive) Auswirkung auf die Lärmbelastigung haben wird, da diese zu einem großen Teil mit den an Doel</p>

	3 und 4 angeschlossenen Kühltürmen zusammenhängt, die auch nach der Schließung von Doel 1 und 2 in Betrieb bleiben werden.
--	--

Vermiedene Auswirkungen des Projekts

Dies sind Auswirkungen, die nicht eintreten, wenn das Projekt durchgeführt wird, aber sehr wohl, wenn das Projekt nicht durchgeführt wird. Es handelt sich also um Auswirkungen, die in der Referenzsituation auftreten. Da das Ausmaß einer Auswirkung durch die Differenz zwischen der Projektsituation und der Referenzsituation bestimmt wird, handelt es sich um negative oder „vermiedene“ Auswirkungen.

Um eine Aussage über das Ausmaß dieser vermiedenen Auswirkungen treffen zu können, ist es notwendig, die Referenzsituation dahingehend weiter zu definieren, wie die verlorenen Produktionskapazitäten im Zeitraum 2015-2025 aufgefüllt worden wären. Dies ist natürlich eine theoretische Überlegung, ohne die Absicht, die Auswirkungen verschiedener (nicht realisierter) Energiemixe zu vergleichen¹⁷.

Um dies zu vereinfachen, wurde in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung zur Bestimmung der vermiedenen Auswirkungen entschieden, dass die Ausgestaltung der theoretisch weggefallenen Kapazität nach den gleichen Verhältnissen wie innerhalb des derzeitigen Anteils der nichtnuklearen Kapazität erfolgen sollte.

Es ist klar, dass diese Ausgestaltung nicht als vollständige und vernünftige Alternative zum Aufschub der Abschaltung angesehen werden sollte, da diese Alternative zum Zeitpunkt der Entscheidung über den Aufschub in der Praxis nicht verfügbar war¹⁸. Aus diesem Grund untersuchen wir nicht alle Aspekte dieser alternativen Ausgestaltung. Es macht keinen Sinn, z. B. die landschaftlichen Auswirkungen einer theoretischen Leistung von Windparks mit den landschaftlichen Auswirkungen von Doel 1 und 2 oder die Kühlwassereffekte einer theoretischen Leistung von Gaskraftwerken mit dem realen Effekt der Kühlwasserableitungen von Doel 1 und 2 zu vergleichen.

Wir beschränken die Untersuchung der vermiedenen Effekte speziell auf:

- die vermiedenen Treibhausgasemissionen (mit Folgewirkungen auf die Disziplin Klima);
- die vermiedenen NOx-Emissionen (mit Folgewirkungen auf die Disziplin Mensch und Gesundheit).

Darüber hinaus berücksichtigen wir auch die vermiedene Versorgungsunsicherheit. Diese Unsicherheit zu vermeiden, ist der eigentliche Zweck des Plans und in diesem Sinne kein Nebeneffekt. Dennoch ist es gut, sich ein Bild von den Auswirkungen auf diesen Aspekt zu machen, wenn die Abschaltung von Doel 1 und 2 nicht verschoben worden wäre, wobei es, wie oben erwähnt, faktisch keine vernünftige Alternative gab, um die im Falle der Abschaltung weggefallene Kapazität zu füllen. Die Auswirkungen der Versorgungsunsicherheit werden in erster Linie im Zusammenhang mit dem Thema „Mensch“ betrachtet.

Auswirkungen auf das Projekt

Die „Auswirkungen auf das Projekt“ beziehen sich speziell auf die Folgen des Klimawandels auf den Plan. Die Verpflichtung, diesen Aspekt in die Umweltverträglichkeitsprüfung aufzunehmen, ergibt sich aus den Änderungen der UVP-Richtlinie 2011/92/EU durch die Richtlinie 2014/52/EU. Anhang IV dieser Richtlinie besagt, dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung eine Beschreibung *der Auswirkung des Projekts auf das Klima* (z. B. Art und Ausmaß der Treibhausgasemissionen) und der *Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel* enthalten muss.

¹⁷ Eine solche Überlegung fand in der „Studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading tegen 2030“ des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft (2015) und dem zugehörigen UVP-Plan statt.

¹⁸ In den letzten Jahren wurden zahlreiche alternative Energieversorgungsszenarien entwickelt, die einen vollständigen oder teilweisen Atomausstieg berücksichtigen, die aber, wie oben erwähnt, im Jahr 2015 nicht operationalisierbar waren und daher für den vorliegenden Plan nicht als sinnvolle Alternativen infrage kommen.

Dies kann sowohl die Integrität als auch die Funktionsfähigkeit des Projekts betreffen. Auch die eigentliche Begründung für ein Projekt kann sich infolge des Klimawandels ändern, und die Auswirkungen eines in einer UVP beschriebenen Projekts können mit dem Klimawandel an Bedeutung gewinnen bzw. verlieren¹⁹.

2.1.2 Allgemeiner Bewertungsrahmen

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf die verschiedenen politischen Ziele innerhalb einer bestimmten Disziplin/eines bestimmten Politikbereichs. Für jedes politische Ziel treffen wir eine der folgenden Aussagen:

1. Das Projekt leistet einen merklichen Beitrag zur Zielerreichung -> Bewertung „positiv“.
2. Das Projekt trägt nicht merklich zur Zielerreichung bei, wirkt ihr aber auch nicht merklich entgegen -> Bewertung „neutral“.
3. Das Projekt wirkt der Zielerreichung merklich entgegen -> Bewertung „negativ“.

Um festzustellen, ob das Projekt zur Erreichung eines bestimmten Ziels beiträgt oder nicht, müssen bestimmte Auswirkungen untersucht werden. Diese können, müssen aber nicht mit den „klassischen“ Auswirkungen aus z. B. den Richtlinienbüchern übereinstimmen.

Ein Beispiel: Wenn ein naturpolitisches Ziel als „Erhaltung der Arten“ formuliert werden könnte, dann müssen die verschiedenen Auswirkungen, die dies beeinflussen können, diskutiert werden: Flächenverbrauch, Fragmentierung, Störung usw. Diese Auswirkungen werden lediglich diskutiert und nicht bewertet; die Bewertung erfolgt nur auf der Ebene der Ziele.

2.1.3 Spezifische Bewertungsrahmen

In jeder der Disziplinen, die später in dieser UVP behandelt werden, werden die untersuchten Auswirkungen und die verwendeten Bewertungskriterien ausführlicher diskutiert. Soweit relevant, wird jeweils auch angegeben, woran die Ergebnisse der Wirkungsbeschreibung gemessen werden (Bewertungsrahmen).

2.1.4 Tiefe der Bewertung

Wie bereits angedeutet, befindet sich die Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der politischen Entscheidung, die Abschaltung von Doel 1 und 2 um 10 Jahre zu verschieben, auf einer strategischen Ebene, im Gegensatz zur Umweltverträglichkeitsprüfung der (untrennbar damit verbundenen) Arbeiten, die auf der Detailebene eines Projekts ausgearbeitet wird.²⁰ Natürlich gibt es eine Reihe von Unterschieden zwischen den beiden Ansätzen.

In der Praxis gibt es keine klaren Grenzen zwischen dem, was wir als Bewertung auf strategischer Ebene und Bewertung auf Projektebene betrachten. Vielmehr findet ein schrittweiser Übergang vom strategischen zum operativen Denken statt. Die Schlüsselemente und Polaritäten dieses strategisch-operativen Kontinuums sind in Abbildung 9 grafisch dargestellt.

Es ist klar, dass die vorliegende UVP im Hinblick auf die politische Entscheidung eher am linken als am rechten Ende dieses Kontinuums angesiedelt ist. Das bedeutet u. a., dass diese UVP in erster Linie auf vorhandene Daten zurückgreift, dass die Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen überwiegend nicht quantitativ erfolgt und dass aus diesen Gründen die Unsicherheit bestimmter Aussagen größer sein kann, als dies bei einer Umweltverträglichkeitsprüfung mit der Detailebene eines Projekts der Fall wäre. Dies ist angesichts des strategischen Charakters der Entscheidung, die durch diese UVP untermauert wird, auch akzeptabel.

¹⁹ Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Frage, inwieweit die Auswirkung einer Einleitung in ein Fließgewässer an Bedeutung gewinnen würde, wenn eine klimabedingte Trockenheit den durchschnittlichen Abfluss dieses Fließgewässers verändern würde.

²⁰ Zusammen bilden diese beiden Bewertungen die Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts.

Projekt: Aufschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2		
	Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verschiebung	Umweltverträglichkeitsprüfung der zugehörigen Arbeiten
Art der Maßnahme	Strategisch, konzeptionell	Direkt, operativ
Ausmaß der Auswirkungen	Großflächig	Lokal
Zeitraum	Lang- bis mittelfristig	Mittel- bis kurzfristig
Wichtige Datenquellen	Vorhandene Daten aus z. B. Umweltberichten	Daten basieren auf Feldforschungsarbeiten und Projektdaten
Art der Daten	Eher qualitativ	Eher quantitativ
Optionen	Flächendeckend, technologisch, intermodal	Spezifischer Standort, Entwurf
Unsicherheit und Fundierung	Eher unsicher	Eher fundiert

Abbildung 9: Schlüsselemente des strategisch-operativen Kontinuums der Umweltverträglichkeitsprüfung^{ix}, angewandt auf die Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts.

2.2 Auswirkungen des Projekts

2.2.1 Allgemeines

Für die Wirkungsbeschreibung und -bewertung der verschiedenen Disziplinen in diesem Kapitel wird die folgende Struktur verwendet:

Relevante politische Ziele

Eine Beschreibung der verschiedenen politischen Ziele, die geprüft werden sollen. Als Quelle für diese Ziele dienen die verschiedenen relevanten politischen Dokumente. Dies sind High-Level-Ziele.

Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Eine Beschreibung der Auswirkungen, die relevant sind, um ein Urteil darüber abgeben zu können, inwieweit das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele beiträgt oder nicht, sowie über die Ursache-Wirkungs-Beziehung zum Projekt.

Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Der Ausgangspunkt ist im Prinzip die Situation im Jahr 2015, dem Jahr, in dem die Entscheidung über die Abschaltung getroffen wurde. Wir beschreiben hier auch alle (autonomen oder gesteuerten) Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2025 (grundlegend) von der Situation im Jahr 2015 unterscheidet. Wenn es solche Entwicklungen gibt, berücksichtigen wir sie in der Wirkungsbeschreibung (Entwicklungsszenario oder zweite Referenzsituation).

Beschreibung der Auswirkungen

Hier beschreiben wir die Auswirkungen, die für die Bewertung im nächsten Schritt relevant sind. Wo möglich und relevant, geben wir auch einen Hinweis auf die kumulativen Auswirkungen über die zehn Jahre (z. B. kumulierte Emissionen; ggf. unter Berücksichtigung jährlicher Schwankungen der Emissionen).

Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Hier erfolgt die Bewertung (über die Auswirkungen hinweg), inwieweit die Erreichung der verschiedenen politischen Ziele durch die Auswirkungen unterstützt wird oder nicht.

2.2.2 Wasser

2.2.2.1 Relevante politische Ziele

Für das Thema Wasser, das in die regionale Zuständigkeit fällt, sind der konkrete politische Plan zur Wasserpolitik 2020-2025 und in geringerem, aber verwandtem Umfang der Blue Deal (2020) relevant:

Konkreter politischer Plan zur Wasserpolitik 2020-2025

Flandern hat drei strategische Ziele und sechs Hauptaktionslinien für seine Wasserpolitik formuliert:

- Das Ziel eines guten Zustands der Wasserkörper²¹ anstreben:
 - Durch die weitere Verbesserung der Qualität der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Dies kann durch stufenweises Hinarbeiten auf einen guten Gewässerzustand (mit Formulierung angepasster Zwischenziele für Wasserkörper, bei denen der Zielabstand noch groß ist), die weitere Bewältigung der Nährstoffproblematik, die ökologische Wiederherstellung von Wasserläufen und Uferzonen, die Erarbeitung konkreter Lösungen für (neu auftretende) Gefahrstoffe, die Ausrichtung der Wasserpolitik auf die Wechselwirkungen innerhalb des Gewässersystems und mit den anderen Umweltkompartimenten sowie den gebietsspezifischen Schutz der Rohwasserquellen zur Trinkwassergewinnung geschehen.
 - Durch nachhaltiges Management der Wasserkette. Dies ist möglich, indem man sich auf den weiteren Ausbau und die Optimierung der Abwasserinfrastruktur, wo nötig, auf die Instandhaltung der Abwasserinfrastruktur für einen effizienten und effektiven Betrieb, auf die Optimierung und Instandhaltung des Trinkwassernetzes, auf die Durchsetzung der privaten Wasserableitungsverpflichtungen und auf die Begrenzung der Auswirkungen von Einleitungen von Industrieabwässern konzentriert.
- Das Ziel eines mehrschichtigen Risikomanagements in Sachen Wassersicherheit und Dürre (Prävention, Schutz, Vorsorge) anstreben:
 - Indem Hochwasserrisiken nachhaltig reduziert werden, die Auswirkungen des Klimawandels so weit wie möglich abgefedert werden, Bürger/-innen und Sektoren für Hochwasserrisiken sensibilisiert und zum Handeln ermutigt werden, Hochwasserschäden begrenzt werden, dem Wasser der Raum zurückgegeben wird, den es braucht, und der Oberflächenabfluss von Wasser und Sediment reduziert wird.
 - Durch die Reduzierung von Wasserknappheit und die Minimierung der Auswirkungen von Dürre. Dies ist möglich, indem die Auswirkungen des Klimawandels so weit wie möglich abgefedert werden, ein sparsamer Umgang mit Wasser gefördert wird, die Verfügbarkeit von Wasser erhöht wird, Wasser bei Wasserknappheit und Dürren optimal verteilt wird, um die Schäden zu begrenzen, und eine nachhaltige Wasserversorgung sichergestellt wird.

²¹ In der Praxis läuft dies auf eine Überprüfung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hinaus.

- Stärkung von Innovation, Finanzierung, Kooperation und Abstimmung mit anderen Politikbereichen:
 - Indem die Arbeit und Funktionsweise der Partner in allen Politikbereichen ausgebaut und in Innovationen investiert wird. Dies ist möglich, indem man sich auf eine bessere Koordination zwischen der Wasserpolitik und der angrenzenden Politik konzentriert, indem man dem Wasser eine prominente Rolle als strukturierendes Element gibt, das gebietsorientierte Prozesse mitbestimmt, indem man den gebietsorientierten Betrieb rund um das Wasser stärkt, indem man die Interessenvertreter stärker einbezieht, um die Ziele der integrierten Wasserpolitik zu verwirklichen, und indem man Flandern zu einem Versuchsfeld für Innovationen in der integrierten Wasserbewirtschaftung macht.
 - Durch die Entwicklung hin zu einer ausgewogenen Finanzierung von Wasserpolitik und -bewirtschaftung. Dazu werden die Finanzströme entsprechend der Erreichung der Umweltziele neu ausgerichtet, gestärkt und ausgeweitet, die Bezahlbarkeit der Maßnahmen geprüft und das Verursacher- und Kostendeckungsprinzip konsequenter angewendet.

Blue Deal (2020)

Kürzlich genehmigte die flämische Regierung den Blue Deal, um die Anstrengungen im Kampf gegen Dürre und Wasserknappheit zu erhöhen. Als Reaktion auf den Klimawandel und die zunehmende öffentliche Unterstützung hat sich die flämische Regierung dafür entschieden, das Problem der Dürre auf strukturelle Weise anzugehen, mit einem verstärkten Einsatz von Ressourcen und geeigneten Instrumenten, unter Einbeziehung von Industrie und Landwirten als Teil der Lösung und mit einer klaren Vorbildfunktion für die flämischen und andere Behörden.

Der Blue Deal verfolgt sechs Linien:

- Öffentliche Verwaltungen gehen mit gutem Beispiel voran und sorgen für eine angemessene Regulierung;
- Nachhaltiger Wasserverbrauch als Regel;
- Landwirtschaft und Natur als Teil der Lösung;
- Sensibilisierung und Stimulierung von Einzelpersonen, um die Wasserhärte zu senken;
- Erhöhung der Versorgungssicherheit (bezogen auf Wasser);
- Gemeinsames Investieren in Innovationen, um unser Wassersystem intelligenter, robuster und nachhaltiger zu machen.

Bewirtschaftungspläne für Flusseinzugsgebiete

Im Entwurf des Bewirtschaftungsplans für das Flusseinzugsgebiet der Schelde (2020) wird die Wasserpolitik konkreter auf bestimmte Gebiete in Flandern übertragen. Spätestens am 22. Dezember 2021 wird die flämische Regierung den Bewirtschaftungsplan 2022-2027 für das Flusseinzugsgebiet der Schelde und das dazugehörige Maßnahmenprogramm verabschieden. Die Pläne werden Maßnahmen und Aktionen zur Verbesserung des Grundwassers und der Oberflächengewässer und zum Schutz vor Überschwemmungen und Dürre beinhalten. Dieser Plan baut auf dem aktuell gültigen Plan für den Zeitraum 2016-2021 auf.

Das Kernkraftwerk Doel befindet sich im Scheldebecken, genauer gesagt im Niederscheldebecken. Auf der Grundlage der aktuellen Wasserqualität und des Abstands zu den auferlegten Standards der Wasserrahmenrichtlinie wurden im Einzugsgebiet der Niederschelde eine Reihe von vorrangigen Gebieten ausgewiesen, in denen bis 2027 ein guter Wasserzustand erreicht werden muss. Darüber hinaus wurde eine Reihe von Schwerpunktgebieten identifiziert, darunter die Seeschelde. Schwerpunktgebiete sind Oberflächenwasserkörper, für die ein guter ökologischer Zustand bis 2033 als machbar angesehen wird (Klasse 4) oder für die eine signifikante Verbesserung der Wasserqualität erreicht werden kann (Klasse 5), unter der Bedingung, dass die in den dritten und vierten Bewirtschaftungsplänen für das Flusseinzugsgebiet enthaltenen Maßnahmen umgesetzt werden.

Das Aktionsprogramm für die Seeschelde, das ein Schwerpunktgebiet der Klasse 5 umfasst, beinhaltet als gebietsspezifische Maßnahme die weitere Umsetzung des Sigma-Plans im Niederscheldebecken entlang der Schelde. Um einen guten Status in diesem Bereich zu erreichen, sind auch übergreifende Maßnahmen der Sektoren Landwirtschaft, Haushalte und Unternehmen erforderlich. Maßnahmen zum weiteren Ausbau und zur Optimierung

der Abwasserbehandlung sind Teil der generischen Maßnahmen sowie der Flächennutzungspläne und flächendeckenden Umsetzungspläne.

Basierend auf den oben beschriebenen Plänen und politischen Zielen können zur Überprüfung des Projekts, Doel 1 und 2 für weitere 10 Jahre offen zu halten, die folgenden Ziele für das Wassersystem verwendet werden:

- Einen guten Zustand der Oberflächengewässer erhalten, erreichen und eine Verschlechterung vermeiden;
- (Einen guten Zustand des Grundwassers erhalten, erreichen und eine Verschlechterung vermeiden);
- Das Ziel einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette anstreben;
- Hochwasserrisiken begrenzen;
- Das Ziel einer nachhaltigen Wasserversorgung anstreben.

Wie oben angegeben (Scoping, siehe Abschnitt 2.1.1), wurde die Auswirkung auf das Grundwasser auf der Grundlage der Analyse der mit den LTO-Arbeiten verbundenen Eingriffe im Zeitraum 2015 – 2020 und der Abwesenheit zusätzlicher Auswirkungen des Kraftwerks auf das Grundwassersystem (wie in den zuvor durchgeführten Umweltverträglichkeitsprüfungen beschrieben) herausgefiltert.

Der ursprüngliche Grundwasserzustand im Gebiet des Kernkraftwerks war vor dem Bau und der erstmaligen Inbetriebnahme der Kraftwerke Doel 1 und 2 im Jahr 1975 gestört. Durch die Anhebung des Geländes um 4 bis 8 m mit sandigem Baggergut hat sich in dieser Schicht neues Grundwasser in einer phreatischen Zone entwickelt. In diesem Zeitraum wurde der lokale Grundwasserhaushalt (Strömung) auch in der tieferen Grundwasserschicht durch das Anbringen von Fundamenten und Schlitzwänden bis in stabile Tertiärschichten (bis zu einer Tiefe von ca. 15 m) gestört. Und schließlich hat sich die Grundwasserzufuhr seit 1975 durch die Bodenversiegelung des Geländes verändert. In den folgenden Jahrzehnten wurde das Grundwasser in der phreatischen Zone in der Deckschicht durch unfallbedingte Bodenverunreinigungen aufgrund der Lagerung und Verwendung von Schadstoffen am Standort lokal verunreinigt. Seit mehreren Jahrzehnten werden systematisch gesetzlich vorgeschriebene, explorative und deskriptive Bodenuntersuchungen durchgeführt, da VLAREBO-Aktivitäten vorliegen.²² Die Auswertungen zeigen, dass die historische Grundwasserverschmutzung die Sanierungsstandards nicht überschreitet und kein Risiko für die Umwelt und die Gesundheit darstellt. Neue Verunreinigungen wurden in den letzten Jahrzehnten durch die Einhaltung der VLAREM-Vorschriften zur Lagerung gefährlicher Stoffe und durch entsprechende Maßnahmen (Vorbeugung und Sanierung) bei Unfällen, bei denen der Boden oder das Grundwasser verunreinigt werden könnten, vermieden.

Außerdem wird während des Betriebs²³ des Kraftwerks kein Grundwasser verbraucht und das Kraftwerk hat auch keine weiteren Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel oder die lokal (historisch bedingte) vorhandene Grundwasserverschmutzung. Das bestehende Kanalisations- und Kühlwassersystem hat jedoch an einigen Stellen Lecks und führt Grundwasser ab.

Die Arbeiten, die im Rahmen der Anpassungen für die LTO (2015-2020) stattgefunden haben, hatten nur einen begrenzten Einfluss auf das Grundwasser. Während der Arbeiten fand keine Entwässerung statt und die zusätzliche Bodenversiegelung hielt sich in Grenzen, sodass es keine signifikanten zusätzlichen Auswirkungen auf das Grundwasser gab. Für den Zeitraum 2020-2025 besteht die Möglichkeit, dass es infolge von Unfällen bei regulären Wartungsarbeiten zu einer lokalen Boden- oder Grundwasserverschmutzung kommt. Derartige Unfälle werden in geeigneter Weise und in Übereinstimmung mit den gesetzlich geltenden Vorschriften behandelt, sodass keine signifikante Verunreinigung von Boden und Grundwasser zu erwarten ist. Weitere Auswirkungen auf das Grundwassersystem werden nicht erwartet.

²² Die Ergebnisse dieser Bodenuntersuchungen wurden in der Projekt-UVF für die Neugenehmigung (2010) beschrieben und in der UVF für die Arbeiten (2021) ergänzt.

²³ Das Grundwasser in der Nähe der Schelde ist salzhaltig und aus diesem Grund nicht als Betriebswasser geeignet.

2.2.2.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Um beurteilen zu können, ob das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele für das Wassersystem beiträgt oder nicht, und um die Ursache-Wirkungs-Beziehung des Projekts beurteilen zu können, wird im Folgenden ein Überblick über die wichtigsten vorhersehbaren Auswirkungen des Projekts (die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2) auf das Wassersystem gegeben.

Neben den Brennelementen ist Wasser möglicherweise der zweitwichtigste Rohstoff bzw. die zweitwichtigste Ressource des Kernkraftwerks. Das Kernkraftwerk Doel ist für seinen Betrieb stark vom Wassersystem abhängig, da der tertiäre Kreislauf zur Kühlung der Kondensatoren des zweiten Kreislaufs mit Wasser aus der Schelde gespeist wird. Bei den Blöcken Doel 1 und 2 handelt es sich um zwei direkte Kühlkreisläufe mit einer einmaligen Nutzung des Kühlwassers, bei den Blöcken Doel 3 und 4 um geschlossene Kühlsysteme mit einer Zirkulation des absorbierten Scheldewassers zwischen den Kondensatoren und den Kühltürmen. Das Ergebnis ist, dass eine große Menge Oberflächenwasser hochgepumpt wird, sich erwärmt und teilweise verdunstet und dann mit einer etwas höheren Temperatur wieder in die Schelde eingeleitet wird.

Neben dem Temperatureffekt hat das Kühlwasser auch einen erhöhten Chloridgehalt durch die Zugabe von Produkten zur Vermeidung von mikrobiellem Wachstum und Schaumbildung.

Ein positiver Effekt der Verwendung des Scheldewassers, der vor allem im Sommer zum Tragen kommt, ist, dass das abgeleitete Kühlwasser aufgrund des Betriebs der Kühltürme einen höheren Sauerstoffgehalt hat als das Wasser in der Schelde. Oberflächenwasser werden manchmal auch für die Produktion von Betriebswasser (Demineralisierungswasser) verwendet, das nach Gebrauch und Reinigung wieder in die Schelde eingeleitet wird.

Das Kernkraftwerk verbraucht zudem Stadtwasser (Trinkwasser) als Quelle für das Betriebswasser, die Sanitäranlagen und die Auffüllung der Kühlteiche (für die Blöcke Doel 3 und 4). Überschüssiges Betriebswasser wird nach einer chemisch-physikalischen Behandlung wieder in die Schelde eingeleitet. Das Sanitärabwasser wird zusammen mit dem Regenwasserabfluss von Dächern und versiegelten Böden in fünf Biorotoren gereinigt und in die Schelde eingeleitet.

Das Kraftwerk hat zwei Entnahmestellen für Scheldewasser, eine für die Blöcke Doel 1 und 2 und eine weitere am Ufer für die Blöcke Doel 3 und 4. Jeder Biorotor zur Reinigung des Sanitärabwassers hat eine Einleitstelle, das Industrieabwasser und das Kühlwasser werden an der gleichen Stelle in die Schelde eingeleitet.

Sanitär- und Industrieabwasser sowie Kühlwasser müssen die in der Umweltgenehmigung festgelegten Ableitungsstandards erfüllen (Basisgenehmigung aus dem Jahr 2011, zuletzt geändert im Jahr 2019).

Grundwasser wird dabei nicht im Prozess verwendet, ebenso wenig wie aufgefangenes Regenwasser. Das Kraftwerk befindet sich nicht in einem überflutungsgefährdeten Bereich (erhöhtes Gebiet). Auch infolge des Klimawandels (mit höheren Wasserständen und stärkeren Regenfällen) werden für die Zukunft keine größeren Probleme erwartet.

In der Nähe der Entnahmestellen kann es durch den Sog der Pumpen zu einer Fischsterblichkeit kommen. Diese Auswirkung und die sekundäre Auswirkung der (thermischen) Einleitungen auf das aquatische Leben wird in der Disziplin biologische Vielfalt diskutiert und bewertet.

Die wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen auf die Oberflächengewässer sind daher die Wassermengen, die als Rohstoff verbraucht werden (Wasserhaushalt), die Auswirkungen auf den Durchfluss und die Folgen für Temperatur und Wasserqualität der Seeschelde.

Das Wasser, das in die Schelde eingeleitet wird, kommt nicht mit dem Primärkreislauf (dem nuklearen Teil der Anlage) in Berührung. Es besteht daher keine Gefahr einer radioaktiven Verseuchung der Seeschelde (unter normalen Betriebsbedingungen).

Hinsichtlich der Oberflächengewässer muss eine weitere Aufnahme von Stadt- und Scheldewasser sowie eine Einleitung von Abwasser (Sanitär- und Betriebswasser) und Kühlwasser für einen Zeitraum von 10 Jahren berücksichtigt werden. Weitere Auswirkungen auf die Wasserqualität und -quantität der Schelde sind folglich zu

erwarten. Da keine Arbeiten an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in der Schelde geplant sind, werden die Auswirkungen auf die Strukturqualität der Schelde als nicht relevant betrachtet.

2.2.2.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das *Untersuchungsgebiet* für die Disziplin Wasser umfasst alle zum öffentlichen Gewässernetz gehörenden Oberflächengewässer, deren Qualität, Quantität und/oder Struktur durch eine Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 beeinträchtigt werden könnte. Die genaue Abgrenzung des Untersuchungsgebietes hängt von dem Umfang der Auswirkungen ab, die Gegenstand der Untersuchung ist. Konkret wird das Untersuchungsgebiet durch die Seeschelde und genauer gesagt durch die Einflusszone bestimmt, innerhalb derer sich Auswirkungen auf die Wasserqualität infolge von thermischen und Abwassereinleitungen manifestieren können. Im Hinblick auf den Gezeiteneffekt kann grob der Teil der Seeschelde bis ca. 5 km flussaufwärts und flussabwärts der Einleitstellen des Kernkraftwerks als Untersuchungsgebiet definiert werden.

Übertragen auf die im Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet definierten Wasserkörper wird der Zustand des Oberflächenwasserkörpers Seeschelde IV diskutiert.

Die *Referenzsituation* ist im Prinzip die Situation des betroffenen Oberflächengewässers im Jahr 2015. Wir gehen davon aus, dass in den meisten Fällen die aktuelle Situation (2020) eine hinreichend gute Annäherung an die Situation 2015 bieten wird. Mögliche autonome oder gesteuerte Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2025 (grundlegend) von der Situation im Jahr 2015 unterscheidet, könnten für die Seeschelde zum einen eine weitere Verbesserung der Wasserqualität sein (durch weitere Sanierungsbemühungen im Flusseinzugsgebiet), zum anderen mögliche beobachtbare Auswirkungen als Folge des Klimawandels in diesem Zeitraum (Temperatureffekte oder Veränderungen der Strömung oder der Gezeiten).

In der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten wurde eine umfangreiche Übersicht über die Qualität der Seeschelde erstellt, basierend auf den Messdaten des VMM der Zeiträume 2013-2014 und 2015-2019.

Die Seeschelde, sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts der Einleitstelle des KKW Doel, erfüllt nicht alle Qualitätsziele. Die kritischsten Parameter sind Temperatur (im Sommer mehrere Tage über 25 °C), gelöster Sauerstoff (der P10-Wert von 6 mg O₂/L wird nicht immer eingehalten), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Nitrat + Nitrit + Ammonium, gelöstes Bor, Arsen, Beryllium, Cadmium und Uran. Basierend auf dem Prati-Index für gelösten Sauerstoff wird seit Beginn der Messungen im Jahr 1994 jedoch eine allmähliche Verbesserung der Sauerstoffbilanz an allen Messstellen beobachtet. Generell hat sich die Sauerstoffbilanz vor allem stromabwärts des Kernkraftwerks verbessert, was auf die größere Gezeitenströmung in Stromabwärtsrichtung zurückzuführen ist.

Für die Beschreibung und Charakterisierung der Qualität der Oberflächengewässer der Schelde in der Referenzsituation (2015) und im Zeitraum 2015-2019 kann auf die Zustandsbewertung im Rahmen des 2. und 3. Bewirtschaftungsplans für das Flusseinzugsgebiet der Schelde (Niederschelde) gemäß Wasserrahmenrichtlinie verwiesen werden (Tabelle 7).

Die Schelde auf Höhe des KKW Doel ist Teil des flämischen Wasserkörpers Seeschelde IV mit dem Code VL17_43 (früher VL08_43). Dieser Wasserkörper ist als Übergangsgewässer des Typs brackiges makrotides Tiefland-Ästuar (O1b) kategorisiert und hat den Status eines stark veränderten Wasserkörpers. Die Bewertung im Rahmen des 2. Bewirtschaftungsplans (2016-2021) basiert auf Messergebnissen der Jahre 2005-2013 und kann somit als repräsentativ für die Referenzsituation 2015 angesehen werden; die Bewertung im Rahmen des 3. Bewirtschaftungsplans (2022-2027) basiert auf Messergebnissen der Jahre 2016-2018 und kann somit als repräsentativ für die aktuelle Situation 2020 angesehen werden.

Tabelle 7: Bewertung des Zustands des Wasserkörpers Seescheide IV.

Rahmenwerk: Zweiter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet	Rahmenwerk: Dritter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet (Entwurf)
Messergebnisse 2005-2013	Messergebnisse 2018
Die Gesamtbewertung des ökologischen Potenzials der Seescheide IV ist allgemein unzureichend .	Die Gesamtbewertung des ökologischen Potenzials der Seescheide IV ist allgemein unzureichend .
Die Bewertung der biologischen Elemente lautet unzureichend : <ul style="list-style-type: none"> - unzureichend für Makrophyten; - mäßig für Makroinvertebraten; - unzureichend für Fische. 	Die Bewertung der biologischen Elemente lautet unzureichend : <ul style="list-style-type: none"> - unzureichend für Makrophyten; - mäßig für Makroinvertebraten; - gut für Fische.
Die Bewertung der physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet allgemein schlecht . Für die Bewertung der einzelnen physikalisch-chemischen Elemente gilt: <ul style="list-style-type: none"> - Schlechte Bewertung für Nitrat+Nitrit+Ammonium; - Gute Bewertung für Temperatur, gelösten Sauerstoff und pH-Wert. 	Die Bewertung der physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet allgemein schlecht . Für die Bewertung der einzelnen physikalisch-chemischen Elemente gilt: <ul style="list-style-type: none"> - Schlechte Bewertung für Nitrat+Nitrit+Ammonium; - Gute Bewertung für gelösten Sauerstoff und pH-Wert.²⁴
Das Ergebnis der Bewertung für die spezifischen Schadstoffe, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet schlecht . Es gibt eine Überschreitung für gelöstes Arsen, Bor und Uran.	Das Ergebnis der Bewertung für die spezifischen Schadstoffe, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet nicht gut . Es gibt eine Überschreitung für gelöstes Arsen, Bor und Uran.
(Die Bewertung der Hydromorphologie lautet unzureichend)	Die Bewertung der Hydromorphologie lautet unzureichend .
Die Bewertung des chemischen Zustands für die Seescheide IV lautet schlecht . Es gibt Überschreitungen für PAK und Gesamtquecksilber.	Das Ergebnis der Bewertung des chemischen Zustands für die Seescheide IV lautet nicht gut . Es gibt Überschreitungen für PAK, polybromierte Diphenylether, Tributylzinn, Perfluoroktansulfonsäure, Heptachlorepoxid und Gesamtquecksilber.
Der Gewässergrund der Seescheide IV ist verschmutzt .	Der Gewässergrund der Seescheide IV ist leicht verschmutzt .

Der globale ökologische Zustand der Seescheide IV ist im letzten Jahrzehnt gleich geblieben (unzureichend), es ist jedoch eine Verbesserung des Fischbestandes zu beobachten.

Da das Projekt Auswirkungen auf eine Einleitung von Industrieabwässern haben kann, sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die Auswirkungen auf den ökologischen Zustand des betroffenen Wasserkörpers (Seescheide IV - VL17_43) zu beurteilen. Schließlich darf sich die Situation nicht verschlechtern. Hydromorphologische Veränderungen oder eine Auswirkung auf den Grundwasserkörper sind bei dem Projekt nicht gegeben.

²⁴ Im dritten Bewirtschaftungsplan für das Einzugsgebiet ist die Temperatur als sogenannter „Leitparameter“ zur Beurteilung des physikalisch-chemischen Zustands gemäß der WRRL-Systematik nicht mehr enthalten. Die Umweltqualitätsnorm bleibt selbstverständlich bestehen (wie für andere physikalisch-chemische Parameter, die keine Leitparameter sind) und gilt für alle Oberflächenwasserkörper. Auch die Temperatur ist nach wie vor im Messnetz enthalten. Im Zeitraum 2016-2018 wurde die Temperatur für die Seescheide IV mit „mäßig“ bewertet.

Im Falle eines Übergangsgewässers sind die zu bewertenden physikochemischen Elemente: gelöster Sauerstoff, (Temperatur), pH-Wert und Nitrat+Nitrit+Ammonium. Für die Vorhersage von Auswirkungen auf biologische Elemente müssen die Parameter biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSV) und chemischer Sauerstoffverbrauch (CSV) untersucht werden (ohne Berücksichtigung für die Zustandsbewertung).

Darüber hinaus muss eine Bewertung für bestimmte Schadstoffe, die zur Bestimmung des ökologischen Zustands beitragen, und für Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen, für diejenigen Parameter durchgeführt werden, bei denen die Umweltqualitätsnorm im gegenwärtigen Zustand überschritten wird oder bei denen die Konzentration ansteigen würde. Und schließlich müssen die biologischen Qualitätselemente bewertet werden (wenn möglich).

Bei der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten wurde die folgende Bewertung durchgeführt:

- Physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen:

Für gelösten Sauerstoff wird angenommen, dass keine Verschlechterung eintritt, wenn die Normen für den biologischen und chemischen Sauerstoffbedarf eingehalten werden. Wenn die physikalisch-chemischen Elemente eine Verschlechterung aufweisen, wird davon ausgegangen, dass auch die biologischen Qualitätselemente betroffen sind und sich der Zustand des Wasserkörpers verschlechtert.

Im Durchschnitt erfolgen die Einleitungen bei neutralem pH-Wert; es werden keine Veränderungen des pH-Wertes durch das Projekt erwartet.

Hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen der Einleitung auf die Temperatur der Schelde wird gefolgert, dass es zu keiner Verschlechterung der Temperatur des gesamten Wasserkörpers infolge der thermischen Einleitung aus dem KKW Doel kommen wird.

Für die Parameter Nitrit+Nitrat+Ammonium, BSV und CSV wurde die Auswirkung der Einleitung als vernachlässigbar berechnet; daher wird keine Veränderung des Zustands des Wasserkörpers erwartet.

- Spezifische Schadstoffe, die den ökologischen Zustand mitbestimmen:

Uran ist kein relevanter Parameter, da es vom KKW Doel nicht abgeleitet wird. Die berechnete Auswirkung für die Parameter Arsen und Bor ist vernachlässigbar; daher wird für die „Bewertung der spezifischen Schadstoffe, die zum ökologischen Zustand beitragen“ keine Verschlechterung erwartet.

- Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen:

Im jetzigen Zustand überschreiten folgende Parameter die Basisumweltqualitätsnorm: PAK, polybromierte Diphenylether, Tributylzinn, Perfluoroktansulfonsäure, Heptachlorepoxyd und Gesamtquecksilber.

Für den Parameter Quecksilber wurde die Auswirkung der Einleitung berechnet. Die Auswirkung ist vernachlässigbar. Die anderen Parameter werden vom KKW Doel nicht eingeleitet. Für die Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen, wird daher keine Verschlechterung erwartet.

- Biologische Qualitätselemente:

Die Auswirkungen auf biologische Qualitätselemente können nicht quantitativ bestimmt werden. Basierend auf den Bewertungen in der Disziplin biologische Vielfalt zu den Auswirkungen von Wasserentnahme, Kühlwassereinleitung und Einleitung chemischer Stoffe auf aquatische Organismen in der Schelde wird keine Verschlechterung der biologischen Qualitätselemente im gesamten Wasserkörper erwartet.

Aufgrund dieser Bewertung ist nicht zu erwarten, dass die Durchführung des Projekts (längeres Offenhalten des Kernkraftwerkes) zu einer Verschlechterung des Zustandes führt oder die für den gesamten Wasserkörper gesetzten Ziele gefährdet werden. Daraus folgt, dass diese Aussage auch für den Fall gilt, dass Doel 1 und 2 stillgelegt werden (Referenzszenario), da diese Situation impliziert, dass die über die Einleitungen in die Seeschelde eingehende Schadstoffbelastung geringer sein wird als für den Fall, dass Doel 1 und 2 10 Jahre länger offen gehalten werden.

2.2.2.4 Beschreibung der Auswirkungen

Diese Beschreibung basiert auf den verfügbaren Daten und Informationen in den jährlichen Umwelterklärungen des Kraftwerksbetreibers und den verschiedenen Umweltverträglichkeitsprüfungen, die im Zeitraum 2010 – 2020 erstellt wurden (Projekt-UVF für die erneute Genehmigung von Doel 1, 2, 3 und 4 im Jahr 2010, Screening-Schriftsatz für die LTO-Arbeiten zur längeren Offenhaltung von Doel 1 und 2 im Jahr 2015 und die UVF für die LTO-Arbeiten im Jahr 2021).

Die Verschiebung der Abschaltung um 10 Jahre bedeutet, dass während dieser Zeit weiterhin Wasser von den Kraftwerken Doel 1 und 2 verbraucht und abgeleitet wird. Das Kraftwerk verwendet Trinkwasser/Stadtwasser (als Betriebswasser, für die Wartung und in den sanitären Anlagen) und Scheldewasser (als Kühlwasser). Grundwasser wird nicht verwendet, ebenso wenig wie Regenwasser. Abbildung 10 zeigt eine Übersicht des Wasserverbrauchs für das Jahr 2019. Das von Dächern und versiegelten Böden abfließende Regenwasser, das teilweise in das sanitäre Abwassersystem gelangt, ist nicht in der Wasserbilanz enthalten.

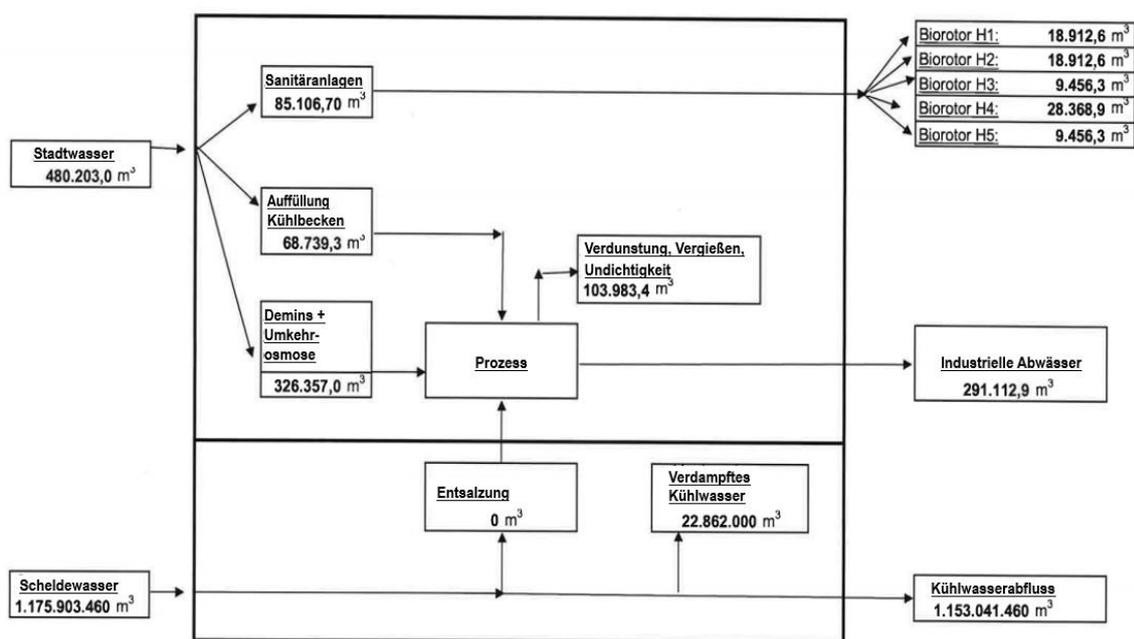


Abbildung 10: Wasserbilanz des KKW Doel für 2019.

Stadtwasser wird hauptsächlich für die Produktion von demineralisiertem Wasser verwendet, das für die Dampferzeugung im Sekundärkreislauf, für die Auffüllung von Kühlbecken und für sanitäre Zwecke eingesetzt wird.²⁵

Das Sanitärabwasser und das Regenwasser (von Dächern und versiegelten Flächen) werden zu fünf Biorotoren transportiert, wo sie gereinigt werden, bevor sie in die Schelde eingeleitet werden (fünf Einleitstellen). Das Sanitärabwasser wird zusammen mit dem Regenwasser in fünf Sammelgruben gesammelt. Diese Gruben sind mit Tauchpumpen ausgestattet, die das Wasser bei starken Regenfällen direkt in die Schelde pumpen. Unter normalen Umständen wird dieses Abwasser in den Biorotoren gereinigt, bevor es in die Schelde eingeleitet wird. Im Jahr 2019 betrug der jährliche Durchfluss für häusliches Abwasser (Mischung aus Sanitär- und Regenwasser) ca. 85.106 m³.

²⁵ In den vier kleinen Hilfskühltürmen (mit Belüftung per Saugzug) von Doel 1 und 2 wird unter bestimmten Umständen auch Stadtwasser verwendet. Diese sind unter normalen Bedingungen nicht in Betrieb. Die Kühlung des Systems erfolgt normalerweise durch Scheldewasser. Für periodische Tests und bei Unfällen funktionieren sie jedoch mit Stadtwasser.

Das *Industrieabwasser* besteht aus dem Abwasser aus der Regeneration der Demineralisierungsanlagen von Doel 1 bis Doel 4 und aus der Wasser- und Abwasseraufbereitungsanlage, Reinigungswasser (Böden) aus allen Anlagen und aus der Wasser- und Abfallaufbereitungsanlage, (nichtradioaktivem) behandeltem Abwasser und Destillat aus dem Primärkreislauf aus der Wasseraufbereitungsanlage und ammoniakreichem Abwasser aus den Vakuumpumpen (Umkehrosmose-Anlage). Die verschiedenen Abwasserströme werden neutralisiert und physikalisch-chemisch behandelt, bevor sie abgeleitet werden.

Die charakteristischsten im Industrieabwassers vorhandenen Parameter sind:

- Chloride, aus der Salzsäure, die zur Regeneration der Ionenaustauscher der Demineralisierungsanlagen verwendet wird;
- Metalle, wie Molybdän und Chrom, die zur Behandlung der spezifischen Wasserkreisläufe verwendet werden;
- Bor, das aus der Borsäure im Wasser aus dem Primärkreislauf stammt. (Die Borsäure wird zur Steuerung der Reaktivität des Kerns verwendet). Wenn die Borsäure nicht zurückgewonnen werden kann, wird sie nach der Reinigung abgeleitet;
- Stickstoff, aus stickstoffhaltigen Bestandteilen im Abwasser aus den Konditionierungsmitteln in den Wasser-Dampf-Kreisläufen und den im Stadtwasser vorhandenen Nitraten/Nitriten. Im Sekundärkreislauf wird die Korrosion mittels pH-Kontrolle und den Einsatz von Ammoniak und Hydrazinhydrat kontrolliert.

Im Jahr 2019 betrug der Jahresdurchfluss für Industrieabwasser ca. 291.113 m³.

Scheldewasser wird nur als *Kühlwasser* im Tertiärkreislauf verwendet. Das Kühlwasser wird an zwei Stellen aus der Schelde entnommen: eine offene Entnahme in der Nähe des Scheldeufers für Doel 3 und 4 und eine Entnahmestelle in der Schelde selbst für Doel 1 und 2. Das Kühlwasser wird nach Gebrauch über eine gemeinsame Einleitstelle wieder in die Schelde eingeleitet. Das Wasser wird über eine Pumpstation zu den Blöcken Doel 1 und Doel 2 gepumpt. Die Kühlkreisläufe von Doel 1 und 2 sind direkte oder offene Kühlkreisläufe, d. h. das Kühlwasser, das durch den Kondensator fließt, wird einmal verwendet. Beim Kühlkreislauf von Doel 3 und 4 handelt es sich um geschlossene Kühlkreisläufe, bei denen das Kühlwasser zwischen den Kühltürmen und dem Kondensator zirkuliert. Der Teil des Kühlwassers, der verdunstet oder abgeleitet wird, wird aufgefüllt. Das gesamte Kühl- und Reinigungsabwasser wird über 1 Einleitstelle (Punkt K3) abgeleitet. Über ein Verteilersystem kann das Kühlwasser von Doel 1 und 2 jedoch entweder direkt zur Einleitstelle K3 gefördert oder zu den Kühltürmen von Doel 3 und/oder 4 gepumpt werden.

Das benutzte Kühlwasser wird zusammen mit dem Reinigungs- und dem Industrieabwasser an der gleichen Stelle in die Schelde eingeleitet.

Im Jahr 2019 wurden 1.153.041.460 m³ Kühlwasser aus der Schelde entnommen. Die zulässige Menge beträgt 1.500.000.000 m³.

Abbildung 11 zeigt die Menge des abgeleiteten Kühlwassers über einen Zeitraum von 10 Jahren (2015-2025) für das Projekt mit Aufschub im Vergleich zum Referenzszenario (ohne Aufschub). Die Zahlen bis einschließlich 2019 basieren auf den im Zeitraum 2013–2019 gemessenen tatsächlich abgeleiteten Durchflussmengen (Quelle Electrabel, Wasserbilanzdaten). Das durchschnittliche Volumen des entnommenen Scheldewassers für diesen Zeitraum betrug ca. 1.145 Mio. m³, das durchschnittliche Volumen des abgeleiteten Kühlwassers ca. 1.128 Mio. m³ (ca. 1,5 % verdunstet). Die Mengenschwankungen sind darauf zurückzuführen, dass ein Teil der Anlagen stillgelegt wurden (z. B. 2015 und 2018).

Für den Zeitraum 2020–2025 wurde von Electrabel eine Prognose erstellt, die auf der erwarteten Anzahl von Betriebsstunden und der durchschnittlichen stündlichen Durchflussmenge der Pumpen an der Ansaugstelle für Doel 3 und 4 basiert (UVP LTO 2020). Der zukünftige jährliche Scheldewasserverbrauch für Doel 3 und 4 wurde auf ca. 704 Mio. m³ (Jahresmenge) geschätzt, was etwa 60 % des Scheldewasserverbrauchs der vier Kraftwerke zusammen (1.173 Mio. m³) entspricht. Daraus lässt sich ein Verbrauch von Doel 1 und 2 von ca. 469 Mio. m³ pro Jahr für den Zeitraum 2020-2025 ableiten.

Es ist zu beachten, dass Doel 3 ab 2023 in beiden Alternativen nicht mehr in Betrieb ist. Ab 2015 sind Doel 1 und 2 im Referenzszenario nicht mehr in Betrieb, was den Bedarf an Kühlwasser reduziert.

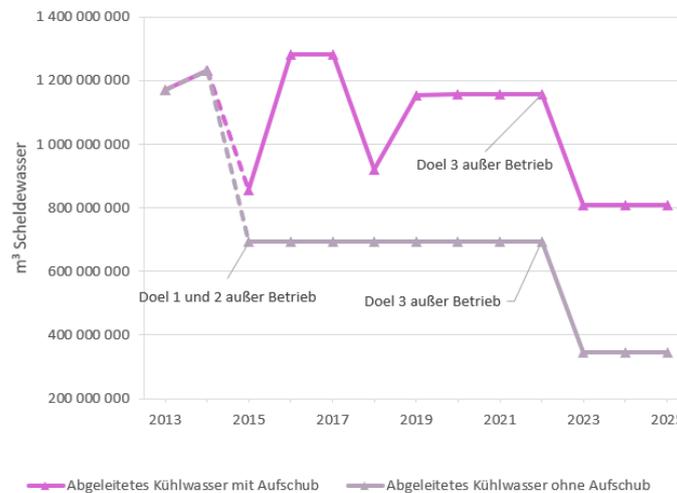


Abbildung 11: Abgeleitetes Kühlwasservolumen als Folge der aufgeschobenen Abschaltung im Vergleich zur Referenzsituation (kein Aufschub).

Der Verbrauch von Stadtwasser wird auch im Referenzszenario sinken, aber es wird angenommen, dass es sich dabei nicht um eine drastische Reduzierung handeln wird. Dies hat Electrabel in Zeiträumen beobachtet, in denen bestimmte Kraftwerke wegen Wartungsarbeiten außer Betrieb waren. Nur der Verbrauch von Stadtwasser für den Dampfkreislauf wird voraussichtlich leicht sinken.

Hinsichtlich der Oberflächengewässer muss eine weitere Aufnahme von Stadt- und Scheldewasser sowie eine Einleitung von Abwasser (Sanitär- und Betriebswasser) und Kühlwasser für einen verlängerten Betriebszeitraum von 10 Jahren berücksichtigt werden. Tabelle 8 fasst die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien in Bezug auf die Volumenmenge an Kühlwasser und Abwasser (Sanitär- und Industrieabwasser) zusammen. Die Unterschiede zwischen den Alternativen in Bezug auf den städtischen Wasserverbrauch und damit die Ableitung von Sanitär- und Industrieabwasser sind gering und wurden nicht gesondert veranschlagt. Über einen Zeitraum von 10 Jahren bedeutet dies einen weiteren Verbrauch an Stadtwasser von ca. 4,2 Mio. m² oder ca. 0,4 Mio. m³ pro Jahr. Weitere Auswirkungen auf die Wasserqualität und -quantität der Schelde sind folglich zu erwarten.

Tabelle 8: Abgeleitetes Kühlwasservolumen mit und ohne Aufschub der Abschaltung.

Ableitung		10-jähriger Aufschub der Abschaltung	Referenzszenario (ohne Aufschub)
Kühlwasser	Gesamtmenge	11,4 Mrd. m ³	6,7 Mrd. m ³
	Durchschnitt pro Jahr	1,14 Mrd. m ³	0,67 Mrd. m ³
Sanitäranlagen	Gesamtmenge	600.000 m ³	< 600.000 m ³
	Durchschnitt pro Jahr	60.000 m ³	< 60.000 m ³
Industriell	Gesamtmenge	3 Mio. m ³	< 3 Mio. m ³
	Durchschnitt pro Jahr	300.000 m ³	< 300.000 m ³

Aus den von Electrabel veröffentlichten jährlichen Umwelterklärungen, den Umweltverträglichkeitsprüfungen von 2010 und 2020 und dem Screening-Schriftsatz von 2015 lässt sich ableiten, dass die Hauptauswirkung des Betriebs des Kernkraftwerks auf das Wassersystem die Einleitung von Abwasser und Kühlwasser in die Schelde ist. Es sind Auswirkungen auf die Quantität (Durchflussmenge) und Qualität der Schelde zu erwarten.

Quantität

Unter normalen Umständen werden ca. 180.000 m³/h Scheldewasser zu Kühlzwecken in den Tertiärkreislauf gepumpt. Dies entspricht 0,71 % der Durchflussmenge der Schelde, die auf der Höhe von Doel ca. 7.000 m³/s beträgt. Dieser Wert ist der Durchschnitt einer Messung über sechs Stunden während der Flutphase. Dieser Effekt ist vernachlässigbar.

Im Jahr 2019 verbrauchte das Kernkraftwerk Doel 1.175.903.460 m³ Scheldewasser. Etwa 22.862.000 m³ verdampften in den Kühltürmen und 1.153.041.460 m³ wurden wieder in die Schelde eingeleitet. Durch die Einleitung von Sanitär- und Industrieabwässern wurden im Jahr 2019 ca. 85.107 m³ bzw. 291.113 m³ eingeleitet. Diese Mengen sind ein Bruchteil des entnommenen Kühlwasservolumens und kompensieren einen kleinen Teil des Verdunstungsverlustes (1,6 %), aber, wie gesagt, vernachlässigbar im Vergleich zum Kühlwasserdurchfluss (der an sich keinen signifikanten Einfluss auf den Durchfluss der Schelde hat).

Im Zeitraum 2013–2018 schwankten die Mengen im Verhältnis dazu, ob eine oder mehrere Einheiten stilllagen oder nicht (Minimum 867.049.790 m³ im Jahr 2015 bis Maximum 1.306.752.910 m³ im Jahr 2016).

Für die kommenden Jahre (2020-2025) wird eine ähnliche Jahresmenge erwartet (1.173 Mio. m³ für 2020, 2021 und 2022, siehe oben, und ab 2023, nach der Abschaltung von Doel 3 ca. 821 Mio. m³). Selbst dann werden die Auswirkungen auf das Wassersystem in Bezug auf die Durchflussmenge nie ein Problem darstellen, aber natürlich größer sein als im Referenzszenario (2015–2025), in dem Doel 1 und 2 ab 2015 und Doel 3 ab 2022 den Betrieb einstellen. Der Unterschied zwischen der Alternative mit und ohne Aufschiebung beträgt auf Jahresbasis 58 %, ist aber in Bezug auf die Auswirkung auf die Durchflussmenge der Schelde in allen Fällen vernachlässigbar.

Im Zeitraum 2015–2025 werden keine wesentlichen Unterschiede im Grad der Bodenversiegelung erwartet, weder für das Projekt mit aufgeschobener Abschaltung noch für das Referenzszenario, in dem Doel 1 und 2 außer Betrieb genommen würden. Der hohe Versiegelungsgrad (ca. 52 %, das entspricht ca. 56 ha versiegelter Fläche) und die Tatsache, dass das abfließende Regenwasser zusammen mit dem Sanitärabwasser in einer Mischkanalisation landet, die bei (Stark-)Regenfällen zu häufigen Überläufen der Sammelgruben in die Schelde führt, hat in beiden Varianten einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Abfluss der Schelde, aber einen negativen Einfluss auf die Wasserqualität. Schließlich erfüllt die Schelde noch nicht die Umweltqualitätsnormen für N, P und CSV.

Eine Frage, die im Rahmen des Wassertests ebenfalls gestellt werden muss, ist, ob das Gelände des KKW Doel in seinem jetzigen Zustand und in der nahen Zukunft (bis ca. 2025) hochwassergefährdet ist. In einem ersten Schritt wird die Karte der hochwassergefährdeten Gebiete (2017) zurate gezogen, d. h. es wird geprüft, ob in naher Zukunft erhöhte Überschwemmungsrisiken durch den Klimawandel, (Stark-)Regenfälle oder den steigenden Meeresspiegel zu erwarten sind. In jedem Fall befindet sich das Kernkraftwerk nicht in einem Gebiet, das tatsächlich oder potenziell überflutungsgefährdet ist. Immerhin ist das Kraftwerk auf stark erhöhtem Gelände (+ 8,86 m TAW) gebaut und der Sigma-Deich liegt lokal bei 12,08 m TAW. Die tiefer liegenden Polder westlich des KKW Doel liegen jedoch in potenziell hochwassergefährdeten Gebieten. Kurzfristig (innerhalb von 5 oder 10 Jahren) werden unter beiden Alternativen/Szenarien keine Probleme in diesem Bereich erwartet. Weitere Details entnehmen Sie bitte der Disziplin Klima.

Qualität

Im Zeitraum 2015-2019 variierte die Dauer des Überlaufbetriebs der Sammelbecken zwischen 12 und 46 Tagen. Nicht nur Regenwasser landet in der Kanalisation für Mischwasser, sondern auch austretendes Kühlwasser aus den unterirdischen Stollen und sogar Grundwasser (das von Natur aus Arsen enthält) gelangt über das Erdreich in die Kanalisation und die Sammelbecken. Dieses Eindringen von Kühlwasser und in geringerem Maße auch von Grundwasser in die Kanalisation für Mischwasser erklärt auch die häufigen Überläufe. Wenn Doel 1 und 2 10 Jahre

länger offen gehalten werden, wird diese Überlaufsituation sicherlich aufrechterhalten, im Referenzszenario mit nur Doel 3 und Doel 4 wird sich der Versiegelungsgrad nicht wesentlich ändern und das Sanitärabwasser wird sich wahrscheinlich auch nicht drastisch reduzieren. Da das Kanalisationssystem für Mischwasser bestehen bleiben wird und Kühl- und Grundwasser weiterhin über die undichten Stollen in die Kanalisation gelangen können, wird nur ein geringer Unterschied in der Überlaufhäufigkeit zwischen den beiden Alternativen erwartet.

Hinsichtlich der Qualität muss weiterhin zwischen abgeleitetem Kühlwasser, Sanitärabwasser und Industrieabwasser unterschieden werden.

Das *Kühlwasser* hat eine thermische Auswirkung auf die Schelde, einen erhöhten Chlorgehalt durch die Beigabe von NaOCl zur Verhinderung von mikrobiellem Wachstum und einen erhöhten Sauerstoffgehalt durch die Belüftung in den Kühltürmen. Bevor das Kühlwasser zurück in den Fluss fließt, wird es in den Kühltürmen abgekühlt, wo der aufsteigende Luftstrom die Sauerstoffkonzentration im Wasser erhöht und die Temperatur senkt. Die Einleitungsstandards schreiben vor, dass das Kühlwasser, das zurück in die Schelde fließt, nicht heißer als 33 °C sein darf. Die durchschnittliche tägliche Einleitungstemperatur muss unter 32 °C liegen und die durchschnittliche Einleitungstemperatur über 30 Tage gesehen darf den Grenzwert von 30 °C nicht überschreiten. Im Jahr 2019 wurden die gesetzlichen Grenzwerte, trotz der Hitzewelle, eingehalten. Die durchschnittliche momentane Ableitungstemperatur betrug 24,26 °C, die Tagesdurchschnittstemperatur 24,24 °C und die monatliche Durchschnittstemperatur 24,11 °C. In den Jahren 2017 und 2018 (beides ebenfalls sehr warme Jahre) wurden diese Normen ebenfalls eingehalten und es wird erwartet, dass dies unter ähnlichen Bedingungen auch im kommenden Zeitraum (2020–2025) der Fall sein könnte.

In der UVP von 2010 und der von 2020 wird die Auswirkung des Abwassers und Kühlwassers auf die Schelde ausführlich diskutiert. Die wichtigste Schlussfolgerung ist, dass, soweit es sich um Abwasser handelt, die durchschnittliche berechnete Konzentrationserhöhung in der Schelde aufgrund der Aktivitäten des KKW Doel im Vergleich zu den Umweltqualitätsnormen (UQN) in den Jahren 2013–2014, die dem Referenzzeitraum (2015–2025) vorausgehen, kleiner als 0,1 % war, was als vernachlässigbare Auswirkung angesehen wurde. Da die Qualität des Abwassers im Zeitraum 2015–2019 insgesamt nicht schlechter war, kann für diesen Zeitraum davon ausgegangen werden, dass auch keine relevanten Auswirkungen auf die Qualität der Schelde zu beobachten sind. Für den zukünftigen Zeitraum (2020–2025) werden unter normalen Betriebsbedingungen keine signifikanten Auswirkungen auf die Wasserqualität erwartet. Wenn sich die Qualität des Scheldewassers in den nächsten fünf Jahren noch weiter verbessert, kann der relative Beitrag der Ableitung des KKW Doel natürlich etwas größer ausfallen, aber die Auswirkung wird immer noch vernachlässigbar sein.

Im Zeitraum 2013–2017 trat jedoch ein Problem in Bezug auf eine zu hohe Nitritkonzentration im Betriebsabwasser auf. Im Jahr 2013 wurde die Ableitungsnorm (2 mg/l) überschritten, in den Jahren 2014 und 2015 lag die durchschnittliche Konzentration unter der Ableitungsnorm, aber es wurden immer noch Spitzenkonzentrationen über der Ableitungsnorm gemessen, und in den Jahren 2016 und 2017 wurden zwei Spitzen und eine Ableitungsspitze beobachtet. Es wurde vermutet, dass die Stillstände der Geräte einen Einfluss darauf hatten. Die Ursache für die Spitzen war ein Zusammentreffen von unvermeidbaren Bedingungen, die ideale Voraussetzungen für die Entwicklung von biologischem Wachstum in einem Abwassertank schufen. Durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen (z. B. kontinuierliche Messung und schnelleres Eingreifen), die Modifizierung der Anlage, den besseren Betrieb der D3-Sammelanlage und Verfahren bei Nichtverfügbarkeit konnte eine Nitritspitze im Jahr 2018 vermieden werden. Im Jahr 2019 wurde die Ableitungsnorm für Nitrit vorübergehend von 2 auf 8 mg Nitrit-N pro Liter erhöht (bis Ende 2021), wodurch (für Nitrit) weiterhin innerhalb der Normen operiert werden konnte. Die gesamte eingeleitete N-Belastung ist seit 2017 unter Kontrolle (Abbildung 12). Im Jahr 2019 wurde die zukünftige Norm von 2 mg N-NO₂/l noch sporadisch überschritten, aber die Konzentration lag im Durchschnitt unter dem Standard.

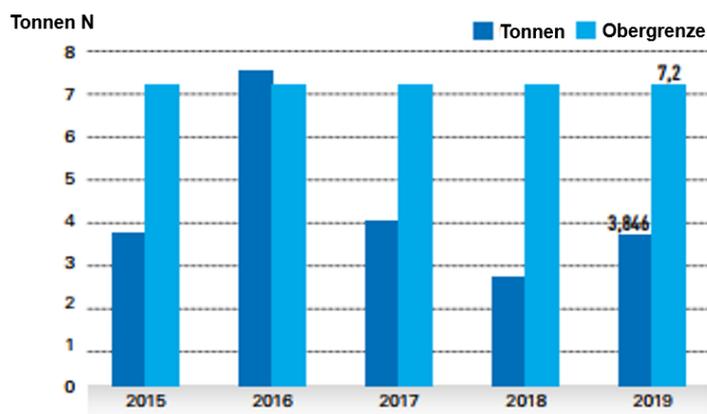


Abbildung 12: N-Belastung im Industrieabwasser im Zeitraum 2015-2019.

Ein weiteres Problem, das sich anno 2019 stellte, ist das Auftreten überhöhter AOX-Werte in Sanitär- und Industrieabwässern sowie im Kühlwasser. NaOCl wird dem Kühlwasser als Konditionierungsmittel zugegeben, um ein Wachstum im Kühlsystem zu verhindern. Dies kann zur Bildung von AOX führen. Eine optimale Konditionierungsregelung kann dafür sorgen, dass der Umfang des NaOCl-Einsatzes und der Zeitraum der Konditionierung reduziert wird, wodurch die Bildung und Ableitung von AOX verringert wird. Der wichtigste Regelparameter scheint der Einsatz von Aktivchlor zu sein. Derzeit basiert die Dosierung von NaOCl auf der Analyse des überschüssigen aktiven Chlors und den Erfahrungen mit der Kühlturmdichtung, aber da die Nachweisgrenze der Aktivchlormessung zu hoch ist, ist noch keine Feinabstimmung mit dem Ziel eines geringeren NaOCl-Verbrauchs, geringerer Aktivchlorgehalte im abgeleiteten Kühlwasser und weniger AOX-Bildung möglich.

Bezüglich der Einleitung von *Kühlwasser* ist als Folge der Kühlwassereinleitung des KKW Doel eine erhebliche Temperaturerhöhung (über 3 °C) im Bereich des Leitdamms bis maximal ca. 1.050 m von der Einleitungsstelle zu beobachten. Relevante, aber akzeptable Temperaturerhöhungen zwischen 1 °C und 3 °C treten bei Ebbe und beim Stillstand bei Niedrigwasser bis maximal 1.300 m von der Einleitungsstelle entfernt auf, also noch innerhalb des Leitdamms. Bei Flut tritt außerhalb des Leitdamms bis maximal 500 m Entfernung von der Einleitungsstelle in östliche Richtung und maximal 800 m stromaufwärts der Einleitungsstelle eine relevante Temperaturerhöhung zwischen 1 °C und 3 °C auf. Das Gebiet innerhalb des Leitdamms bildet eine Wärmesperre für bestimmte Wasserorganismen. Für dieses Gebiet werden die Umweltqualitätsnormen bezüglich der Temperatur für die Schelde infolge der Kühlwassereinleitung des KKW Doel nicht eingehalten. Die Fahrrinne der Schelde östlich des Leitdamms bleibt für Wasserorganismen jedoch passierbar. Die durchschnittliche Querschnittsfläche des Gebiets innerhalb des Leitdamms scheint nicht größer als 25 % der Querschnittsfläche der Schelde zu sein. Die Fahrrinne der Schelde östlich des Leitdamms wird jedoch jederzeit als passierbar für Wasserorganismen erachtet. Für eine weitere Bewertung dieser Auswirkung sei auf die Disziplin biologische Vielfalt verwiesen.

Längerfristig kann der Klimawandel einen negativen Einfluss auf die Kühlkapazität des Scheldewassers haben. Wenn die Temperatur der Schelde infolge des Klimawandels ansteigt, wird die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers proportional ansteigen, mit der Möglichkeit einer häufigeren Begrenzung der maximal einzuleitenden thermischen Belastung auf Tagesbasis (vgl. Genehmigungsbedingungen), insbesondere im Sommer. Darüber hinaus sind längerfristig weitere negative Auswirkungen zu erwarten, wenn es infolge des Klimawandels zu einer deutlichen Abnahme der Durchflussmenge der Schelde kommt. Angesichts des prognostizierten Anstiegs des Meeresspiegels (und der bereits spürbaren Zunahme der Gezeitenbewegung) scheint dies jedoch keine Probleme für den Tidefluss, der die Schelde an dieser Stelle ist, zu verursachen, insbesondere nicht innerhalb der nächsten 5 Jahre. Es konnte noch nicht messbar festgestellt werden, dass die Temperatur der Schelde als Folge des jüngsten Klimawandels gestiegen ist. Das Wasser in der Seeschelde wurde zwar in den 1970er und 1980er Jahren etwas wärmer, aber es scheint wahrscheinlich, dass frühere Einleitungen von Kühlwasser dazu beigetragen haben.^x Hinsichtlich der Auswirkung des Klimawandels auf die Temperatur von Oberflächengewässern wird in INBO (2015)^{xi} für „Oberflächengewässer im Allgemeinen“ angegeben, dass ein Anstieg von 0,5 bis 0,6 °C pro 10 Jahre zu

berücksichtigen ist. Im (verbleibenden) Referenzzeitraum (2020–2025) würde dies theoretisch bedeuten, dass die Wassertemperatur der Schelde um 0,25 bis 0,3 °C steigen könnte. Geht man jedoch davon aus, dass dies möglicherweise als Maximum für den Tidefluss Seeschelde zu betrachten ist, dürfte dieser Verlust an Kühlleistung durch eine bessere Überwachung der Seeschelde-Temperatur und eine angepasste Steuerung der vorhandenen Kühlleistung keine größeren Probleme verursachen (eine Erhöhung der thermischen Belastung, eine Überschreitung der Ableitungsnormen, eine größere Wärmesperre im Sommer und dies während des empfindlichsten Zeitraums – Stillstand bei Niedrigwasser). Außerdem wird Doel 3 ab 2023 außer Betrieb genommen, was bedeutet, dass die thermische Belastung bereits dann abnehmen wird.

Doel 1 und 2 10 Jahre länger offen zu halten, bedeutet also, dass 10 Jahre lang eine Abwassermenge mit ähnlicher Zusammensetzung und mit ähnlichen Konzentrationen und ähnlicher jährlicher Gesamtschadstoffbelastung wie in den Jahren 2013-2014 (Konzentrationserhöhung von weniger als 0,1 %) eingeleitet wird und dass dies ebenfalls eine vernachlässigbare Auswirkung auf die Schelde hat. Für die verbleibenden fünf Jahre kann davon ausgegangen werden, dass das Nitrit- und AOX-Problem unter Kontrolle bleibt/kommt.

Im Vergleich zum Referenzszenario (Doel 1 und 2 schließen im Jahr 2015) wird erwartet, dass die *Schadstoffkonzentrationen* im Kühlwasser, einschließlich der Temperatur und der Chloride, ähnlich der aktuellen und der Situation in den Jahren 2013-2014 sein werden. Die Blöcke Doel 1 und 2 und ihr Kühlkreislauf werden nicht mehr in Betrieb sein, was bedeutet, dass die Verwendung von Scheldewasser als Kühlwasser ebenfalls auf ca. 704 Mio. m³ sinken wird (s. o.). Die eingeleiteten Schadstoff- und thermische Belastung des Kühlwassers werden daher auch im Referenzszenario auf ca. 60 % im Vergleich zum Projekt mit aufgeschobener Abschaltung sinken. Ab 2023, nach der Abschaltung von Doel 3, werden es immer noch 50 % weniger sein. Außerdem wird erwartet, dass die thermische Belastung des Kühlwassers auf der Schelde auf etwa 60 % sinkt, wodurch sich auch die Größe der Wärmefahne in der Schelde verringern wird.

Das Wasser, das in die Schelde eingeleitet wird, kommt nie mit dem Primärkreislauf (dem nuklearen Teil der Anlage) in Berührung. Es besteht daher unter normalen Bedingungen keine Gefahr einer radioaktiven Verunreinigung der Schelde.

Regenwasser wird nicht im Betrieb oder für Sanitäranlagen verwendet. Das auf Dächer und den Großteil der versiegelten Flächen fallende Regenwasser wird zusammen mit dem Sanitärabwasser über die Biorotoren in die Schelde eingeleitet. Das Wasser von den Parkplätzen am Firmeneingang läuft in einen Bach im nahegelegenen Polder (Doorloop). Die Nutzung von Regenwasser zur Erzeugung von demineralisiertem Wasser oder zur Verwendung als Kühlwasser ist prinzipiell möglich, aber die notwendige Infrastruktur ist derzeit nicht vorhanden.

Qualität der Struktur

Da keine Arbeiten an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in der Schelde geplant sind, werden die Auswirkungen auf die Strukturqualität der Schelde als nicht relevant betrachtet.

2.2.2.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Für das Wassersystem kann dann überprüft werden, inwieweit die oben beschriebenen Auswirkungen, die durch die 10 Jahre längere Offenhaltung von Doel 1 und 2 auftreten können, mehr oder weniger zur Erreichung der für das Wassersystem als wichtig erachteten politischen Ziele beitragen oder diese möglicherweise behindern. Relevante politische Ziele, die in diesem Projekt zum Tragen kommen, sind das Erreichen eines guten Zustands der Oberflächengewässer, das Streben nach einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette, die Reduzierung von Hochwasserrisiken und das Streben nach einer nachhaltigen Wasserversorgung.

Erreichen eines guten Zustands der Oberflächengewässer

Wenn Doel 1 und 2 10 Jahre länger in Betrieb bleiben, bedeutet dies, dass 10 Jahre lang (gereinigtes) Sanitärabwasser, behandeltes Industrieabwasser und (erwärmtes) Kühlwasser abgeleitet werden. Angesichts der Tatsache, dass die meisten Parameter eingehalten werden können und der berechnete Beitrag zum Konzentrationsanstieg (lokal) begrenzt bis vernachlässigbar ist, bedeutet dies jedoch, dass 10 Jahre lang eine

Restverschmutzung in die Schelde gelangt. Der Teil der Seeschelde, der abgeleitet wird, befindet sich derzeit noch in einem „unzureichenden“ ökologischen Zustand und erfüllt nicht alle Umweltqualitätsnormen (Temperatur, O₂-Gehalt, CSV, Nitrit+Nitrat+Ammonium, Bor, Arsen, Beryllium, Cadmium und Uran). Die Wasserqualität hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert, aber der Fluss ist immer noch anfällig für jede Form der Verschmutzung. Bei einer Reihe von Parametern (z. B. AOX, Nitrit) werden die Einleitungsnormen nicht immer eingehalten. Bezogen auf die Gesamtschadstoffbelastung ist das Kernkraftwerk ohnehin ein bedeutender Nenner in Sachen Einleitung. Die Selbstreinigungskraft der Seeschelde ist noch nicht ausreichend wiederhergestellt. Es gibt jedoch keinen Grund, eine Verschlechterung des ökologischen Zustands der Schelde durch die Offenhaltung von Doel 1 und 2 für weitere 10 Jahre zu befürchten, vorausgesetzt, dass der Überwachung und rechtzeitigen Anpassung weiterhin ständige Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Angesichts der begrenzten Auswirkungen des Kernkraftwerks auf die Wasserqualität, aber der fortgesetzten Bemühungen, die Auswirkungen im Zeitraum 2020-2025 zu reduzieren, kann davon ausgegangen werden, dass das Projekt das Erreichen des guten ökologischen Potenzials der Oberflächengewässer nicht gefährdet. Seit der Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes hat sich der Zustand der Seeschelde verbessert; die unternommenen und noch zu unternehmenden Anstrengungen zur Einhaltung der Einleitungsnormen werden ebenfalls zu dieser Verbesserung beigetragen haben. Es ist nicht zu befürchten, dass sich der derzeitige (zugegebenermaßen) unzureichende Zustand der Seeschelde verschlechtern wird, wenn Doel 1 und 2 noch zehn Jahre länger offen gehalten werden. Eine Abschaltung (Referenzszenario) wird natürlich einen positiven Beitrag leisten, aber es ist ungewiss, ob dies allein dazu führt, dass sich der Zustand der Seeschelde von „unzureichend“ zu „mäßig“ entwickelt.

Ziel: eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette

Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette setzt (weitere) Anstrengungen zum Ausbau und zur Optimierung der sanitären Infrastruktur voraus. Engpässe im derzeitigen Betrieb sind die Tatsache, dass das Regenwasser nicht vom Sanitärabwasserstrom abgekoppelt ist, mit zu häufigen Überlaufereignissen von (wenn auch verdünntem) Sanitärabwasser bei Starkregen. Es ist kein separates Kanalisationssystem vorhanden. Ein zusätzliches Problem ist, dass auch Kühlwasser und in geringerem Maße auch Grundwasser abgeleitet wird und in die Kanalisation für Mischwasser gelangt und dadurch ebenfalls zur Überlaufproblematik beiträgt. Da intensivere Niederschläge als Folge des bereits festzustellenden Klimawandels unbestreitbar sind, ist dies ein Engpass, der in den nächsten 5 Jahren des Weiterbetriebs des Kernkraftwerks beachtet werden muss. Eine solche Verdünnung der Abwasserströme führt nicht zu einer effizienten und effektiven Reinigung.

Im Allgemeinen hält das Kernkraftwerk die für Sanitärabwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser auferlegten Ableitungsnormen ein, jedoch ist dies für einige Parameter (z. B. Nitrit, AOX) nicht immer der Fall. Es müssen noch Anstrengungen unternommen werden, um die Sanierungsinfrastruktur auch für diese Parameter anzupassen oder noch besser quellenorientierte Maßnahmen zu ergreifen, um diese Problempunkte zu lösen.

Für eine Reihe von Parametern, die im Sanitärabwasser, Betriebsabwasser oder Kühlwasser vorhanden sind, werden die Messungen nicht immer einheitlich durchgeführt oder die Nachweisgrenze in den Messungen ist höher als die Einleitungsnorm, was bedeutet, dass es Unsicherheiten gibt, ob die Einleitungsnormen eingehalten werden oder nicht. Speziell für das Kühlwasser muss eine Lösung für eine adäquate Überwachung des aktiven Chlorgehalts gefunden werden, um die AOX-Bildung zu reduzieren und eine optimale Dosierung von NaOCl zur Kontrolle des mikrobiellen Wachstums im Kühlwasser zu erhalten.

Die maximale Begrenzung der thermischen Belastung und die optimale Nutzung der Kühlkapazität sind ebenfalls Maßnahmen, die zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette beitragen, vor allem angesichts des Klimawandels. Es wird empfohlen, die Auswirkungen der thermischen Ableitungen stärker auf die Entwicklung des Temperaturgradienten zwischen der niederländischen Grenze und Antwerpen abzustimmen. Eine solche Überwachung und Abstimmung der Kühlleistung des Kraftwerks auf die kumulierte thermische Belastung der Seeschelde kann weiter zu einer maximalen Begrenzung der Größe der thermischen Einleitung beitragen.

Die 10 Jahre längere Offenhaltung der Kraftwerke bedeutet, dass das Vorhandensein der Mischwasserkanalisation und das Überlaufproblem in diesem Zeitraum aufrechterhalten werden. Auch die thermische Belastung auf die

Seeschelde wird weiter fortgesetzt. Ohne die Anwendung der oben genannten Maßnahmen kann nicht geschlussfolgert werden, dass ein Beschluss zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette getroffen werden kann.

Begrenzen der Hochwasserrisiken

In Bezug auf die Hochwasserrisiken stellen sich in der aktuellen Situation keine Probleme und es werden auch kurz- oder mittelfristig keine Probleme erwartet. Das Kernkraftwerk befindet sich nicht in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet und ist auch gegen mögliche zukünftige Überschwemmungsrisiken infolge eines steigenden Meeresspiegels und intensiverer Regenfälle (aufgrund des Klimawandels) ausreichend geschützt. Es gibt zudem keine Hinweise darauf, dass das Kraftwerk unerwünschte Hochwasserrisiken flussabwärts (in den tief liegenden Poldern) verursacht oder aufrechterhält. Folglich wird eine längere Offenhaltung von Doel 1 und 2 keinen nennenswerten Beitrag zur Verringerung oder Verursachung der Hochwasserrisiken leisten.

Ziel: nachhaltigen Wasserversorgung

Hier wird beurteilt, ob eine längere Offenhaltung der Anlagen Doel 1 und 2 zu einem sparsamen Umgang mit Wasser beiträgt, ob das eingesetzte Wasser ausreichend nachhaltig genutzt wird und ob Enthärtungsmaßnahmen ergriffen werden. Eine der Unzulänglichkeiten dieser Beurteilung ist die Tatsache, dass Regenwasser für bestimmte Anwendungen nicht genutzt wird (z. B. in Sanitäranlagen oder für die Wartung oder bestimmte Prozesse, oder als Kühlelement, um dem Wärmeinseleffekt im Sommer entgegenzuwirken usw.), was zu erheblichen Einsparungen beim städtischen Wasserverbrauch führen könnte. In diesem Sinne erscheint es auch sinnvoll, die Verwendung von Stadtwasser im Kühlwasserkreislauf so weit wie möglich zu vermeiden und zu prüfen, ob dies unter bestimmten Umständen (z. B. in den Hilfskühltürmen von Doel 1 und 2 unter Testbedingungen oder in Unfallsituationen, natürlich ohne Beeinträchtigung der Betriebssicherheit) ebenfalls eine Option sein könnte. Auch das Fehlen von Bemühungen, weitergehende Formen der Kreislaufwassernutzung einzuführen oder Abkopplungs- bzw. Enthärtungsprojekte zu realisieren, führt dazu, dass die Beurteilung für dieses Politikziel eher negativ ausfallen sollte.

2.2.2.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Die Bewertung anhand der Wassersystemziele ist in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele des Wassersystems.

Ziel	Beitrag des Projekts (Aufschub um 10 Jahre)	Ergebnis
Guter Zustand der Oberflächengewässer	Keine Verschlechterung des Zustands und Gefährdung für das Erreichen des guten ökologischen Potenzials.	Neutral
Nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette	Aufrechterhaltung einer suboptimalen Situation in Bezug auf nachhaltige Bewirtschaftung	Negativ
Begrenzung der Hochwasserrisiken	Kein merkwürdiger Beitrag	Neutral
Nachhaltige Wasserversorgung	Keine Bemühungen/Pläne zur Kreislaufwassernutzung	Negativ

2.2.2.7 Minderungsmaßnahmen

Empfehlungen zur weiteren Erfüllung der genannten strategischen Ziele in Bezug auf das Wassersystem wurden bereits oben im Text angegeben und werden im Folgenden zusammengefasst:

- Verhinderung der Einleitung von Grund- und Kühlwasser in die Mischwasserkanalisation und Abkopplung von Regenwasser (z. B. bei Neubauten oder Wartungsarbeiten), was zu einer Verdünnung des Abwassers und häufigen Überläufen führt;
- Es wird empfohlen, die Abwasserreinigung zu optimieren (Nitrit, AOX) und eine Reihe weiterer Parameter konsequenter zu messen, um die Einhaltung der Einleitungsnormen zu überprüfen;

- Trennung des Regenwassers vom Sanitärabwasser und Wiederverwendung des Regenwassers als Sanitärwasser, so weit wie möglich Vermeidung des Gebrauchs von Stadtwasser;
- Enthärten (Infiltration), Anlegen von Gründächern oder Wasseranlagen (Pufferung) auf dem Gelände, um den Wärmeineffekt zu reduzieren und Wasser stärker an Ort und Stelle zurückzuhalten und zu speichern;
- Vorausschauende Feinabstimmung der Kühlleistung auf Basis der Überwachung der Seeschelde-Temperatur.

2.2.2.8 Wissenslücken und Überwachung

Es bestehen keine Wissenslücken, die eine hinreichend genaue Beurteilung der Auswirkungen auf das Wassersystem verhindern würden. Es fehlen jedoch Informationen über den Anteil des Abwassers von Doel 1 und 2 und damit über den genauen Beitrag des Betriebs von Doel 1 und 2 zur Restverschmutzung in der Schelde während des 10 Jahre längeren Betriebs.

Eine zusätzliche Überwachung gegenüber dem bestehenden Überwachungsprogramm mit Ausnahme der Überwachung der kumulativen thermischen Belastung in der Schelde wird nicht als notwendig erachtet.

2.2.3 Biologische Vielfalt

2.2.3.1 Relevante politische Ziele

Sowohl das Naturdekret (und verschiedene Durchführungserlasse) als auch das Dekret Integrale Wasserpolitik enthalten relevante politische Ziele, anhand derer der politische Plan bewertet werden muss. Das Walddekret schafft auch einen Rahmen für dessen Schutz sowie im Falle von Waldverlusten für den Ausgleich von Wald. Da das Projekt jedoch nicht dazu führt, dass Wald verschwindet, ist dies kein relevantes politisches Ziel für diese UVP.

Aus der Perspektive des **Naturdekrets** sind zwei generische Konzepte wichtig, die in Flandern auf horizontaler Ebene gelten: das **Stillstandsprinzip und die Sorgfaltspflicht**. Das Prinzip besagt, dass die geplanten neuen Entwicklungen nicht zur Verschlechterung der Natur beitragen dürfen (auf flämischer Ebene). Dies gilt sowohl für die Oberfläche als auch für die Qualität. Die Sorgfaltspflicht bedeutet, dass geprüft werden muss, ob Projekte und Pläne, einschließlich der Entscheidung über die Verlängerung der Laufzeit von Doel 1 und 2, keine **vermeidbaren „Schäden“** verursachen (vgl. Naturdekret) für die Natur.

Dazu gehört der Schutz der bestehenden Natur und der Naturelemente, unabhängig von ihrem Zweck.

Die Sorgfaltspflicht bedeutet nicht, dass keine neuen Entwicklungen möglich sind, sondern dass ausreichend überprüft werden muss, ob eventuelle Schäden vermieden werden können.

Neben der „horizontalen“ Naturpolitik gibt das Naturdekret auch die Linien für die Definition einer **gebietsorientierten Politik** vor.

Für **VEN-Gebiete** muss speziell überprüft werden, dass durch das Projekt keine **„unvermeidbaren und irreparablen Schäden“** entstehen können. Innerhalb des VEN wird zwischen großen Natureinheiten (GNE) und großen Natureinheiten in Entwicklung (GNEE) unterschieden. Hinzu kommt das Integraal Verwevings- en Ondersteunend Network (IVON, zu Deutsch in etwa: Integrales Verflechtungs- und Unterstützungsnetzwerk), das aus Naturentwicklungsgebieten (NVWG) und Naturverbindungsgebieten (NVBG) besteht. Das Überprüfen des Risikos unvermeidbarer und irreparabler Schäden in einer sogenannten „strengerer Naturprüfung“ ist nur für die VEN-Gebiete selbst erforderlich.

Darüber hinaus wird durch die Umsetzung der europäischen Richtlinien im Naturdekret sichergestellt, dass für **besondere Schutzgebiete**, d. h. FFH- und Vogelschutzgebiete, nicht nur nachgewiesen werden muss, dass erhebliche negative Auswirkungen im Vergleich zum Ist-Zustand vermieden werden, sondern auch, dass das Projekt die Erreichung der für diese Gebiete festgelegten Naturziele nicht behindern darf. Dies wird in einer **entsprechenden Prüfung** untersucht.

Der **Artenschutzlerlass** gewährleistet den Schutz bestimmter Arten. Das bedeutet, dass diese Arten oder ihr Lebensraum nicht beeinträchtigt werden dürfen und dass Artenschutzprogramme (ASP) erstellt werden können, in

denen Maßnahmen vorgeschlagen werden, die den günstigen Erhaltungszustand bestimmter Arten sicherstellen. Es ist zu prüfen, ob das Projekt geschützten Arten schädigen oder die Umsetzung eines ASP gefährden kann.

Ein letztes wichtiges politisches Ziel findet sich im **Dekret Integrale Wasserpolitik**, das die europäische Wasserrahmenrichtlinie in flämisches Recht umsetzt. Viele der Ziele werden in der Disziplin Wasser überprüft (siehe 2.2.2), aber es wurden auch Ziele für **biologische Qualitätselemente** für die verschiedenen Wasserkörper aufgenommen. Für die biologischen Qualitätselemente, die für die Gewässer in der Umgebung des Projektgebiets (hauptsächlich die Seeschelde) relevant sind, ist zu prüfen, ob das Projekt Auswirkungen auf das Erreichen der Wasserqualitätsziele haben wird. Dieser Aspekt wird, wie oben erwähnt, in der Disziplin Wasser geprüft.

Die verschiedenen Komponenten des Projekts werden anhand der folgenden Fragen auf diese politischen Ziele geprüft:

- Inwieweit darf erwartet werden, dass das Projekt Schäden an der Natur vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt irreparable und unvermeidbare Schäden an VEN-Gebieten vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt bedeutungsvolle Auswirkungen auf NATURA-2000-Gebiete (Vogelschutz- und FFH-Gebiete) vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt keine Schäden für nach dem Artenschutzerlass geschützte Arten verursacht?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass die Durchführung des Projektes nicht die Erreichung der in Artenschutzprogrammen formulierten Ziele behindert (vgl. Artenschutzerlass)?

2.2.3.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Das Projekt kann sich auf verschiedene Weise auf die Disziplin der biologischen Vielfalt auswirken. Wie bereits erwähnt, erfolgt die abschließende Bewertung auf der Grundlage der politischen Ziele, während die Wirkungsanalyse auf den relevanten Gruppen von Auswirkungen basiert. In den folgenden Abschnitten wird kurz erläutert, welche Gruppen relevant sind und warum.

In der Disziplin biologische Vielfalt handelt es sich bei den meisten der erwarteten Auswirkungen um indirekte Auswirkungen aufgrund von Veränderungen, die in den Disziplinen Wasser, Lärm oder Luft besprochen werden. Wenn in diesen Disziplinen entschieden wird, dass nur vernachlässigbare Auswirkungen zu erwarten sind, wird dies in der Disziplin biologische Vielfalt nicht weiter untersucht.

Viele der Auswirkungen, die auftreten können, stehen im Zusammenhang mit den Einleitungen in die Schelde. Angesichts der Ausweisung der Schelde als FFH-Gebiet ist das mögliche Auftreten von Auswirkungen hier von großer Bedeutung. Darüber hinaus gibt es für die Schelde noch die Ziele aus dem Dekret Integrale Wasserpolitik und auch die Schlick- und Salzwiesen sind wichtig für die Vögel des Gebietes der Vogelschutzrichtlinie und als „Habitat“ aus der Habitat-Richtlinie.

Auswirkungen auf die Schelde können in Form einer **Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer** auftreten. Die Elemente des Projekts, die dies potenziell beeinflussen könnten, sind die Einleitung diverser Formen von Abwasser und von Kühlwasser. Darüber hinaus ist auch die Entnahme von Kühlwasser wichtig, da diese den **Tod** von miteingesaugten Fischen, Muscheln, Krebsen oder anderen Wirbellosen verursachen kann. Wenn der Abschnitt über die **nuklearen Auswirkungen** zeigt, dass eine Auswirkung auf die Schelde zu erwarten ist, wird diese auch kurz diskutiert. In diesem Fall wird auch eine Auswirkung auf höhere trophische Ebenen, wie z. B. die Vögel im Gebiet der Vogelschutzrichtlinie, abgeschätzt. Eine signifikante Auswirkung auf die Wasserqualität, z. B. durch eine Erhöhung der Temperatur, kann potenziell auch **Barriereeffekte** hervorrufen, wenn ein großes Gebiet ungeeignet für die vorhandenen Organismen wird.

Neben den Auswirkungen auf die Schelde kann auch der Betrieb der Kraftwerke eine potenziell **beeinträchtigende** Wirkung haben. Dies kann mit Lärm-, Licht- oder menschlicher Beeinträchtigung verbunden sein. Angesichts der strategischen Ebene der UVP werden diese beeinträchtigenden Auswirkungen qualitativ abgeschätzt.

Das Projekt kann theoretisch aufgrund der Verbrennungsanlage, der Notstromgeneratoren und -pumpen sowie des Verkehrs selbst auch zu den Auswirkungen der **Versauerung und Eutrophierung aus der Luft** beitragen. Es wird erwartet, dass dies nur eine begrenzte Auswirkung haben wird, sicherlich in einer breiteren räumlichen Perspektive und unter Einbeziehung der Aktivitäten, die im Waasland-Hafen / Hafen von Antwerpen stattfinden. Dieser Aspekt wird jedoch bei der Diskussion der vermiedenen Auswirkungen relevant sein. Es ist jedoch zu beachten, dass die Übertragung dieses letzten Aspekts auf die biologische Vielfalt nur auf qualitative Weise erfolgen kann, da der Ort der zusätzlichen Stickstoffdeposition nicht bekannt ist. Wenn der Abschnitt über die **nuklearen Auswirkungen** zeigt, dass eine Auswirkung von der Deposition aus der Luft zu erwarten ist, wird diese auch kurz diskutiert.

Auswirkungen auf den **direkten Flächenverbrauch** können prinzipiell auftreten, da durch die Verlängerung des Betriebs der Kraftwerke die eingenommene Fläche nicht für die Naturentwicklung genutzt werden kann.

Für das Grundwasser (sowohl **Grundwasserstand** als auch **Grundwasserqualität**) werden keine Auswirkungen erwartet, die sich auf die biologische Vielfalt auswirken könnten. Es wird daher in dieser UVP nicht weiter behandelt. Schließlich wird auch keine **Veränderung der Hydrologie** der Schelde erwartet. Schließlich wird das entnommene Kühlwasser fast vollständig wieder eingeleitet, sodass keine Auswirkungen auf z. B. den Wasserstand zu erwarten sind.

Es ist auch wichtig zu beachten, dass das Vorhandensein von Hochspannungsleitungen nicht Teil der UVP ist, denn diese würden nach der Stilllegung weiterhin für den Betrieb von Doel 3 und 4 benötigt werden, sodass die Entscheidung, Doel 1 und 2 länger offen zu halten, keine Auswirkungen darauf hätte.

2.2.3.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet für die Disziplin der biologischen Vielfalt wird durch das Gebiet bestimmt, in dem Auswirkungen auftreten können, ergänzt durch Naturgebiete, denen besondere Aufmerksamkeit zuteil werden sollte. Die Entfernung, über die Auswirkungen erwartet werden können, variiert stark zwischen den verschiedenen Gruppen von Auswirkungen.

Zumindest werden die angrenzenden Naturschutzgebiete in das Untersuchungsgebiet aufgenommen. Konkret betrifft dies Teile des besonderen Schutzgebiets der FFH-Richtlinie (BSG-H) „Schelde- en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent“ (Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent, BE2300006), des besonderen Schutzgebiets der Vogelschutzrichtlinie (BSG-V) „Schorren en polders van de Beneden Schelde“ (Salzwiesen und Polder der Niederschelde, BE2301336) und des niederländischen Schutzgebiets Westerschelde & Saeftinghe, das sowohl BSG-H (NL9803061) als auch BSG-V (NL9802026) ist. Die VEN-Bereiche in der Umgebung liegen innerhalb dieser Abgrenzung.

Speziell für die vermiedenen Auswirkungen wird das Untersuchungsgebiet auf ganz Belgien und angrenzende Gebiete im Ausland erweitert.

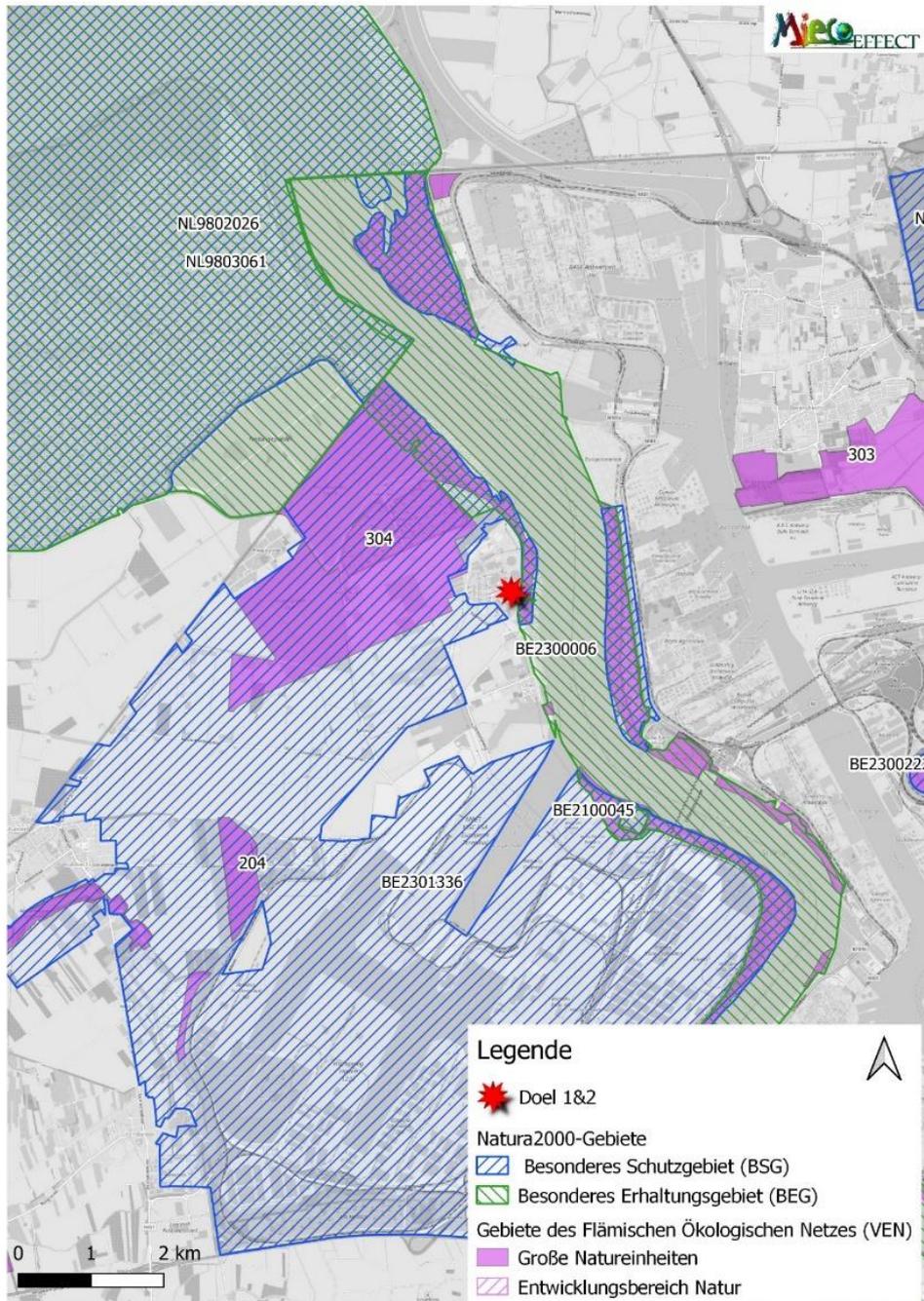


Abbildung 13: Naturschutzgebiete.

2.2.3.4 Beschreibung der Referenzsituation

Natura-2000-Gebiete

Wie in Abschnitt 2.2.3.3 beschrieben, grenzt das Projektgebiet an verschiedene besondere Schutzgebiete, die zum Natura-2000-Netz gehören. Die Naturziele, die für diese Gebiete festgelegt wurden, sind daher eine wichtige Referenz, anhand derer die Auswirkungen bewertet werden können. In Tabelle 10 sind die Zielarten für alle diese Natura-2000-Gebiete aufgelistet, die sich entweder mit dem Projektgebiet überschneiden oder sich in unmittelbarer Nähe des Projektgebiets befinden.

Tabelle 10: Zielarten für die Natura-2000-Gebiete, die sich mit dem Projektgebiet überschneiden oder in dessen unmittelbarer Nähe vorkommen. x: Art explizit als Ziel aufgenommen, /: Art ist kein Ziel.

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
<i>Vögel</i>			
Brandgans	x	x	x
Blaukehlchen	x	x	x
Kornweihe	x	/	/
Sandregenpfeifer	/	/	x
Alpenstrandläufer	/	/	x
Rohrweihe	x	x	x
Sanderling	/	/	x
Zwergseeschwalbe	/	/	x
Haubentaucher	/	/	x
Goldregenpfeifer	x	/	x
Graugans	x	/	x
Grünschenkel	/	/	x
Brandseeschwalbe	/	/	x
Eisvogel	x	x	/
Kampfläufer	x	/	/
Knutt	/	/	x
Kiebitz	/	/	x
Seidenreiher	/	/	x
Zwergschwan	x	x	/
Säbelschnäbler	x	x	x
Lachmöwe	x	x	/
Blässgans	x	/	x
Schnatterente	x	x	x
Nachtreiher	/	x	/
Wachtelkönig	/	x	/

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
Löffler	x	x	x
Mittelsäger	/	/	x
Spießente	x	x	x
Tüpfelsumpfhuhn	x	x	/
Purpurreiher	/	x	/
Rohrdommel	x	x	/
Pfuhschnepfe	/	/	x
Austernfischer	/	/	x
Wanderfalke	/	/	x
Löffelente	/	x	x
Pfeifente	x	/	x
Steinwälzer	/	/	x
Stelzenläufer	x	/	/
Seeregenpfeifer	x	/	x
Tafelente	/	x	/
Rotschenkel	/	/	x
Flusseeeschwalbe	x	/	x
Seggenrohrsänger	x	x	/
Stockente	/	/	x
Krickente	x	x	x
Zwergdommel	/	x	/
Großer Brachvogel	/	/	x
Seeadler	/	/	x
Kiebitzregenpfeifer	/	/	x
Dunkler Wasserläufer	/	/	x
Schwarzkopfmöwe	x	/	x
<i>Säugetiere</i>			
Fransenfledermaus	/	x	/
Zwergfledermaus	/	x	/
Wimperfledermaus	/	x	/
Mückenfledermaus	/	x	/
Breitflügelfledermaus	/	x	/
Teichfledermaus	/	x	/
Großer Abendsegler	/	x	/
Rauhautfledermaus	/	x	/

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
Wasserfledermaus	/	x	/
Schweinswal	/	/	x
Kegelrobbe	/	/	x
Seehund	/	/	x
Biber	/	x	/
<i>Weichtiere</i>			
Schmale Windelschnecke	/	/	x
<i>Fische</i>			
Meerneunauge	/	/	x
Flussneunauge	/	x	x
Finte	/	x	x
Bitterling	/	x	/
<i>Amphibien</i>			
Kleiner Wasserfrosch	/	x	/
Kammolch	/	x	/
<i>Insekten</i>			
Große Moosjungfer	/	x	/
<i>Gefäßpflanzen</i>			
Sumpf-Glanzkrout	/	x	x

Zusätzlich zu den Arten wurden auch für Lebensraumtypen Naturziele festgelegt. Das BSG-H *Schelde en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent (Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent)* ist weitläufig und nicht alle anvisierten Lebensräume sind für diese UVP relevant. Es werden daher nur die Lebensräume besprochen, die in der Nähe der Kernkraftwerke vorkommen.

Die vorkommenden Lebensraumtypen werden in zwei große Landschaftstypen unterteilt: das Ästuar und die terrestrischen Feuchtgebiete. Die für diese Lebensraumtypen formulierten Ziele sind zweigeteilt:

- Diese Ziele stehen einerseits im Einklang mit den Erhaltungszielen des BSG-H „BE 2300006 Schelde- en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent“. Unter diesen Umständen ist es wahrscheinlicher, dass Erhaltungsmaßnahmen außerhalb des BSG-H ergriffen werden, die darauf abzielen, das BSG-H in einen günstigen Erhaltungszustand zu bringen;
- Andererseits sind diese „Ziele“ erforderlich, um das betreffende BSG in einen günstigen Erhaltungszustand zu bringen, da sie (als Lebensräume) für die Vogelarten der Lebensräume Naturwiese Süßwasser, Naturwiese Salzwasser, Beweidete Salzwiese, Schlickwiesen mit Inseln und Surrogatküste wichtig sind.

Die folgenden Lebensraumtypen kommen in den Ästuarien des belgischen Teils des Schelde-Ästuars vor:

- Lebensraumtyp 1130: Ästuarien;
- Lebensraumtyp 1320: Schlickgrasbestände (*Spartinion maritimae*);
- Lebensraumtyp 1330: Atlantische Salzwiesen (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*).

Folgender Lebensraumtyp innerhalb terrestrischer Feuchtgebiete kommt vor:

- Lebensraumtyp 1330: Atlantische Salzwiesen (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*), Untertyp: salzige Vegetationen innerhalb des Deichs.

Die gesamte Breite der Schelde in der Nähe des Projektgebiets wurde außerdem als zeitweiliges Forschungsgebiet für den Lebensraumtyp 1130: Ästuarien ausgewiesen. Ein Forschungsgebiet ist ein Gebiet, das im Hinblick auf die Entwicklung von zusätzlichem Lebensraum freigehalten wird, für den Fall, dass es noch offene Naturziele gibt.

Im BSG „Westerschelde en Saeftinghe“ wurden die folgenden Lebensraumtypen als Ziele festgelegt:

- Lebensraumtyp 110B – Sandbänke mit nur schwacher ständiger Überspülung durch Meerwasser, Untertyp: Nordsee-Küstenzone;
- Lebensraumtyp 1130 – Ästuarien;
- Lebensraumtyp 1140B – Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt;
- Lebensraumtyp 1310A – Pioniervegetation mit *Salicornia* und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt), Subtyp: Queller;
- Lebensraumtyp 1310B – Pioniervegetation mit *Salicornia* und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt), Subtyp: Strand-Mastkraut;
- Lebensraumtyp 1320 – Schlickgrasbestände;
- Lebensraumtyp 1330A – Atlantische Salzwiesen, Subtyp: außerhalb des Deichs;
- Lebensraumtyp 1330B – Atlantische Salzwiesen, Subtyp: innerhalb des Deichs;
- Lebensraumtyp 2110 – Primärdünen;
- Lebensraumtyp 2120 – Weißdünen;
- Lebensraumtyp 2130A – Graudünen, Subtyp kalkhaltig;
- Lebensraumtyp 2160 – Dünen mit *Hippophaë rhamnoides*;
- Lebensraumtyp 2190B – Feuchte Dünentäler, Subtyp: kalkhaltig.

Zukünftige Naturentwicklung Hafengebiet

Die flämische Regierung hat vor kurzem einen Erlass über die Erhaltungsziele und Prioritäten für das besondere Schutzgebiet „BE 2301336 Schorren en polders van de Beneden-Schelde“ verabschiedet. Die darin festgelegten Naturziele sind bereits in der Beschreibung des vorherigen Absatzes enthalten. Der Erlass betrifft die Änderung eines früheren Erlasses, der aus Dringlichkeitsgründen in Bezug auf den erforderlichen Fortschritt des komplexen Projekts „Extra Containercapaciteit Antwerpen“ (Extra Containerkapazität Antwerpen, kurz: ECA) verabschiedet werden musste. Dieser neue Erlass definiert auch die Gebiete, die derzeit eine notwendige Rolle bei der Erreichung der Erhaltungsziele spielen. Einige dieser Bereiche wurden bereits in der Vergangenheit angelegt. Eine Übersicht dieser Bereiche wird in Abbildung 14 dargestellt. Einige der Gebiete wurden ausdrücklich als „zeitweilige Naturausgleichsfläche“ ausgewiesen und werden im Prinzip verschwinden und ersetzt werden müssen, wenn bestimmte Hafenprojekte durchgeführt werden.

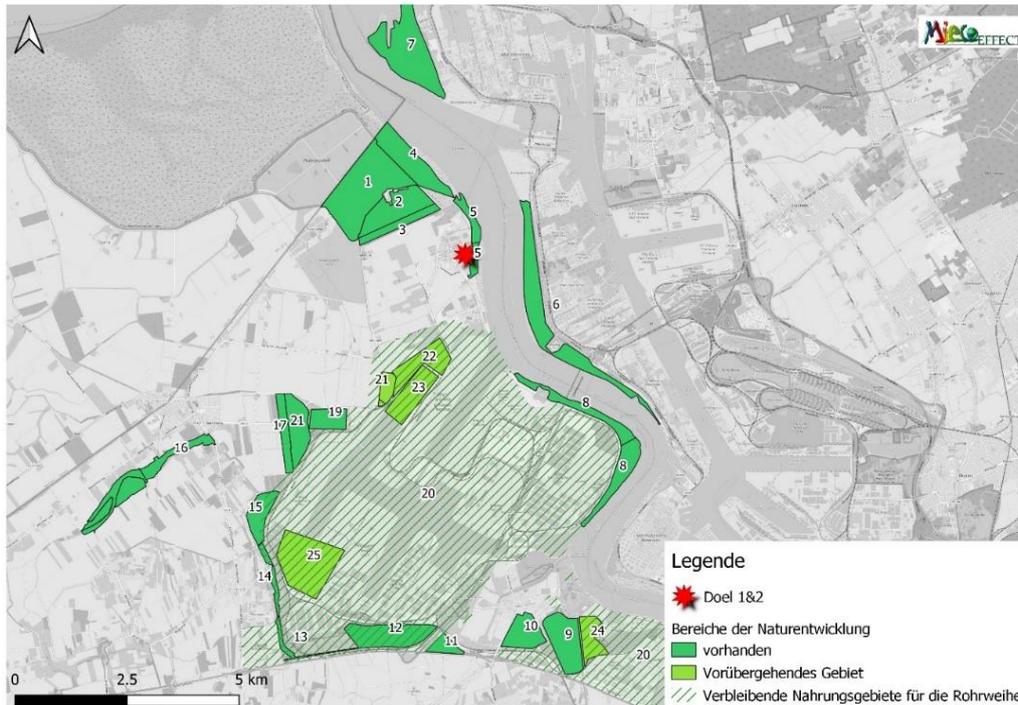


Abbildung 14: Übersicht über die vorhandenen Naturentwicklungsgebiete (permanent und temporär).

Tabelle 11: Nummerierung der vorhandenen Naturentwicklungsgebiete.

Nr.	Gebiet	Nr.	Gebiet
1	Prosperpolder Noord	14	Spaans Fort (Spanische Festung)
2	Doelpolder Noord	15	Drijdijck
3	Brakke kreek (Brackwasser-Priel)	16	Grote Geule
4	Schor Ouden Doel	17	Zoetwaterkreek (Süßwasser-Priel)
5	Estuariene natuur (Ästuar-Natur)	18	Putten Weide
6	Galgenschoor	19	Putten West
7	Groot Buitenschoor	20	Restgronden foerageergebied bruine kiekendief (Verbleibende Nahrungsgebiete für die Rohrweihe)
8	Ketenissenschor	21	C59
9	Groot Rietveld	22	Opgespoten MIDA's (Aufgeschüttete MIDA (zeitweilige Ausgleichsgebiete))
10	Rietveld Kallo	23	Gedempt Doeldok (Zugeschüttetes Doeldok)
11	R2-driehoek (R2-Dreieck)	24	Vlakte van Zwijndrecht (Flachland von Zwijndrecht)
12	Haasop (nur permanenter Teil dargestellt)	25	Verrebroekse Plassen (Seen von Verrebroek)
13	Watergangen		

Für einige der zu schaffenden Lebensräume gibt es jedoch noch offene Erhaltungsziele, für die zusätzliche Gebiete geschaffen werden müssen. So müssen beispielsweise bis zu 200 zusätzliche Hektar für Arten der Gruppe „Riet en water“ (Schilf und Wasser) entwickelt werden, wenn sich herausstellt, dass die Ziele für diese Artengruppe mit den sonstigen Gebieten nicht erreicht werden können. In diesem Fall werden die Gebiete Nieuw Arenbergpolder Phase II und Prosperpolder Zuid Phase II erschlossen. Auch für die Arten der Gruppen „Natuurweide zoet/zilt“ (Naturwiese süß/salzig) und „Begraasd schor“ (Beweidete Salzwiese) werden weitere 250 ha an Lebensraum benötigt. Zu diesem Zweck werden (teilweise) die Gebiete Prosperpolder Noord und Doelpolder Midden entwickelt.

Neben den für die Verwirklichung der Erhaltungsziele erforderlichen Gebieten ist auch zu berücksichtigen, dass Gebiete ausgewiesen und entwickelt werden müssen, wenn Hafenprojekte zu einem Verlust bestehender Naturwerte führen.

Wie bereits erwähnt, wird das Verschwinden bestimmter zeitweiliger Naturausgleichsflächen zwangsläufig zu einem neuen Bedarf an der Realisierung eines Naturausgleichs an anderer Stelle führen. Das Projekt „Extra Containercapazität Antwerpen“ (ECA) kommt einem dabei als erstes in den Sinn.

Vor kurzem wurde auch eine Analyse durchgeführt, um festzustellen, welche Teile des Hafengebiets im Hinblick auf die Erreichung der Naturziele noch von besonderer Bedeutung sind (Goovaerts & Indeherberg, 2020). Bei bestimmten Hafenausbauprojekten führt dies zwangsläufig zur Durchführung eines entsprechenden Naturausgleichs.

Bei den meisten dieser Projekte ist jedoch noch nicht ganz klar, wo diese Kompensationen stattfinden werden. Sicher ist, dass die zeitweiligen Gebiete „Gedempt Doeldok“, „C59“, „Opgespoten MIDA's“ und „Vlakte van Zwijndrecht“ verschwinden werden und dass die natürlichen Werte, die hier für die Arten der Surrogatküste auftreten, auf Höhe von Prosperpolder Zuid kompensiert werden.

Eine Übersicht über alle derzeit bekannten neuen Naturgebiete, die voraussichtlich entweder zur Erreichung von Erhaltungszielen oder im Rahmen des Naturausgleichs entwickelt werden müssen, ist in Abbildung 15 dargestellt.

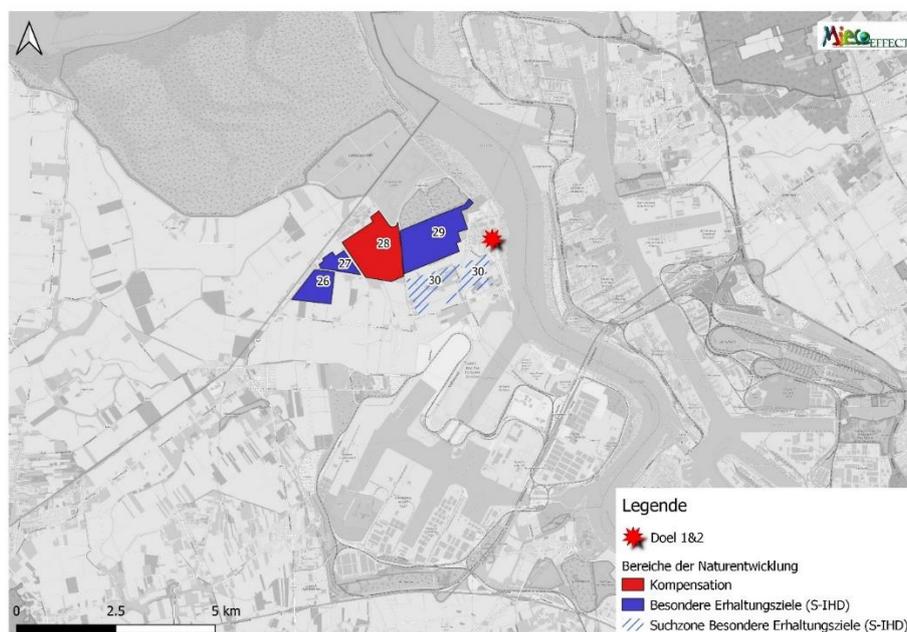


Abbildung 15: Zukünftige Naturentwicklungsgebiete.

Tabelle 12: Nummerierung der zukünftigen Naturentwicklungsgebiete.

Nr.	Gebiet	Grund für die Entwicklung
26	Nieuw Arenbergpolder Phase II	BEZ „Riet en water“ (Schilf und Wasser)
27	Prosperpolder Zuid Phase II	BEZ „Riet en water“ (Schilf und Wasser)
28	Prosperpolder Zuid Phase I	Ausgleich verschwinden Gedempt Doeldok, MIDA + C59 und Vlakte van Zwijndrecht für ECA-Projekt
29	Doelpolder Midden	S-IHD „Natuurweide zoet/zilt“ (Naturwiese süß/salzig) und „Begraasd schor“ (Beweidete Salzwiese)
30	Doelpolder Zuid	Forschungsgebiet BEZ Nahrungsgebiet der Rohrweihe, evtl. auch Ausgleich für Nahrungsgebiet der Rohrweihe

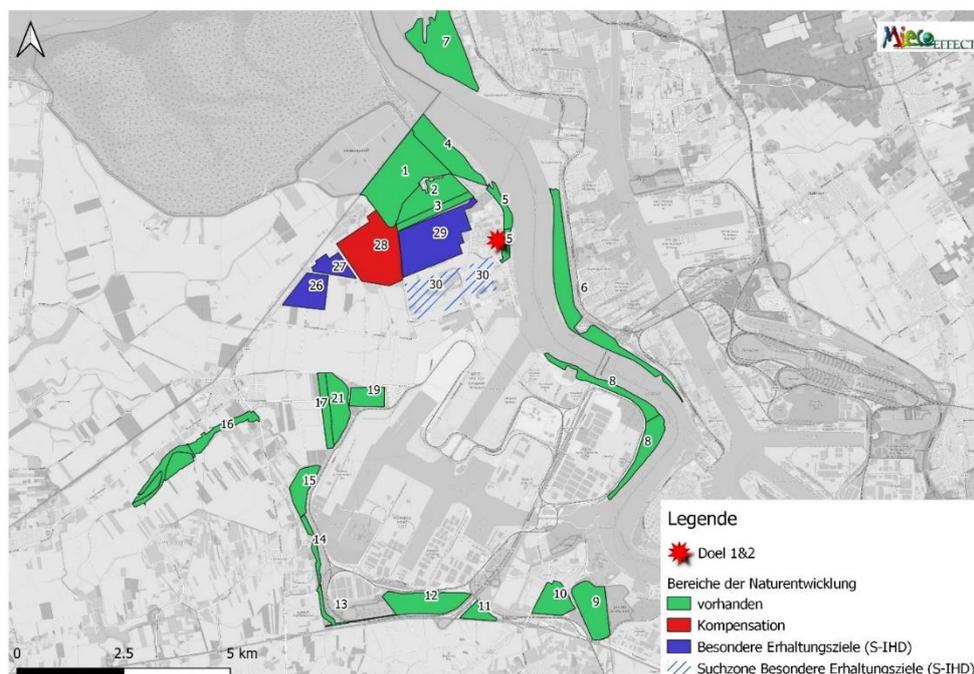


Abbildung 16: Endbild der Naturentwicklung, soweit bekannt und auf Basis des noch nicht geklärten Natursausgleichs.

Gebiete des Flämischen Ökologischen Netzes (VEN)

Teile des BSG sind auch auf flämischer Ebene zusätzlich als Schutzzone ausgewiesen und damit Teil des VEN (siehe auch Abbildung 13). Die relevantesten VEN-Gebiete in der Nähe des Projektgebiets sind „De Wase Scheldepolders“ (Die Waas-Schelde-Polder) und „De slikken en schorren langs de Schelde“ (Die Schlick- und Salzwiesen entlang der Schelde). Beide Gebiete werden im Folgenden kurz beschrieben.

„Wase Scheldepolders“ (Code: 204)

In diesem Bereich finden wir verschiedene Arten von Prielen, Deichen oder schwimmenden Inseln, Kolken und erhöhtes Terrain. Die strukturbestimmenden Elemente sind zwei Priele (Überreste eines alten Prielsystems marinen Ursprungs), einige Kolke (manchmal mit der Bildung von schwimmenden Inseln bei der Verlandung, wie z. B. Het Panneweel), Deiche (angelegt bei der Landgewinnung), schwimmende Inseln (wenn ein Deich nach einem Bruch repariert wird, angelegt um den gebildeten Kolk), höher gelegene Gebiete („kreekrug“, zu Deutsch in etwa: Prielrücken), feuchtes tiefer liegendes Grasland im Prieltal und der Groot Rietveld-Komplex.

Die beiden Priele sind der Süßwasser-Priel-Komplex von Saleghem (Grote Geule) und der leicht brackige Priel „De Grote Geule“ bei Kieldrecht. Beide sind über das Naturgebiet „De Kieldrechtse Watergang“ verbunden. Besondere Pflanzenarten in diesem Priel-Komplex sind Sumpffarn, Binsenschneide, Punktierte Segge und Späte Gelb-Segge.

Das Groot Rietveld befindet sich im Melselepolder, einem erhöhten, gebrochenen Polder. Hier finden wir ein großes Schilffeld mit Seen, grasigen und sumpfigen Teilen. Diese Vegetation und die verschiedenen Übergänge (in Bezug auf Feuchtigkeit und Salzgehalt) bieten einen geeigneten Lebensraum für eine große Anzahl seltener Pflanzen und Vögel.

Wir finden Arten von Ufern und Sümpfen und Pflanzen von salzhaltigen Umgebungen wie Strand-Aster und Bodden-Binse. Das Gebiet stellt auch eine Verbindung zwischen den Watten, Salzwiesen und Feuchtwiesen entlang der Schelde und den Naturkernen im Zandstreek dar. Bemerkenswerte Brutvogelarten sind der Säbelschnäbler, die Rohrweihe, die Rohrdommel, die Rohrammer, der Rohrschwirl, der Schilfrohrsänger, die Bartmeise und das Blaukehlchen.

Es ist ein wichtiges Gebiet für durchziehende oder überwinternde Arten wie Goldregenpfeifer, Kampfläufer, Blässgänse, Graugänse, Brandgänse und Schnatterenten.

„Slikken en schorren langsheen de Schelde“ (Code: 304)

Der Wasserweg der Schelde und die angrenzenden Watt- und Salzwiesen haben mit ihrer hochdynamischen Gezeitenwirkung einen sehr hohen ökologischen Wert. Die hohe natürliche Produktivität des Ökosystems sorgt für viele Arten, die oft in großer Zahl vorhanden sind. Wichtig ist der Übergang von Salz-, über Brack- zu Süßwasser in der Gezeitenzone. Das Vorkommen von Süßwasser-Salzwiesen ist einzigartig in Flandern. Auch anderswo in Europa sind sie extrem selten.

Ein paar größere Naturgebiete (Verdronken land van Saeftinghe, Groot Buitenschoor, Galgenschoor) bilden den Kern des natürlichen Systems. Die dazwischen liegenden – eher schmalen – Uferzonen sind sehr wichtige Verbindungen. Sicherheit (Wasserspeicherung) und Transport sind mit der Hauptfunktion Natur vereinbar. Auch die Erholung kann mit einbezogen werden.

Bemerkenswerte Arten sind der Säbelschnäbler, Steinbeißer, das Flussneunauge, der Nördliche Kammolch, der Große Odermennig, der Zwerg-Gauchheil, die Bienen-Ragwurz, das Rundblättrige Wintergrün und der Kleine und der Große Frauenspiegel. Es ist ein wichtiges Gebiet für rastende oder überwinternde Arten wie Goldregenpfeifer, Kampfläufer, Saatgänse, Blässgänse, Graugänse, Brandgänse, Schnatterenten und Löffelenten.

Artenschutzprogramm (ASP)

Der Artenschutzerlass sieht die Möglichkeit vor, ein Artenschutzprogramm zu erstellen. Ein solches Programm wird in Absprache mit den betroffenen Zielgruppen erstellt und enthält eine Reihe von Maßnahmen, die sicherstellen sollen, dass eine Art (oder mehrere Arten) innerhalb Flanderns in einem günstigen Zustand verkehrt (/verkehren).

Ein Artenschutzprogramm kann sowohl für in Europa zu schützende Arten als auch für andere, für Flandern wichtige Arten erstellt werden. Anhand einer Reihe von Kriterien wird eine Priorisierung der Arten vorgenommen, für die ein Artenschutzprogramm erstellt werden muss. Dabei werden der Rote-Liste-Status und der Flächenbedarf der Arten berücksichtigt, ebenso wie die Notwendigkeit ökologischer Verbindungen und die Frage, ob auch andere Arten von den Schutzmaßnahmen profitieren können.

Mit Ministeriellem Erlass vom 23. Mai 2014 wurde das „Artenschutzprogramm Antwerpener Hafen“ festgelegt, das sich auf 90 geschützte Arten in der Hafenumgebung konzentriert. Für eine Reihe von „Schirmarten“ wurde ein individueller Artenschutzplan (IASP) ausgearbeitet, der eine Reihe von Bestimmungen und Maßnahmen umfasst. Derzeit wird dieses ASP im Hinblick auf eine mögliche Fortsetzung im Zeitraum 2019-2024 evaluiert. Wahrscheinlich ist eine bessere Koordination mit den anderen ASP auf flämischer Ebene geplant, und die Erhaltungsziele für die BSG auf flämischer Ebene werden ebenfalls stärker berücksichtigt. Die Zielvorgaben für die verschiedenen Tier- und Pflanzenarten sollen dabei noch besser aufeinander abgestimmt werden. Da dieser Prozess jedoch noch im Gange ist, ist der einzige Bezugspunkt das ASP, wie es heute vorliegt.

Ziel des Artenschutzprogramms für den Hafen Antwerpen ist es, die im Hafengebiet vorkommenden Tier- und Pflanzenarten aktiv zu schützen, damit ihre Populationen nachhaltig erhalten werden können.

Die verschiedenen Schutzmaßnahmen sind an 14 sogenannten Schirmarten aufgehängt. Diese sind so gewählt, dass Maßnahmen, die für diese Arten ergriffen werden, auch anderen Arten der Lebensgemeinschaften zugute kommen.

Die meisten ASP sind für diese UVP von geringer Relevanz bzw. die Standorte, die im ASP von Belang sind, sind bereits Teil eines Schutzgebietes, sodass die Auswirkungen sowieso untersucht werden. Es ist jedoch erwähnenswert, dass auf dem Kühlturm seit 1996 ein Nistkasten für Wanderfalken angebracht ist, in dem regelmäßig Wanderfalken brüten.

Es ist anzumerken, dass eine neue Version des Artenschutzprogramms für den Hafen von Antwerpen derzeit als Folgemaßnahme zur ersten Version dieses ASP genehmigt wird.

Biologische Qualitätselemente

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die in Flandern im Dekret Integrale Wasserpolitik (DIW) umgesetzt wurde, schreibt vor, dass Oberflächengewässer nicht nur auf ihre chemische, sondern auch auf ihre biologische Qualität anhand sogenannter biologischer Qualitätselementen untersucht werden müssen. Die Bewertung muss für jedes (biologische) Qualitätselement als ökologischer Qualitätskoeffizient (ÖQK) ausgedrückt werden. Er kann ein Wert zwischen 0 und 1 sein, wobei 1 für einen sehr guten und 0 für einen sehr schlechten ökologischen Zustand steht.

Der Wasserkörper Seeschelde IV (VL17_43), aus dem das Kernkraftwerk sein Kühlwasser entnimmt und in den es dieses Wasser und das Abwasser einleitet, ist ein stark veränderter Wasserkörper des Übergangswassertyps O1brak (brackiges makrotides Tiefland-Ästuar). Die biologischen Qualitätselemente, die bewertet werden, sind Makrophyten, Makroinvertebraten und Fische. Die Qualitätselemente Phytoplankton und Phytobenthos werden hier nicht bewertet.

Bei der letzten Bewertung im Jahr 2018 wurde der Wasserkörper mit „unzureichend“ für Makrophyten, „mäßig“ für Makroinvertebraten und „gut“ für Fische bewertet.

Neben den biologischen Qualitätselementen ist auch der Maßstab der Hydromorphologie für die Disziplin der biologischen Vielfalt relevant. Der ÖQK Hydromorphologie wird für den Wasserkörper Seeschelde IV auf der Grundlage der so genannten Physiotope Watten, Salzwiesen und Flachwasser berechnet. Bei der letzten Bewertung war die Note für diesen Maßstab „unzureichend“.

MONEOS

In der Flämisch-Niederländischen Scheldekommission (VNSC) setzen sich Flandern und die Niederlande gemeinsam für ein nachhaltiges und vitales Schelde-Ästuar ein. Innerhalb der Arbeitsgruppe Forschung und Methodik der VNSC wurde ein langfristiges Monitoring- und Forschungsprogramm zur Unterstützung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit in Politik und Bewirtschaftung im Schelde-Ästuar vereinbart: MONEOS. Dieses Überwachungsprogramm wurde so konzipiert, dass es einerseits die Ziele verschiedener politischer Rahmenbedingungen erfüllt und andererseits einen Einblick in die Funktionsweise des Schelde-Ästuars und die Auswirkungen von Eingriffen/Maßnahmen in das System geben kann. Das Programm baut auf bestehenden Überwachungsaktivitäten auf und strebt eine grenzüberschreitende Integration und Abstimmung an.

Eine der Messstellen des MONEOS-Programms (VMM-Messstelle 154100) befindet sich unmittelbar stromabwärts des Kernkraftwerkes. An dieser Stelle werden sowohl die allgemeine Wasserqualität als auch die Makroinvertebraten überwacht. Die Qualität des Wasserbodens wird ebenfalls mit der TRIADE-Methode bewertet. Diese Methode integriert die Ergebnisse von chemischen, biologischen und ökotoxikologischen Analysen.

Die Zusammensetzung der Makroinvertebraten-Gemeinschaft im Schlamm unterscheidet sich stark von der der anderen Messstellen im MONEOS-Programm. Arten, die weiter stromaufwärts nicht vorkommen, sind in dieser Zone zu finden und mehrere Arten erreichen ihre höchsten Dichten und Biomassen. Die Haupterklärung dafür ist der

Salzgehalt. Die Messstelle auf Höhe von Doel ist in der Tat die einzige Messstelle in der mesohalinen Zone, was bedeutet, dass hier mehr Arten vorkommen können als in der oligohalinen Zone, die generell eher artenarm ist (Van de Meutter et al, 2020).

Die TRIADE-Überwachung zeigt vor allem, dass sich die Qualität des Wasserbodens seit 2007 deutlich verbessert hat (Tabelle 13). Von einer sehr schlechten Qualität (Wert 4) ist die Qualität nun schlecht (Wert 3) bis mäßig (Wert 2). Bei der letzten Messung wurde ein guter Wert (1) erreicht.

Tabelle 13: Ergebnisse der TRIADE-Überwachung am VMM-Messpunkt 154100.

Dat	Monster Triade Eindklasse MOW	Monster Triade Fysico Chemie Eindklasse MOW	Monster Triade Ecotoxicologie Eindklasse MOW	Monster Triade Biologie Eindklasse MOW
01/08/2001	4	3	3	2
14/04/2003	4	3	4	4
18/04/2007	3	2	2	4
28/04/2010	2	2	2	1
08/05/2014	3	3	1	3
07/12/2015				
23/01/2017	2	3	1	1
13/02/2019		1	1	

2.2.3.5 Beschreibung der Auswirkungen

Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer

Der Betrieb der Kernkraftwerke kann sich auf verschiedene Weise auf die in der Schelde vorhandenen Organismen auswirken. Es wird zwischen Sanitärabwasser/Regenwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser unterschieden. Alle diese Einleitungen werden in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten ausführlich erörtert, und ihre Auswirkungen auf die Wasserqualität werden in dieser UVP auch in der Disziplin Wasser erläutert.

Bei den meisten Parametern wird die Einleitungsnorm erfüllt. Bei den Parametern Nitrit und AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen) werden teilweise noch Überschreitungen der Einleitungsnorm gemessen, die sich nicht ohne weiteres z. B. durch Messfehler oder einmalige Ausreißer erklären lassen. Bei Betrachtung des gesamten Wasserkörpers ist keine Verschlechterung zu erwarten. Was die thermische Auswirkung des Kühlwassers betrifft, so wurden zwar die Einleitungsnormen eingehalten, aber die Auswirkungen auf die Schelde führten lokal zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnormen. Die größte Auswirkung der Einleitungen ist in jedem Fall auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt.

Dabei ist jedoch anzumerken, dass es nur eine einzige Einleitstelle für alle vier Kernkraftwerke gibt. Dies bedeutet auch, dass keine strikte Unterscheidung zwischen den Einleitungen von Doel 1 und 2 und denen der anderen Kraftwerke getroffen werden kann. Der Beitrag von Doel 1 und 2 zu den Gesamteinleitungen wird in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten auf 40 % geschätzt.

Eutrophierung

Die Einleitungsnormen für Nitrit werden in den Jahren 2013-2014 nicht eingehalten und die Werte im Zeitraum 2015-2019 sind ähnlich. Der Beitrag zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper ist jedoch gering. Für den gesamten Wasserkörper werden die Nährstoffparameter Nitrat+Nitrit+Ammonium und Orthophosphat überschritten. Auch bei diesem Parameter ist der Beitrag der Kernkraftwerke im Durchschnitt sehr gering.

Bei diesen Parametern sind jedoch nicht nur die Durchschnittswerte wichtig, auch Spitzenbelastungen können eine große Auswirkung haben. Ein Teil der Erklärung für die höhere Einleitung findet sich im suboptimalen Betrieb der Wasseraufbereitungsanlage, in der zu viel Wasser landet, wodurch das Wasser häufig überläuft. Es ist daher mit Spitzenbelastungen zu rechnen.

Im Prinzip kann sich die erhöhte Nährstoffbelastung also lokal, auf Höhe des Bereichs innerhalb des Leitdamms, auswirken. Bei höheren Nährstoffwerten kann es zu Verschiebungen innerhalb der Artengemeinschaften kommen, da schnell wachsende Arten bevorzugt werden. Dies geht jedoch z. B. aus den Überwachungsergebnissen des

MONEOS-Programms nicht hervor, in denen die Zone in der Nähe der Kernkraftwerke sehr artenreich ist. Wie bereits erwähnt, ist der Grund für diese Artenvielfalt eher im Salzgehalt zu suchen, der in diesem Bereich günstiger ist als in anderen Teilen der Schelde.

Außerdem war die Schelde bis vor nicht allzu langer Zeit stark verschmutzt, was zum Teil an der fehlenden Wasseraufbereitung für das aus Brüssel stammende Abwasser lag. Die Wasserqualität verbessert sich also noch und es gibt keine guten Referenz für die Artenvielfalt, die bei guter Wasserqualität erreicht werden könnte (mündl. Kommunikation mit F. Van de Meutter, INBO). Darüber hinaus wirken sich viele andere Faktoren auf die Populationen aus, wie z. B. der ungünstige hydromorphologische Zustand der Schelde.

Aufgrund der Komplexität der Faktoren, die sich auf die Populationen innerhalb des Leitdamms auswirken, ist es unmöglich zu wissen, ob die Einleitungen hier lokal einen signifikanten Einfluss haben. Ein direkter toxischer Einfluss von erhöhten Nitritkonzentrationen kann jedoch ausgeschlossen werden. Für den gesamten Wasserkörper sind nur geringe Auswirkungen durch Einleitungen zu erwarten.

AOX

Eine ähnliche Analyse kann für die AOX-Konzentrationen durchgeführt werden. Die erhöhten AOX-Konzentrationen im eingeleiteten Wasser sind eine Folge von Produkten, die dem Kühlwasser zugesetzt werden, um das Wachstum von Organismen in den Rohren zu verhindern (Biofouling). Auch hier ist der Beitrag zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper vernachlässigbar, aber theoretisch kann es eine Auswirkung auf Höhe des Gebiets innerhalb des Leitdamms geben.

Da die TRIADE-Bewertung des Gewässerbodens stromabwärts der Einleitungsstelle jedoch keine Auswirkungen zeigt, können signifikante ökotoxikologische Auswirkungen ausgeschlossen werden. Aber auch hier ist es schwierig zu sagen, ob es keine negativen Auswirkungen gibt, da sich die Wasserqualität noch verbessert und es keine Referenz gibt, mit dem der wirklich guten Zustand bestimmt werden kann.

Temperatur

Veränderungen in den thermischen Verhältnissen können das Ökosystem auf verschiedene Arten beeinflussen. Eine direkte Folge kann eine Sterblichkeit aufgrund tödlicher Temperaturen sein. Für empfindliche Arten wie die Meerforelle und den Stint liegt die Temperatur, bei der eine Mortalität auftritt, bei 26-27 °C bzw. 26-29 °C (Kerkum et al., 2004). Bei über 33-34 °C bekommen auch verschiedene Arten von Makroinvertebraten (Flohkrebse, Asseln), Zooplankton, Phytoplankton und Kieselalgen Schwierigkeiten (Kerkum et al., 2004). Solche Bedingungen kommen hauptsächlich lokal vor. Auf regionaler Ebene wirkt sich der Temperaturanstieg auch auf die Ökologie aus, indem er Verschiebungen im Ökosystem hervorruft: Die Lebenszyklen der Organismen werden gestört, was zu einem „Mismatch“ bei der Wahl des richtigen Zeitpunkts der Lebensphasen führt. Bei Temperaturen über 20 °C sind bereits Verschiebungen in den Phytobenthosgemeinschaften zu beobachten. Eine Reihe von Fischarten (wie u. a. der Stint und der Kaulbarsch) benötigen eine Wassertemperatur von < 10 °C während der Laichzeit (Winter/Frühjahr). Wird diese Temperatur nicht erreicht, so stagniert die Reproduktion.

Ein weiterer Effekt, der sowohl lokal als auch regional von Bedeutung ist, ist das Auftreten von exotischen Arten, die, um den Winter zu überleben, in wärmere Gefilden ziehen (vor allem lokal) und dann die natürliche Lebensgemeinschaft im Sommer beeinflussen (auch regional). Charakteristische Makroinvertebraten- und Fischarten können dabei verdrängt werden. Und schließlich kann sich in wärmerem Wasser weniger Sauerstoff lösen, wodurch es schneller zu einem Sauerstoffmangel kommt und kritische Arten verschwinden (Evers, 2007).

Die Untersuchung der Kühlwasserfahne (siehe Disziplin Wasser) hat gezeigt, dass in kurzer Entfernung von der Einleitungsstelle (max. 1.050 m) die durchschnittliche Temperatur des Scheldewassers um mehr als 3 °C ansteigen kann. Dieser Effekt ist nur innerhalb des Leitdamms zu beobachten. Temperaturerhöhungen zwischen 1 °C und 3 °C scheinen bei Ebbe und beim Stillstand bei Niedrigwasser bis maximal 1.300 m von der Einleitungsstelle entfernt aufzutreten, also noch innerhalb des Leitdamms. Bei Flut tritt außerhalb des Leitdamms bis maximal 500 m Entfernung von der Einleitungsstelle in östliche Richtung und bis maximal 800 m stromaufwärts der Einleitungsstelle eine Temperaturerhöhung zwischen 1 °C und 3 °C auf. Die Größe der Wärmefahne ist beim Stillstand bei Niedrigwasser

am größten. Die Zone, die durch eine Temperatur von mehr als 25 °C begrenzt wird, befindet sich vollständig innerhalb des Leitdamms. Dabei ist zu betonen, dass kein Unterschied zwischen dem Kühlwasser aus Doel 1 und 2 und dem aus den beiden anderen Kernkraftwerken gemacht werden kann.

Messungen in der Kühlwasserfahne zeigen, dass es keine Sauerstoffverarmung des Scheldewassers durch die Einleitung von warmem Kühlwasser gibt, sondern eher eine leichte Anreicherung (wenn das Kühlwasser den Kühlprozess durchfließt, wird das Wasser stark belüftet).

Für Fische wurden 2012 und 2013 Untersuchungen des INBO durchgeführt (Breine & Van Thuyne, 2012 und 2013). Sie untersuchten den Fischbestand innerhalb und außerhalb des Leitdamms. Die Studie ergab keinen Unterschied bezüglich des Vorkommens exotischer Arten. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Gebieten war, dass es innerhalb des Leitdamms mehr Fische gab. Einige Arten nutzen den aufgewärmten Bereich innerhalb des Leitdamms als Aufzuchtgebiet.

Die Studie zeigte jedoch eine erhöhte Abundanz von wärmeliebenden einheimischen Arten (Wolfsbarsch und Seezunge) innerhalb des Leitdamms. Neben Fischen wurden auch Garnelen und Krebse gefangen, wie z. B. japanische Sägegarnelen, Sägegarnelen, Nordseegarnelen und chinesische Wollhandkrabben. Diese halten sich hauptsächlich innerhalb des Leitdamms auf.

Auswirkungen auf die Populationen von Makroinvertebraten, Phytobenthos und Phytoplankton wurden nicht untersucht. Innerhalb dieser Populationen ist zu erwarten, dass es zu lokalen Verschiebungen kommt, die weniger empfindliche oder wärmeliebende Arten gegenüber anderen, möglicherweise typischeren Arten bevorzugen. Die meisten dieser Auswirkungen werden jedoch nur lokal auf der Höhe des Leitdamms auftreten und den Rest des Flusssystem nicht beeinflussen. Außerdem ist dieser Bereich der Schelde mit ihrem unterschiedlichen Salzgehalt sehr artenarm. Schließlich gibt es nur wenige Arten, die unter diesen spezifischen Bedingungen gedeihen können. Die Chance auf signifikante Verschiebungen in der Artenzusammensetzung ist hier daher auch geringer als in anderen Systemen.

In ihrer Stellungnahme über mögliche Überwachungsuntersuchungen in der Nähe der Kühlwasserfahne geben Van den Bergh et al. (2012) jedoch an, dass es für Makroinvertebraten Hinweise darauf gibt, dass in der Nähe des Kernkraftwerks mehr exotische Arten vorkommen. Einige Arten wurden zuerst in der Nähe des Kernkraftwerks entdeckt, andere kommen nur dort in der Schelde vor, während einige eine größere Verbreitung haben. Aufgrund dieser Beobachtungen vermuten sie, dass das Vorhandensein dieser Arten darauf hindeutet, dass die thermische Verschmutzung einen lokalen Nährboden für exotische Arten darstellen könnte. Es besteht immer die Gefahr, dass Arten einen invasiveren Charakter entwickeln (z. B. durch Kälteanpassung) und sich weiter ausbreiten. Da viele Arten planktonische Larvenstadien besitzen, kann diese Ausbreitung sehr schnell und weitreichend sein. In anderen Übersichten über die Makroinvertebraten-Gemeinschaft in der Schelde (Speybroeck et al., 2014) oder über das Vorkommen exotischer Arten im Allgemeinen (Adriaens et al., 2020) wird das Vorhandensein exotischer Arten nicht mit dem Vorhandensein des Kernkraftwerks in Verbindung gebracht, sondern mit der Einleitung von Ballastwasser von Schiffen im Hafen und dem Vorhandensein von künstlichen harten Ufersubstraten. Darüber hinaus bleibt der Fakt bestehen, dass auch im Falle einer Abschaltung von Doel 1 und 2 immer noch ein thermischer Effekt durch das Kühlwasser von Doel 3 und 4 bestünde. In der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten wird diese auf 60 % des derzeitigen Volumens geschätzt. Auch in der Referenzsituation wird es also ein Gebiet mit höheren Temperaturen geben, nur, dass dessen Größe kleiner sein wird. Wie groß der Unterschied ist, wurde jedoch nie modellhaft dargestellt.

Indirekte Auswirkungen auf Vögel

Die Auswirkungen der Ableitungen auf die Wasserqualität könnten möglicherweise auch indirekte Auswirkungen auf die Vögel des BSG-V haben. Viele dieser Arten suchen ihre Nahrung im Schlickwatt der Schelde. Eine signifikante Auswirkung auf Makroinvertebraten oder Fische in der Schelde oder im Schlickwatt hinter dem Leitdamm kann daher Folgen für die Verfügbarkeit von Nahrung für Vögel haben.

Die Ausbreitung des Einleitungswassers in der Schelde ist schwierig zu modellieren. Aus der Überwachung der thermischen Belastung lässt sich jedoch ein Bild der zu erwartenden Ausbreitung gewinnen. Diese Überwachung

zeigt, dass die Auswirkung weitgehend auf das Gebiet innerhalb des Leitdamms beschränkt ist. Wichtiger ist jedoch noch, dass sich die Fahne nur bei ablaufendem Wasser stromabwärts der Einleitungsstelle erstreckt. Zu diesem Zeitpunkt ist der Schlamm trocken und der Einfluss ist gering. Bei Stillstand und bei steigender Flut liegt die Fahne stromaufwärts der Einleitungsstelle und hat daher auch wenig Einfluss auf das Schlickwatt, das zu dieser Zeit unter Wasser steht. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass die Auswirkungen der Einleitungen auf die Organismen im Schlickwatt eher begrenzt sind.

Bei Fischen, die als Nahrung für bestimmte (fischfressende) Vogelarten wichtig sein können, könnten die Auswirkungen jedoch möglicherweise größer. Die Ergebnisse der Überwachung durch die INBO zeigen jedoch, dass gerade innerhalb des Leitdamms mehr Fische vorkommen als außerhalb.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen der Einleitungen auf die Verfügbarkeit des BSG-V für Vögel begrenzt sind.

Mögliche Auswirkungen von routinemäßigen radiologischen Einleitungen auf Fauna und Flora werden in Abschnitt 0 diskutiert. Sie kommt zu dem Schluss, dass es höchst unwahrscheinlich ist, dass die routinemäßigen Einleitungen der Anlagen Doel 1 und 2 Auswirkungen auf die Umwelt und damit auf die biologische Vielfalt der nahe gelegenen FFH-Gebiete oder anderer (geschützter) Naturgebiete und Ökosysteme haben werden.

Barrierefunktion

Eine Studie von Aqua Terra (Kikkert & Beers, 2006) hat gezeigt, dass strömungsliebende Fische durch die Wassertemperatur in ihrer Wanderung beeinträchtigt werden, wenn die Temperatur 23 °C überschreitet. Fische scheinen jedoch gut in der Lage zu sein, erhöhte Temperaturen zu erkennen und zu vermeiden.

Die Untersuchung der Kühlwasserfahne (siehe Disziplin Wasser) zeigt, dass diese auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt ist. Somit wird ein erheblicher Teil der Flussbreite nicht beeinträchtigt, sodass keine Barriere für wandernde Fischarten entsteht.

Auch für andere Auswirkungen und Artengruppen bietet die Tatsache, dass nur ein Teil der Breite der Schelde betroffen ist, ausreichende Garantien, dass keine harten Barrieren für die Migration entstehen.

Daher wird das Projekt keine Auswirkungen in Bezug auf die Barrierefunktion verursachen.

Mortalität

Das Kernkraftwerk entnimmt über eine Wasserentnahmestelle, die räumlich in zwei getrennte Teile aufgeteilt ist, Kühlwasser aus der Schelde: ein Teil für die Kühlung der Blöcke Doel 1 und 2 und ein Teil für die Blöcke Doel 3 und 4. Das Wasser wird immer zuerst durch ein Sieb geleitet, um eventuell vorhandene Gegenstände herauszufiltern, damit die Rohre nicht verstopft werden. Dies wird jedoch für die beiden Entnahmepunkte unterschiedlich gehandhabt.

Bei der Entnahmestelle für Kühlwasser von Doel 1 und 2 erfolgt die mechanische Reinigung außerhalb des Deiches, auf Höhe der Wasserentnahme selbst, mittels Gittern am Einlauf. Fische und Krebstiere haben somit keine Chance, in den Kühlwasserkreislauf zu gelangen. Daher ist an dieser Entnahmestelle keine Fisch- oder Krebstiersterblichkeit festzustellen.

Dies war früher bei Doel 3 und 4 sehr wohl der Fall. Für diese Kraftwerke entschied man sich für ein Kühlwassersystem, bei dem das Wasser zunächst per Gravitationskraft aus der Schelde in eine Sammelgrube auf dem Gelände selbst geleitet wurde. Dies führte ursprünglich dazu, dass große Mengen an Fischen und Krebstieren mit eingefangen wurden. Seit der Installation eines Abschreckungssystems hat sich dies jedoch stark reduziert.

Daraus kann gefolgert werden, dass der längere Betrieb von Doel 1 und 2 nicht zu einer relevanten Erhöhung der Mortalität von Fischen und Krebstieren in der Schelde führen wird.

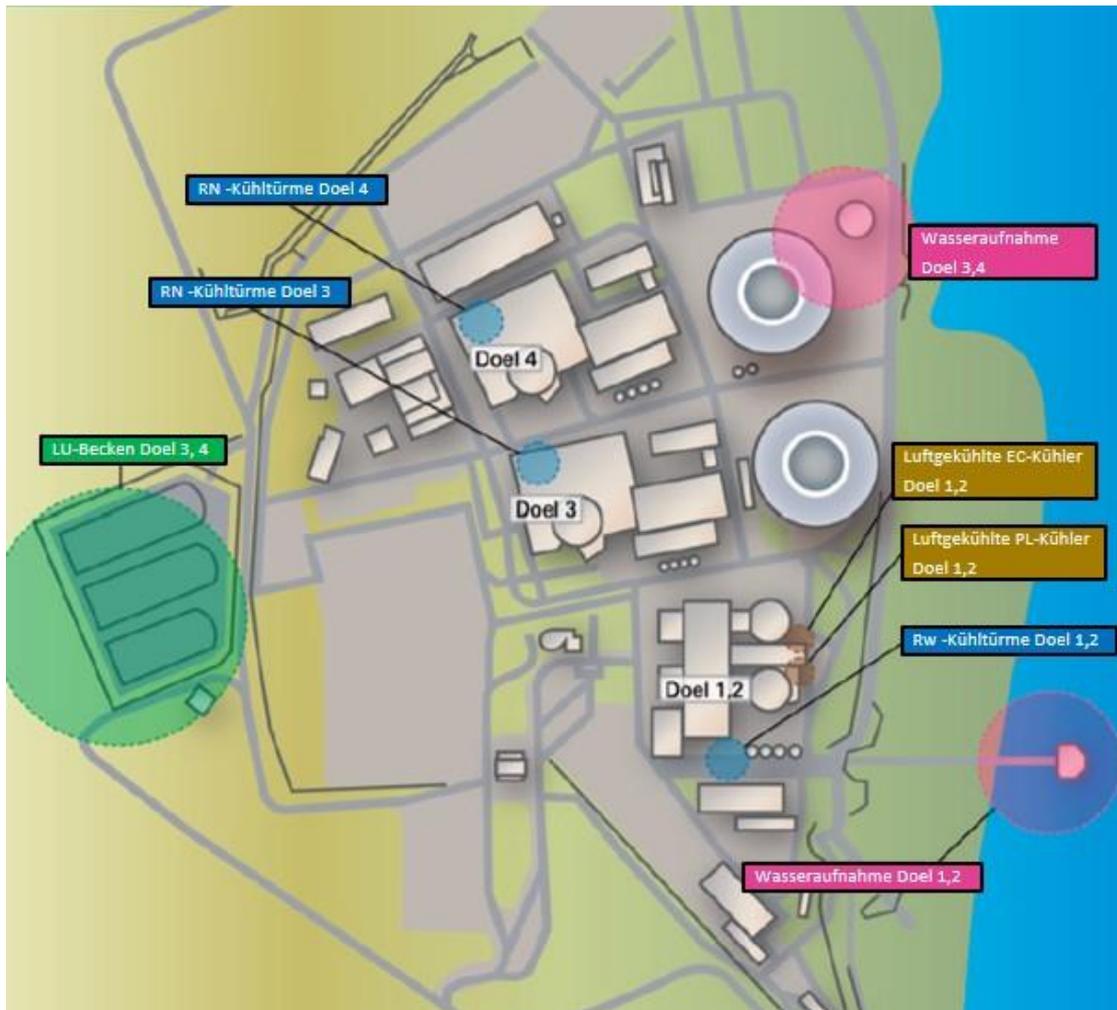


Abbildung 17: Schematische Darstellung des Kühlwassers, mit Darstellung der Wasserentnahmestelle in Doel 1 und 2 sowie Doel 3 und 4 (Quelle: Electrabel AG, 2011).

Beeinträchtigung

Kernkraftwerke haben das Potenzial, Beeinträchtigungen durch Licht, Lärm und die Anwesenheit von Menschen zu verursachen. Viele dieser Faktoren sind schwerlich nur auf den Betrieb von Doel 1 und 2 zurückzuführen. Selbst wenn die beiden Kraftwerke nicht mehr in Betrieb wären, würden die Menschen bei den Aktivitäten in Doel 3 und 4 noch anwesend sein. Dasselbe gilt für das Vorhandensein der Beleuchtung. Da sich die meisten Straßen am Rande des Geländes befinden, wird sich die Beeinträchtigung der Umgebung nicht ändern, wenn nur die Kraftwerke Doel 1 und 2 abgeschaltet werden.

Bezüglich des Lärms gibt es einige Quellen, die nur mit Doel 1 und 2 zusammenhängen. Diese wurden jedoch nie separat modelliert. In die Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten wurde jedoch sehr wohl eine Modellierung aller vorhandenen Lärmquellen integriert. Sie kann daher als absoluter Worst-Case-Ansatz zur Abschätzung der Auswirkungen von Doel 1 und 2 betrachtet werden.



Abbildung 18: Lärmkonturen der kontinuierlich arbeitenden Quellen während des Tages-, Abend- und Nachtzeitraums (Quelle: UVP in Bezug auf die Arbeiten).

Die Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten zeigen, dass sich die Lärmkonturen hauptsächlich in östliche Richtung erstrecken. Die 55-dB(A)-Kontur überschneidet sich mit den Schlick- und Salzwiesen, die sich entlang des Kraftwerks selbst befinden. Die 45-dB(A)-Kontur überschneidet sich mit der Schelde selbst, einem begrenzten Teil von Doelpolder Noord und einem Teil des zukünftigen Gebiets Doelpolder Midden.

Es handelt sich jedoch um ein kontinuierliches Geräusch, das daher sehr vorhersehbar ist und in einem klar abgegrenzten Gebiet auftritt. Es ist daher zu erwarten, dass die Vögel sich davon wenig abschrecken lassen und darüber hinaus bereits ein erheblicher Grad an Gewöhnung eingetreten ist. Vorbeifahrende Autos, Wanderer und, in Bezug auf die Schelde, Boote werden wahrscheinlich eine größere Auswirkung haben. Wir verweisen hierzu auch auf den Bewertungsrahmen für Natur und Erholung (Arcadis, 2009). Außerdem stammt nur ein Teil des Lärms von Doel 1 und 2.

Es ist daher zu erwarten, dass die Auswirkungen des Projekts in Sachen Störungen vernachlässigbar sein werden.

Versauerung und Eutrophierung aus der Luft

Versauerung und Eutrophierung sind äußerst wichtige Faktoren für die Qualität der Lebensräume in Flandern. Dies geht wiederum aus der Beschreibung im jüngsten „Natuurrapport Vlaanderen“ hervor (Schneiders et al., 2020):

„Der Druck, den eutrophierende und versauernde Stoffe über den Weg der Luft- und Wasserverschmutzung auf die Artenvielfalt ausüben, hat in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen. Allerdings schwankt dieser Druck seit einigen Jahren um ein Niveau, das noch zu hoch ist, um die (halb-)natürlichen Ökosysteme an Land und im Wasser wiederherzustellen. Der kritische Schwellenwert für die Eutrophierung über die Luft wird in allen Wäldern, allen Heidelandschaften und fast der Hälfte des artenreichen Grünlands in Flandern überschritten. Das heißt, dass diese

Lebensräume langfristig geschädigt werden. Die Eutrophierung ist einer der Hauptgründe, warum Lebensräume von europäischer Bedeutung ihren gewünschten Zustand nicht erreichen und warum auch ihre Zukunftsaussichten ungünstig sind. Die versauernde Luftverschmutzung überschreitet die kritische Schadensschwelle in 28 Prozent der Wälder und artenreichen Grünlandflächen und in 9 Prozent der Heidelandschaften.“

„Der Überschuss an Wasserstoffionen aus der Versauerung und der Überschuss an Nährstoffen aus der Überdüngung schaden den Organismen direkt. Auch die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften ändert sich. Arten, die an nährstoffreiche Umgebungen gebunden sind, nehmen zu, während seltene oder anspruchsvolle Arten aus nährstoffarmen Umgebungen zurückgehen. Es kommt zu einer Homogenisierung.“ [freie Übersetzung aus dem Niederländischen]

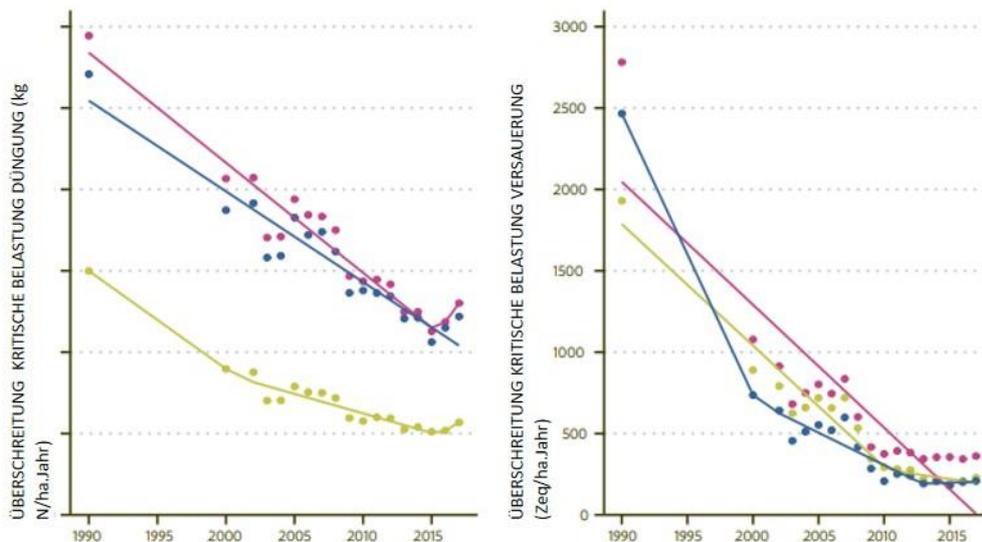


Abbildung 19: Überschreitungen der kritischen Belastungen (modelliert und flächengewichtet) für Eutrophierung (links) und Versauerung (rechts) in Wald, artenreichem Grünland und Heide zwischen 1990 und 2017 (Quelle: Schneiders et al., 2020).

In der Disziplin Luft wird die Auswirkung des Betriebs der Kernkraftwerke auf die Luftqualität untersucht. Diese Auswirkungen können durch den Betrieb von Notfalleinrichtungen und Verbrennungsanlagen sowie durch den Verkehr zum und vom Standort entstehen. Die Analysen zeigen, dass diese Auswirkungen vernachlässigbar sind, jedenfalls im Verhältnis zu den Emissionen aus anderen Quellen in der Umgebung (hauptsächlich im Hafen). Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Entscheidung, die Kraftwerke 10 Jahre länger offen zu halten, eine relevante Auswirkung auf versauernde und eutrophierende Depositionen hat. Die Umweltverträglichkeitsprüfung für die Arbeiten kam auf der Grundlage der berechneten Depositionen ebenfalls zu dem Schluss, dass die Deposition nicht signifikant ist.

Darüber hinaus werden in der Disziplin Luft auch die durch das Projekt vermiedenen Emissionen untersucht. Dabei handelt es sich um Emissionen, die zu erwarten sind, wenn die Stromerzeugung während der verlängerten Laufzeit der Kraftwerke nicht durch die Kernkraftwerke, sondern durch andere Methoden der Energieerzeugung realisiert worden wäre. Dies ist natürlich rein fiktiv, da die Mittel für die Ersatzproduktion zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht vorhanden waren. Aus diesem Grund wird von zwei Szenarien ausgegangen:

- (Extrapolation) der Emissionen, wie sie derzeit bei der nichtnuklearen Stromerzeugung in Flandern auftreten (basierend auf den in den VMM-Datenbanken abrufbaren Daten);
- Einsatz von erdgasbefeuerten GuD der neuesten Generation (allerdings unter Berücksichtigung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte, wie sie von VLAREM-III auferlegt wurden, als „Umsetzung“ der BAT-Schlussfolgerungen).

Das zweite Szenario ist eine Ergänzung zu dem, was im Kapitel „Scoping“ (Abschnitt 2.1.1.3) beschrieben ist, und ist als Sensitivitätsanalyse der mit dem ersten Szenario erhaltenen Ergebnisse gedacht.

Die Berechnungen basieren daher auf der bekannten Stromproduktion von Doel 1 und 2 für den Zeitraum 2015-2018 (für 2019 wurden die Emissionen des Stromsektors in Flandern von VMM noch nicht veröffentlicht) sowie auf den Prognosen bis einschließlich 2025.

Da weder bekannt ist, an welchen Stellen die Emissionen der Anlagen, die die Produktion von Doel 1 und 2 übernehmen würden, erfolgen, noch Einblicke in z. B. mögliche Genehmigungsaufgaben vorhanden sind, die die Anlagen einhalten müssen, noch die Prüfmerkmale bekannt sind, die die Auswirkungen auf die Luftqualität ganz wesentlich bestimmen könnten, ist es nicht möglich, eine quantitativ fundierte Aussage über die möglichen Auswirkungen zu machen, die die Emissionen dieser „Ersatzanlagen“ mit sich bringen werden. Dies ist umso wichtiger für eventuelle Auswirkungen auf die biologische Vielfalt. Denn nicht alle Vegetationen und Arten reagieren gleich empfindlich auf Stickstoffdeposition. Neben den Emissionen selbst hängt diese Deposition auch von der Entfernung zur Quelle und anderen Faktoren wie der Rauheit der Landschaft ab.

Die genauen Auswirkungen in Sachen Versauerung und Eutrophierung können daher nicht abgebildet werden. Im Falle der Disziplin Luft werden jedoch nur begrenzte negative Auswirkungen in der Nähe (einige Kilometer) der neuen Emissionsquellen erwartet. In größerer Entfernung wäre die Auswirkung ohnehin begrenzt. Angesichts des Ausmaßes, in dem die kritischen Schwellenwerte für die Stickstoffdeposition in Flandern überschritten werden, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine zusätzliche Deposition, selbst wenn sie begrenzt wäre, sehr ungünstig für den Erhaltungszustand der Lebensräume und Arten in Flandern wäre.

Direkter Flächenverbrauch

Theoretisch könnte die Entscheidung, die Kernkraftwerke Doel 1 und 2 länger offen zu halten, einen negativen Einfluss auf den Flächenverbrauch haben. Wenn das Kraftwerk verschwinden würde, würde ein Gebiet frei, das aufgrund der Nähe zur Schelde und der verschiedenen Naturentwicklungsgebiete aus Sicht der Natur sehr günstig gelegen ist. Diese Argumentation ist jedoch hinterfragbar:

Erstens befinden sich die Kraftwerke in einem Industriegebiet. Daher besteht bei einer Stilllegung die reale Möglichkeit, dass es zu einer neuen industriellen Entwicklung und nicht zu einer Entwicklung der Natur käme. Außerdem würde nur eine sehr begrenzte Fläche frei werden, da die Kraftwerke Doel 3 und 4 aktiv bleiben. Letzteres bedeutet auch, dass z. B. der geschützte Deich bestehen bleiben muss, um eine Überflutung des Geländes zu vermeiden. Außerdem würde die Bodenqualität des Geländes die Möglichkeiten der Naturentwicklung stark einschränken. Der Boden wurde hier mit Erde aufgeschüttet, die mit Arsen verunreinigt war.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entscheidung, die Abschaltung zu verschieben, keine Auswirkungen in Bezug auf den direkten Flächenverbrauch hat.

2.2.3.6 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Inwieweit darf erwartet werden, dass das Projekt Schäden an der Natur vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Bei der Auswirkungsanalyse wurde das Projekt im Hinblick auf die Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer, die Barrierefunktion, die Mortalität, die Störung, die Versauerung und die Eutrophierung aus der Luft und den direkten Flächenverbrauch untersucht. Für die Barrierefunktion, die Mortalität und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten.

Was Belästigungen anbelangt, so bestand potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten.

Was die Versauerung und Überdüngung aus der Luft betrifft, so ist der Beitrag des Projekts selbst vernachlässigbar und aufgrund der vermiedenen Effekte sogar (begrenzt) positiv.

Die Auswirkungen der Ableitung von Abwasser, Industrierwasser und Kühlwasser auf den gesamten Wasserkörper sind vernachlässigbar. Lokal, in der Zone innerhalb des Leitdamms, können potenziell zwar Auswirkungen auftreten, aber dies ist aus den Überwachungsdaten, z. B. aus dem MONEOS-Programm, nicht ersichtlich.

Insgesamt kann daher der Schluss gezogen werden, dass das Projekt keine vermeidbaren Schäden verursachen wird und eine neutrale Auswirkung auf dieses politische Ziel hat.

Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt irreparable und unvermeidbare Schäden an VEN-Gebieten vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Der Standort des Kernkraftwerks Doel ist an mehreren Seiten umgeben von VEN-Gebiet. Dazu gehören Doelpolder Noord, Doelpolder Midden und die Uferzone der Schelde auf Höhe des Kernkraftwerks selbst. Die wichtigsten Naturwerte sind hier die Schlick- und Salzwiesen selbst, die hier vorkommenden Vögel und die Fische in der Schelde. Die Überprüfung dieses Ziels entspricht der Beantwortung der Fragen in einer strengeren Naturprüfung.

Für die Vögel im VEN-Gebiet war potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung zu erwarten, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten.

Für die Schlickwiesen und die Fische in der Schelde ist die Auswirkung auf die Qualität der Oberflächengewässer ein Punkt, der Beachtung verdient. Die Daten in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten, die auf Messungen der Einleitungsfahne beruhen, zeigen, dass die thermischen Auswirkungen der Einleitungen weitgehend auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt sind. Angesichts der begrenzten Auswirkungen auf den Rest der Schelde werden keine Barriereeffekte für die Fische in der Schelde erwartet. Auch für die anderen Parameter (wie Nitrit und AOX) ist der Beitrag der Einleitungen zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper vernachlässigbar.

Lokal, in der Zone innerhalb des Leitdamms, können potenziell zwar Auswirkungen auftreten, aber dies ist aus den Überwachungsdaten, z. B. aus dem MONEOS-Programm, nicht ersichtlich.

Insgesamt kann daher der Schluss gezogen werden, dass im Kontext der strengeren Naturprüfung keine vermeidbaren und irreparablen Schäden auftreten werden und dass das Projekt eine neutrale Auswirkung auf dieses politische Ziel hat.

Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt bedeutungsvolle Auswirkungen auf NATURA-2000-Gebiete vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Das Projektgebiet ist von BSG-V umgeben und grenzt auch an BSG-H. Die Zielarten und Lebensräume für diese BSG werden in Abschnitt 2.2.3.4 beschrieben. Die Überprüfung dieses Ziels entspricht der Beantwortung der Fragen in einer passenden Prüfung.

Für die Lebensräume im BSG-H ist eine mögliche Auswirkung auf die Schlick- und Salzwiesen relevant sowie die möglichen Auswirkungen auf die versauernde und eutrophierende Deposition. Darüber hinaus kann eine Auswirkung auf angegebene Arten von Bedeutung sein. Dazu gehören beeinträchtigende Auswirkungen, Barriereeffekte, Mortalität oder Auswirkungen durch eine veränderte Qualität der Oberflächengewässer.

Für die Arten des BSG-V kann eine potenzielle Auswirkung durch direkten Flächenverbrauch von (potenziellem) Lebensraum, durch Störung und durch eine indirekte Auswirkung auf die Oberflächenwasserqualität bestehen, die die Verfügbarkeit von Nahrung für die Vögel des BSG-V beeinträchtigen könnte.

All diese möglichen Auswirkungen wurden untersucht. Die Auswirkungsanalyse kam zu dem Schluss, dass weder Auswirkungen in Bezug auf die Barrierefunktion noch auf die Mortalität zu erwarten sind.

Bei den sonstigen Auswirkungen ist im Rahmen der passenden Beurteilung nicht nur zu prüfen, ob eine Auswirkung auf die vorhandenen Lebensräume und Arten vorliegt, sondern auch, ob durch das Vorhaben die Erreichung der Naturziele nicht gefährdet wird.

Für den direkten Flächenverbrauch haben wir daher geprüft, ob die Entscheidung für den längeren Betrieb von Doel 1 und 2 die Entwicklung neuer Lebensräume beeinträchtigt hat. Dies ist nicht der Fall, da die Möglichkeit, an diesem Standort Lebensraum zu entwickeln, angesichts der Zonierung als Industriegebiet und der Tatsache, dass Doel 3 und 4 noch in Betrieb sind, ohnehin nicht möglich ist. Außerdem ist die zusätzliche Fläche nicht notwendig, um die Naturziele für das BSG-V zu erfüllen. Wie in Abschnitt 2.2.3.4 erörtert, werden zusätzliche Gebiete für die Arten eingerichtet, für die es derzeit nicht genügend Lebensraum gibt. Die Fläche dieser Gebiete ist ausreichend, um die Naturziele erreichen zu können.

Auch bei versauernden und eutrophierenden Einträgen müssen die Auswirkungen sowohl anhand der aktuellen Naturwerte als auch der Naturziele bewertet werden. Für die Auswirkungen des Projekts selbst ist diese Beurteilung einfach. In der Tat wird nur eine vernachlässigbare Auswirkung erwartet, und die nahe gelegenen aktuellen Lebensräume und Ziele betreffen Lebensräume mit geringer Empfindlichkeit gegenüber Stickstoffdeposition. Die Auswirkungen der vermiedenen Depositionen sind schwieriger zu beurteilen. Die Auswirkungen sind offensichtlich positiv, aber es ist weniger klar, ob sie auch signifikant sind und somit spürbar zu den Zielen der Natura-2000-Gebiete beitragen. Dies liegt vor allem daran, dass die Auswirkungen der vermiedenen Emissionen nicht räumlich verortet werden können. In der Disziplin Luft wird ausgeführt, dass eine Auswirkung hauptsächlich in den Zonen in unmittelbarer Nähe der „Ersatzanlagen“ auftreten würde und in größerer Entfernung vernachlässigbar wäre. Angesichts der großen Unterschiede in der Empfindlichkeit der Lebensräume und Arten können die potenziellen Auswirkungen dieser „vermiedenen Emissionen“ daher sehr unterschiedlich ausfallen. Es ist zudem so, dass die meisten BSG-H auch jetzt, d. h. ohne „Ersatzanlagen“, den KDW überschreiten. Bei den meisten BSG-H macht das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein zusätzlicher Stickstoffdeposition keinen Unterschied, ob die Naturziele erfüllt werden oder nicht. Andererseits kann sich die Stickstoffdeposition akkumulieren und die zusätzliche Deposition hätte die „Entfernung zum Ziel“ für das Erreichen der Naturziele erhöht. In diesem Sinne ergibt sich also ein begrenzter positiver Effekt in Bezug auf die Zielerreichung.

Die Hauptauswirkung des Kernkraftwerks (abgesehen von den möglichen radiologischen Auswirkungen) liegt jedoch im Bereich der Wasserqualität. Das Kernkraftwerk hat eine erhebliche thermische Auswirkung und leitet auch Abwasser ein, für das eine mögliche eutrophierende und ökotoxikologische Wirkung nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann. Wie bereits erwähnt, ist dieser Einfluss jedoch auf das Gebiet innerhalb des Leitdamms beschränkt und der Beitrag zur gesamten Wasserqualität ist vernachlässigbar. Dies bedeutet auch, dass ein Effekt auf Populationsebene für die in der Schelde vorkommenden Arten ausgeschlossen werden kann. Es gibt zudem keine Hinweise darauf, dass die Ableitungen lokal die Nahrungsverfügbarkeit für die Vögel des BSG-V verringern. Das Gebiet innerhalb des Leitdamms ist noch fischreicher und auch die Artenvielfalt und Biomasse der Makroinvertebraten ist hoch. Ein signifikanter Effekt ist daher nicht zu erwarten.

Schließlich werden für Vögel im BSG-V weder in den bestehenden noch in den noch zu schaffenden Gebieten nennenswerte beeinträchtigende Auswirkungen erwartet. Obwohl der Betrieb von Kernkraftwerken zu erhöhten Lärmpegeln führt, dürfte der Beitrag von Doel 1 und 2 an sich begrenzt sein. Außerdem handelt es sich um kontinuierlichen und vorhersehbaren Lärm, sodass eine Gewöhnung eintreten kann und der beeinträchtigende Einfluss begrenzt bleibt. Andere Formen der Beeinträchtigung, wie z. B. durch Licht oder durch die Anwesenheit von Menschen, werden sich durch das Projekt nicht wesentlich ändern.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass das Projekt keine bedeutenden Auswirkungen auf den Erhaltungszustand von Lebensräumen und Arten im Kontext der geeigneten Prüfung haben wird und dass der Beitrag dieses Projekts zu diesem Ziel neutral ist.

Inwiefern darf erwartet werden, dass das Projekt keine Schäden für nach dem Artenschutzgesetz geschützte Arten verursacht?

Wie oben erläutert, sind keine signifikanten Auswirkungen auf Zielarten im BSG oder im VEN zu erwarten. Auch für die Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie, die auch außerhalb des BSG geschützt sind, sind geringe Auswirkungen zu erwarten.

Das Projekt verursacht keine signifikante Störung und auch die Auswirkungen auf die Wasserqualität sind vernachlässigbar, wenn man sie für den gesamten Wasserkörper betrachtet.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass das Projekt keine bedeutenden Auswirkungen im Kontext des Artenschutzzerlasses haben wird und dass der Beitrag dieses Projekts zu diesem Ziel neutral ist.

Inwiefern darf erwartet werden, dass die Durchführung des Projektes nicht die Erreichung der in Artenschutzprogrammen formulierten Ziele behindert (vgl. Artenschutzzerlass)?

Für Arten, für die ein ASP erstellt wurde, sind die Standorte, die im ASP von Belang sind, bereits Teil eines Schutzgebiets, was bedeutet, dass die Auswirkungen in jedem Fall bereits untersucht werden. Es ist jedoch erwähnenswert, dass auf dem Kühlturm seit 1996 ein Nistkasten für Wanderfalken angebracht ist, in dem regelmäßig Wanderfalken brüten.

Da der Kühlturm hauptsächlich zum Betrieb von Doel 3 und 4 gehört und das Projekt keine Auswirkungen auf diese Kraftwerke hat, werden nur geringe Auswirkungen für den Wanderfalken erwartet.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass das Projekt keine Beeinträchtigung für das Erreichen der in den ASP genannten Ziele haben wird und dass der Beitrag dieses Projekts zu diesem Ziel neutral ist.

2.2.3.7 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Das Kernkraftwerk befindet sich in der Nähe von verschiedenen Schutzgebieten. Es gibt daher mehrere politische Ziele, auf die das Projekt Auswirkungen haben könnte. In diesem Zusammenhang sind sowohl das Naturdekret und seine Ausführungserlasse als auch das Dekret Integrale Wasserpolitik von Bedeutung. Die biologischen Aspekte des Dekrets Integrale Wasserpolitik werden auch in der Disziplin Wasser bewertet, werden aber hier in der Analyse der Auswirkungen diskutiert.

Das Projekt wurde im Hinblick auf die Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer, die Barrierfunktion, die Mortalität, die Störung, die Versauerung und die Eutrophierung aus der Luft und den direkten Flächenverbrauch untersucht. Für die Barrierfunktion, die Mortalität und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten.

In Bezug auf die Beeinträchtigungen sind Änderungen nur im Bereich der Lärmbelastigung zu erwarten. Diese Änderungen sind eher begrenzt, da durch das Projekt nur die Kernkraftwerke Doel 1 und 2 und nicht die beiden anderen Kraftwerke geändert werden. Außerdem handelt es sich um bestehenden Lärm, der kontinuierlich und vorhersehbar ist. Daher sind keine signifikanten Auswirkungen auf die Arten in der Umgebung zu erwarten.

Die Auswirkungen des Betriebs der Kernkraftwerke selbst in Form von versauernden und eutrophierenden Ablagerungen sind vernachlässigbar. Durch die vermiedenen Emissionen sind jedoch positive Auswirkungen zu erwarten. Eine signifikante Auswirkung ist jedoch nur in der unmittelbaren Umgebung der „Ersatzanlagen“ zu erwarten; ihr Standort ist jedoch nicht bekannt. Das macht es schwierig, die Bedeutung dieser positiven Auswirkungen zu beurteilen. Es bleibt die Tatsache, dass die Vermeidung dieser Emissionen nicht verhindern konnte, dass die kritischen Depositionswerte für einen großen Teil der Lebensräume in Flandern (und darüber hinaus) überschritten wurden. Andererseits ist es richtig, dass die „Entfernung zum Ziel“ noch größer gewesen wäre, wenn diese „Ersatzanlagen“ in Betrieb gewesen wären.

Die wichtigste Auswirkung des Projekts ist jedoch die auf die Wasserqualität der Schelde. Die Einleitung von Kühl-, Sanitär- und Industrierwasser sorgt für eine lokale Verschlechterung der Wasserqualität. Die Auswirkung ist jedoch auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt, sodass keine signifikanten Auswirkungen auftreten. Lokal gibt es keine Hinweise darauf, dass die Auswirkungen einen stark nachteiligen Effekt für die vorhandenen Organismen haben. Angesichts der Ausweisung der Schelde selbst als BSG-H und der möglichen Bedeutung dieses Bereichs für die Vögel des BSG-V ist dies eine wichtige Schlussfolgerung.

Auf der Grundlage dieser Analyse wurde der Schluss gezogen, dass das Projekt keine merklich negativen oder positiven Auswirkungen auf die relevanten politischen Ziele hat. Die Auswirkung ist neutral.

2.2.3.8 Minderungsmaßnahmen

Da das Projekt keine spürbaren Auswirkungen auf die politischen Ziele hat, sind keine Minderungsmaßnahmen vorgesehen.

2.2.3.9 Wissenslücken und Überwachung

Die größte Wissenslücke betrifft den Ort der vermiedenen Emissionen. Hierbei handelt es sich um eine positive Auswirkung des Projekts. Aufgrund der Unsicherheit wird die positive Auswirkung als begrenzt angesehen.

Darüber hinaus bestehen auch Unsicherheiten über die möglichen lokalen Auswirkungen auf die Wasserqualität. Da sich die allgemeine Wasserqualität der Schelde immer noch erholt, ist es in der Tat schwierig zu wissen, ob die Qualität ohne das Projekt noch besser hätte sein können. Da es sich jedoch nur um lokale Auswirkungen handelt und die Auswirkungen nicht nur auf den Betrieb von Doel 1 und 2 zurückzuführen sind, sind die Auswirkungen auf die Bewertung vernachlässigbar.

2.2.4 Luft

2.2.4.1 Relevante politische Ziele

Die relevantesten politischen Ziele im Rahmen dieser Umweltverträglichkeitsprüfung sind die Emissionsminderungsziele, die auf europäischer Ebene für die föderale Ebene festgelegt und auf die regionale Ebene weiter verteilt wurden.

Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen oder NEC(National Emission Ceilings)-Richtlinie (2001/81/EG) wurde im Jahr 2001 veröffentlicht. Die Richtlinie definierte Emissionshöchstgrenzen, die ab 2010 nicht mehr überschritten werden dürfen für:

- Schwefeldioxid (SO₂);
- Stickstoffoxide (NO_x);
- flüchtige organische Verbindungen (VOC), außer Methan;
- Ammoniak (NH₃).

Ende 2016 ist die überarbeitete NEC-Richtlinie in Kraft getreten (2016/2284/EU). Sie enthält Ziele für 2020 und 2030, die als relative Reduktionen im Vergleich zu den Emissionen von 2005 formuliert sind. Auch für PM_{2,5} wurden Emissionshöchstmengen aufgenommen. Bis 2019 wird die Überwachung auf den Höchstmengen der „alten“ NEC-Richtlinie (2001/81/EG) basieren.

Tabelle 14: Emissionshöchstmengen gemäß (überarbeiteter) NEC-Richtlinie (2016).

	NEC-Richtlinie 2010	Überarbeitete NEC-Richtlinie - 2020	Überarbeitete NEC-Richtlinie - 2030	Emissionen 2005 (1)
	kt/Jahr	% im Vergleich zu 2005	% im Vergleich zu 2005	kt/Jahr
SO ₂	99	43 %	66 %	142,6
NO _x	176	41 %	59 %	304,5
NMVOG	139	21 %	35 %	147,7
NH ₃	74	2 %	13 %	68,4
PM _{2,5}	nicht zutreffend	20 %	39 %	36,5

(1): Vgl. Dekretentwurf zur Zustimmung zu dem Zusammenarbeitsabkommen vom 24. April 2020 zwischen dem Föderalstaat und den Regionen

Gemäß dem Dekret zur Zustimmung zu dem Zusammenarbeitsabkommen vom 24. April 2020 zwischen dem Föderalstaat und den Regionen wurden die auf föderaler Ebene anwendbaren Emissionsziele nach Regionen aufgeteilt.

Tabelle 15: Emissionsziele 2030 pro Region (absolute Emissionshöchstmengen; vgl. Dekretentwurf zur Zustimmung zu dem Zusammenarbeitsabkommen vom 24. April 2020 zwischen dem Föderalstaat und den Regionen).

	Flämische Region	Wallonische Region	Region Brüssel-Hauptstadt	Insgesamt
	kt/Jahr	kt/Jahr	kt/Jahr	kt/Jahr
SO ₂	32,5	15,6	0,4	48,5
NO _x	71,8	49,6	3,4	124,8
NMVOG	59,5	32,5	4	96
NH ₃	40	19,4	0,1	59,5
PM _{2,5}	12,9	8,8	0,5	22,2

Da der Zeitraum 2015–2025 bewertet werden soll, wird die Bewertung auf der Grundlage der derzeit für das Jahr 2030 geltenden Ziele auf föderaler Ebene erfolgen.

Neben den Emissionszielen kann auch auf Luftqualitätsziele Bezug genommen werden. Diese Ziele beruhen auch auf der europäischen Gesetzgebung.

Die europäische Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa schreibt vor, dass die Luftqualität dort, wo sie gut ist, erhalten und in anderen Fällen verbessert werden muss. Außerdem ist festgelegt, dass bei Überschreitung der Norm für einen oder mehrere Schadstoffe der Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich gehalten werden muss.

Im Oktober 2019 wurde der Flämische Luftpolitikplan 2030 (FLP) von der Flämischen Regierung verabschiedet. Dieser Plan zeigt, dass vor allem die Schadstoffe NO₂ und Feinstaub saniert werden müssen, um eine Situation zu erreichen, in der die Luftverschmutzung keine negativen Auswirkungen mehr auf Mensch und Umwelt hat. Es zeigt sich auch, dass der Luftqualitätsstandard für NO₂ in ganz Flandern an vielen Stellen überschritten wird, insbesondere an verkehrsreichen Stellen. Die Hintergrundkonzentrationen werden durch die kumulative Wirkung aller Emissionsquellen in der Umgebung verursacht. Um den Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich zu halten, müssen die zusätzlichen Emissionen so weit wie möglich begrenzt werden.

Link: <https://omgeving.vlaanderen.be/luchtverontreiniging-actieplannen#luchtbeleidsplan>

2.2.4.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Potenziell relevante Auswirkungen, die in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung innerhalb der Disziplin Luft untersucht werden, betreffen zum einen die mit dem Betrieb von Doel 1 und 2 verbundenen Emissionen in die Atmosphäre und zum anderen die sogenannten „vermiedenen Emissionen“ während des Betriebs von Doel 1 und 2 und die möglichen Rückwirkungen, die die (vermiedenen) Emissionen mit sich bringen können.

In allen Fällen handelt es sich um Emissionen von Verbrennungsparametern. Frühere Studien haben bereits gezeigt, dass etwaige Emissionen von Salzaerosolen aus dem Kühlturm kaum Auswirkungen haben. Da das Kühlwasser von Doel 1 und 2 in der Regel nicht über diese Kühltürme gekühlt wird, ist diesbezüglich keine Auswirkung zu erwarten.

2.2.4.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das Untersuchungsgebiet hängt angesichts der unterschiedlichen Maßstabsgrößen und Standorte von der zu untersuchenden Auswirkung ab. Für die verschiedenen Elemente können die folgenden Gebiete abgegrenzt werden:

- Gebiet von 2 km um das Kraftwerk zur Bewertung der lokalen Emissionen des Kraftwerks;
- Föderales Staatsgebiet zur Bewertung der Emissionswerte gegenüber den NEC-Zielen und den möglichen Auswirkungen von sogenannten vermiedenen Emissionen.

2.2.4.4 Beschreibung der Auswirkungen

Die lokalen Emissionen, die mit dem Betrieb von Doel 1 und 2 verbunden sind, stehen im Zusammenhang mit dem:

- (eingeschränkter) Einsatz von verschiedenen Verbrennungsanlagen und Notstromversorgungen;
- Verkehr zum und vom Standort.

Emissionen aus ortsfesten Anlagen

Die Emissionen der ortsfesten Anlagen wurden in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten anhand des Kraftstoffverbrauchs, der Emissionsfaktoren, der Betriebsstunden usw. kartiert. Hierfür wurden Daten aus dem Jahr 2014 verwendet. Da es sich hier nur um Emissionen aus Hilfstätigkeiten handelt und viele Emissionen nur auf periodische (Sicherheits-)Kontrollen zurückzuführen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionen während des gesamten Betrachtungszeitraums relativ ähnlich sein werden. Eine weitere Detaillierung für die Folgejahre wird im Rahmen der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung als nicht relevant angesehen, zumal die berechneten Emissionen kaum als relevant zu bewerten sind. Dies wird aus dem Vergleich der berechneten Emissionen mit den Emissionen, die im Hafen von Antwerpen und im Großraum Antwerpen anfallen, deutlich.

Tabelle 16: Emissionen aus Feuerungsanlagen (2014) (UVP-Arbeiten Electrabel, 2021).

Funktionselement	CO-Emissionen in kg/Jahr	NO _x - Emissionen in kg/Jahr	SO _x - Emissionen in kg/Jahr	PM10-Emissionen in kg/Jahr	PM2,5- Emissionen in kg/Jahr
DOEL 1 und 2					
PKD-D1/DG0011	39	149	5	2	2
PKD-D1/ED0022	395	1487	47	23	22
PKD-D0/DG0014	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0012	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0024	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0022	0	0	0	0	0
PKD-D2/DG0021	31	118	4	2	2
PKD-D2/ED0012	429	1.617	51	25	24
PKD-D0/DGS12	263	991	32	15	15
PKD-D0/DGS14	438	1.648	52	25	25
PKD-D0/DGS22	333	1.255	40	19	19
PKD-D0/DGS24	271	1.022	32	16	15
PKD-D0/DGS99	295	1.110	35	17	17
Insgesamt	2495	9397	299	145	141

Als relevanteste Emission stellte sich die von NO_x heraus, mit einer jährlichen Belastung von fast 10 Tonnen. Dies entspricht nur 20 % des im Integralen Umweltjahresbericht (IMVJ) verwendeten Schwellenwertes von 50 Tonnen/Jahr. Verglichen mit den NO_x-Emissionen im Ballungsraum Antwerpen (über 5.000 Tonnen im Jahr 2015²⁶) oder den durch VMM im Jahr 2014 berechneten NO_x-Emissionen für das Antwerpener Hafengebiet (20.000 Tonnen) sind diese Emissionen natürlich vernachlässigbar.

Aufgrund der sehr geringen Emissionen werden auch keine relevanten Auswirkungen auf die lokale Luftqualität erwartet. Dies geht auch sehr deutlich aus den Ergebnissen der Auswirkungsberechnungen hervor, die im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten durchgeführt wurden, und zwar für alle Emissionen des gesamten Doel-Geländes (43 Tonnen NO_x im Jahr 2014). Diese Berechnungen zeigen, dass kaum Auswirkungen auf

²⁶ Quelle: VMM, 2020; Luchtkwaliteit in de Antwerpse agglomeratie – jaarrapport 2019.

die lokale Luftqualität auftreten. Da die mit dem Betrieb von Doel 1 und 2 verbundenen Emissionen weniger als 1/4 der Gesamtemissionen ausmachen, können die Auswirkungen als vernachlässigbar bewertet werden.

Es ist auch nicht zu erwarten, dass diese sehr begrenzten Emissionen einen signifikanten Einfluss auf versauernde und eutrophierende Depositionen haben – auch nicht in unmittelbarer Nähe des Standortes.

Auswirkungen des Verkehrs

Vom An- und Abfahrtsverkehr kann nur in unmittelbarer Nähe der Straße zum Gelände eine mögliche Auswirkung auftreten. Diese Auswirkung wird am Straßenrand auf jeden Fall begrenzt sein und nimmt auch mit zunehmender Entfernung von der Straße schnell ab.

Es ist auch nicht zu erwarten, dass diese Verkehrsemissionen einen signifikanten Einfluss auf versauernde und eutrophierende Depositionen haben – auch nicht in der Nähe der Straße.

Vermiedene Emissionen

Wenn Doel 1 und 2 außer Betrieb genommen werden, muss die entfallende Kapazität logischerweise auf andere Weise erzeugt werden. Je nachdem, wie dies geschieht, wird es natürlich auch unterschiedliche Auswirkungen auf den Aspekt Luft und andere Umweltaspekte haben. Im Folgenden werden lediglich mögliche direkte Emissionen im Zusammenhang mit der nichtnuklearen Stromerzeugung betrachtet.

Da es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, den Wegfall der Produktion von Doel 1 und 2 zu kompensieren, und dies auch davon abhängt, in welchem Umfang Strom aus dem Ausland bezogen wird und in welchem Umfang die verschiedenen anderen Produktionstechniken zum Einsatz kommen, wird in dieser UVP nur auf die folgenden Möglichkeiten eingegangen:

- (Extrapolation) der Emissionen, wie sie derzeit bei der nichtnuklearen Stromerzeugung in Flandern auftreten (basierend auf den in den VMM-Datenbanken abrufbaren Daten) (siehe Ergebnisse in Tabelle 17.);
- Einsatz von erdgasbefeuerten GuD der neuesten Generation (allerdings unter Berücksichtigung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte, wie sie von VLAREM-III auferlegt wurden, als „Umsetzung“ der BAT-Schlussfolgerungen) (siehe Ergebnisse in Tabelle 18).

Die Berechnungen basieren daher auf der bekannten Stromproduktion von Doel 1 und 2 für den Zeitraum 2015-2018 (für 2019 wurden die Emissionen des Stromsektors in Flandern von VMM noch nicht veröffentlicht) sowie auf den Prognosen bis einschließlich 2025.

Für die zweite Berechnungsmethode sind bei der Verwendung von (erdgasbefeuerten) GuD tatsächlich nur die Emissionen von NO_x und NH₃ relevant. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass zur Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte ggf. auch ein Denox eingesetzt werden muss, was zu relevanten NH₃-Emissionen führen kann. Die Berechnungen beruhen auf den in Flandern gesetzlich festgelegten Emissionsgrenzwerten (30 bzw. 10 mg/Nm³ bei 15 % O₂).

Obwohl aufgrund der Grenzwerte relevante SO₂-Emissionen auftreten könnten, werden diese aufgrund des sehr geringen S-Gehalts des Erdgases (von der Fluxys AG belgischen Rechts permanent überwacht) nicht berücksichtigt.

Da weder bekannt ist, an welchen Stellen die Emissionen der Anlagen, die die Produktion von Doel 1 und 2 übernehmen würden, erfolgen, noch Einblicke in z. B. mögliche Genehmigungsaufgaben vorhanden sind, die die Anlagen einhalten müssen, noch die Prüfmerkmale bekannt sind, die die Auswirkungen auf die Luftqualität ganz wesentlich bestimmen könnten, ist es nicht möglich, eine quantitativ fundierte Aussage über die möglichen Auswirkungen zu machen, die die Emissionen dieser „Ersatzanlagen“ mit sich bringen werden. Unter der Voraussetzung, dass der Festlegung der minimalen Kaminhöhe die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird und diese in den Genehmigungsbedingungen verankert wird, kann in jedem Fall sichergestellt werden, dass die lokale Auswirkung (in einem Gebiet von mehreren Kilometern um diese Quellen) höchstens begrenzt sein wird. Natürlich kann die Genehmigungsbehörde auch strengere Emissionsgrenzwerte vorschreiben, als sie derzeit für den Sektor gelten.

Tabelle 17: Emissionen aus der Stromerzeugung in Flandern und grobe Schätzung der vermiedenen Emissionen, wenn Doel 1 und 2 außer Betrieb sind, berechnet auf Basis der Extrapolation der festgestellten Emissionen für den Sektor.

Emissionen Stromerzeugung in Flandern		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
CO	Tonnen	1.031	959	1.143	815							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	t/GWh	0,036	0,035	0,041	0,028	0,0297	0,0279	0,0262	0,0247	0,0232	0,0218	0,0205
Vermiedene Emission	Tonnen	120	214	278	73	135	117	175	163	155	146	74
SO _x (SO ₂)	Tonnen	1.068	760	591	411							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	t/GWh	0,037	0,028	0,021	0,014	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002
Vermiedene Emission	Tonnen	125	169	144	37	48	32	37	27	20	14	6
NO _x (NO ₂)	Tonnen	4.627	3.371	3.350	3.285							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	t/GWh	0,162	0,124	0,119	0,113	0,101	0,095	0,089	0,085	0,081	0,077	0,074
Vermiedene Emission	Tonnen	540	752	814	294	461	396	595	558	539	515	266
NH ₃	Tonnen	4,8	7,1	6,5	7,7							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	t/GWh	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,00032	0,00033	0,00035	0,00036	0,00038	0,00039	0,00040
Vermiedene Emission	Tonnen	0,6	1,6	1,6	0,7	1,4	1,4	2,3	2,4	2,5	2,6	1,4
TSP	Tonnen	117	124	59	39							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	t/GWh	0,0041	0,0046	0,0021	0,0013	0,00096	0,00063	0,00042	0,00028	0,00018	0,00012	0,00008
Vermiedene Emission	Tonnen	13,6	27,6	14,2	3,5	4,4	2,6	2,8	1,8	1,2	0,8	0,3
Hochrechnungen basierend auf Daten von 2015 bis einschl. 2018												

Tabelle 18: Abschätzung der vermiedenen Emissionen im Falle des Ersatzes der Stromerzeugung von Doel 1 und 2 durch erdgasbefeuerte GuD der neuesten Generation.

Neue Generation von erdgasbefeuerten GuD (1)		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
GW Doel 1 und 2		3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
t NO _x / GWh	0,144	481	870	984	376	657	602	959	949	963	965	521
t NH ₃ /GWh	0,048	160	290	328	125	219	201	320	316	321	322	174
kt CO ₂ /GWh	0,32	1.069	1.933	2.186	835	1.459	1.338	2.131	2.109	2.141	2.144	1.158
Hochrechnungen basierend auf Daten von 2015 bis einschl. 2018												

(1) mit deutlich höherer Effizienz als bestehende GuD

2.2.4.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

In Tabelle 19 und Tabelle 20 werden die höher berechneten Emissionszahlen mit den NEC-Zielen für Belgien verglichen.

Verglichen mit den politischen Zielen und den zu erreichenden Emissionsreduktionen in Belgien und den Regionen kann man sagen, dass die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 verursachten Emissionen komplett vernachlässigbar sind. Da der „Endzeitraum“ dieser UVP das Jahr 2025 ist, haben diese „eigenen Emissionen“ logischerweise keinen Einfluss auf die Ziele für 2030.

Auch in Sachen Auswirkungen auf die Luftqualität sind von diesen „eigenen Emissionen“ keine Auswirkungen zu erwarten.

Hinsichtlich der Emissionen, die durch die Stilllegung der Anlagen Doel 1 und 2 entstehen würden, kann festgestellt werden, dass diese zwar einen negativen Einfluss auf die Reduktionsziele haben würden (es würden zusätzliche Emissionen entstehen, die dann durch andere Quellen aufgefangen werden müssten), der Anteil dieser Emissionen in Bezug auf die nationalen und regionalen Emissionshöchstmengen kann jedoch für die meisten Parameter als relativ begrenzt eingeschätzt werden. In Bezug auf NO_x können diese Emissionen jedoch als signifikant angesehen werden (durchschnittlich 0,4 % über den Zeitraum 2015-2025 gegenüber der nationalen NO_x-Höchstmenge für 2030).

In der Variante, in der die vermiedenen Emissionen auf Basis der maximalen Emissionen der neuesten Generation von erdgasbefeuerten GuD berechnet werden, sind die Beiträge bezüglich NO_x und NH₃ höher bis sehr deutlich höher als in der ersten Berechnungsvariante. Die vermiedenen NO_x-Emissionen haben einen Beitrag von 0,4 bis 0,8 % (mit einem Durchschnitt von 0,6 % über den Zeitraum 2015-2025, gegenüber 0,4 % bei der ersten Berechnungsmethode), berechnet in Bezug auf die föderale Emissionshöchstmenge für 2030. Für NH₃ erhalten wir einen Durchschnittswert von 0,37 % über den Zeitraum 2015-2025 (gegenüber < 0,01 % bei der ersten Berechnungsmethode), berechnet in Bezug auf die föderale Emissionshöchstmenge für 2030.

Die Auswirkungen auf die Luftqualität der möglichen Quellen, die für die „Ersatzproduktion“ von Doel 1 und 2 verantwortlich sind, können in der Nähe dieser Quellen (einige Kilometer) als begrenzt bewertet werden. In weiterer Entfernung werden die Auswirkungen aufgrund der zunehmenden Streuung als vernachlässigbar angesehen.

NO_x- und ggf. NH₃-Emissionen können durch versauernde und eutrophierende Ablagerungen auch lokale Auswirkungen haben. Aber auch bei diesen Parametern ist darauf hinzuweisen, dass die Auswirkungen stark von möglichen Genehmigungsbedingungen und Quellencharakteristika der „Ersatzanlagen“ abhängen werden.

Es ist deutlich, dass bei einer längeren Offenhaltung von Doel 1 und 2 die Emissionen, die im Zeitraum 2015-2025 von den mit beiden Reaktorblöcken verbundenen Verbrennungsanlagen erzeugt würden, um ein Vielfaches geringer wären als die Emissionen, die im gleichen Zeitraum entstehen würden, wenn Doel 1 und 2 im Jahr 2015 abgeschaltet worden wären. Für SO_x und NO_x sind dies unter den verwendeten Annahmen bezüglich der Zusammensetzung des Produktionsparks in der Referenzsituation (erste Variante) 0,5 % bzw. 1,8 %. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher sehr gering im Vergleich zu den vermiedenen Emissionen. Dies gilt natürlich auch für die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Luftqualität und auf versauernde und eutrophierende Einträge.

Tabelle 19: Schätzung des relativen Anteils der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC-2030-Ziel basierend auf einer Berechnungsmethode, die auf der Extrapolation der tatsächlichen Emissionen beruht.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
SO _x (SO ₂)												
Vermiedene Emission	Tonnen	125	169	144	37	48	32	37	27	20	14	6
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene	Tonnen	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,26	0,35	0,30	0,08	0,10	0,07	0,08	0,05	0,04	0,03	0,01
NO _x (NO ₂)												
Vermiedene Emission	Tonnen	540	752	814	294	461	396	595	558	539	515	266
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene	Tonnen	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,43	0,60	0,65	0,24	0,37	0,32	0,48	0,45	0,43	0,41	0,21
NH ₃												
Vermiedene Emission	Tonnen	0,6	1,6	1,6	0,7	1,4	1,4	2,3	2,4	2,5	2,6	1,4
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene	Tonnen	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,0008	0,0023	0,0023	0,0010	0,0021	0,0020	0,0034	0,0035	0,0037	0,0038	0,0021
TSP												
Vermiedene Emission	Tonnen	13,6	27,6	14,2	3,5	4,4	2,6	2,8	1,8	1,2	0,8	0,3
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene (PM _{2,5} bewertet im Vergleich zu TSP)	Tonnen	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,061	0,124	0,064	0,016	0,020	0,012	0,013	0,008	0,006	0,004	0,001

Tabelle 20: Schätzung des relativen Anteils der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC-2030-Ziel basierend auf einer Berechnungsmethode, die auf den höchsten Emissionsniveaus der neuesten Generation großer GuD beruht.

Neue Generation von erdgasbefeuerten GuD (1)		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
t NO _x		481	870	984	376	657	602	959	949	963	965	521
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene	Tonnen	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,39	0,70	0,79	0,30	0,53	0,48	0,77	0,76	0,77	0,77	0,42
t NH ₃		160	290	328	125	219	201	320	316	321	322	174
NEC-2030-Ziel auf föderaler Ebene	Tonnen	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400
Anteil der vermiedenen Emissionen im NEC-2030-Ziel	%	0,23	0,42	0,48	0,18	0,32	0,29	0,47	0,46	0,47	0,47	0,25

2.2.4.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Der Betrieb von Doel 1 und 2 erzeugt aufgrund der Verbrennungsparameter sehr begrenzte Emissionen. Diese Emissionen sind vernachlässigbar im Vergleich zu den Gesamtemissionen und den Emissionshöchstmengen. Die Emissionen sind zudem derart begrenzt, dass davon kaum oder keine Auswirkungen auf die Luftqualität oder auf versauernde und eutrophierende Ablagerungen auftreten.

Die Auswirkungen des Verkehrs zum und vom Standort können ebenfalls als vernachlässigbar angesehen werden.

Durch den Weiterbetrieb der Anlagen Doel 1 und 2 werden Emissionen vermieden, die bei einer nichtnuklearen Stromerzeugung anfallen würden. Es ist nicht einfach, ein genaues Bild dieser vermiedenen Emissionen zu erhalten, da sie von der Höhe der Importe und von den betrachteten Produktionsmethoden abhängen. Um sich ein Bild von diesen Emissionen zu machen, werden zwei Berechnungsmethoden angewandt:

- Extrapolation der Emissionen aus der nichtnuklearen Produktion (basierend auf den tatsächlichen Emissionen);
- Einsatz der neuesten Generation von erdgasbefeuerten GuD (basierend auf sektoralen Emissionsgrenzwerten).

Bei der ersten Berechnungsmethode sind nur die NO_x-Emissionen relevant, die einen deutlichen Teil der nationalen Emissionshöchstmenge für 2030 ausmachen. Die zweite Berechnungsmethode führt zu relevanteren Emissionen für NO_x und NH₃.

Durch den Weiterbetrieb von Doel 1 und 2 wird auch vermieden, dass es auf lokaler Ebene, an Standorten, an denen zum Zeitpunkt der Stilllegung „Ersatzproduktionen“ realisiert würden, zu Auswirkungen hinsichtlich der Luftqualität und der Depositionen kommt. In einem begrenzten Gebiet (von einigen Kilometern) um solche potenziell relevanten Quellen wird so eine begrenzte Auswirkung auf NO₂ und auf versauernde und eutrophierende Deposition vermieden. Bei etwas größerer Entfernung zu diesen Quellen würden die Auswirkungen ohnehin begrenzt sein.

2.2.4.7 Minderungsmaßnahmen

Es werden keine Minderungsmaßnahmen für notwendig erachtet.

2.2.4.8 Wissenslücken und Überwachung

Es gibt keine Wissenslücken, die die Bewertung der Auswirkungen beeinflussen.

Abgesehen von der bereits bestehenden Überwachung, sowohl in Bezug auf Emissionen als auch auf die Luftqualität, wird keine zusätzliche Überwachung für notwendig erachtet.

2.2.5 Klima

2.2.5.1 Relevante politische Ziele

Bei den Treibhausgasemissionen wird in Europa zwischen Emissionen, die unter das europäische Emissionshandelssystem (Emission Trading System, kurz: ETS) fallen, und anderen (Nicht-ETS-)Emissionen unterschieden.

Im Jahr 2016 hat sich die Europäische Union im Rahmen ihrer Nationally Determined Contribution (NDC, zu Deutsch: national festgelegte Beiträge) verpflichtet, ihre gesamten Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % im Vergleich zu den Emissionen des Jahres 1990 zu reduzieren²⁷. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine 43%ige Reduktion im ETS-Sektor und eine 30%ige Reduktion im Nicht-ETS-Sektor angenommen, jeweils im Vergleich zum Jahr 2005.

²⁷ Siehe Europäischer Klima- und Energierahmen 2030.

Auf Ebene der Mitgliedsstaaten sind nur die *Nicht-ETS*-Emissionen (Verkehr, Gebäude, Abfall und Landwirtschaft) Gegenstand von Zielvorgaben. Über die Lastenteilungsverordnung wurde das EU-Ziel einer 30-prozentigen Reduktion für Belgien in eine 35-prozentige Reduktion (im Jahr 2030, im Vergleich zu 2005) übersetzt. Dieser Prozentsatz wurde von Flandern im Flämischen Energie- und Klimaplan (VEKP) 2021-2030 übernommen²⁸. Der VEKP legt die Grundzüge der Politik für den Zeitraum 2021-2030 fest und enthält pro Nicht-ETS-Sektor angekündigte Aktionspläne und Maßnahmenpakete sowie die geschätzten Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Prognosen. Das vorliegende Projekt fällt nicht unter das im VEKP aufgenommene Reduktionsziel von 35 %, da es sich nur auf den Nicht-ETS-Sektor bezieht.

Das *ETS-System* wird durch die Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft geregelt, die ursprünglich am 13. Oktober 2003 veröffentlicht, aber seit ihrer Verabschiedung regelmäßig geändert wurde. Das ETS gilt u. a. für „Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 MW“ (vgl. Anhang I der Richtlinie 2003/87/EG), und somit auch für das vorliegende Projekt. Die konkrete Umsetzung dieser Richtlinie wird durch verschiedene (europäische) Erlasse und Verordnungen geregelt. Diese wurden auch (teilweise) in die flämische Gesetzgebung übernommen, zum Beispiel in der Flämischen Satzung zur Umweltgenehmigung (Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning, kurz: VLAREM), dem Dekret zur Festlegung allgemeiner Bestimmungen über Umweltpolitik (Decreet algemene bepalingen milieubeleid, kurz DABM) und dem Dekret über die Umgebungsgenehmigung (Omgevingsvergunningdecreet). In Flandern wurde das Umweltministerium als zuständige Behörde im Zusammenhang mit dem EU-ETS benannt.

Seit 2005 ist das europäische Emissionshandelssystem der Eckpfeiler der EU-Strategie zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus der Industrie sowie der Strom- und Wärmeerzeugung. Etwa 45 % aller Treibhausgasemissionen in der EU werden inzwischen von diesem System erfasst. Das System basiert auf der Annahme, dass der Marktmechanismus (mithilfe von handelbaren Emissionszertifikaten) die Treibhausgasemissionen der betreffenden Anlagen auf die effizienteste Weise reduzieren können, wobei eine feste Obergrenze gilt. Indem man schrittweise mehr „Knappheit“ auf dem Markt für Emissionszertifikate schafft (indem man die Obergrenze abbaut), steigt der Wert dieser Rechte, wodurch ein Anreiz geschaffen wird, nach dem kosteneffizientesten Weg zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu suchen. Emissionszertifikate werden in erster Linie über Versteigerungen verteilt, teilweise aber auch durch kostenfreie Zuteilung, letzteres vor allem, um eine sogenannte „Carbon Leakage“ (Verlagerung von CO₂-Emissionen) zu vermeiden. Für den Stromsektor gilt die kostenfreie Zuteilung jedoch seit 2013 nicht mehr.

Wie bereits erwähnt, zielt der Europäische Klima- und Energierahmen 2030 darauf ab, bis 2030 eine Reduktion von 43 % für den ETS-Sektor zu erreichen (im Vergleich zu den Emissionen von 2005), und zwar für die gesamte Union. Daher gibt es auf Ebene der Mitgliedstaaten keine spezifischen Ziele für die ETS-Sektoren. Das Ziel ist es, die ETS-Sektoren zu ermutigen, die Treibhausgasemissionen unter gleichen Bedingungen auf EU-Ebene zu reduzieren. Eine kürzlich erfolgte gründliche Überarbeitung der Richtlinie 2003/87/EG (über die Richtlinie (EU) 2018/410), die für den Zeitraum 2021-2030 (vierte Handelsperiode) gilt, zielt darauf ab, dieses ETS-Ziel zu erreichen. Dies beinhaltet einen strengerer Reduktionsweg, bei dem ab 2021 die Anzahl der Emissionszertifikate um 2,2 % pro Jahr reduziert wird (in der dritten Handelsperiode waren es 1,74 %).

Am 11. Dezember 2019 kündigte die Europäische Kommission ihren „Green Deal“ (Grünen Deal) an, der das Ziel beinhaltet, das 40%ige Reduktionsziel (siehe oben) auf mindestens 55 % zu erhöhen und bis 2050 klimaneutral zu sein. Eine Reduktion in dieser Größenordnung ist auch (weltweit) erforderlich, wenn die globale Erwärmung auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden soll. Das Europäische Parlament hat am 15. Januar 2020 seine Unterstützung für die Vorschläge der Kommission zum Ausdruck gebracht. Am 11. Dezember 2020 hat sich

²⁸ Die Erstellung des VEKP steht im Einklang mit Artikel 3 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, wonach jeder Mitgliedstaat bis zum 31. Dezember 2019 einen integrierten nationalen Energie- und Klimaplan für den Zeitraum von 2021 bis einschließlich 2030 bei der Kommission vorlegen muss.

auch der Europäische Rat hinter das verbindliche Ziel von mindestens 55 % Netto­reduktion der Treibhausgasemissionen in der EU bis 2030 im Vergleich zu 1990 gestellt.

Es ist offensichtlich, dass, wenn diese politischen Ambitionen in Vorschriften umgesetzt werden, dies auch Konsequenzen sowohl für die Ziele innerhalb des ETS-Systems als auch für die flämischen Nicht-ETS-Reduktionsziele haben wird. Die Kommission beabsichtigt, bis Juni 2021 Vorschläge für die Überarbeitung der relevanten Vorschriften, einschließlich derjenigen, die sich auf das ETS beziehen, vorzulegen. Es ist daher klar, dass der zukünftige (politisch) verfügbare „Klimaraum“ kleiner sein wird als heute.

Darüber hinaus muss nach 2030 ein noch steilerer Reduktionsweg verfolgt werden. Im Jahr 2009 einigten sich die Staats- und Regierungschefs der EU darauf, die europäischen Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 % im Vergleich zu 1990 zu senken. Diese Ambition wurde 2011 mit der Veröffentlichung eines „*Fahrplans für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050*“ bekräftigt, der auch eine Reihe von mittelfristigen Meilensteinen festlegt. Wie bereits erwähnt, verstärken die im europäischen Grünen Deal enthaltenen Vorschläge diese Ambition zur Klimaneutralität im Jahr 2050 noch.

Neben der Politik zu den Treibhausgasemissionen muss auch die Notwendigkeit der Klimaanpassung berücksichtigt werden. Auf europäischer Ebene gibt es hierfür keine allgemeingültigen operativen Ziele, was nicht verwunderlich ist, da der Anpassungsbedarf auf einer überwiegend lokalen Ebene definiert werden muss. Flandern verfügt über einen Entwurf für einen Anpassungsplan für den Zeitraum 2021-2030. Dieser flämische Anpassungsplan (FAP), der noch in Form von Anpassungsmaßnahmenplänen weiter konkretisiert werden muss, konzentriert sich auf die folgenden Strategien und Lösungsrichtungen, um den Auswirkungen von Temperaturanstieg, Hitze, Trockenheit, extremen Niederschlägen und steigendem Meeresspiegel zu begegnen:

- Das Ziel eines Raums, einer Gesellschaft, von Gebäuden und (Mobilitäts-)Infrastruktur anstreben, die klimaangepasst und -neutral sind;
- Risiken von Wasserknappheit und übermäßigen Niederschlägen minimieren;
- Grün-blaue Netzwerke maximieren;
- Das Ziel einer klimaangepassten und kreislauforientierten Wirtschaft anstreben;
- Das Ziel einer klimaangepassten und kreislauforientierten Landwirtschaft und Lebensmittelkette anstreben.

Ebenfalls relevant ist die UVP-Richtlinie 2011/92/EU, geändert durch die Richtlinie 2014/52/EU. Wie bereits erwähnt, sieht Anhang IV dieser (geänderten) Richtlinie vor, dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung neben einer Beschreibung der Auswirkungen des Projekts auf das Klima auch eine Bewertung der *Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel* enthalten muss.

Zusammengefasst sind die politischen Ziele in Bezug auf das Klima, die im Rahmen dieser UVP bewertet werden, die folgenden:

- Die größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen;
- Erreichen einer maximalen Widerstandsfähigkeit von Umwelt und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels;
- Minimierung der Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels.

2.2.5.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Das Projekt, das Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung ist, hat eine Reihe von potenziellen Beziehungen bezüglich des (Nicht-)Erreichens der oben zusammengefassten politischen Ziele.

Zusammengefasst handelt es sich dabei um die folgenden Beziehungen:

1. Doel 1 und 2 umfassen eine Reihe von Anlagen, die die Quelle von Treibhausgasemissionen sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um Diesel-Notpumpen und -Generatoren. Diese sind unter normalen Umständen nicht im Einsatz, aber ihr Funktionieren wird regelmäßig getestet. Bei diesen Tests wird CO₂ erzeugt. Im Jahr 2019 bedeutete dies Emissionen von 164,4 Tonnen CO₂ für Doel 1 und 2, von den (geschätzten) Gesamtemissionen des gesamten Standorts von etwa 1.272 Tonnen.

2. Zusätzlich zu diesen Emissionen muss man auch die durch die Verschiebung der Abschaltung vermiedenen Treibhausgasemissionen berücksichtigen, in dem Sinne, dass, wenn die Abschaltung nicht verschoben worden wäre, die Produktionskapazität durch andere Quellen (die zumindest teilweise fossiler Natur gewesen wären) hätte ersetzt werden müssen.
3. Aufgrund seiner beträchtlichen Fläche kann das Kraftwerk eine Auswirkung auf die Widerstandsfähigkeit seiner Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels haben, z. B. in Bezug auf Hitzephänomene oder (starke) Niederschläge.
4. Das Kraftwerk selbst kann anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels wie Überschwemmung, übermäßige Niederschläge oder Hitze sein.

Die Punkte 1 und 2 beziehen sich auf das politische Ziel „Verringerung der Treibhausgasemissionen“, Punkt 3 auf das politische Ziel „Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Umwelt“ und Punkt 4 auf das politische Ziel „Verringerung der Anfälligkeit des Projekts“.

Jeder dieser Punkte wird auf den folgenden Seiten ausführlicher behandelt.

2.2.5.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das Projektgebiet ist die Summe aller Orte, an denen Eingriffe stattfinden oder Situationen verändert oder aufrechterhalten werden. Innerhalb dieses Projektgebiets wird die Anfälligkeit der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels bewertet, ebenso wie etwaige Änderungen bei den Emissionen (oder der Festlegung) von CO₂ und, sofern relevant, anderen Treibhausgasen. Der Fokus liegt dabei vor allem auf den Emissionen des Kraftwerks selbst. Emissionen, die z. B. durch den Verkehr zum und vom Kraftwerk entstehen, werden auf dieser strategischen Ebene nicht berücksichtigt. Innerhalb des Projektgebiets wird auch die Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels bewertet.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen wird kein Untersuchungsgebiet in Form von Wirkungsrezeptoren definiert, da der durch Treibhausgasemissionen verursachte Klimawandel ein globales Phänomen ist und seine Auswirkungen auch global zu spüren sind.

Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen kann im Prinzip überall in Belgien oder, im Falle von Stromimporten, auch im Ausland stattfinden. Da die Auswirkungen dieser Emissionen nicht durch den Ort ihrer Entstehung bestimmt werden, ist dies für die Diskussion der Auswirkungen nicht relevant.

2.2.5.4 Beschreibung der Auswirkungen

Emissionen des Kraftwerks

Wie gesagt, stammen die Treibhausgasemissionen des Kraftwerks aus dem Betrieb einer Reihe von Dieselmotoren (zum Antrieb von Notpumpen und Notstromaggregaten) sowie aus Dampf- und Heizkesseln. Das Inventar der Treibhausgasemissionen des Kernkraftwerks Doel weist 55 solcher Anlagen mit einer installierten thermischen Gesamtleistung von 315 MW aus. Die Anzahl der Betriebsstunden dieser Anlagen ist jedoch (sehr begrenzt); 2019 schwankte sie (je nach Anlage) zwischen 0 und 72 Stunden, mit einem Durchschnitt von etwa 16 Std. pro Anlage.

Das Inventar unterscheidet zwischen den verschiedenen Kraftwerken auf dem Gelände, so dass es möglich ist, die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit Doel 1 und 2 separat zu schätzen. Dabei geht es um 13 Dieselmotoren mit einer installierten Gesamtleistung von fast 80 MW (siehe

Tabelle 21).

Tabelle 21: Mit fossilem Kraftstoff betriebene Motoren, die eindeutig dem Betrieb von Doel 1 und Doel 2 zuzuordnen sind.

Name	Leistung (MWth)	Funktion
PKD-D1/DG0011	4,3	Hilfsdiesel
PKD-D1/ED0022	6,1	Notdiesel
PKD-D0/DG0014	6,2	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DG0012	6,2	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DG0024	6,2	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DG0022	6,2	Sicherheitsdiesel
PKD-D2/DG0021	4,3	Hilfsdiesel
PKD-D2/ED0012	6,1	Notdiesel
PKD-D0/DGS12	6,79	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DGS14	6,79	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DGS22	6,79	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DGS24	6,79	Sicherheitsdiesel
PKD-D0/DGS99	6,79	Sicherheitsdiesel

Zusammengenommen sind diese Anlagen im Jahr 2019 ca. 189 Stunden in Betrieb gewesen.

Abgesehen von Anlagen, die eindeutig Doel 1 und 2, Doel 3 oder Doel 4 zugeordnet werden können, gibt es noch eine Reihe von Anlagen, bei denen dies nicht der Fall ist. Basierend auf dem Emissionsinventar für das Jahr 2019 machen diese zusammen weniger als 4,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen des Kraftwerks aus. Eine Zuweisung an Doel 1 und 2 (z. B. im Verhältnis zur Leistung der Kraftwerke) würde die Emissionswerte dieser Kraftwerke kaum beeinflussen, sodass wir angesichts der mit einer solchen Zuweisung verbundenen Unsicherheiten darauf verzichten.

Tabelle 22 zeigt die Treibhausgasemissionen für den Standort und für Doel 1 und 2 für die Jahre 2015-2019, wie sie aus dem Emissionsinventar des Standorts und der ETS-Berichterstattung abgeleitet wurden. Der Anteil von Doel 1 und 2 variiert von Jahr zu Jahr, mit einem maximalen Anteil von 30 % an den Gesamtemissionen des Standorts. Wenn wir vereinfachend von einem Maximum von etwa 500 Tonnen/Jahr ausgehen, erhalten wir kumulative Treibhausgasemissionen in der Größenordnung von maximal 5.500 Tonnen über den Zeitraum 2015-2025, als direkte Auswirkung des Aufschiebs der Abschaltung von Doel 1 und 2.

Tabelle 22: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO₂eq/Jahr) für das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) und die Blöcke Doel 1 und 2 für den Zeitraum 2015-2019.

	2015	2016	2017	2018	2019
Treibhausgasemissionen KKW Doel (Tonnen CO ₂ eq)	1.887	1.420	1.414	1.675	1.272

Treibhausgasemissionen Doel 1 und 2 (Tonnen CO ₂ eq)	487,30	421,81	358,49	395,68	164,40
Anteil der Treibhausgasemissionen Doel 1 und 2 im KKW Doel	26 %	30 %	25 %	24 %	13 %
Produktion Doel 1 und 2 (GWh)	3.340	6.040	6.830	2.610	
Relative Treibhausgasemissionen Doel 1 und 2 (gCO ₂ eq/kWh)	0,146	0,070	0,052	0,15	

Setzt man die Emissionen ins Verhältnis zum produzierten Strom, erhält man einen Wert, der für die betrachteten Jahre zwischen 0,070 und 0,15 Gramm CO₂ pro kWh schwankt²⁹. Die berechnete spezifische Emission ist bei geringerer Produktion relativ betrachtet höher, was logisch ist, da die Emissionen selbst relativ konstant sind und nicht mit der produzierten Kapazität zusammenhängen.

Zum Vergleich: Ein GuD-Kraftwerk der neuesten Generation hat Emissionen von etwa 320 g CO₂ pro kWh, und die spezifischen Treibhausgasemissionen der gesamten belgischen Stromerzeugung betragen 167 g/kWh im Jahr 2019 (EEA, 2020).

Abbildung 20 vergleicht die letztgenannte Zahl mit anderen EU-Mitgliedstaaten. Dies zeigt deutlich, dass die spezifischen Emissionen des belgischen Stromparks viel niedriger sind als z. B. in den Niederlanden (390 g CO₂eq/kWh) und Deutschland (338 g CO₂eq/kWh), beides Länder, die auch 2019 noch einen erheblichen Anteil fossiler Energie (u. a. Steinkohle und im Fall von Deutschland Braunkohle) in ihrem Energiemix haben. Länder, die besser abschneiden als Belgien, sind diejenigen, die über bedeutende Kern- und/oder Wasserkraftkapazitäten verfügen.



Abbildung 20: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO₂eq/kWh) des Stromsektors für die verschiedenen EU-Mitgliedstaaten.

Wir können feststellen, dass die CO₂-Emissionen von Doel 1 und 2 um zwei Größenordnungen geringer sind als die durchschnittlichen Emissionen des Produktionsparks und erst recht als die Emissionen moderner Gaskraftwerke. Angesichts der eingesetzten Technologie sollte dies nicht überraschen. Die auftretenden Emissionen sind nicht auf

²⁹ Am Rande sei erwähnt, dass die Lebenszeit-Treibhausgasemissionen eines Kernkraftwerkes zwischen 10 und 130 g CO₂-e/kWhe geschätzt werden können, mit einem Durchschnitt von 65 g CO₂-e/kWhe (siehe u. a. Lenzen M., 2008). In dieser Zahl sind auch die Emissionen aus dem Abbau von Uran sowie dem Bau und der Stilllegung des Kraftwerks berücksichtigt. Die Lebenszyklus-Emissionen eines Kernkraftwerks sind also 10 bis 20 Mal niedriger als die eines Wärmekraftwerks, aber höher als die von z. B. Windkraftanlagen.

den normalen Betrieb des Kraftwerks zurückzuführen, sondern auf die Testzyklen von Anlagen, die nur in Notfällen eingesetzt werden.

Vermiedene Emissionen des Kraftwerks

Unter dieser Überschrift diskutieren wir die Emissionen, die entstehen würden, wenn die im Jahr 2015 weggefallene Produktionskapazität durch einen anderen, nichtnuklearen Energiemix ersetzt worden wären.

Es ist klar, dass das Wegfallen der nuklearen Kapazität in Belgien zumindest teilweise durch Gaskraftwerke aufgefangen werden muss. Ein äußerst aktueller Bericht³⁰ schätzt die Kohlenstoffintensität der belgischen Stromversorgung im Jahr 2030 auf 229 g CO₂eq/kWh, was einen Anstieg von fast 71 % im Vergleich zur heutigen Situation bedeutet. Belgien ist eines der wenigen europäischen Länder, in denen die Kohlenstoffintensität eher steigt als sinkt. Der Grund dafür ist natürlich, dass der Anteil der erneuerbaren Energien auch im Jahr 2025 noch zu gering sein wird, um die schnell weggefallene nukleare Produktion zu kompensieren. EMBER geht von einem Anteil von 57 % Erdgas³¹ und 40 % erneuerbarer Energien im Jahr 2030 aus. Offensichtlich wird die Kohlenstoffintensität der belgischen Energieerzeugung nach 2030 abnehmen, da der Anteil der erneuerbaren Energien steigt und Gaskraftwerke folglich auch weniger produzieren.

In dieser Umweltverträglichkeitsprüfung betrachten wir jedoch nicht die zukünftige Situation nach 2025, sondern den Zeitraum 2015-2025. Wie bereits angedeutet, gab es im Jahr 2015 keine vernünftigen Alternativen zur Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2. Die Berechnung der Emissionen, die in diesem Zeitraum hätten auftreten können, wenn die Abschaltung nicht verschoben worden wäre, ist daher eine rein theoretische Übung, die nur eine Vorstellung von der Größenordnung der vermiedenen Emissionen vermitteln soll. In dieser UVP treffen wir daher auch, wie oben erläutert, die vereinfachende Annahme, dass der (theoretische) Produktionspark, der die verlorene nukleare Kapazität im Zeitraum 2015-2025 ersetzen soll, die gleiche relative Zusammensetzung hat wie der nichtnukleare Teil des Produktionsparks zu diesem Zeitpunkt.

Die Berechnungen, die vom Experten für Luft durchgeführt wurden, sind im Folgenden zusammengefasst.

Tabelle 23: Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen im Falle eines Aufschubs der Abschaltung von Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2025, unter der Annahme eines gemischten nichtnuklearen Energiemixes.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Emissionen Stromerzeugung	kt CO ₂ eq	12.725	11.340	11.567	11.201							
Nichtnukleare Produktion in Flandern	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Relative nichtnukleare Emission	kt CO ₂ eq /GWh	0,445	0,419	0,412	0,384	0,382	0,375	0,369	0,363	0,359	0,354	0,350
Vermiedene Treibhausgasemissionen	kt CO ₂ eq	1.485	2.528	2.811	1.002	1.742	1.566	2.455	2.394	2.398	2.374	1.269

³⁰ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, November 2020.

³¹ In einer kürzlich (2020) veröffentlichten Aktualisierung des Ausblicks für die belgische Stromversorgung in den Jahren 2030 und 2050 geht Energyville von einem deutlich geringeren Anteil von 44 % Erdgas im Jahr 2030 aus.

Diese Tabelle enthält die folgenden gemeldeten oder berechneten Daten für die Jahre 2015-2018:

- Die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung in Flandern, in kt. Wir gehen davon aus, dass diese vollständig auf den nichtnuklearen Teil der Produktion zurückzuführen sind;
- Die nichtnukleare Energieproduktion in Flandern, in GWh;
- Die Produktion von Doel 1 und 2, in GWh (bereitgestellt von der Electrabel AG);
- Die relativen Treibhausgasemissionen des nichtnuklearen Elektrizitätssektors (in kt CO₂eq/GWh), erhalten durch Division der gemeldeten Emissionen für den gesamten Park durch die nichtnukleare Energieerzeugung;
- Die vermiedenen Treibhausgasemissionen, berechnet durch Multiplikation der nichtnuklearen Produktion mit den Emissionen pro GWh.

Für die Jahre 2019 bis 2025 enthält die Tabelle die folgenden (abgeleiteten) Daten:

- Die Produktion von Doel 1 und 2, (Prognosen bereitgestellt von der Electrabel AG);
- Die relativen Treibhausgasemissionen des nichtnuklearen Stromsektors (in kt CO₂eq/GWh), ermittelt durch Extrapolation der Entwicklung über die Jahre 2015-2018. Den Abwärtstrend, der vor allem auf die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Strommix zurückzuführen ist, hält an;
- Die vermiedenen Treibhausgasemissionen, berechnet auf die gleiche Weise wie für den Zeitraum 2015-2018.

Aufgrund der Schwankungen in der (beobachteten bzw. prognostizierten) Produktion von Doel 1 und 2 schwanken auch die vermiedenen Emissionen recht stark, mit einem Minimum von etwa 1.000 kt CO₂eq im Jahr 2018 und einem Maximum von etwa 2.800 kt im Jahr 2017. Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 22.000 kt CO₂eq. Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 im gleichen Zeitraum freigesetzt werden (5.500 Tonnen), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 1 und 2 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,025 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar.

In der Disziplin Luft dieser UVP wurde auch ein weiteres Szenario berechnet, das den vollständigen Ersatz der verlorenen Kernkraftkapazität von Doel 1 und 2 durch GuD der neuesten Generation annimmt. Auch dies ist natürlich ein Szenario, das nur in der Theorie existiert, angesichts des starken Schwerpunkts auf fossile Energie und angesichts der Tatsache, dass 2015 noch keine Kraftwerke dieser Art existierten. Nichtsdestotrotz ist dieses Szenario nützlich, um eine Vorstellung von den vermiedenen Emissionen für den Fall zu geben, dass Doel 1 und 2 nur durch moderne Gaskraftwerke ersetzt würden.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen dieses Kraftwerkstyps liegen in der Größenordnung von 0,320 kt CO₂/GWh und sind damit kohlenstoffeffizienter als der derzeitige Mix aus nichtnuklearen Erzeugungseinheiten (einschließlich erneuerbarer Energien), der 2018 bei 0,384 kt CO₂/GWh lag (siehe Tabelle 23).

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in

Tabelle 24 zusammengefasst.

Tabelle 24: Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen im Falle eines Aufschubs der Abschaltung von Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2020, bei einer nichtnuklearen Ersatzproduktion auf der Grundlage von GuD der neuesten Generation.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Produktion Doel 1 und 2 plus Prognosen	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Vermiedene Treibhausgasemissionen	kt	1.069	1.933	2.186	835	1.459	1.338	2.131	2.109	2.141	2.144	1.158

In dieser Berechnung betragen die vermiedenen Emissionen mit GuD nur zwischen 71 % (im Jahr 2015) und 91 % (im Jahr 2025) der vermiedenen Emissionen mit einem gemischten (aber weniger kohlenstoffeffizienten) Mix, aufgrund der in den Berechnungen in Tabelle 23 angenommenen schrittweisen Verbesserung der Kohlenstoffintensität des gemischten Parks. Über den gesamten Zeitraum 2015-2025 belaufen sich die kumulierten Emissionen unter der Hypothese von „nur GuD“ auf 84 % der Emissionen unter der Mix-Hypothese.

In jedem Fall ist klar, dass eine Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2025 zu vermiedenen Emissionen in der Größenordnung von (höchstens) 22.000 kt oder etwa 2.000 kt/Jahr führt. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 2,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Flandern für das Jahr 2018 (77.700 kt) oder fast 17 % der Emissionen im Teilsektor „Strom und Wärme“ für Flandern im selben Jahr. Ein weiteres Beispiel: Die Einsparungen sind vergleichbar mit der Größenordnung der Treibhausgasemissionen der Esso-Raffinerie im Hafen von Antwerpen (2019). Es handelt sich also nicht um vernachlässigbare Einsparungen.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese „vermiedenen Emissionen“ im Bereich des ETS-Sektors liegen. Die Mitgliedsstaaten haben innerhalb dieses Systems keine individuellen Reduktionsziele, so dass diese „Einsparung“ streng genommen nicht Belgien (oder Flandern) zugerechnet werden kann. Darüber hinaus ist es dem ETS inhärent, dass es bei optimalem Betrieb des Systems zu Emissionsverlagerungen zwischen den Anlagen kommt, wobei Anlagen mit höheren relativen CO₂-Emissionen durch effizientere Anlagen „vom Markt gedrängt“ werden. Solange die Emissionsobergrenze eingehalten wird, führt dies nicht zu einer Ab- oder Zunahme der Gesamtemissionen innerhalb des Systems (die Abnahme wird natürlich durch die kontinuierliche Absenkung der Emissionsobergrenze vorangetrieben). Der Bau neuer Gaskraftwerke als Ersatz für nukleare Kapazitäten wird daher nicht zwangsläufig zu einem Anstieg der Emissionen im Rahmen des ETS-Systems führen. In diesem Sinne werden die „vermiedenen Emissionen“ bei der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 auf der Ebene des ETS-Systems nicht wirklich vermieden. In Wirklichkeit wären sie zumindest teilweise durch Reduktionen bei Anlagen in anderen europäischen Ländern ausgeglichen worden.

Darüber hinaus ist klar, dass die Bedeutung der „vermiedenen Emissionen“ in hohem Maße von der angenommenen Kohlenstoffintensität der Energieerzeugung, und folglich unter anderem vom Anteil der erneuerbaren Energien, abhängt. In den Berechnungen wurde dies teilweise durch die Einführung eines abnehmenden Trends in der Kohlenstoffintensität behandelt, basierend auf beobachteten Entwicklungen und einer Extrapolation dieser Entwicklungen für die Jahre 2019-2025. Da die Übung ohnehin nur theoretisch und illustrativ ist, macht es wenig Sinn, eine hohe Genauigkeit bei den Annahmen anzustreben.

Auswirkung auf die Anfälligkeit der Umgebung

Die Frage, die unter dieser Überschrift beantwortet werden soll, ist, inwieweit ein längeres Offenhalten von Doel 1 und 2 die Anfälligkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels beeinflusst haben könnte. Auswirkungen, die hier theoretisch relevant sein können, beziehen sich zum einen auf die Regenwasserbewirtschaftung und zum anderen auf die Bildung einer Wärmeinsel.

Was die Auswirkungen der **Regenwasserbewirtschaftung** betrifft, so kann auf die erhebliche versiegelte Fläche verwiesen werden, die durch das Gebiet des Kernkraftwerks Doel gebildet wird. Wasser, das auf diese Fläche fällt, kann nicht in den Boden versickern und muss daher aufgefangen und abgeleitet werden. Dies geschieht natürlich auch gegenwärtig (siehe Beschreibung in der Disziplin Wasser). Infolge des Klimawandels können Regenfälle intensiver werden, was dazu führen kann, dass das Sammel- und Entwässerungssystem die Niederschläge nicht mehr jederzeit bewältigen kann. Dies kann zu lokalen Überschwemmungen führen. Was dies für den Standort des Kraftwerks selbst bedeutet, wird weiter unten unter der Überschrift „Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels“ diskutiert. Die Frage ist, ob es auch Auswirkungen auf die Umgebung des Kraftwerks geben kann. Wir können feststellen, dass dies nicht der Fall sein wird, da das Regenwasser in Richtung Schelde abgeleitet wird (deren Pufferkapazität im Verhältnis zu den abgeleiteten Mengen beträchtlich ist), und nicht in Richtung der Polder. Außerdem ist es im Falle einer Abschaltung unwahrscheinlich, dass das Gelände von Doel 1

und 2 im Zeitraum 2015-2025 nicht mehr versiegelt wäre, da die vollständige Stilllegung des Kraftwerks etwa 15 Jahre dauern könnte.

Das Kraftwerk bildet außerdem eine **Wärmeinsel** in Bezug auf ihre Umgebung. Dieser Effekt entsteht, weil das Gelände weitgehend versiegelt ist und nur wenige Bäume vorhanden sind, die Schatten spenden oder durch Verdunstung für Abkühlung sorgen können. Versiegelte Flächen und Gebäude speichern tagsüber Wärme und geben sie nachts allmählich ab. Infolgedessen kann die Temperatur auf dem Gelände bis zu mehreren Grad höher sein als in den umliegenden Poldern. Dieser Effekt wird mit zunehmend wärmeren Sommern noch verstärkt. Diese Erwärmung ist bis zu einer Entfernung von (höchstens) einigen hundert Metern vom Kraftwerk zu spüren. In der Praxis spielt es für den Zeitraum 2015-2025 übrigens keine Rolle, ob Doel 1 und 2 noch in Betrieb sind oder nicht, da das Gelände beider Kraftwerke in diesem Zeitraum auch nach der Stilllegung noch versiegelt sein wird und somit gleichermaßen zum Wärmeinseleffekt beiträgt. Außerdem ist nicht zu erwarten, dass sich das Klima im Zeitraum 2015-2025 so verändert, dass sich die (auch schon heute bestehenden) Auswirkungen des Kraftwerks auf die Umwelt merklich verändern würden.

Schließlich kann auch auf die **Problematik der Dürre** hingewiesen werden, die sich durch den Klimawandel verschärfen wird. Auf dem Kraftwerksgelände wird heute der Pufferung und Versickerung wenig Beachtung geschenkt. Diese Praktiken werden jedoch wichtiger werden, wenn das Klima trockener wird; sie ermöglichen es, Regenwasser wiederzuverwenden und/oder zur Speisung des Grundwassers zu nutzen, anstatt es in die Schelde abzuleiten.

Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels

Unter dieser Überschrift werden zwei verschiedene Themen diskutiert:

- einerseits die Auswirkungen, die das Projekt selbst infolge des Klimawandels erfahren kann (z. B. in Form von Dürren, Überschwemmungen ...). Ein Beispiel dafür ist die Verfügbarkeit von Kühlwasser, die abnehmen kann, wenn die Umgebungstemperatur und die Temperatur des Oberflächengewässers zu sehr ansteigen;
- andererseits das Ausmaß, in dem sich die Auswirkungen des Projekts, die an anderer Stelle in dieser UVP erörtert werden, infolge des Klimawandels ändern (verstärken oder abschwächen) könnten. Zum Beispiel kann bei zunehmender Trockenheit die Fließgeschwindigkeit in den Wasserläufen stark reduziert werden, was die Auswirkungen einer Einleitung verschlimmern kann, da die Verdünnung viel geringer ist als angenommen.

Obwohl es sich um zwei verschiedene Arten von Auswirkungen handelt, werden sie hier gemeinsam behandelt, da die zugrunde liegenden Ursachen (Hitze, Dürre, Überschwemmung usw.) in beiden Fällen gleich sind.

Das vorliegende Projekt umfasst einen klar definierten Zeitraum, der im Jahr 2025 endet. Obwohl die Anzeichen eines Klimawandels in den letzten Jahrzehnten und insbesondere in den letzten Jahren immer deutlicher geworden sind, erwarten wir nicht, dass diese Veränderungen zu drastischen Änderungen der Klimaparameter im Zeitraum 2015-2025 führen werden. Sicher ist, dass sich die prognostizierten und bereits festgestellten Entwicklungen fortsetzen und zudem verstärken werden. Innerhalb des Referenzzeitraums des Projekts muss daher Folgendes berücksichtigt werden:

- 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), aber auch merklich trockeneren Sommern;
- 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.

Die meisten Prognosen beziehen sich auf die Zukunft, wie zum Beispiel das Jahr 2050 oder sogar 2100. Solche Richtjahre sind für das vorliegende Projekt logischerweise nicht relevant. Das VMM-Klimaportal (<https://klimaat.vmm.be/>) enthält Informationen pro Gemeinde, für einige Parameter auch für das Jahr 2030, was für die Situation im Jahr 2025 wahrscheinlich sehr wohl repräsentativ ist. Es ist jedoch anzumerken, dass die VMM-Prognosen auf dem sogenannten „hohen“ flämischen Klimaszenario basieren, was in der Praxis eine Entwicklung ähnlich der eines RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway, zu Deutsch: repräsentativer Konzentrationspfad) bedeutet, was eine eher pessimistische Annahme ist.

Im Folgenden fassen wir die auf dem Klimaportal verfügbaren Informationen über die (maximal) zu erwartenden Veränderungen in der Gemeinde Beveren bis zum Jahr 2030 zusammen. Der Vergleich bezieht sich immer auf die Situation im Jahr 2017:

- Bis 2030 wird die Zahl der Menschen in den gefährdeten Altersgruppen (0-4 Jahre und 65+), die von Hitzeerscheinungen betroffen sein können, im Vergleich zu 2017 um 52 % gestiegen sein;
- Bis 2030 wird die Anzahl der trockenen Tage pro Jahr von 171 im Jahr 2017 auf 193 ansteigen;
- Bis 2030 wird die Anzahl der Tage mit Hitzewellen pro Jahr von 4 im Jahr 2017 auf 10 ansteigen;

Für das Kernkraftwerk Doel beziehen sich die Hauptauswirkungen des Klimawandels jedoch nicht auf Hitze oder Trockenheit, sondern auf die Gefahr von Überschwemmungen, zum einen durch die Schelde (aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels) und zum anderen durch erhöhte Spitzenintensität der Niederschläge. Beide Effekte und eine Reihe weiterer wurden im Bericht über die im Rahmen der zusätzlichen Sicherheitsüberprüfung der Anlagen durchgeführten Widerstandsprüfungen diskutiert (Electrabel, 2011). Im Folgenden fassen wir die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass das Ausmaß des Klimawandels, das in diesem Bericht berücksichtigt wurde, weit über das hinausgeht, was im Jahr 2025 wahrscheinlich der Fall sein wird. Dennoch ist es sinnvoll, die Ergebnisse kurz darzustellen, da sie eine Vorstellung von der Obergrenze der zu erwartenden Effekte geben.

Überschwemmungen

Um das Risiko von Überschwemmungen zu minimieren, wurden zwei wichtige Maßnahmen bei der Gestaltung des Geländes vorgesehen: Erstens ruht das gesamte Gelände einschließlich aller Anlagen auf einer erhöhten Plattform, und zweitens wurde der Scheldedeich, der das Gelände schützt, um einen zusätzlichen Meter erhöht. Der höchste jemals in unserem Land gemessene Scheldepegel beträgt 8,10 m TAW (tweede algemene waterpassing, zu Deutsch: zweites allgemeines Nivellement). Die Plattform des Geländes wurde beim Bau auf 8,86 m TAW angehoben. Der Deich entlang des Geländes wurde auf 12,08 m erhöht. Als „Design Basis Flood“ (DBF, zu Deutsch: Auslegungshochwasser) wurde ein Wasserpegel von 9,13 m TAW festgelegt. Dieses DBF wurde auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Planung bekannten Studien als Pegel mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren gewählt. Später erfolgte eine Neubewertung des Wasserstands mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren mit (durchschnittlich) +9,35 m TAW auf Höhe des Geländes. Dieser liegt jedoch immer noch deutlich unterhalb der Deichkrone. Alle Strukturen, Systeme und Komponenten, einschließlich der internen Stromversorgung im Notfall, sind wahllos gegen das DBF geschützt.

Eine Überflutung des Deiches ist daher selbst bei einem anhaltenden Anstieg des Meeresspiegels (dessen Folgen ohnehin erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts relevant werden könnten) äußerst unwahrscheinlich. Ein Deichversagen an der kritischsten Stelle des Deiches könnte bereits bei einer Wiederkehrperiode von 1.700 Jahren auftreten. In einer solchen Situation könnten auf dem Gelände Wasserstände von durchschnittlich 20 cm auftreten, mit Wassertiefen von lokal bis zu 60 cm.

Im Falle eines Auslegungshochwassers kann die Plattform der Wasserentnahmestelle von Doel 1 und 2, die sich in der Schelde und ungefähr auf dem gleichen Niveau wie das Gelände befindet, überflutet werden. Sollte dies dazu führen, dass die primäre Kühlquelle für Doel 1 und 2 (die Schelde) nicht mehr zur Verfügung steht, könnte sie durch eine alternative Kühlquelle (den so genannten Rohwasserkreislauf) ersetzt werden, die sich auf dem Gelände im Schutz des Deiches befindet.

Ein Wellenüberlauf des Deiches kann mit einer Wiederkehrperiode von 200 bis 300 Jahren auftreten. Bei einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren kann dies zu einer durchschnittlichen Wasserhöhe von zehn Zentimetern auf dem Gelände führen, mit lokal höheren oder niedrigeren Werten. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welche Auswirkungen dies auf den sicheren Betrieb der Anlage hat. In drei Gebäuden, die mit Doel 1 und 2 verbunden sind, war ein Wassereintritt möglich, allerdings ohne Auswirkungen auf die Sicherheitsfunktionen. Im Falle eines Deichbruchs würde sich die Anzahl der mit Doel 1 und 2 verbundenen Orte, an denen Überschwemmungen auftreten könnten, auf 10 erhöhen. Auch hier wird die zweite Sicherheitsebene unter allen Umständen eingehalten. Nichtsdestotrotz schlug der Widerstandsprüfbericht eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen vor, um die Hochwassersicherheit weiter zu erhöhen, wie z. B. die Bereitstellung permanenter Barrieren an kritischen Gebäudeeingängen. In der Praxis bedeutet dies, dass an den Eingängen der betreffenden Sicherheitsgebäude ein Perimeterschutz von einigen Dutzend Zentimetern Höhe installiert wird.

Die Plattform, auf der die gesamte Anlage erbaut ist, ist von 5 Meter tiefergelegenen Poldern umgeben. Im Falle eines Deichbruchs besteht die reale Chance, dass diese Polder überflutet werden. In einer solchen Situation wird das Gelände Doel zu einer Insel. Im Falle einer solchen Überschwemmung sind die Evakuierung und der Zugang von Menschen sowie die Versorgung mit Kraftstoff für Sicherheitssysteme und Notstromdiesel natürlich von großer Bedeutung. Die Maßnahmen dazu sind in den Notfallplanverfahren des Standorts beschrieben.

Starke Regenfälle

Im Widerstandsprüfbericht heißt es, dass die „aktuellen“ Niederschlagsdaten (d. h. für das Jahr 2011) keinen signifikanten Anstieg der Niederschlagsintensitäten seit der Bemessungsphase zeigten und dass die Niederschlagsintensitäten, die als Grundlage für die Bemessung dienten, daher weiterhin gültig waren. Die Frage ist, ob diese Schlussfolgerung auch im Jahr 2025 noch gültig sein wird. Immerhin gibt es deutliche Hinweise darauf, dass die Spitzen-Niederschlagsintensitäten inzwischen tatsächlich zugenommen haben.

Die Auswertung des Kanalisationsnetzes zeigte auch, dass die Abflusskapazität der Kanalisation bei Starkregen (Wiederkehrperiode 100 Jahre) lokal, an wenigen Stellen und für einen begrenzten Zeitraum überschritten wurde. An diesen besonderen Orten kann es zu vorübergehenden Überschwemmungen kommen, bis die Regenintensität nachlässt und die Kanalisation das überschüssige Wasser ableitet.

Wenn wir davon ausgehen, dass die Intensitäten seither (und sicherlich bis 2025) tatsächlich zugenommen haben, können sowohl die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Situationen als auch das Ausmaß der Folgen natürlich ebenfalls zunehmen. In Anbetracht der relativ hohen Wiederkehrperiode, die in den Berechnungen verwendet wurde, und der Tatsache, dass durch eine mögliche Überschwemmung keine kritischen Funktionen bedroht sind, kann man sagen, dass die Bedeutung dieser Auswirkung praktisch gering ist.

Starker Wind

Die maximale Windgeschwindigkeit von 49 m/s, die als Auslegungsbasis für alle Gebäude auf dem Gelände diente, wurde in der Realität noch nie in Belgien gemessen. Darüber hinaus werden die sicherheitsrelevanten Gebäude für schwerere Belastungsfälle als diese maximale Windgeschwindigkeit ausgelegt. Extreme Windgeschwindigkeiten können zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen. Das LOOP-Szenario³² ist Teil der Auslegungsbasis der Blöcke. Eine solche Situation gefährdet die Kühlung des Brennstoffs nicht, weder bei Normalbetrieb noch im Stillstand.

³² LOOP = Loss of Offsite Power oder der vollständige Ausfall des externen Netzes, d. h. der gleichzeitige Ausfall des externen 400-kV- und 150-kV-Netzes. In einer solchen Situation wird der Turbogeneratorsatz über die elektrischen Schutzeinrichtungen automatisch auf Inselbetrieb umgeschaltet. Der Turbogeneratorsatz speist dabei seine eigenen Hilfssysteme. Dies ist der erste Schutzmechanismus, der die Stromversorgung der Hilfssysteme des Blocks sicherstellt. Wenn mindestens einer der vier Blöcke in Doel erfolgreich im Inselbetrieb ist, besteht auch die Möglichkeit, diesen Block über das 400-kV-Umspannwerk Doel mit den anderen Einheiten zu verbinden.

Tornados

Die Auslegung von Doel 3 und 4 berücksichtigt einen Referenzornado, der in dieser Region beispiellos ist. Die Auslegung von Doel 1 und 2 berücksichtigt eine geringere Intensität, die in Europa jedoch ebenfalls sehr selten ist. Da das Phänomen in der Regel nicht das bestimmende Kriterium bei der Gebäudeauslegung ist, werden wichtige sicherheitsrelevante Gebäude auch schwereren Tornados als dem Referenzornado standhalten können.

Ein schwerer Tornado kann zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen, der mit einem Station Black Out (SBO) 1. Stufe und evtl. einem Verlust der primären Kältequelle einhergehen kann.

Höhere Durchschnittstemperaturen

Wenn die Umgebungstemperatur höher ist, wird auch die Temperatur des abgeleiteten Kühlwassers höher ausfallen. Als Folge des Klimawandels werden die durchschnittlichen Lufttemperaturen steigen, mit milderem Wintern einerseits und längeren und intensiveren Hitzewellen im Sommer andererseits.

Infolgedessen wird sich die Temperatur des abgeleiteten Kühlwassers im Durchschnitt erhöhen, sodass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um die Ableitungsnormen für Kraftwerke einzuhalten. Die Temperatur des abgeleiteten Kühlwassers darf normalerweise 30 °C nicht überschreiten, für Stromkraftwerke gilt jedoch ein separater Emissionsgrenzwert von maximal 33 °C (als Momentanwert). VLAREM gibt jedoch auch an, dass dieser Grenzwert (bei Einhaltung einer Reihe von Bedingungen) nicht anwendbar ist, wenn im Falle außergewöhnlicher meteorologischer Umstände (und insbesondere einer Hitzewelle) die Netzsicherheit gefährdet ist. Allerdings werden Hitzewellen, die zu höheren Ableitungstemperaturen führen, in Zukunft häufiger auftreten, sodass die „außergewöhnlichen meteorologischen Umstände“ viel weniger außergewöhnlich werden.

Darüber hinaus steigen natürlich auch die Temperaturen des aufgenommenen Oberflächenwassers durch eine erhöhte Durchschnittstemperatur der Umgebungsluft. Gemäß der aktuellen VLAREM-Gesetzgebung müssen Wärmekraftwerke mit Kühltürmen bei einer Tagesdurchschnittstemperatur des entnommenen Oberflächenwasser von 25 °C oder mehr die eingeleitete thermische Belastung schrittweise reduzieren, um u. a. negative ökologische Auswirkungen zu vermeiden. Zum Beispiel muss bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 28 °C des entnommenen Wassers die täglich eingeleitete thermische Belastung auf 10 % oder weniger der maximalen Wärmebelastung pro Tag begrenzt werden (Artikel 4.2.4.1 von VLAREM II). Eine solche Situation wird unter dem Einfluss des Klimawandels in Zukunft sicher häufiger auftreten.

Beide oben beschriebenen Phänomene (höhere Temperatur des abzuleitenden Kühlwassers und höhere Temperatur des Wassers im aufnehmenden Wasserkörper) können sich negativ auf die Stromproduktion des Kraftwerks auswirken. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dieser Effekt für die Schelde und innerhalb der (verlängerten) Laufzeit von Doel 1 und 2 Probleme verursacht.

Extreme Temperaturen

Auch extreme Temperaturen wurden in der Auslegungsbasis und bei der Dimensionierung der Ausrüstung berücksichtigt. Die Normen in diesem Bereich wurden auf der Grundlage von Statistiken und in Abhängigkeit von der geografischen Lage des Kernkraftwerks festgelegt. Eine Periode mit extremen Temperaturen oder extremer Trockenheit ist kein plötzliches Naturereignis. Dies sind Entwicklungen, die rechtzeitig vorhergesagt werden können, was direkt auch ein rechtzeitiges Handeln ermöglicht. Doel verfügt außerdem über Verfahren, die den sicheren Betrieb im Falle einer Hitzewelle oder bei Minusgraden gewährleisten.

Es ist nicht bekannt, ob und inwieweit der jüngste Anstieg der Durchschnittstemperatur und das Auftreten von häufigeren und längeren Hitzewellen in diesen Verfahren bereits berücksichtigt wurden. Da in den letzten Jahren, mit teilweise sehr warmen Perioden im Sommer, keine Probleme in diesem Bereich aufgetreten sind, kann man davon ausgehen, dass dies auch für den Zeitraum 2020-2025 der Fall sein wird.

2.2.5.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Für die verschiedenen übergeordneten politischen Ziele, die für die Disziplin Klima relevant sind (siehe Abschnitt 2.2.5.1), wird im Folgenden angegeben, ob das Projekt zur Erreichung dieser Ziele beiträgt oder nicht:

Ziel „Die größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen“

Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 22.000 kt CO₂eq. Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 im gleichen Zeitraum freigesetzt werden (5.500 Tonnen), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 1 und 2 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,025 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar. Das Projekt leistet also einen Beitrag zur Zielerreichung und die Bewertung lautet daher auch „**positiv**“.

Ziel „Maximale Widerstandsfähigkeit von Umwelt und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels“

Über den Referenzzeitraum 2015-2020 hat das Projekt keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. Potenziell relevante Auswirkungen nehmen bei einem Aufschub der Abschaltung nicht zu, einerseits aufgrund des kurzen Zeithorizonts (2025), in dem sich der Klimawandel manifestieren kann, und andererseits aufgrund der Tatsache, dass der Boden des Standorts Doel 1 und 2 auch bei einer Abschaltung im Jahr 2015 über den Referenzzeitraum hinweg versiegelt bleiben wird. Das Projekt trägt also nicht merklich zur Zielerreichung bei, wirkt ihr aber auch nicht merklich entgegen. Die Bewertung fällt für diesen Aspekt daher auch **neutral** aus.

Ziel „Minimierung der Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels“

Die in der UVP angeführte Analyse zeigt deutlich, dass der Standort gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels weit über die für das Jahr 2025 zu erwartende Situation hinausgeht. Ob Doel 1 und 2 im Referenzzeitraum 2015-2025 in Betrieb sind oder nicht, ändert daran nichts. Die Bewertung lautet daher **neutral**.

2.2.5.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Die Treibhausgasemissionen, die Doel 1 und 2 über den Zeitraum 2015-2025 zugeschrieben werden können, liegen in der Größenordnung von 5.500 Tonnen (kumuliert). Setzt man die Emissionen ins Verhältnis zum produzierten Strom, erhält man einen Wert, der für die betrachteten Jahre zwischen 0,070 und 0,146 Gramm CO₂ pro kWh schwankt, was sehr niedrig ist.

Die durch eine längere Offenhaltung von Doel 1 und 2 *vermiedenen* Treibhausgasemissionen liegen in einer anderen Größenordnung. Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 22.000 kt CO₂eq. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 2,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Flandern für das Jahr 2018 (77.700 kt) oder fast 17 % der Emissionen im Teilsektor „Strom und Wärme“ für Flandern im selben Jahr. Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 im gleichen Zeitraum freigesetzt werden (5.500 Tonnen), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 1 und 2 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,025 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar.

Doel 1 und 2 beeinträchtigen die Widerstandsfähigkeit der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels während des Referenzzeitraums nicht, da zum einen die Zeitperspektive kurz ist und zum anderen das Gelände sowohl in der Referenzsituation als auch bei Umsetzung des Projekts versiegelt bleibt. Innerhalb der zeitlichen Perspektive der Verschiebung der Abschaltung ist auch der Standort Doel selbst nicht anfällig für die Folgen des Klimawandels, und diese Situation ist unabhängig davon, ob die Abschaltung von Doel 1 und 2 verschoben wird oder nicht.

2.2.5.7 Minderungsmaßnahmen

Von der Disziplin Klima aus sind keine Minderungsmaßnahmen erforderlich.

2.2.5.8 Wissenslücken und Überwachung

Es bestehen keine Wissenslücken, die zu anderen Entscheidungen führen könnten. Eine Überwachung der Auswirkungen ist nicht erforderlich.

2.2.6 Mensch und Gesundheit

2.2.6.1 Rechtlicher und politischer Kontext

Allgemeines

Im Zusammenhang mit diesem Projekt gibt es keine allgemeinen, wichtigen politischen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Gesundheit in Bezug auf die nichtradiologischen Aspekte. Im Hinblick auf die Disziplin Gesundheit ist die öffentliche Gesundheitsforschung wichtig, wie sie von der flämischen Pflege- und Gesundheitsagentur Zorg en Gezondheid durchgeführt wird. In solchen Berichten beschreibt die Agentur die Bedeutung der von der Vlaamse Milieumaatschappij gemessenen Luftqualitätsergebnisse für die öffentliche Gesundheit. Die Bedeutung für die öffentliche Gesundheit wird bestimmt, indem die Messergebnisse gegen die gesundheitlichen Richtwerte (GRW) geprüft werden. Die gesundheitlichen Richtwerte und die gesetzlichen Grenzwerte stimmen nicht unbedingt überein. Bei der Festlegung der gesetzlichen europäischen Luftqualitätsstandards ist nicht nur die Bedeutung der öffentlichen Gesundheit entscheidend. Bei der Festlegung dieser gesetzlichen Luftqualitätsstandards spielen auch die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Aspekte eine Rolle. Die gesundheitlichen Richtwerte, die ausschließlich zum Schutz der öffentlichen Gesundheit erstellt werden, sind daher in vielen Fällen konservativer als die gesetzlichen Normen. Die Risikoabschätzungen gehen oft von der hypothetischen Situation einer lebenslangen Exposition der Bewohner gegenüber den gemessenen Konzentrationen aus. In Anbetracht der Art der Schadstoffe wird hier mit Risikobewertungen gearbeitet. Diese Studien dienen zusätzlich zu den Daten aus der Disziplin Luft als Leitfaden für eine UVP. Aus diesen Überlegungen heraus können wir sagen, dass wir einen äußerst konservativen Ansatz anwenden. Im Rahmen dieses Projekts gibt es keine spezifische Studie zur öffentlichen Gesundheit.

Stickstoff

VITO führte im November 2017 im Auftrag der Agentur Zorg en Gezondheid eine eingehende Analyse für NO_x durch. Aus dieser Studie wurde auf der Grundlage von acht epidemiologischen Studien, die von der französischen Behörde ANSES im Jahr 2015 durchgeführt wurden, ein gesundheitlicher Richtwert von 20 µg/m³ abgeleitet. Dieser GRW ist im „Richtlijnenhandboek Mens – Gezondheid“ (Richtlinienhandbuch Mensch-Gesundheit) enthalten. Dies ist eine einzige Studie und sie konzentriert sich hauptsächlich auf das Raumklima mit Stickstoffquellen von innen.

Allgemeine Exposition (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020)

Luftverschmutzung hat Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In Europa können wir feststellen, dass es drei Schadstoffe gibt, die die Sterblichkeit am meisten beeinflussen: Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon. Im Rahmen dieser Studie wird nur Stickstoffdioxid als vermiedene Emission bei der Energieerzeugung durch Kernkraft berücksichtigt. Generell kann man sagen, dass Stickstoffdioxid ein Schadstoff ist, der vor allem mit dem Verkehr zusammenhängt. Weniger als 1 % der Bevölkerung lebt in einem Gebiet mit überhöhten NO₂-Konzentrationen. Die Überprüfung des WHO-Richtwerts ergibt den gleichen Wert wie der für das europäische Ziel. Das liegt daran, dass die Europäische Kommission den Richtwert der WHO übernommen hat. Nimmt man den Zielwert von 20 µg/m³ aus dem Entwurf des Luftpolitikplans 2030 der flämischen Regierung als Referenzrahmen, dann war 2017 etwa ein Drittel der Bevölkerung zu hohen Konzentrationen ausgesetzt. In den letzten vier Jahren gab es praktisch keinen Rückgang der Bevölkerung, die hohen NO₂-Konzentrationen ausgesetzt war.

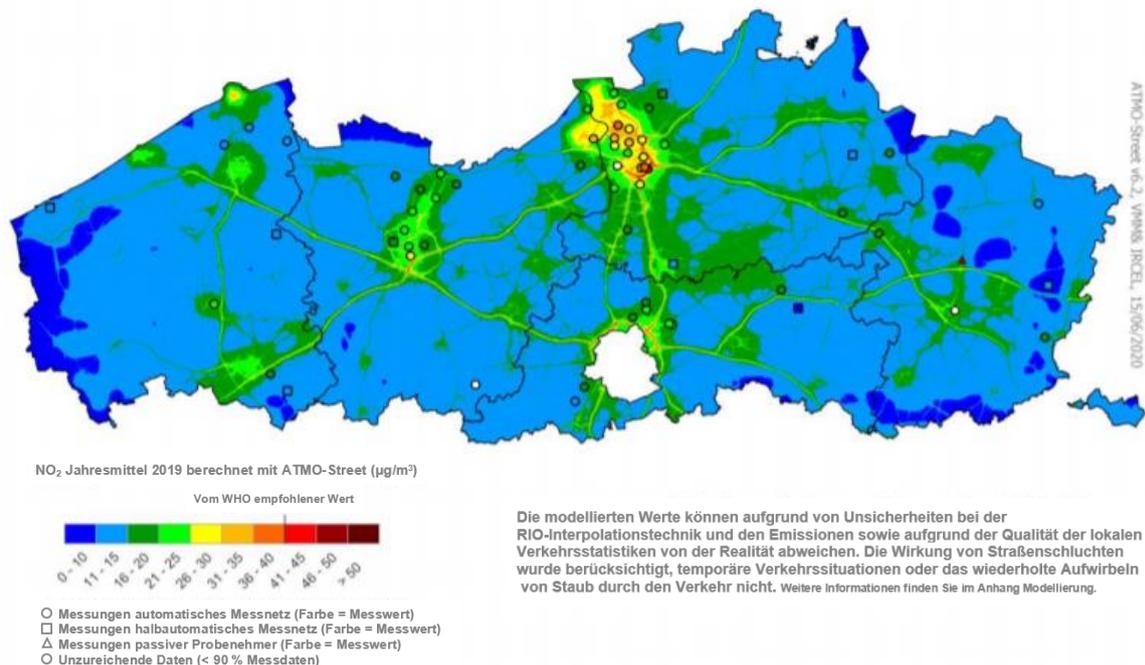


Abbildung 21: Expositionsübersichtskarte.

Politik

Mit dem neuen Luftpolitikplan will die flämische Regierung die europäischen Ziele erreichen. Dazu hat sie am 20. Juli 2018 den Entwurf des Luftpolitikplans 2030 verabschiedet. Dieser skizziert einen Weg zur deutlichen Verbesserung der Luftqualität in Flandern bis 2030. Im Jahr 2018 hat die WHO den Grenzwert von 40 µg/m³ erneut bestätigt, der jedoch auf dem Schutz der menschlichen Gesundheit vor den Schadstoffen der gasförmigen Stickstoffoxide basiert. Bei einer Konzentration von mehr als 200 µg/m³ verursacht Stickstoffdioxid Entzündungen der Atemwege. Die Tendenz, den GRW auf 20 anzupassen, basiert hauptsächlich auf der Indikatorfunktion anderer Stickstoffoxidschadstoffe und der Tatsache, dass in Europa bei asthmatischen Kindern mit Langzeitexposition gegenüber NO_x zusammen mit einer reduzierten Lungenfunktion Hinweise auf Bronchitis gefunden wurden.

2.2.6.2 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein rechtlich-administratives Verfahren, das versucht, die zu erwartenden Umweltauswirkungen einer Tätigkeit, eines Plans oder eines Projekts zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu ermitteln. Als solches ist eine UVP ein Instrument zur Verwirklichung des Vorsorgeprinzips und des Prinzips des präventiven Handelns. Die Disziplin „Mensch – Gesundheit“ oder „Mensch – Toxikologie“ kann beschrieben werden als: Der Teil der Umweltverträglichkeitsprüfung, der sich mit dem Sammeln, Verarbeiten und Interpretieren von Informationen über Veränderungen in der Umwelt beschäftigt, um die kurz- und langfristigen Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit abzuschätzen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert Gesundheit wie folgt: „Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity“ [Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht lediglich das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen]. Diese weit gefasste Definition impliziert, dass bei der Abschätzung der Umweltauswirkungen neben den direkten Auswirkungen der Stressoren auch die bestehende Situation, längerfristige Auswirkungen, der soziale Kontext, indirekte psychosomatische Auswirkungen und die öffentliche Wahrnehmung berücksichtigt werden müssen. Die Disziplin „Mensch – Gesundheit“ ist eine aufnehmende Disziplin. Dies impliziert, dass sie die potenziell signifikanten Beiträge der Schlüsseldisziplinen – in diesem Fall Luft und Lärm – aufnimmt. Da für das Projekt in diesen Disziplinen keine signifikanten Beiträge nachgewiesen wurden, ist für die direkten Auswirkungen der chemischen und physikalischen Umweltstressoren kein allgemeines

Untersuchungsgebiet vorgesehen. In Sachen Wahrnehmung, vermiedene Emissionen, Auswirkungen eines Stromausfalls und diffuse Beeinträchtigung nehmen wir die Region Flandern als Untersuchungsgebiet.

2.2.6.3 Beschreibung der aktuellen Situation

Hinsichtlich der Beschreibung der aktuellen Referenzsituation liegen für die Disziplin „Mensch – Gesundheit“ keine Daten über die mögliche Belastung der menschlichen Gesundheit vor. Die unmittelbare, für die möglichen Auswirkungen des Projektes selbst wichtige Umgebung des Kernkraftwerkes ist äußerst dünn besiedelt (Abbildung 22).

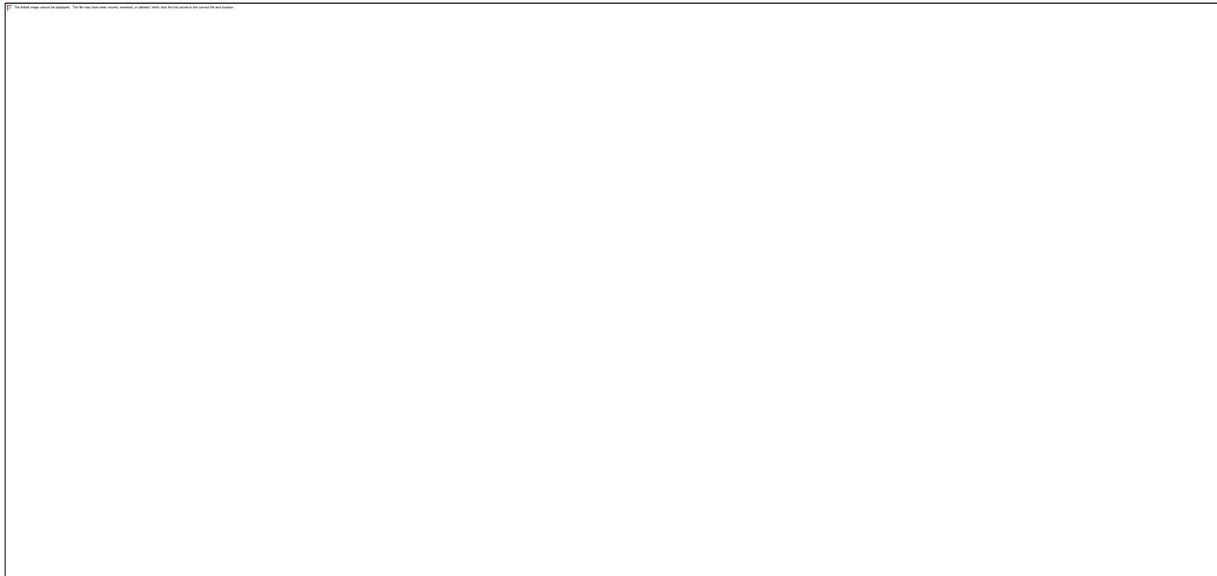


Abbildung 22: Einwohnerübersicht Doel (Quelle: Gemeinde Beveren).

Wenn wir die politischen Aspekte in Bezug auf die Umwelt betrachten, ist aus einer theoretischen Perspektive die Bevölkerung von Flandern und im weiteren Sinne die von Belgien (6,6 Millionen bzw. 11,5 Millionen) relevant.

2.2.6.4 Methodik zur Bewertung der Auswirkungen

Toxikologische und epidemiologische Forschung

Die Beschreibung der Umweltauswirkungen stützt sich auf das Richtlinienhandbuch und die Erfahrung des Sachverständigen. Die Disziplin „Mensch – Gesundheit“ kann wie folgt beschrieben werden: Der Teil der Umweltverträglichkeitsprüfung, der sich mit dem Sammeln, Verarbeiten und Interpretieren von Informationen über Veränderungen in der Umwelt beschäftigt, um die kurz- und langfristigen Auswirkungen auf die Gesundheit abzuschätzen. Zu den Veränderungen der Lebensumwelt, die hier untersucht werden, gehören physische, chemische und biologische Agentia: Schadstoffemissionen, Lärmerzeugung, Krankheitserreger und Strahlung. Dabei wird auch Hinweise und Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung oder Beseitigung schädlicher Auswirkungen berücksichtigt. Dabei sollen nicht nur die möglichen Auswirkungen diskutiert, sondern auch Bevölkerungsgruppen mit (erhöhtem) Risiko identifiziert werden.

Wenn wir von der Disziplin „Mensch – Gesundheit“ sprechen, dann gehört dazu auch die Teildisziplin „psychosomatische“ Auswirkungen. Unter „psychosomatischen“ Auswirkungen versteht man mögliche körperliche Beschwerden, die eine psychische oder nichtmedizinische Ursache haben. Bei „psychosomatischen“ Auswirkungen ist die direkte Ursache nicht immer eindeutig. Es liegt immer eine Kombination von Faktoren zugrunde. Psychische Probleme sind meist verständliche menschliche Reaktionen auf bestimmte Situationen und nicht einfach nur eine biomedizinische, genetische, neurologische Reaktion oder eine Krankheit des Gehirns. Eine Reihe von Risikofaktoren kann jedoch eine entscheidende Rolle dabei spielen. Zum Beispiel die genetische Vorgeschichte einer Person, die Persönlichkeit, wichtige Lebensereignisse einer Person, das Alter, die Dauer einiger Beschwerden, die

(Über-)Empfindlichkeit gegenüber Reizen usw. Eine Übersicht über die Beschwerden ist dabei vor allem richtungsweisend.

Die Abschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen basiert auf der toxikologischen und epidemiologischen Forschung. Ein erster Schritt bei der Abschätzung von Gesundheitsrisiken ist die Bestimmung der Dosis, der die Bewohner des Untersuchungsgebietes ausgesetzt sind. Die Exposition wird auch weitgehend durch die Expositionspfade, das menschliche Verhalten und das Alter bestimmt. Die aufgenommene Dosis wird mit den geltenden Richtwerten verglichen. Anschließend muss ermittelt werden, welche gesundheitlichen Auswirkungen durch diese Dosis verursacht werden. Die Dosis-Wirkungs-Beziehung ist das Ergebnis der toxikologischen und epidemiologischen Forschung an Menschen und Labortieren. Die Art und Weise, wie Gesundheitsrisiken aus der Exposition über die Dosisbestimmung abgeschätzt werden, wird als Gesundheitsrisikoanalyse bezeichnet. In Anbetracht des Umfangs dieses Projekts werden keine spezifischen Dosis-Wirkungs-Relationen aufgestellt, sondern es wird auf die verfügbaren Dosis-Wirkungs-Relationen und Studien von VITO, dem flämischen Institut für technologische Forschung, zurückgegriffen. Wenn diese unzureichend sind, wird dies bei den Wissenslücken berücksichtigt.

Wie bereits erwähnt, ergänzen sich die toxikologische und epidemiologische Forschung gegenseitig. Die toxikologische Forschung versucht, die Auswirkungen auf der Grundlage der exponierten Dosis vorherzusagen. Die Umwelttoxikologie befasst sich insbesondere mit der Untersuchung der Auswirkungen von Umweltschadstoffen auf Organismen. Auch der Transport durch die Umgebung wird berücksichtigt. Die Epidemiologie untersucht eine Population und beschreibt, welche Effekte auftreten. Diese kombinierte Forschung erlaubt es, nur die relevanten gesundheitlichen Auswirkungen zu berücksichtigen. Anhand dieser Daten kann das Gesundheitsrisiko im Untersuchungsgebiet abgeschätzt werden. Es ist dann möglich, Risikogruppen im Untersuchungsgebiet zu benennen, denen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Sobald die zu erwartenden gesundheitlichen Auswirkungen beschrieben sind, wird eine Bewertung vorgenommen und es können Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

Konkret untersuchen wir für dieses Projekt die möglichen Auswirkungen von vermiedenen Schadstoffen (Luftemissionen) und ergänzen diese mit der Wahrnehmung, der möglichen Auswirkung eines Stromausfalls und der differenzierten Beeinträchtigung.

Speziell für dieses Projekt werden auch die möglichen gesundheitlichen Folgen eines „Blackouts“ oder Stromausfalls diskutiert. Nach der Interpretation der signifikanten Immissionswerte werden die Populationen, die diesen Konzentrationen ausgesetzt sind, sowie die möglichen Folgen beschrieben. Je nach Anzahl und Art der exponierten Personen werden diese signifikanten Konzentrationen als erhebliche Auswirkung in der Disziplin Mensch – Gesundheit betrachtet, und es werden vom Experten zusätzliche Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen. Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen werden mit dem Projekt in Zusammenhang gebracht. In diesem Kontext ist es wichtig zu beachten, dass wir zunächst schauen, für welche Parameter es potenziell signifikante Auswirkungen gibt, um dann, wenn nötig, die exponierten und gefährdeten Gruppen im Detail beschreiben.

Unterscheidung zwischen möglichen Effektgruppen

Es wird zwischen den folgenden möglichen Effektgruppen unterschieden, die einen separaten Ansatz erfordern, nämlich

gesundheitliche Auswirkungen: Die zu erwartenden Immissionen und Körperbelastungen werden mit Normen und Richtwerten verglichen (VLAREM, EPA, WHO, EK und andere).

Es werden folgende Richtwerte verwendet:

- WHO: Richtwert für die Exposition;
- Für dieses Projekt haben wir den Richtwert der WHO gewählt;
- GRW aus dem „Richtlijnenhandboek“ (Richtlinienhandbuch);

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), US EPA (Environmental Protection Agency, U.S.A);
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, zu Deutsch: Nationales Institut für Volksgesundheit und Umwelt, Niederlande): gezondheidskundige toetsingswaarden;
- WHO-Richtwert für die Aufnahme (Tolerable Daily Intake, TDI);
- Grenzwerte für die Körperbelastung: Körperbelastung, Biomarkerkonzentration;
- Deutsche Human-Biomonitoring (HBM)-Werte oder Biomonitoring Equivalents zur Prüfung interner Konzentrationen;
- Richtwerte aus der internationalen wissenschaftlichen Literatur mit Peer-Review;
- Arbeitsmedizinische Richtwerte: Threshold Limit Values (TLV-Werte). Für die allgemeine Bevölkerung: 1/10 des TLV-Wertes für nicht krebserzeugende Stoffe und 1/x des TLV-Wertes für krebserzeugende Stoffe, wobei x der Wert ist, der das Risiko bei lebenslanger Exposition auf den Wert von 10^{-6} reduziert. In Ermangelung ausreichender wissenschaftlicher Daten zur Bestimmung von x, wird für x 1.000 angenommen. Für definierte Risikogruppen: 1/200 des TLV-Wertes für nicht krebserzeugende Stoffe oder 1/5.000 des TLV-Wertes für krebserzeugende Stoffe.

Zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen wurden folgende Schritte unternommen:

- Identifikation der relevanten Parameter;
- Basierend auf den berechneten Immissionsbeiträgen in den Disziplinen Luft / Lärm;
- Wenn bereits relevante Hintergrundkonzentrationen vorhanden sind;
- Kritische Schadstoffe;
- Bestimmung der Exposition;
- Identifizierung relevanter gesundheitlicher Auswirkungen;
- Besprechung der zu erwartenden Auswirkungen und Vorschlag für Maßnahmen.

beeinträchtigende Auswirkungen (psychosoziale und psychosomatische Auswirkungen): Die Ergebnisse aus anderen Disziplinen (Luft, Lärm und Vibration) werden mit Daten aus der Literatur abgeglichen:

- Psychosozial: das sind mögliche Auswirkungen wie Unbehagen, Wohlbefinden oder Umweltwahrnehmung;
- Psychosomatisch: mögliche körperliche Störungen, die psychisch bedingt sind.

Interdisziplinäre Datenübertragung

Nächste Disziplinen (**Error! Reference source not found.**) haben, angesichts der Art des Projekts, einen Bezug zur Disziplin Mensch – Gesundheit.

Tabelle 25: Liste Interdisziplinäre Datenübertragung.

Disziplin	Relevant im Rahmen der interdisziplinären Datenübertragung
Lärm/Vibrationen	X
Luft	X
Wasser	(-)
Klimareflex	(-)
Boden & Grundwasser	(-)
Biologische Vielfalt	(-)

Innerhalb der Disziplin Mensch – Gesundheit ist bei diesem Projekt kein Klimareflex anwendbar. Das Thema Klima wird in einem separaten Kapitel behandelt.

Die Auswahlkriterien für weiter zu charakterisierende Expositionen gegenüber physischen, chemischen und biologischen Agenzien basieren auf dem Richtlinienhandbuch und den Erfahrungen der Experten. Wichtige Parameter sind die Überschreitung der Hintergrundemissionen, der Beitrag durch die betrachtete Aktivität oder bereits bestehende Beschwerden oder Bedenken der Bevölkerung.

Vier-Schritte-Plan

Generell lässt sich die Methodik der Disziplin Mensch – Gesundheit nach folgendem Vier-Schritte-Plan aus dem „Richtlijnenhandboek Mens – Gezondheid“ zusammenfassen (Abbildung 23):

PHASE A. Bestandsaufnahme (Vorphase):

- Schritt 1: Beschreibung der Flächennutzung und der betroffenen Bevölkerung
Dieser Schritt ist unter folgendem Abschnitt aufgenommen: Beschreibung des aktuellen Zustands. Um die möglichen Auswirkungen abwägen zu können, wird hier eine allgemeine Beschreibung der Flächennutzung in der Umgebung des Projekts gegeben. Auch in den anderen Teilen dieser Studie wurde der Beschreibung der Flächennutzung große Aufmerksamkeit geschenkt. Ziel dieses Schrittes ist es, die Flächennutzung durch die betroffene Bevölkerung semi-quantitativ abschätzen zu können. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes wird zunächst aus der Abgrenzung innerhalb der Disziplin Lärm und Luft übernommen. Die Beschreibung wird für den gesamten Einflussbereich der berechneten oder geschätzten Stressoren angegeben.
- Schritt 2: Identifizierung potenziell relevanter Umweltstressoren;
Dieser Schritt basiert, wie oben bereits beschrieben, hauptsächlich auf der interdisziplinären Datenübertragung, die in diesem Fall hauptsächlich aus den Disziplinen Luft sowie Lärm und Vibration stammen. Dieser Aspekt wird im Anschluss an die Beschreibung des aktuellen Zustandes ausgearbeitet.

Während dieser Phase stimmte sich der Gesundheitsexperte eng mit den Experten für Luft und Lärm hinsichtlich der Modellierung der potenziell exponierten Personen ab. Dies dient dazu, eine Vorstellung von der Schwere der möglichen Belastung zu bekommen.

PHASE B. Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-Phase):

- Schritt 3: Inventarisierung der Stressorendaten;
- Schritt 4: Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen;

PHASE C. UVP-Bewertung (Post-Phase):

- Schritt 5: Nachbewertung.

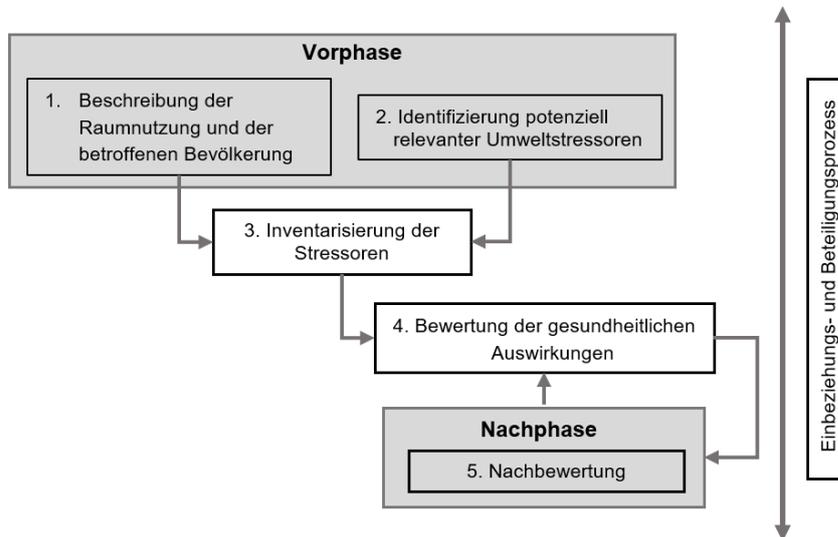


Abbildung 23: 4-Schritteplan-Methodik (Quelle: Richtlijnenhandboek Mens – Gezondheid, 2017).

2.2.6.5 Bewertung der geplanten Situation

Identifizierung der potenziell relevanten Umweltstressoren

Grob gesagt, kann das Projekt eine potenzielle Exposition gegenüber drei verschiedenen Kategorien von Stressoren verursachen: **chemische**, **physische** und/oder **biologische**. Darüber hinaus diskutieren wir auch die Wahrnehmung und die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen eines Stromausfalls sowie die Streuung der Beeinträchtigung. Dies ist nicht der Standard in einer klassischen UVP, aber angesichts der Art des Projekts sicherlich angemessen.

Folgende Schadstoffe werden, basierend auf der Disziplin Luft, in die Gesundheitsbewertung einbezogen: NO_x

In **Error! Reference source not found.** Es wird ein Überblick über die möglichen relevanten Umweltstressoren gegeben. Ebenfalls enthalten ist der Grund, warum der Parameter ausgewählt wird oder nicht. Die biologischen Stressoren sind für dieses Projekt nicht relevant.

Tabelle 26: Relevante chemische, physikalische und sonstige Stressoren

Projekt		
Chemische Stressoren		
Stressoren aus der sektorspezifischen Liste		
NO ₂	Durch Emissionen und Hintergrundkonzentration	Wird berücksichtigt
PM _{2,5} & PM ₁₀	Durch Emissionen und Hintergrundkonzentration	Wird nicht berücksichtigt
Physische Stressoren		
Lärm	Lärm, der durch den Verkehr und das Projekt entsteht.	Nicht berücksichtigt, da es keine relevanten Auswirkungen des Projekts gibt. Wird angesichts der Hintergrundgeräusche erörtert.
Vibrationen	Von Fahrzeugen erzeugte Vibrationen	Wird nicht übertragen.
Biologische Stressoren		
	Legionellen	Wird qualitativ erörtert
Andere		
Wahrnehmung	Nuklearsektor	Wird berücksichtigt
Blackout oder Stromausfall	Keine Energie	Wird berücksichtigt
Politik		
Stressoren		
Nox	Bei Kernenergie: Fehlen dieses Schlüsselschadstoffs	Wird erörtert
Diffuse Beeinträchtigung: Lärm und andere	Diffuse Beeinträchtigung	Wird erörtert

Bewertung der Projektauswirkungen

(1) Umweltauswirkungen von chemischen oder physischen Stressoren des Produktionsstandorts Doel (Doel 1 und 2) auf die menschliche Gesundheit. Es gibt keine Umweltauswirkungen infolge chemischer oder physischer Stressoren des Produktionsstandorts Doel (Doel 1 und 2) zu erwarten.

(2) Umweltauswirkungen von biologischen Stressoren.

Legionellen sind schwach gramnegativ färbende, aerobe, nicht sporenbildende, unverkapselte stäbchenförmige Bakterien, die nur auf speziellen ausgewählten (cysteinhaltigen) Medien kultiviert werden können. Die Familie der Legionellaceae ist in mehr als 48 Arten unterteilt. Die Art *L. pneumophila* wird in 15 Serogruppen (1-15) eingeteilt. Die anderen Arten zusammen werden auch als Non-Pneumophila bezeichnet. In Belgien werden mehr als 90 % der Legionellen-Pneumonien durch *Legionella pneumophila* verursacht. Innerhalb dieser Arten ist die Serogruppe 1 der häufigste Erreger (> 80 %). Die Serogruppe 1 der *Legionella pneumophila* kann auf Basis der Genotypisierung weiter unterteilt werden.

Legionella ist ein Bakterium, das in Wassersystemen vorkommt. Unter den richtigen Wachstumsbedingungen können sich die Bakterien vermehren. Eine Infektion mit Keimen der Legionellen kann zu einer Legionellose führen. Die Infektion kann über die Lunge erfolgen, nachdem die Bakterien in kleinen Wassertröpfchen eingeatmet wurden. Die Aerosolbildung erfolgt u. a. beim Duschen, Versprühen und u. a. bei der Verdunstung in einem Kühlturm.

Legionellenkeime wachsen in Wasser bei einer Temperatur zwischen 20 und 50 °C, mit einem Maximum zwischen 35 und 40 °C. Unterhalb von 20 °C wird das Wachstum gehemmt, oberhalb von 50 °C stirbt der Keim ab. Je höher die Temperatur, desto schneller die Abtötung. Die für das Wachstum notwendigen Nährstoffe befinden sich unter anderem in einem Biofilm. Um Legionellen zu kontrollieren, wurde in Flandern ein gesetzlicher Rahmen mit Normen und Bewirtschaftungsvorschriften sowie eine Richtlinie für die Wiederinbetriebnahme von Kühlkreisläufen nach einer Zeit der Inaktivität erstellt.

Die *Legionellen*-Pneumonie kann klinisch nicht von einer durch andere Erreger verursachten Lungenentzündung unterschieden werden. Die Diagnose kann nur durch eine mikrobiologische Untersuchung bestätigt werden. Die Krankheit wird oft von einem nichtproduktiven/trockenen Husten mit Brustschmerzen begleitet. In 60 % der Fälle treten auch neuropsychologische Störungen (Kopfschmerzen, Lethargie, Verwirrtheit) auf, 25 % werden von Durchfall und 20 % von Übelkeit und/oder Erbrechen begleitet. Bei *Legionellen*-Pneumonien wurden Pleuritis und Hyponatriämie beschrieben. Die *Legionellen*-Pneumonie führt relativ häufig zu einer Krankenhausaufnahme und einem Aufenthalt auf der Intensivstation. Die Prognose hängt von Wirtsfaktoren und von der Schnelligkeit der Einleitung einer geeigneten Antibiotikatherapie ab.

Die offenen Umlaufkühltürme von Doel 3 und Doel 4 sowie die Hilfskühltürme von D3 / D4 und WAB verwenden Scheldewasser. Da es sich um Brackwasser handelt, stellen diese Kühltürme aufgrund des hohen Salzgehalts kein Risiko einer Legionellen-Kontamination dar.

Die Hilfskühltürme von Doel 1 und 2 werden mit Stadtwater betrieben. Gemäß Bewirtschaftungsplan werden bei diesen Hilfskühltürmen mindestens zweimal pro Jahr Proben durchgeführt und auf das Vorhandensein von Legionellen analysiert. Falls in seltenen Fällen der Grenzwert des Erlasses überschritten wird, so werden die notwendigen Maßnahmen ergriffen (Reinigung, Erhöhung des Biozidanteils) und neue Kontrollen durchgeführt. Soweit bekannt, sind durch den Betrieb der Kühltürme beim KKW Doel noch nie Legionellen-Infektionen aufgetreten. Daraus kann geschlossen werden, dass das Risiko einer Legionellen-Kontamination durch Kühltürme vernachlässigbar ist, sofern der Bewirtschaftungsplan angewendet wird. Bei ordnungsgemäßer Kontrolle und Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen sind keine gesundheitlichen Auswirkungen in Bezug auf Legionellen zu erwarten.

(3) Psychosomatische und psychosoziale Aspekte

Eine Aussage über die psychosomatischen und psychosozialen Beschwerden, die aus dem Betrieb des Kernkraftwerks Doel und dem Nuklearsektor im Allgemeinen resultieren, ist schwierig, da keine dedizierte psychologische Forschung existiert. In Bezug auf den Nuklearsektor stützen wir uns auf das SCK-CEN-Barometer (2018) und andere Studien.

Vor dem Atomunfall in Fukushima zeigt der EUROBAROMETER 324 (repräsentative Daten für die belgische Bevölkerung) im Jahr 2009, dass das Argument „Eine Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken ist möglich, wenn die Anlagen die nationalen und internationalen Bedingungen hinsichtlich der Sicherheit erfüllen“ ein entscheidendes Argument für die belgische Bevölkerung ist, um eine Laufzeitverlängerung zu befürworten (54 %). Die Auswirkungen der Entscheidung für eine Laufzeitverlängerung auf wettbewerbsfähigere Stromkosten wurde von 40 % der belgischen Bevölkerung als Grund für die Unterstützung der Verlängerung im Jahr 2009 angegeben; 8 % gaben spontan an, eine Laufzeitverlängerung zu unterstützen. 37 % sagten, wenn die Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken „die Entwicklung alternativer Energieformen fördern“ würde, würde dies als Argument für eine Laufzeitverlängerung gelten. Im Gegensatz dazu gaben 30 % der belgischen Bevölkerung an, dass sie gegen eine Laufzeitverlängerung sind, wenn es keine ausreichenden Sicherheitsniveaus gibt; 37 % sagten, dass sie lieber neue Anlagen bauen würden, als die Laufzeit der bestehenden zu verlängern. Das stärkste Argument gegen eine Laufzeitverlängerung (40 % der belgischen Bevölkerung) ist, dass diese Entscheidung zu „einer Verringerung der Anreize für die Entwicklung alternativer Energieformen“ führen würde. 10 % gaben spontan an, dass sie eine Verlängerung der Laufzeit nicht unterstützen.

Eine von Greenpeace in Auftrag gegebene Studie von IPSOS im November 2011 (repräsentativ für die belgische Bevölkerung) zeigt, dass 76 % der Befragten der Entscheidung, in erneuerbare Energiequellen statt in die

Verlängerung der Laufzeit von Kernkraftwerken zu investieren, „zustimmen oder stark zustimmen“. 14 % waren mit dieser Wahl nicht einverstanden. 66 % stimmten der vorgesehenen Abschaltung der ältesten Kernkraftwerke im Jahr 2016 zu oder stimmten stark zu, 22 % stimmten nicht zu. In dieser Studie äußerten sich 31 % der Befragten besorgt über einen möglichen Stromausfall, wenn die Kernreaktoren zwischen 2016 und 2026 abgeschaltet würden; die Mehrheit (55 %) teilte diese Sorge jedoch nicht.

Das SCK CEN-Barometer zeigt, dass im Jahr 2018 die Umweltverschmutzung und die nichtkonforme Nutzung von Nukleartechnologien die größte Sorge der Bevölkerung darstellen: 61 % halten Umweltverschmutzung für ein hohes oder sehr hohes Risiko in den nächsten 20 Jahren, und 54 % halten den möglichen Missbrauch von Nukleartechnologien durch Terroristen für ein hohes oder sehr hohes Risiko. In der gleichen Studie betrachtet die Hälfte der Bevölkerung einen möglichen Atomunfall und radioaktive Abfälle als ein hohes bis sehr hohes Risiko für ihre Gesundheit in den nächsten 20 Jahren. Es besteht ein allgemeiner Konsens, dass die Zahl der Kernkraftwerke reduziert werden sollte. Das Vertrauen in die Behörden hinsichtlich der Maßnahmen, die sie zum Schutz der Bevölkerung vor den Risiken eines nuklearen Unfalls ergreifen, nimmt zwischen 2013 und 2018 ab. Bezüglich der Zukunft der Atomenergie in Belgien hält eine Mehrheit der Bevölkerung die Reduzierung der Anzahl der Kernkraftwerke in Belgien für eine gute Sache (71 % stimmen zu oder stimmen stark zu) und ist der Meinung, dass Kernkraftwerke eine Gefahr für die Zukunft ihrer Kinder sind (64 %). Auf der anderen Seite ist mehr als die Hälfte der Bevölkerung der Meinung, dass erneuerbare Energien nicht ausreichen, um den aktuellen Energiebedarf zu decken. Jeder vierte Belgier glaubt 2018, dass Atomkraft eine klimafreundliche Technologie ist, aber die Hälfte vertritt die gegenteilige Meinung.

Im Jahr 2015 gaben 38 % der belgischen Bevölkerung an, dass sie bereit wären, mehr zu zahlen, um die Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern, und 45 % sind dazu nicht bereit (SCK CEN Barometer 2015); im Jahr 2018 waren 49 % dazu bereit und 40 % nicht bereit. Zusätzlich geben 42 % an, dass sie nicht glauben, dass erneuerbare Energien ausreichen, um den aktuellen Energiebedarf zu decken, und 35 % glauben, dass dies möglich ist; 2018 waren dies 55 % bzw. 29 %.

Ähnlich wie bei den Ergebnissen zu den Meinungen zur Kernenergie glauben 37 %, dass die Vorteile der Kernenergie die Nachteile überwiegen. 36% der Bevölkerung waren der gegenteiligen Meinung.

Im Jahr 2018 (SCK CEN Barometer, repräsentative Daten 18+ der belgischen Bevölkerung) sprachen sich ca. 33 % für einen ersatzlosen Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke aus (vs. 40 % im Jahr 2015 und 57 % im Jahr 2013). Der Anteil der Bevölkerung, der den Bau neuer Kraftwerke und den Erhalt bzw. die Stilllegung der bestehenden befürwortet, ist genauso groß (ca. 30 %) wie der Anteil der Bevölkerung, der der Meinung ist, dass alle Kernkraftwerke so schnell wie möglich ersatzlos stillgelegt werden sollten. Genauer gesagt sind 11 % der Meinung, dass Belgien seine Kernkraftwerke schließen und neue bauen sollte, und 19 % sagen, dass Belgien seine derzeitigen Kernkraftwerke betreiben und neue bauen sollte, um die alten zu ersetzen.

Etwa die Hälfte der belgischen Bevölkerung schätzt die mit Atomunfällen verbundenen Risiken als hoch bis sehr hoch ein. Ein großer Teil der Bevölkerung (75 %) ist der Meinung, dass selbst eine geringe Dosis, die aus einem Atomunfall resultiert, schädlich für die Gesundheit sei.

Die Meinungen über die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung sind 2018 gleichmäßig zwischen günstig und ungünstig verteilt. Im Vergleich zu den Vorjahren sind die Meinungen im Jahr 2018 stärker polarisiert (mit weniger unentschlossenen Befragten). Jede(r) zweite Belgier/-in (49 %) ist bereit, zugunsten erneuerbarer Energien mehr für Strom zu bezahlen. Ein gleichgroßer Teil der Bevölkerung (55 %) denkt, dass erneuerbare Energien nicht ausreichen könne, um den aktuellen Energiebedarf zu decken.

Die obigen Beobachtungen zeigen ein gemischtes Bild; es lässt sich nicht feststellen, ob die Nutzung der Kernenergie oder die Existenz von Kernkraftwerken zu spezifischen psychosomatischen oder psychosozialen Beschwerden führt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Beschwerden, wenn sie vorhanden wären, hauptsächlich mit der nuklearen Stromerzeugung im Allgemeinen und nicht mit dem Funktionieren oder Nichtfunktionieren der spezifischen Reaktorblöcke Doel 1 und 2 zusammenhängen würden. In diesem Sinne können die Auswirkungen des Projekts als **neutral** betrachtet werden.

Bewertung der politischen Auswirkungen

(1) Stickstoffoxide sind ein Schlüsselschadstoff in Bezug auf die gesundheitlichen Auswirkungen in Europa. Bei der Erzeugung von Kernenergie ist dieser chemische Stressor nicht vorhanden, was sich im Rahmen der Analyse von Umwelt- und Gesundheitsrisiken positiv auswirkt. Die vermiedenen Emissionen von Stickstoffoxiden liegen bei ca. 500 Tonnen jährlich.

Bis vor einigen Jahren ging man davon aus, dass die gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂ selbst begrenzt seien und hauptsächlich durch andere Stoffe in der Luftverschmutzung, nämlich Feinstaub und Ruß, verursacht würden. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Studien veröffentlicht, die zeigen, dass sich die Auswirkungen von NO₂ nach Korrektur durch Feinstaub kaum ändern. Dabei gilt jedoch immer, dass unklar ist, inwieweit die beobachteten Effekte auf NO₂ zurückzuführen sind oder auch mit anderen Substanzen zusammenhängen, die stark mit der NO₂-Konzentration, wie z. B. Ruß oder ultrafeine Partikel, zusammenhängen. Die oxidierenden Eigenschaften von NO₂ können Auswirkungen auf die Atemwege und die Lunge in Form einer Abnahme der Lungenfunktion und der Infektionsresistenz des Lungengewebes verursachen. Dies kann Atemprobleme verursachen (Belanger et al. 2006; van Strien et al. 2004) und zu Krankenhausaufnahmen führen. Diese Studien wurden in Innenraumluft bei relativ hohen NO₂-Konzentrationen durchgeführt, die aus Quellen innerhalb des Gebäudes stammen. Zudem wurde gezeigt, dass die Exposition gegenüber NO₂ zu einer verstärkten Reaktion auf Allergene führen kann (Barck et al. 2005; Pattenden et al. 2006; Svartengren et al. 2000; Tunnicliffe et al. 1994). Die Bewertung des Projekts hinsichtlich der Stickstoffemissionen und der gesundheitlichen Auswirkungen lautet daher auch **positiv**.

(2) Die Kernenergie steht für eine zentrale Erzeugung, die dezentrale Erzeugung von Energie sorgt auch für eine größere Streuung der beeinträchtigenden Aspekte. Die Bewertung des Projekts im Zusammenhang mit der zentralisierten Produktion in Bezug auf verschiedene Standorte, an denen Beeinträchtigungen und Auswirkungen auftreten können, lautet daher auch **positiv**.

(3) Gesundheitliche Auswirkungen eines Stromausfalls oder „Blackouts“. Obwohl dies standardmäßig nicht zur Disziplin Gesundheit handelt, wird es bei einem großflächigen Stromausfall wahrscheinlich eine Auswirkung auf die Disziplin Mensch – Gesundheit geben. Zu den Faktoren, die diese Auswirkung bestimmen, gehören zum einen direkte Parameter wie die Dauer und die Häufigkeit, zum anderen kontextbezogene Parameter wie die Außentemperatur und der Maßstab. Die Bestimmung dieser Parameter und ihre Modellierung ist nicht Teil dieser Studie, aber wir werden die möglichen Auswirkungen eines Blackouts qualitativ auf der Grundlage von Literaturdaten und allgemeinen logischen Annahmen bestimmen. Die Umweltverträglichkeitsprüfung, wie sie in Flandern, Belgien und auch in Europa angewandt wird, konzentriert sich in erster Linie auf nichtakute Effekte, aber auch auf Effekte, die aufgrund der Exposition gegenüber verschiedenen Umweltstressoren eher chronischer Natur sind. Im Rahmen dieser Studie ist dies bereits eine wichtige Tatsache in Bezug auf die Bewertung. Auch bei einem Stromausfall ergeben sich Sicherheitsfragen, diese sind jedoch nicht Gegenstand der Disziplin Gesundheit. Klassische Sicherheitsprobleme können in Krankenhäusern, Aufzügen, Verkehrsstaus usw. entstehen usw. Eine wichtige Studie (Dominianni 2018) berichtet über die gesundheitlichen Auswirkungen eines Stromausfalls anhand von drei Ereignissen. Bei zwei von drei Stromausfällen ist auch der Kontext entscheidend: Die Stromausfälle traten nämlich während einer Hitzewelle auf. Zu den Auswirkungen, die auf dieser Forschung beruhen, gehören Atemprobleme und wahrscheinlich eine erhöhte Sterblichkeit. Stromausfälle während Hitzewellen führen zu Nierenversagen. Bei extremer Kälte führen sie zu häufigeren Todesursachen und Herzkrankheiten. In Anbetracht des Kontextes in Flandern und Belgien können wir den Beitrag des Projekts zu gesundheitlichen Auswirkungen infolge von Stromausfällen als **neutral bis positiv einstufen**.

Obwohl es nicht zum Thema der Studie gehört, müssen wir feststellen, dass die Stabilität und Zuverlässigkeit des Netzes ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls ist. Vor kurzem gab es einen weiteren Ausfall im synchronisierten europäischen Hochspannungsnetz (Freitag, 8. Januar 2021). Der Vorfall war jedoch von kurzer Dauer (1 Stunde), d. h. zu kurz, um mögliche gesundheitliche Auswirkungen zuordnen zu können.

Obwohl eine Umweltverträglichkeitsprüfung in einer ersten Phase nicht wirtschaftlich orientiert ist, weisen wir darauf hin, dass die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Stromausfalls erheblich sein können. Dies wurde bereits im allgemeinen Teil besprochen (siehe Abschnitt 1.1.1).

2.2.6.6 Minderungsmaßnahmen

Es werden keine Minderungsmaßnahmen auf Projektebene vorgeschlagen. Politisch empfehlen wir, die Stickstoffproblematik zu berücksichtigen, die mit einer Umstellung von nuklearen auf fossile Brennstoffe verbunden ist, und die Politik damit zu konfrontieren, dass es bei einer dezentralen Energieerzeugung flächenmäßig an mehr Orten zu Umweltbeeinträchtigungen kommen kann. Bei einem großflächigen und länger andauernden Stromausfall kann dies je nach Kontext zu gesundheitlichen Auswirkungen führen.

2.2.6.7 Wissenslücken

In Europa gibt es relativ wenig Veröffentlichungen über gesundheitliche Auswirkungen und Stromausfälle, in den USA können wir uns bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen auf 3 Stromausfälle beziehen. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass es eine Unsicherheit über die direkten Auswirkungen von NO_x unterhalb des aktuellen WHO-Schwellenwertes gibt. Es ist sehr schwierig, die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls einzuschätzen.

2.2.6.8 Quellen

- Richtlijnenhandboek MER mens – gezondheid, 2017;
- <http://www.geestelijkgezondvlaanderen.be/risi>;
- www.who.int, Environmental noise guidelines, 2018;
- www.who.int, Night noise guidelines, 2009;
- Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction, 2018;
- Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide;
- Dominianni, Christine, Lane, Kathryn, Johnson, Sarah, Ito, Kazuhiko, & Matte, Thomas. (2018). Health impacts of citywide and localized power outages in New York City. Environmental Health Perspectives, 126(6), 067003;
- SCK CEN Barometer (2018);
- Review of evidence on health aspects of air pollution- revihaap project. Technical report, 2013;
- Vlaamse Milieumaatschappij (2020), Jaarrapport Lucht – Effecten van luchtvervuiling op gezondheid en ecosystemen.

2.3 Grenzüberschreitende Auswirkungen

Die meisten der nichtradiologischen Auswirkungen, die auf die verschobene Abschaltung von Doel 1 und 2 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kraftwerks, sind von begrenztem Ausmaß und führen daher nicht zu grenzüberschreitenden Auswirkungen. Nur für das Thema Wasser können (begrenzte) grenzüberschreitende Auswirkungen auftreten.

Basierend auf der Überwachung (2012^{xii}) des Temperatureinflusses des Kühlwassers des KKW Doel auf die Schelde in der Nähe der niederländischen Grenze (in ca. 3,4 km Entfernung von der Einleitungsstelle), kann der Einfluss der Einleitung des Kühlwassers höchstens als begrenzt negativ angesehen werden (d. h. die Temperaturerhöhung infolge der Einleitung wird weniger als 1 °C betragen). Dieser Temperaturanstieg wird flussabwärts auf niederländischem Staatsgebiet langsam weiter abnehmen.

Es ist anzumerken, dass mehrere grenzüberschreitende Auswirkungen in der Referenzsituation nicht auszuschließen sind, wenn die Abschaltung nicht verschoben wird. Die Bedeutung und die Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden sehr stark von den Standorten, an denen (theoretische) Ersatzkapazitäten bereitgestellt werden, sowie von den technischen Merkmalen dieser Anlagen und von ihren Genehmigungsmerkmalen abhängen.

3 Radiologische Auswirkungen

3.1 Grundlegende Konzepte des Strahlenschutzes, die bei der Bewertung verwendet werden

Radioaktivität ist eine Eigenschaft bestimmter Atome, bei der sie spontan Energie in Form von Strahlung abgeben und ihren Zustand verändern – wir nennen das radioaktiven Zerfall in eine stabilere Form – bis sie schließlich zu stabilen Atomen werden. Die emittierte Strahlung besitzt viel Energie und kann in Wechselwirkung mit der Materie, durch die sie sich bewegt, Atome ionisieren und wird daher auch als **ionisierende Strahlung** bezeichnet.

Es bestehen verschiedene Formen des radioaktiven Zerfalls, die ebenfalls spezifische Strahlung aussenden. Die wichtigsten sind zum Beispiel **Alpha-, Beta- und Gammazerfälle**, die jeweils Alpha-, Beta- und Gammastrahlung aussenden. Eine seltenere Form des Zerfalls ist die spontane Spaltung, bei der sich der Kern in zwei Spaltprodukte aufspaltet und dabei ebenfalls eine Anzahl von Neutronen freisetzt. Diese Neutronen stellen ebenfalls eine Form der ionisierenden Strahlung dar. Dieser Vorgang findet auch in einem Kernreaktor statt, wobei man dann von induzierter Spaltung spricht. Beim Zerfall bestimmter Atome kann auch eine Kombination dieser verschiedenen Formen des radioaktiven Zerfalls auftreten, wobei ebenfalls eine Kombination der verschiedenen Strahlungsarten ausgesandt wird.

Exkurs – Notation Radionukliden

Es wird folgende Notation verwendet: Ein wohldefinierter Atomkern oder Nuklid wird durch sein chemisches Element (oder seine Abkürzung) angegeben, gefolgt von seiner Massenzahl, die gleich der Anzahl der Kernteilchen (Nukleonen: Protonen und Neutronen) ist. Nuklide können stabil oder radioaktiv sein, im letzteren Fall spricht man von **Radionukliden**. Einige Beispiele:

- Cäsium-137 (oder Cs-137, oft auch ^{137}Cs) ist ein Cäsium-Kern mit 137 Kernteilchen (Nukleonen). Da Cäsium im Kern immer 55 Protonen hat (Ordnungszahl), enthält Cs-137 82 Neutronen (137 minus 55). Cs-137 ist radioaktiv und zerfällt. Cs-134 ist ein weiteres **Isotop** des Elements Cäsium und ist ebenfalls radioaktiv. Cs-133 hingegen ist eine stabile Form von Cäsium, sogar die einzige stabile Form des Elements Cäsium;
- Wasserstoff-1 (oder H-1, oft auch ^1H) ist die häufigste stabile Form von Wasserstoff; der Kern besteht nur aus einem Proton. Deuterium (Wasserstoff-2, H-2 oder ^2H) ist ebenfalls stabil, und etwa 0,01 % des gesamten Wasserstoffs ist Deuterium, es enthält ein Proton und ein Neutron im Kern. Tritium (Wasserstoff-3, H-3 oder ^3H) ist ebenfalls eine Form von Wasserstoff, enthält aber 2 Neutronen im Kern und ist radioaktiv. Speziell für Wasserstoff haben die verschiedenen Isotope Namen: Wasserstoff, Deuterium und Tritium;
- Technetium-99m (Tc-99m oder $^{99\text{m}}\text{Tc}$) ist ein Technetium-Atom mit 99 Kernteilchen; es ist radioaktiv. Das „m“ bezieht sich auf die Tatsache, dass sich der Technetium-99-Kern in einem höheren energetischen Zustand befindet (wir nennen dies einen angeregten Kernzustand). Tc-99m zerfällt in den Grundzustand von Tc-99, das selbst radioaktiv ist, sodass sich Tc-99m und Tc-99 auf zwei verschiedene Kernzustände desselben Isotops beziehen, die auch unterschiedlich zerfallen.

Eine **radioaktive Quelle** ist eine Ansammlung von radioaktiven Atomen, wobei es sich jeweils um die gleichen Radionuklide (z. B. Cs-137) oder eine Mischung von Radionukliden (z. B. Cs-137 und Cs-134) handeln kann.

Die **Aktivität** einer radioaktiven Quelle wird in der Anzahl der radioaktiven Atome, die pro Sekunde zerfallen, ausgedrückt. Die Einheit ist das Becquerel (Bq). 1 Becquerel entspricht einem radioaktivem Atom, das pro Sekunde zerfällt. Das Becquerel ist eine kleine Einheit. Schwache radioaktive Quellen, z. B. zum Testen eines Detektors, haben in der Regel eine Aktivität von einigen tausend Becquerel (einige kBq). Eine Übersicht über die Aktivität einer Reihe von radioaktiven Quellen finden Sie in Tabelle 27.

Tabelle 27: Beispiele für die Aktivität einiger radioaktiver Quellen.

Radioaktivität im Meerwasser	12 Bq/Liter
Radioaktivität in Kartoffeln	160 Bq/kg
Im menschlichen Körper vorhandenes K-40	3 kBq
Gesamtaktivität im menschlichen Körper (K-40, H-3, C-14, Ra-226 ...)	8,5 kBq
Ableitung von radioaktiven Aerosolen in die Luft, einschließlich Cs-137, Standort KKW Doel pro Jahr – Durchschnitt (2015-2019)	61,5 MBq
In der Knochenszintigraphie zur Diagnose/bei Patienten verwendetes Tc-99m	740 MBq
Bei der Behandlung von Schilddrüsenkrebs/Patient verwendetes I-131	2 GBq
1 Million Tonnen Uran-Erz	720 TBq
Beim Tschernobyl-Unfall freigesetztes Cs-137	89 PBq
Bei oberirdischen Atombombentests freigesetztes Cs-137	948 PBq

Radioaktive Atome können auch mit nichtradioaktivem Material vermischt werden, z. B. wenn Radioaktivität in Wasser eingeleitet wird, enthält dieses Wasser eine bestimmte Aktivität pro Liter Wasser (Bq/l). Analog dazu kann Radioaktivität z. B. in Lebensmitteln (Bq/kg), in der Luft (Bq/m³) oder auf dem Boden (Bq/m²) vorhanden sein.

Exkurs – Verwendung von Präfixen

Für bestimmte Größen bei der Bewertung von radiologischen Auswirkungen wie Aktivität und Dosis werden Standardpräfixe verwendet, um sehr große und sehr kleine Werte in den verwendeten Standardeinheiten darzustellen.

Präfix		Basis 10	Dezimal
Name	Symbol		
Peta	P	10 ¹⁵	1.000.000.000.000.000
Tera	T	10 ¹²	1.000.000.000.000
Giga	G	10 ⁹	1.000.000.000
Mega	M	10 ⁶	1.000.000
Kilo	k	10 ³	1.000
		10 ⁰	1
Milli	m	10 ⁻³	0,001
Mikro	μ	10 ⁻⁶	0,000.001
Nano	n	10 ⁻⁹	0,000.000.001
Piko	p	10 ⁻¹²	0,000.000.000.001
Femto	f	10 ⁻¹⁵	0,000.000.000.000.001

Beispiele sind: GBq, PBq, μSv, nSv/h ...

Die Aktivität einer Quelle eines bestimmten Radionuklids ist proportional zur Anzahl der darin enthaltenen radioaktiven Atome; die Proportionalitätskonstante ist spezifisch für jedes Radionuklid. Dies impliziert, dass die Aktivität einer Quelle eines ganz bestimmten Radionuklids exponentiell in Abhängigkeit zur Zeit abnimmt. Die Zeit,

in der sich die Aktivität halbiert, wird als **Halbwertszeit** bezeichnet. Diese ist radionuklidspezifisch und kann von weniger als einer Millisekunde bis zu Milliarden von Jahren reichen. Zum Beispiel hat Tc-99m eine Halbwertszeit ($T_{1/2}$) von 6,0072 Stunden, I-131 (Jod 131) 80,252 Tage, Tritium 12,312 Jahre und Cs-137 30,05 Jahre.

Da Radioaktivität ein natürliches Phänomen ist und alles um uns herum mehr oder weniger stark radioaktiv ist, unterscheiden wir zwischen **natürlicher** und **künstlicher Radioaktivität**.

Die natürliche Radioaktivität besteht aus einer Reihe von natürlich vorkommenden Radionukliden, von denen der wichtigste Teil seit der Entstehung der Erde vorhanden ist. Dabei handelt es sich um *langlebige Radionuklide*, die wichtigsten sind Kalium-40 (K-40), Uran-238 (U-238) und Thorium-232 (Th-232). Kalium-40 zerfällt sofort in stabile Atome, aber U-238 und Th-232 zerfallen über eine ganze Reihe von aufeinanderfolgenden Radionukliden, bis sie stabiles Blei bilden: das sind die natürlichen Zerfallsreihen (Uran- und Thoriumreihe) und sie enthalten radioaktive Elemente wie Radium-226 (Ra-226) und Radon (Rn-222 und Rn-220). Diese Radionuklide sind daher überall vorhanden, mit wichtigen natürlichen Variationen. Weitere natürliche Radionuklide entstehen auch konstant durch kosmische Strahlung aus dem Weltraum, die über Kernreaktionen natürliche Radionuklide wie Tritium (H-3) und Kohlenstoff-14 (C-14) entstehen lässt. Diese letzten beiden Radionuklide werden auch beim Betrieb eines Kernreaktors auf künstliche Weise erzeugt.

Bei künstlicher Radioaktivität handelt es sich um vom Menschen hergestellte Radionuklide. Es gibt verschiedene Quellen für künstliche Radionuklide, die von Atombombentests, dem Betrieb von Kernreaktoren bis hin zu Teilchenbeschleunigern reichen. Einige künstliche Radionuklide kommen in der Natur (fast) nicht vor und sind daher fast ausschließlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen (z. B. Jod-131); andere Radionuklide, wie Tritium und C-14, kommen sowohl natürlich als auch künstlich vor.

Die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung aus radioaktiven Quellen kann auf verschiedene Weise erfolgen:

- Man kann von einer in der Ferne befindlichen radioaktiven Quelle bestrahlt werden; wir nennen dies **externe Strahlung oder Exposition**. Gammastrahlen und Neutronenstrahlung sind die Hauptquellen der externen Bestrahlung;
- Man kann **mit radioaktiven Partikeln verunreinigt oder kontaminiert** sein, entweder:
 - äußerlich: nur (ein Teil) der Haut ist kontaminiert;
 - innerlich, z. B. durch Einatmen radioaktiver Partikel, Verzehr kontaminierter Lebensmittel oder durch Wunden bei äußerer Kontamination (oder in einem medizinischen Kontext durch Verabreichung einer radioaktiven Quelle zur Diagnose oder Behandlung).

Wenn Sie kontaminiert sind (innerlich, äußerlich oder beides), werden Sie ebenfalls bestrahlt. Diese verschiedenen Expositionspfade führen zu unterschiedlichen radiologischen Auswirkungen und werden stets bei einer Analyse der radiologischen Auswirkungen berücksichtigt.

Im Allgemeinen werden Sie durch externe Bestrahlung nicht kontaminiert: Nur externe Bestrahlung mit Neutronen (und sehr hochenergetischer Gamma- oder Röntgenstrahlung, die in diesem Kontext nicht anwendbar ist) kann zu einer Aktivierung und der Bildung von Radioaktivität durch Bestrahlung führen. Ein Beispiel dafür ist die Bildung von radioaktivem Tritium durch Neutronenabsorption (Neutroneneinfang) bei Interaktion mit dem stabilen Deuterium.

Alphastrahlung (α -Strahlung), die beim Alphazerfall abgegeben wird, besteht aus He-4-Kernen. Diese geben ihre gesamte Energie in kurzer Entfernung ab, sodass sie bei äußerer Bestrahlung keine oder nur eine sehr begrenzte Gefahr darstellen, aber sehr gefährlich sein können (Gewebeschäden), wenn man innerlich kontaminiert ist.

Betastrahlung (β -Strahlung), die beim Betazerfall abgegeben wird, besteht aus Elektronen oder Positronen und gibt ihre Energie über eine begrenzte Entfernung (Meter in Luft, Millimeter in Wasser oder Gewebe) ab und kann daher sowohl ein externes Strahlungsproblem, als auch ein externes oder internes Kontaminationsproblem darstellen. Da sie ihre Energie über eine größere Entfernung/Volumen abgeben, sind sie weniger gefährlich als Alphastrahler bei innerlicher Kontamination.

Gammastrahlung (γ -Strahlung), die beim Gammazerfall, oft auch nach Alpha- und Betazerfall abgegeben wird, hat eine große Reichweite (Hunderte von Metern in der Luft, zehn Zentimeter im Gewebe) und ist daher sowohl bei externer Bestrahlung als auch bei Kontamination von Bedeutung.

Neutronen, die durch spontane oder induzierte Kernspaltung oder andere Kernreaktionen emittiert werden, haben eine lange Halbwertszeit, es werden spezielle Materialien zur Abschirmung benötigt und sie sind besonders wichtig für die externe Bestrahlung.

Die Wirkung oder Auswirkung ionisierender Strahlung wird mit dem Begriff der **Dosis** beschrieben. Es gibt jedoch mehrere Größen für die Dosis: die physischen Größen, die im Strahlenschutz verwendeten Größen und die betrieblichen Größen. Oft werden diese Begriffe synonym verwendet, dennoch ist es wichtig, sie zu unterscheiden.

Die **Energiedosis** ist die Energiemenge, die pro Masse absorbiert wird: $D = \frac{dE}{dm}$, und wird in Gray (Gy) ausgedrückt, was 1 Joule (Einheit der Energie) pro Kilogramm entspricht oder $1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$. Das Gray ist eine große Einheit, denn bei einer kompletten externen Körperbestrahlung mit Gammastrahlung in kurzer Zeit mit 4 bis 5 Gy (also 4 bis 5 Joule pro Kilogramm) hat die bestrahlte Person ohne medizinische Behandlung nur eine 50%ige Überlebenschance (tödliche Dosis). Bei dieser Dosis wird die Person also Strahlensymptome zeigen, die wir deterministische Effekte nennen (der neue englische Begriff lautet „tissue reactions“). Die Energiedosis wird daher zur Beschreibung dieser deterministischen Effekte verwendet. Diese Effekte treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf, Beispiele sind eine letale Dosis (4 bis 5 Gy) und die Rötung der Haut. Die Energiedosis kann auch für einen bestimmten Körperteil (Gewebe oder Organ) verwendet werden, dies wird dann oft mit D_T (wobei T für das englische Wort „tissue“ steht) angegeben, kann aber auch für die Bestrahlung von Gegenständen, Pflanzen und Tieren verwendet werden. Deterministische Effekte möchten wir jederzeit vermeiden.

Die Äquivalentdosis ist die für die Strahlungsart gewichtete Energiedosis, um den biologischen Effekt der Strahlungsart zu berücksichtigen. Bei gleicher Energiedosis verursacht die Alphastrahlung viel mehr Schaden als die Beta- oder Gammastrahlung. Auch Neutronen haben im Allgemeinen einen größeren biologischen Effekt. Die Äquivalentdosis ist dann für ein bestimmtes Organ oder Gewebe definiert als:

$$H_T = \sum_R w_R D_T$$

mit w_R ein Gewichtungsfaktor für die Strahlungsart (das R steht hier für „Radiation“), der den biologischen Effekt der Strahlungsart beschreibt: $w_R = 20$ für Alphastrahlung, $w_R = 1$ für Beta- und Gammastrahlung und w_R für Neutronen in Abhängigkeit ihrer Energie^{xiii}. Die Äquivalentdosis wird in Sievert (Sv) angegeben und ist ebenfalls eine Größeneinheit.

Die effektive Dosis ist die Äquivalentdosis gewichtet nach der Empfindlichkeit der verschiedenen Organe.

$$E = \sum_T w_T H_i$$

Dieser Gewichtungsfaktor ist gewebe-/organabhängig. Die neuesten Gewichtungsfaktoren finden sich im Königlichen Erlass vom 19. August 2020 zur Änderung des Königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Die Gewichtungsfaktoren werden verwendet, um das Risiko stochastischer Effekte zu bestimmen, und so ist die effektive Dosis immer mit einer Abschätzung der Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlungseffekte verbunden, insbesondere der Induktion von (tödlichen) Krebserkrankungen und genetischen Effekten. Dies ist die wichtigste Größe im Strahlenschutz und ermöglicht den Vergleich verschiedener Expositionen/Expositionssituationen. Außerdem werden Dosisgrenzwerte oft als effektive Dosis definiert (siehe unten).

Deterministische Effekte (Gewebereaktionen) treten nur auf, wenn eine bestimmte Schwellendosis überschritten wird. Unterhalb der Schwellendosis tritt der Effekt nicht auf. Die Schwellendosis ist für verschiedene Strahlenwirkungen unterschiedlich, liegt aber für das Auftreten klinischer Effekte typischerweise über 1 Gy, Dosen, die auf jeden Fall vermieden werden sollten und nur bei sehr schweren Strahlenunfällen überschritten werden. Hinzu

kommen **stochastische Effekte**, insbesondere das Krebsrisiko und genetische Effekte, die bereits bei niedrigeren Dosen auftreten können. Aus epidemiologischen Studien wissen wir, dass die Inzidenz linear mit der effektiven Dosis ansteigt. Bei niedrigen Dosen ist das Auftreten von stochastischen Effekten daher gering und nicht von einem spontanen Auftreten (ohne Strahlenexposition) zu unterscheiden. Im Strahlenschutz geht man vorsorglich bis zu sehr niedrigen Dosen von einem linearen Zusammenhang ohne Schwellendosis aus (Linear non-threshold oder LNT-Ansatz). Bei der radiologischen Umweltverträglichkeitsprüfung, wie sie hier für den Normalbetrieb von Kernkraftwerken wie Doel 1 und 2 durchgeführt wird, und auch bei einer beträchtlichen Anzahl möglicher Unfallszenarien, befinden wir uns in diesem Bereich von effektiven Dosen (oft sehr weit) unter 100 mSv, in dem Strahlenwirkungen noch nie epidemiologisch festgestellt wurden.

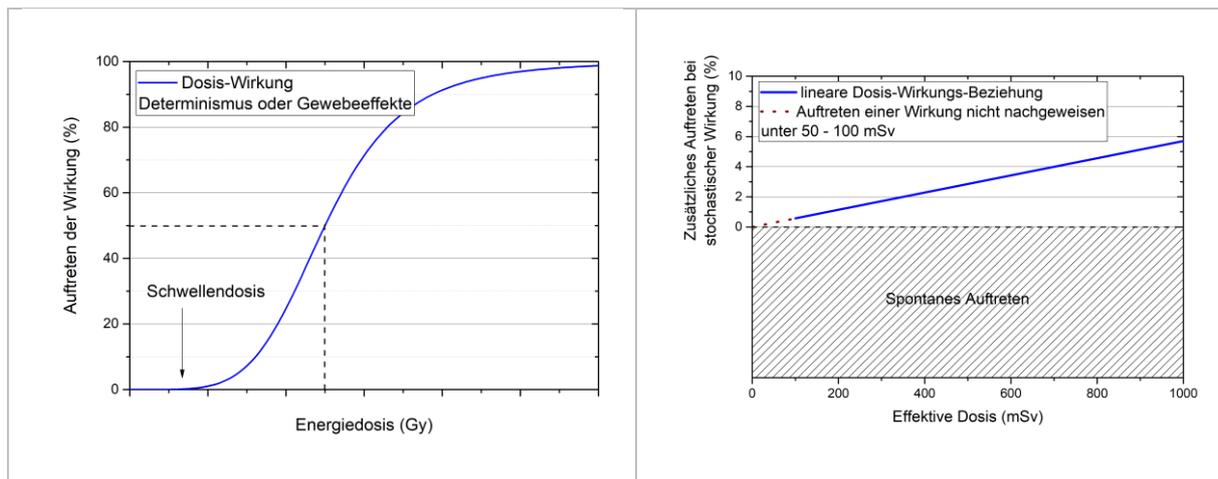


Abbildung 24: Dosis-Wirkungs-Beziehung für deterministische (links) und stochastische Effekte (rechts). Deterministische Effekte treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf. Danach nimmt das Vorhandensein schnell zu, bis es bei jedem auftritt. Das Auftreten von stochastischen Effekten steht in linearer Verbindung zur Dosis, der man ausgesetzt ist. Bei niedrigen Dosen (unter 50-100 mSv effektiver Dosis wurde dies jedoch nie nachgewiesen und es wird vorsichtshalber eine lineare Extrapolation angenommen). Hier ist das gesamte Auftreten von stochastischen Effekten (Krebserkrankungen und genetische Effekte) für eine Person aus der Öffentlichkeit bei niedriger Dosisleistung dargestellt, wobei bei 1 Sv effektiver Dosis ein zusätzliches Auftreten 5,7 % (zusätzlich zum spontanen Auftreten, das viel wahrscheinlicher ist) von stochastischen Effekten zu erwarten ist.

Mit der effektiven Dosis können unterschiedliche Expositionen und damit deren Risiko verglichen werden. Tabelle 28 zeigt die effektive Dosis pro Jahr für eine(n) durchschnittliche(n) Belgier/-in (für das Jahr 2015), wobei der Beitrag aus verschiedenen Expositionsformen angegeben ist.

Tabelle 28: Dosisbelastung pro durchschnittlichem/-r Belgier/-in im Jahr 2015^{xiv}.

Dosisbelastung pro Kopf im Jahr 2015	mSv/Jahr
Kosmos (kosmische Strahlung, kosmogene Radionuklide, Flugreisen, Aufenthalt in höheren Schichten)	0,35
Erdstrahlung (externe Strahlung natürliche Radioaktivität im Boden)	0,40
Einatmen von natürlichen Radionukliden (Radon, Thoron und Zerfallsprodukte)	1,40
Aufnahme natürlicher Radionuklide (gesamte natürliche Radioaktivität in Nahrung und Trinkwasser)	0,29
Industrielle Anwendungen (Ableitungen etc.)	< 0,01
Medizinische Anwendungen (Röntgen, CT, SPECT, PET etc.)	1,53

Insgesamt (Durchschnitt)	3,98
---------------------------------	-------------

Neben der Energie-, der Äquivalent- und der effektiven Dosis gibt es eine Reihe operativer dosimetrischer Größen, wie z. B. die **Personen-Dosisäquivalent $H_p(d)$** , eine Größe, die in der Personendosimetrie verwendet wird, und die **Umgebungs-Dosisäquivalent $H^*(d)$** , die bei Umgebungsmessungen der Strahlendosis verwendet wird und bei der sich d auf die Tiefe bezieht, in der sie ausgewertet wird, und standardmäßig 10 mm entspricht.

Bei dosimetrischen Größen kann neben der Gesamtdosis auch die Dosis pro Zeiteinheit, also die Dosisleistung, betrachtet werden (z. B. die Umgebungsäquivalentdosisleistung, wie sie von einem aktiven Strahlungsdetektor gemessen wird, kurz auch „Dosisleistung“ genannt).

Im **Strahlenschutz** (ICRP103^{xv}) wird zwischen 3 möglichen Expositionssituationen unterschieden, die auch in der Richtlinie 2013/59/EURATOM und in der belgischen Gesetzgebung eingeführt wurden:

- Geplante Expositionen, wie z. B. der Betrieb eines Kernkraftwerkes, insbesondere Doel 1 und 2 mit allen dazugehörigen Aktivitäten, gehören in diese Kategorie;
- bestehende Expositionssituationen, d. h. eine Expositionssituation, die zu dem Zeitpunkt, zu dem eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss, bereits besteht und für die die Anwendung von Sofortmaßnahmen nicht oder nicht mehr erforderlich ist; z. B. historische Kontamination aufgrund früherer Tätigkeiten, bei denen z. B. andere Ableitungsgrenzwerte galten;
- Exposition in Notsituationen (siehe auch speziell Nukleare Notfallplanung).

Das **Strahlenschutzsystem** stützt sich auf die folgenden 3 Hauptsäulen:

- Rechtfertigung;
- Dosisoptimierung;
- Dosisbeschränkung.

für alle Situationen, in denen eine Exposition auftreten kann.

Rechtfertigung, geplante Expositionen sind dann gerechtfertigt, wenn sichergestellt werden kann, dass der Nutzen, den sie für den Einzelnen oder die Gemeinschaft beinhalten, die gesundheitlichen Schäden, die sie verursachen können, überwiegt. Die Genehmigung ist der Nachweis der Rechtfertigung (K. E. 19.08.2020).

Die Dosisoptimierung erfordert, dass die Exposition von Personen so optimiert wird, dass die individuellen Dosen, die Wahrscheinlichkeit der Exposition und die Anzahl der exponierten Personen so niedrig wie möglich gehalten werden. Diese Säule wird praktisch durch die Begrenzung der Zeit bei der Strahlungsquelle, die Maximierung des Abstands zur Strahlungsquelle und die Vermeidung oder Begrenzung der Abschirmung der Strahlungsquelle/Diffusion erreicht.

Dosisbegrenzung – Dosisgrenzwerte werden für geplante Expositionen definiert und per Königlichem Erlass festgelegt, wobei die neuesten im K. E. vom 19. August 2020^{xvi} zu finden und in Tabelle 29 angegeben sind. Es wird zwischen Einzelpersonen der Bevölkerung und beruflich exponierten Personen (z. B. Personen, die im kerntechnischen Bereich eines Kernkraftwerks arbeiten) unterschieden.

Tabelle 29: Dosisgrenzwerte^{xvii}.

Dosisgrenzwerte		Öffentlichkeit	Beruflich exponierte Personen (*)	Schüler und Studenten (16 – 18 Jahre)
Effektive Dosis (E)		1 mSv pro Jahr 1 mSv während der Schwangerschaft	20 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	6 mSv pro Jahr
Äquivalentdosen (H)	Okular	15 mSv pro Jahr	20 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	15 mSv pro Jahr

	Haut (durchschnittliche Dosis über eine Fläche von 1 cm ²)	50 mSv pro Jahr	500 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	150 mSv pro Jahr
	Hände, Unterarme, Füße und Knöchel	Nicht anwendbar	500 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	150 mSv pro Jahr

(*) Ein(e) Arbeitnehmer/-in gilt als beruflich exponiert, wenn die Gefahr besteht, dass einer der für die Öffentlichkeit festgelegten Dosisgrenzwerte überschritten wird.

Die effektive Dosis von 1 mSv/Jahr für die Öffentlichkeit sind, genau wie die anderen Dosisgrenzwerte, zu verstehen als die zusätzliche Dosis infolge menschlicher Aktivitäten, die über die natürliche Exposition und die im Rahmen einer medizinischen Diagnose oder Behandlung erhaltenen Dosen hinausgeht. Ein(e) durchschnittliche(r) Belgier/-in erhält jedoch nur weniger als 1 % dieses Dosisgrenzwertes (< 0,01 mSv/Jahr) aufgrund industrieller nuklearer und radiologischer Anwendungen, einschließlich Kernkraftwerken zur Energieerzeugung.

Im Rahmen der belgischen Vorschriften werden die verschiedenen Einrichtungen, die mit radioaktiven Stoffen oder Geräten arbeiten, die ionisierende Strahlung erzeugen können, in **vier Klassen von Einrichtungen** eingeteilt^{xviii}. Die Klassifizierungsregeln basieren auf dem **potenziellen Betriebsrisiko**. Eine Einrichtung (oder eine Anlage) gehört je nach den Mengen der radioaktiven Stoffen, der Leistung des Geräts oder der Aktivität der radioaktiven Quelle(n) oder der Höhe der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung zu einer bestimmten Klasse. Alle belgischen kerntechnischen Anlagen, einschließlich des KKW Doel, fallen unter die **Klasse 1** und müssen daher alle Vorschriften für Anlagen der Klasse 1 erfüllen. Die anderen Klassen werden hier nicht weiter behandelt.

Das Kriterium für die Bewertung der **radiologischen Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere der Auswirkungen auf Fauna und Flora** durch die Exposition mit radioaktiver Strahlung, ist die Energiedosisleistung. Die Einheit hierfür ist Joule pro Kilogramm oder Gray. Es wird angenommen, dass die Energiedosis gleichmäßig im Organismus verteilt wird. Die Energiedosisleistung ist die Energiedosis pro Zeiteinheit für Fauna und Flora üblicherweise ausgedrückt in Mikrogray pro Stunde ($\mu\text{Gy h}^{-1}$). Um die unterschiedlichen biologischen Auswirkungen, die mit den verschiedenen Strahlungsformen (Gamma, Beta, Alpha) verbunden ist, zu berücksichtigen, wird häufig ein Gewichtungsfaktor für die Energiedosis eingeführt.

Die radiologischen Auswirkungen einer Einrichtung auf die Umwelt sind durch Ströme und/oder Konzentrationen von Radionukliden gekennzeichnet, die in die Umwelt freigesetzt werden können. In radiologischen Sicherheitsstudien wird untersucht, ob diese Größen mit Strömen und Konzentrationen vergleichbar sind, die natürlich in der Umwelt vorkommen, und ob die berechnete Auswirkung eine Beeinträchtigung der Umwelt verursachen kann. Für radiologische Auswirkungen wird das Risiko für die Umwelt anhand eines spezifischen Sicherheitsindikators, der effektiven Dosisleistung, ausgedrückt in Mikrogray pro Stunde ($\mu\text{Gy h}^{-1}$), berechnet. Die Radionuklidkonzentrationen in der Umwelt werden in die effektive Dosisleistung umgerechnet, eine Größe, die das Umweltrisiko ionisierender Strahlung ausdrückt, und mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert, der die verschiedenen Strahlungsformen und die möglichen Expositionspfade der betrachteten Arten berücksichtigt.

3.2 Grundlegende Konzepte und Bewirtschaftung von radioaktivem Abfall

3.2.1 Herkunft von radioaktivem Abfall

Radioaktive Abfälle fallen hauptsächlich beim Betrieb von Kernreaktoren bei folgenden Aktivitäten an:

- Betrieb von Kernkraftwerken zur Stromerzeugung oder Forschungsreaktoren;
- Herstellung von Kernbrennstoff und dessen Wiederaufbereitung;
- Stilllegung von kerntechnischen Anlagen.

Einige Länder betrachten abgebrannte Kernbrennstoffe als wiederverwendbare Ressource und behandeln sie als solche (weil sie nach der Behandlung wiederverwertet werden können), während andere sie als radioaktiven Abfall betrachten. Darüber hinaus fallen radioaktive Abfälle aus der Verwendung von Radioisotopen in der Medizin, der wissenschaftlichen Forschung und der Industrie an, hauptsächlich in Form von ausgedienten umschlossenen

radioaktiven Quellen. Schließlich müssen auch Rückstände aus Industrien, die natürliche radioaktive Stoffe (NORM) verwenden oder verarbeiten, als radioaktiver Abfall behandelt werden.

Radioaktive Abfälle entstehen auch durch Stilllegungstätigkeiten, wie z. B. durch die Stilllegung der Forschungsreaktoren BR3 auf dem Gelände des SCK CEN und Thetis (Gent), die Stilllegung der ehemaligen Wiederaufbereitungsanlage Eurochemic auf dem Gelände von Belgoprocess oder die Stilllegung von FBFC und Belgonucleaire.

3.2.2 Klassifizierung

Laut Gesetz vom 3. Juni 2014^{xix} zur Umsetzung der europäischen Richtlinie 2011/70/Euratom^{xx} wird radioaktiver Abfall wie folgt definiert:

„Radioaktiver Abfall: ein radioaktiver Stoff in gasförmigem, flüssigem oder festem Zustand, für den der Staat oder eine natürliche oder juristische Person, deren Entscheidung durch die Verabschiedung einer Nationalen Politischen Maßnahme in Bezug auf diesen Stoff gemäß § 6 und § 7 dieses Artikels angenommen wurde, keine weitere Verwendung mehr vorsieht oder in Betracht zieht und der von der zuständigen Aufsichtsbehörde als radioaktiver Abfall betrachtet wird, oder wenn dieser Stoff aufgrund einer gesetzlichen oder behördlichen Bestimmung als radioaktiver Abfall zu betrachten ist.“ [freie Übersetzung]

Eine ordnungsgemäße Klassifizierung von radioaktivem Abfall ist notwendig, um sicherzustellen, dass die Sammlung, der Transport, die Lagerung und die Handhabung von Abfall in einer Weise erfolgt, die die Umwelt und die menschliche Gesundheit schützt und den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Kriterien für die Abfallklassifizierung

Das Hauptkriterium für die Einstufung von Abfällen ist ihre langfristige Sicherheit. Radioaktive Abfälle werden im Allgemeinen nach der Menge (Aktivität) und Art der Strahlung sowie der Dauer der Radioaktivität (Halbwertszeit) eingeteilt.

Auf der Grundlage dieser Eigenschaften können die Abfälle nach dem Grad des Einschlusses und der Isolierung eines Entsorgungssystems klassifiziert werden, der erforderlich ist, um ihre langfristige Sicherheit zu gewährleisten, wobei das Gefahrenpotenzial der verschiedenen Abfallarten berücksichtigt wird. Dies spiegelt einen graduellen Ansatz zur Gewährleistung der Sicherheit wider.

Radioaktive Abfälle werden als schwach-, mittel- oder hochradioaktiv bezeichnet, je nach dem Grad der von ihnen ausgehenden Strahlung. Radioaktive Abfälle können auch als kurz- oder langlebig angesehen werden, je nachdem, wie lange ihre Radioaktivität bestehen bleibt.

Klassifizierung von Abfall in Belgien

In Belgien klassifiziert die NIRAS (die belgische Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien) radioaktive Abfälle in drei Kategorien: A, B und C.

- KATEGORIE A: bezieht sich auf schwach- und mittelradioaktive, kurzlebige Abfälle. Schwachradioaktiver Abfall enthält geringe Mengen an Radioaktivität. Er entsteht vor allem durch den Betrieb von Kernkraftwerken, aber auch durch die Wiederaufbereitung, die Forschung und die Produktion von Radioisotopen und deren Einsatz in der Nuklearmedizin und der Industrie. Beispiele für Abfälle der Kategorie A sind kontaminierte Schuhüberzüge und Kleidung, Fasern, Mopps, Filter, medizinische Schläuche, Wattestäbchen, Injektionsnadeln, Spritzen, Abfälle von toten Tieren (Kadavern) und andere Gewebe. Die Kategorie kann auch feuerfeste Stoffe und schützende Kunststoffabdeckungen enthalten, die bei Wartungsarbeiten verwendet werden, sowie Ausrüstungsteile, die aus einem Kraftwerk entfernt wurden.
- KATEGORIE B: gruppiert schwach- und mittelradioaktive, langlebige Abfälle. Mittelradioaktive Abfälle enthalten eine höhere Radioaktivität als schwachradioaktive Abfälle und müssen bei der Behandlung abgeschirmt werden. Sie entstehen hauptsächlich bei der Herstellung von Kernbrennstoffen, in der

Kernforschung und bei der Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente. Bei der Stilllegung eines Reaktors werden einige Teile des Reaktors ebenfalls als mittelradioaktive Abfälle eingestuft.

- KATEGORIE C: enthält hochradioaktive, langlebige Abfälle. Es stammt hauptsächlich aus abgebrannten Brennelementen, die als Abfall deklariert wurden, und aus der Aufbereitung von abgebrannten Brennelementen. Abfälle der Kategorie C haben eine solch hohe Strahlung, dass sie Wärme erzeugen und eine starke Abschirmung erfordern.

Schwach- und mittelradioaktive Abfälle (Kategorien A und B) umfassen mehr als 95 % des Gesamtvolumens, aber weniger als 10 % der Radioaktivität aller radioaktiven Abfälle.

3.2.3 Bewirtschaftung von radioaktivem Abfall

Ziel

Das übergeordnete Ziel der Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle ist der Schutz von Mensch und Umwelt, jetzt und in Zukunft. Der beste Weg, dies zu tun, ist, den Abfall zu konzentrieren, einzuschließen und von der Umwelt zu isolieren. Dies ermöglicht es, eine eventuelle Freisetzung in die Umwelt zu begrenzen und den Vorschriften zu unterwerfen. Die Erzeugung von radioaktivem Abfall muss vermieden oder, wenn dies nicht vernünftigerweise durchführbar ist, in Bezug auf Menge und Aktivität begrenzt werden.

Akteure

Synatom

Synatom AG belgischen Rechts ist ein privates Unternehmen, dessen Kapital zu 100 % von Electrabel AG gehalten wird, an dem aber der belgische Staat eine *Goldene Aktie* besitzt, die dem Föderalminister der Energie ein Vetorecht bei Vorstandsentscheidungen gibt, die der Energiepolitik unseres Landes zuwiderlaufen könnten. Synatom ist, nach einer Ausbreitung in 2003, für die Bewirtschaftung des gesamten Brennstoffkreislaufs in Belgien zuständig und damit auch für die Provisionen angelegt für die Abbau von Kernkraftwerken und für bestrahlte oder abgebrannte Brennelemente von dieser Kernkraftwerken.

Betreiber

Die Betreiber (Electrabel AG, EDF Luminus, Belgoprocess, IRE, Krankenhäuser, Isotopenproduzenten, Forschungszentren wie SCK CEN usw.) sind die Parteien, die zuerst für die in ihren Anlagen anfallenden radioaktiven Abfälle verantwortlich sind. Sie sind verantwortlich für die Erstellung und Umsetzung der Gesamtbewirtschaftungsstrategie für ihre Einrichtung und für die Finanzierung der Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle nach dem Verursacherprinzip. Die Electrabel AG betreibt die Kernkraftwerke Doel und Tihange.

Organisation für die Abfallentsorgung: NIRAS

Die NIRAS, die Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien, wurde durch Artikel 179 § 2 Nummer 1 des Gesetzes vom 8. August 1980 gegründet^{xxi}. Als nationale Abfallentsorgungsorganisation ist sie für die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle (unabhängig von Ursprung und Herkunft) kurz- und langfristig verantwortlich^{xxii}. Belgoprocess AG belgischen Rechts ist eine Tochtergesellschaft der NIRAS, die eine Reihe von Lagergebäuden für radioaktive Abfälle betreibt und die auch die Verarbeitung und Lagerung von radioaktiven Abfällen für Erzeuger, die dies wünschen, anbietet.

Sicherheits- und Regulierungsbehörde: FANK

Die FANK, die Föderalagentur für Nuklearkontrolle, ist die zuständige Behörde auf dem Gebiet der Sicherheit und Sicherung nuklearer Anwendungen und wurde durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. April 1994 eingerichtet^{xxiii}. Die 2007 gegründete Tochtergesellschaft Bel V der FANK sorgt für die notwendige technische Unterstützung. Die Aufsichtsaufgaben, die die FANK an Bel V delegieren kann, und deren praktische Modalitäten wurden in die Änderung der AOSIS vom 6. Dezember 2018 aufgenommen. Im Jahr 2019 wurde ein Entsorgungsvertrag zur Konkretisierung dieses K. E. unterzeichnet.^{xxiv}

Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie

Der Dienst Nukleare Anwendungen der Generaldirektion Energie des FÖD Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie

beaufsichtigt die nuklearen Forschungsaktivitäten und überwacht zudem die Aktivitäten von Synatom und der NIRAS, unter anderem unter der Aufsicht der Minister der Energie und der Wirtschaft.

Abfallbegrenzung, -behandlung und -konditionierung

Die Verringerung der Produktion von radioaktivem Abfall ist ein wichtiger erster Schritt in der Abfallbewirtschaftung. Daher müssen die Betreiber versuchen, eine Anlage so zu entwerfen, zu bauen, zu betreiben und stillzulegen, dass sowohl das Abfallvolumen als auch die Radioaktivität auf ein absolutes Minimum reduziert werden. Zu den wichtigsten Elementen der Abfallbegrenzung gehören

- die Reduzierung an der Quelle, sowohl die Volumenreduzierung als auch die Vermeidung von Verschmutzung/Aktivierung;
- die Wiederverwendung und das Recycling von Wertstoffen aus dem Abfallkreislauf; und
- die Optimierung der Abfallbehandlung.

Das Ziel der Abfallbehandlung und -konditionierung ist es, radioaktive Abfälle in ein festes und stabiles Endprodukt umzuwandeln, das den Spezifikationen für die Lagerung und endgültige Beseitigung entspricht.

Die Prozesse zur Aufbereitung und Konditionierung der radioaktiven Abfälle werden entweder in den Kernkraftwerken selbst angewendet (für einen Teil der eigenen Abfälle) oder sind am Standort von Belgoprocess in Dessel zentralisiert.

Abhängig von der Art des Abfallstroms wird die Abfallverarbeitung bei Belgoprocess wie folgt durchgeführt^{xv}:

- Flüssige radioaktive Abfälle werden in Behältern gesammelt und durch chemische oder thermische Behandlung auf ein geringes Volumen an Schlamm reduziert;
- feste, brennbare radioaktive Abfälle werden bei einer Temperatur von 900 °C verbrannt;
- feste, nicht brennbare radioaktive Abfälle werden in Stahlfässern gesammelt, die möglichst unter sehr hohem Druck (2.000 Tonnen) zu einer Scheibe mit einer Höhe von etwa 25 Zentimetern gepresst werden;
- nicht brennbare und nicht pressbare Abfälle werden zerkleinert und in Standardfässern gesammelt.

Der nach der Bearbeitung verbleibende Rückstand wird in Zement eingekapselt, um die radioaktiven Partikel einzuschließen. Danach wird alles in Stahlfässer verpackt. Sobald der radioaktive Abfall bearbeitet und in einem Fass eingeschlossen ist, wird er als „konditioniert“ bezeichnet.

Lagerung

Die Lager sind für die Aufnahme von Abfallkollidat in einer geeigneten kerntechnischen Anlage ausgelegt, wobei die Möglichkeit der Rückholung aus dieser Anlage besteht. Da die Lagerung auf aktive Elemente der Wartung, Steuerung und Überwachung angewiesen ist, stellt sie keine langfristige Entsorgungslösung dar. Es gibt jedoch mehrere Gründe für die *Zwischenlagerung* radioaktiver Abfälle, wie etwa:

- für den Zerfall von kurzlebigen Radionukliden bis zu einem Niveau, bei dem der radioaktive Abfall von der regulierenden Kontrolle ausgenommen ist;
- zum Sammeln und Zurückholen einer ausreichenden Menge radioaktiver Abfälle vor dem Transfer zu einer anderen Einrichtung zur Bearbeitung/Konditionierung oder Entsorgung;
- zur Reduzierung der Wärmeentwicklung von hochradioaktivem Abfall.

In Belgien werden die konditionierten radioaktiven Abfälle in entsprechenden abgeschirmten Lagergebäuden auf dem Gelände von Belgoprocess zwischengelagert. Belgoprocess verfügt über acht geeignete Bunkergebäude für schwachaktive konditionierte Abfälle, mittelaktive konditionierte Abfälle, hochaktive verglaste Abfälle und Abfälle, die Alphateilchen abgeben. Momentan werden bei Belgoprocess die folgenden Mengen radioaktiver Abfälle zwischengelagert^{xvi}:

- 440 m³ hochaktiver konditionierter Abfall;

- 3.895 m³ mittelaktiver konditionierter Abfall;
- 19.460 m³ schwachaktiver konditionierter Abfall.

Hochradioaktive Abfälle haben das geringste Volumen (1,4 % aller Abfälle), stellen aber 98 % der Radioaktivität aller gelagerten Abfälle dar. Hochradioaktiver Abfall besteht hauptsächlich aus verglasten Abfällen, die nach der Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente aus belgischen Kernkraftwerken in Frankreich nach Belgien transportiert wurden.

Der größte Teil der abgebrannten Brennelemente wird an den Standorten der Kernkraftwerke Doel und Tihange zwischengelagert. In Doel befindet sich die Lagerung des trockenen Typs. Die abgebrannten Brennelemente befinden sich in Fässern mit doppeltem Verwendungszweck („dual purpose“, d. h. Transport und Lagerung), die in einem speziellen Gebäude auf dem Gelände von Doel gelagert werden (siehe Abschnitt 3.4.4.3). In Tihange werden Abfälle des nassen Typs gelagert. Die Brennelemente werden in speziell dafür vorgesehenen Tanks am Standort Tihange gelagert.

Endlagerung

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle, wie sie in der belgischen Gesetzgebung^{xix} definiert ist, bezieht sich auf ihre Unterbringung in einer Anlage ohne die Absicht der Rückholung, jedoch unbeschadet der Möglichkeit einer eventuellen Rückgewinnung.

Der Begriff „Oberflächenlagerung“ bezieht sich auf die Entsorgung von kurzlebigen schwach- und mittelradioaktiven Abfällen (Kategorie A) in einer geeigneten Anlage an der Erdoberfläche.

Der Begriff „geologische Endlagerung“ bezieht sich auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle in einem unterirdischen Endlager innerhalb einer stabilen geologischen Formation, um die Abfälle langfristig einzuschließen und von der zugänglichen Biosphäre zu isolieren. Die geologische Endlagerung wird international als geeignete Entsorgungslösung angesehen, um Mensch und Umwelt nachhaltig vor den Risiken zu schützen, die mit hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen (Kategorie B und C) verbunden sind.

Der Genehmigungsantrag für die **Oberflächenlagerung für Abfälle der Kategorie A** in Dessel ist in Bearbeitung. Mit Beschluss der Föderalregierung vom 16. Januar 1998^{xxvii} und 23. Juni 2006^{xxviii} wurden Abfälle der Kategorie A zur Entsorgung in einem Oberflächenlager auf dem Gebiet der Gemeinde Dessel bestimmt. Das Ziel der Oberflächenlagerung in Dessel ist die sichere Lagerung aller gegenwärtigen und geplanten Abfälle der Kategorie A in Belgien in einem Oberflächenlager, das aus 34 Entsorgungseinheiten (Betonmodulen) besteht. Das Gesamtvolumen des Endlagers beträgt 163.200 m³ (4.800 m³ pro Modul) an Abfällen. Dieses Lagervolumen, das den Außenmaßen der Monolithen entspricht, ermöglicht ein Lagervolumen von 70.500 m³ Abfall der Kategorie A. Die genaue Menge der zu entsorgenden Abfälle hängt u. a. von der zukünftigen Produktion von Betriebs- und Stilllegungsabfällen ab und wird auch durch die radiologische Kapazität des Endlagers begrenzt.

Bei der Beschreibung des **belgischen politischen Programms für Abfälle der Kategorien B und C** unterscheiden wir einerseits die politische Entscheidung für die langfristige Entsorgung der endgültigen konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle und andererseits die im Rahmen des belgischen Brennstoffkreislaufs noch zu treffenden Entscheidungen, die sich also auf die Art und die Mengen der endgültig zu entsorgenden B&C-Abfälle beziehen.

Im September 2020 hat die NIRAS einen vorläufigen Entwurf eines königlichen Erlasses vorgelegt an seine Minister, das ist der erste Teil der nationalen politischen Maßnahmen im Zusammenhang mit der langfristigen Entsorgung von konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen und um den schrittweisen Prozess zu klären von der anderen Teile der nationalen politischen Maßnahmen^{xxix}. Zusammengefasst lautet dieser Vorschlag wie folgt:

1. Die geologische Entsorgung auf belgischem Boden ist konzeptionell die richtige technologische Wahl als Endlager für diese Abfallkategorien. Unter geologischer Endlagerung ist in diesem Zusammenhang die Einlagerung radioaktiver Abfälle in ein Endlager in einer angemessenen Tiefe in einer geologischen Formation zu verstehen, um die Bevölkerung und die Umwelt vor den radiologischen und

physiochemischen Gefahren zu schützen, die von diesen Abfällen ausgehen. Die Wahl für geologische Entsorgung steht im Einklang mit internationalen Standards und Empfehlungen, mit der Richtlinie 2011/70/Euratom, mit dem weltweiten wissenschaftlichen Konsens und mit den Empfehlungen von FANK.

2. Die folgenden Teile der nationalen politischen Maßnahmen werden vorbereitet, entwickelt und, wenn erforderlich, angepasst an den Kontext einem schrittweises, partizipatives, allmähliches und reversibles Entscheidungsprozess zur Vorbereitung künftiger Entscheidungen, diese Teile umfassen mindestens den Entscheidungsprozess, die Modalitäten bezüglich der Reversibilität, Zurücknehmbarkeit und Überwachung für einen bestimmten Zeitraum und Standorte für die geologische Entsorgung.
3. Um die Varianten, die Alternativen, und die Optimierung zu bewerten für die geeignete Wirtschaftsgeologie wird einerseits eine kontinuierliche Nachverfolgung hingrichtet der wissenschaftliche, technische, finanzielle und gesellschaftliche nationaler und internationaler Entwicklungen, und andererseits eine Bewertung einer Gelegenheit eines gemeinsamen Repository in Belgien oder in einem anderen Land.

Die Bestimmungen dieses Erlasses gelten für feste konditionierte hochradioaktive Abfälle und für feste konditionierte langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle, einschließlich abgebrannter Brennelemente, die als Abfall eingestuft sind, Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, überschüssige Brennelemente, die als Abfall eingestuft sind, und alle anderen radioaktiven Abfälle, die nicht entsorgt werden können in einer oberirdischen Installation und, wenn keine spezifischen politischen Maßnahme gelten, die radioaktivste Fraction von radiumhaltigen Abfällen das noch nicht akzeptiert wurde von NIRAS und das kommt von historische Radioproduktionsaktivitäten.

Dieser Vorschlag der nationalen politischen Maßnahmen waren UVP- unterworfen und unterliegen institutionelle und öffentliche Konsultation, in Übereinstimmung mit dem Gesetz vom 13. Februar 2006 über die Bewertung der Auswirkungen bestimmter Pläne auf die Umwelt und die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entwicklung von Plänen und Programme im Zusammenhang mit der Umwelt.

Dieser Vorschlag wird derzeit untersucht, indem Vormundschaftsbehörden.

Weltweit werden geologische Endlager in stabilen geologischen Formationen als der am besten geeignete Entsorgungsort für diese Art von Abfällen herausgearbeitet. Die meist untersuchten Formationen in diesem Zusammenhang sind Granitformationen (u. a. skandinavische Länder), Salz (USA, Deutschland, Niederlande) und Ton (Frankreich, Schweiz, Canada, Niederlande).

Heute werden die abgebrannten Brennelementbündel an den Standorten der Kernkraftwerke (Tihange und Doel) gelagert. In Doel geschieht dies mithilfe von trockenen TN24-Containern (Transnucléaire-Container für die Zwischenlagerung und den Transport). Zu diesem Zeitpunkt hat Synatom, der derzeitige Eigentümer des Kernbrennstoffs, noch keine Entscheidung über die mögliche Wiederverwertung von möglichen Rohstoffen aus den abgebrannten Brennelementen getroffen.

Zusammenfassend lässt sich für das langfristige Entsorgung von Abfällen der Kategorien B und C Folgendes feststellen:

- Die langfristige Entsorgung dieser Abfälle liegt in der ausschließlichen Zuständigkeit der NIRAS;
- Die NIRAS (Abfallplan von 2011; Entwurf eines königlichen Erlasses von 2020) hat die geologische Endlagerung als empfohlene Lösung für den endgültigen Verbleib von B&C-Abfällen vorgeschlagen.
- Die NIRAS schlägt außerdem vor, dass der Entscheidungsprozess, der die Entwicklung dieser Lösung leiten wird, die Umkehrbarkeit der getroffenen Entscheidungen ermöglicht
- Der Status der abgebrannten Brennelemente (Material oder Abfall) ist derzeit nicht festgelegt

Im Gegensatz zur Situation bei den Abfällen der Kategorie A wurde jedoch noch keine endgültige politische Entscheidung über deren langfristige Entsorgung getroffen.

3.3 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik besprochen, die zur Bestimmung der Auswirkungen möglicher radiologischer Auswirkungen während des Normalbetriebs, einschließlich der Produktion von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen, und in Störfallsituationen, in der aktuellen Situation, während der Durchführung des Projekts (Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2) und für den Fall, dass das Projekt nicht durchgeführt wird (Abschaltung von Doel 1 und 2), verwendet wurde.

Der rechtliche Referenzrahmen für kerntechnische Anlagen in Belgien ist auf der Grundlage verschiedener Schichten aufgebaut:

- Gesetz vom 15. April 1994 Gesetz über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde, B. S. 21. Dezember 2011;
- Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und dessen Abänderung durch K. E. vom 19. August 2020;
- Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen.

Um die Auswirkungen des Projekts beurteilen zu können, wird dieser Rahmen durch die folgenden Richtlinien der Aufsichtsbehörde weiter ergänzt:

- FANK-Richtlinie 2012-11-19-KO-5-4-1-FR vom 29. März 2013 für Ableitungen mit radiologischen Auswirkungen während des Normalbetriebs;
- Bel-V-Richtlinie R-SG-17-001-0-e-0 vom Juni 2017 zur Anwendung von konservativen und weniger konservativen Methoden bei der Bestimmung der radiologischen Auswirkungen nach einem Unfall;
- FANK-Richtlinie 2013-05-15-NH-5-4-3 vom April 2017 für den allgemeinen Ansatz zum Sicherheitsnachweis.

Wie in den FANK-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse I vorgesehen, werden die radiologischen Auswirkungen unter nicht normalen Betriebsbedingungen auf der Grundlage von Störfallszenarien bewertet. Dies sind hypothetische Extremereignisse, die zu einer ungeplanten Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt führen.

Außerdem werden die Bewertungen durchgeführt auf der Grundlage von

- einer Reihe nicht verbindlicher, aber maßgeblicher Dokumenten der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO);
- Empfehlungen der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA).

Die Methodik zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen für die Bevölkerung und das Lebensumfeld basiert auf konservativen Schätzungen der radioaktiven Ableitungen in die Umwelt und der Lebensgewohnheiten der Bevölkerung.

Diese Bewertung ermöglicht auch die Identifizierung möglicher Minderungsmaßnahmen.

3.3.1 Routinemäßige Ableitungen

Während des normalen Betriebs des KKW Doel werden begrenzte Mengen an Radioaktivität kontrolliert abgeleitet:

- in die Atmosphäre in Form von gasförmigen Ableitungen;
- in das Oberflächengewässer in Form von flüssigen Ableitungen.

Die Ableitungen in die Atmosphäre enthalten radioaktive Stoffe in gasförmiger Form (Gas und Dampf) oder, im Falle von festen oder flüssigen Partikeln in Suspension in der abgegebenen Luft, in Form von Aerosolen. Diese Ableitungen stammen aus Prozessen, die z. B. in den Kernkraftwerken vorgesehen sind, um die Entgasung des Primärkühlwassers zu gewährleisten. Diese können zunächst in Lagertanks gesammelt werden, wo die kurzlebigen Radionuklide zerfallen und ihre Aktivität somit stark reduziert wird, bevor sie abgeleitet werden. Die gasförmigen Abgase stammen auch aus der allgemeinen Belüftung der Nukleargebäude. In allen nuklearen Anlagen schreiben

die Sicherheitsvorschriften vor, dass die Luft im Inneren der Gebäude durch Belüftung per Saugzug ständig erneuert werden muss. Die nach außen abgegebenen Luftmengen, die vom Volumen der Gebäude und den Lüftungsvolumenströmen abhängen, sind anlagenspezifisch.

Die flüssigen Ableitungen enthalten radioaktive Stoffe, im Falle von gelösten ionischen Salzen, in Form einer Lösung, oder, im Falle von festen Partikeln, in Form einer Suspension, die mit den Ableitungen vermischt sind. Diese Ableitungen stammen hauptsächlich aus Prozesskreisläufen, zum Beispiel zur Aufbereitung von Primärkühlwasser in den Kernkraftwerken. Hinzu kommen das Sanitärabwasser (Duschen, Waschbecken usw.) und das Reinigungswasser von den Fußböden in den kerntechnischen Zonen, die als möglicherweise radioaktive Abwässer geführt werden, obwohl sie normalerweise keine Radioaktivität enthalten.

Aufgrund der radiologischen Auswirkungen dieser Ableitungen auf Mensch und Umwelt werden Ableitungsgrenzwerte festgelegt, die Bestandteil der Betriebsgenehmigung des KKW Doel sind. Die dabei festgelegten Schritte sind in Abbildung 25 dargestellt.



Abbildung 25: Schritte in der Methodik für Ableitungen mit radiologischen Auswirkungen bei Normalbetrieb.

In allen Fällen müssen die genehmigten Ableitungsgrenzwerte unter dem gesetzlichen Grenzwert für die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung gegenüber ionisierender Strahlung liegen. Der Grenzwert für die effektive Dosis ist auf 1 mSv (Millisievert) pro Jahr festgelegt (siehe Grundlegende Konzepte). Dieser Wert bezieht sich ausschließlich auf die zusätzliche Exposition durch menschliche Aktivitäten, einschließlich des Betriebs des gesamten Kernkraftwerks Doel, zu dem Doel 1 und 2 gehören, unabhängig von der natürlichen Exposition (kosmische Strahlung, Radon etc.) oder der medizinischen Exposition (Röntgenaufnahmen, Scanner etc.). Außerdem sollten angesichts des im Strahlenschutz angewandten Optimierungsprinzips die Ableitungsgrenzwerte so niedrig festgelegt werden, wie dies unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise möglich ist.

Die Exposition der Bevölkerung variiert stark in Abhängigkeit von ihren Lebensgewohnheiten, und unter dem Strich müssen die zulässigen Ableitungsgrenzwerte für die am stärksten exponierten lokalen Bevölkerungsgruppen ausreichend niedrig sein.

Die radiologischen Auswirkungen der zugelassenen Ableitungsgrenzwerte für das KKW Doel als Ganzes (4 Blöcke) für die gasförmigen und flüssigen Ableitungen sind in Tabelle 30^{xxx} unten angegeben. Es geht dabei um die effektive Dosis pro Jahr für die am stärksten exponierte Person. Da diese Berechnungen für verschiedene Altersgruppen durchgeführt werden (s. u.) und die am stärksten exponierte Person für gasförmige und flüssige Ableitungen einer

anderen Altersgruppe angehört, ist die Summe nicht die Summe, sondern der Wert für die am stärksten exponierte Person für die kombinierte Art der Ableitung.

Tabelle 30: Effektive Dosis pro Jahr für die am stärksten exponierte Person aus gasförmigen, flüssigen und totalen Ableitungen entsprechend den Ableitungsgrenzwerten für das gesamte KKW Doel.

	Gasförmige Ableitungen	Flüssige Ableitungen	Insgesamt
KKW Doel (4 Blöcke)	180 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$	230 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$	370 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$

3.3.1.1 Ableitungen in die Atmosphäre

Wie oben beschrieben, können während des Normalbetriebs eines Kernkraftwerks begrenzte Mengen flüchtiger radioaktiver Verbindungen an die Atmosphäre abgegeben werden. Im Allgemeinen, und so auch beim KKW Doel, werden diese flüchtigen radioaktiven Verbindungen nach ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften in bestimmte Gruppen eingeteilt:

- Edelgase
 - wobei die wichtigsten Xenon-133 (Xe-133), Xenon-135 (Xe-135), Krypton-85 (Kr-85), Krypton-88 (Kr-88) als Spaltprodukte und Argon-41 (Ar-41) als Aktivierungsprodukt durch Neutronenabsorption durch das stabile Argon-40 (Ar-40) sind;
- Jod
 - mit den Hauptisotopen: Jod-131 (I-131) und Jod-133 (I-133), die Spaltprodukte sind, kann Jod in verschiedenen Formen vorkommen: als I₂, als Aerosole oder in organischer Form;
- Aerosole, manchmal weiter abgebaut durch radioaktiven Zerfall
 - Beta-Gamma-Aerosole
 - mit insbesondere Strontium-90 (Sr-90), Kobalt-60 (Co-60), Cäsium-134 und -137 (Cs-134, Cs-137), die eine Kombination von Spaltprodukten als Aktivierungsprodukte sind;
 - Alpha-Aerosole
 - einschließlich Americium-241 (Am-241);
- Tritium (H-3) in Form von tritiiertem kondensiertem Wasser;
- Kohlenstoff-14 (C-14), der aus verschiedenen Kernreaktionen der beim Abrieb im Reaktorbetrieb erzeugten Neutronen mit stabilen Isotopen von Elementen wie Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff entsteht und in verschiedenen chemischen Formen freigesetzt werden kann. Bei DWR geschieht dies hauptsächlich in Form von Kohlenmonoxid, Methan und anderen Kohlenwasserstoffen.

Die Ableitungen werden kontinuierlich überwacht und es wird geprüft, ob die Ableitungsgrenzwerte nicht überschritten werden (siehe 3.4.1). Eine Ausnahme ist die Ableitung von Kohlenstoff-14 (C-14), die schwer zu messen ist und daher auf der Basis der Reaktorleistung bestimmt wird. Es wurden detaillierte internationale Studien durchgeführt, die eine Reihe von möglichen Werten für DWR in Abhängigkeit von der installierten elektrischen oder thermischen Leistung angeben^{xxxi, xxxii}. Außerdem wurden die C-14-Ableitungen beim KKW Tihange (Tihange 2 und 3) gemessen und es wird eine typische jährliche C-14-Ableitung von 5 Ci (= $1,85 \cdot 10^{11}$ Bq) pro GW (Gigawatt) installierter elektrischer Leistung angenommen. Für Doel als Ganzes mit 3 GW installierter elektrischer Leistung sind dies 15 Ci (= $5,55 \cdot 10^{11}$ Bq = 555 GBq).

Die Auswirkungen dieser radioaktiven Ableitungen auf Mensch und Umwelt können auf 2 sich ergänzende Arten bewertet werden:

- Für *potenzielle Ableitungen* durch das Projekt können diese Freisetzungen mit den Ableitungsgrenzwerten verglichen werden, die auf der Grundlage von Berechnungen der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt festgelegt wurden; die Ableitungsgrenzwerte wurden so festgelegt, dass für die Ableitungen des gesamten KKW-Geländes Doel der Wert von 1 mSv/Jahr sicher nicht überschritten und so niedrig wie

vernünftigerweise möglich gehalten wird. Die Überwachung der Ableitungen und die Einhaltung der Ableitungsgrenzwerte ist dann eine Garantie dafür, dass die Auswirkungen begrenzt bleiben;

- Für *tatsächliche Ableitungen* können anschließend spezifische radiologische Auswirkungsberechnungen durchgeführt werden, die durch Messungen im Wohnumfeld ergänzt werden können, die eventuelle Spuren dieser Ableitungen quantifizieren. Eine Auswirkung auf Grundlage der Messergebnisse ist dann möglich.

Um die Auswirkungen der Ableitungen in die Atmosphäre zu berechnen, werden atmosphärische Ausbreitungsmodelle verwendet, um die Aktivitätskonzentration der verschiedenen Radionuklide zu bestimmen, die in die Luft (in Bq/m³) und durch Ablagerung (Deposition) auf den Boden (in Bq/m²) abgeleitet werden. Diese Berechnungen erfordern meteorologische Daten, die für den Standort über einen längeren Zeitraum (typischerweise ein Jahr) repräsentativ sind. Die Radioaktivität wird mit dem Wind weggetragen und die Konzentration verdünnt sich stark mit der Entfernung. Abbildung 26 zeigt die relative Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Windrichtung für das KKW Doel basierend auf stündlichen Daten über einen Zeitraum von 3 Jahren (1. Juni 2017 bis 1. Juni 2020, Quelle KMI – ECMWF). Die Windrichtung ist definiert als die Richtung, aus der der Wind weht (in Grad im Uhrzeigersinn von Norden). Betrachtet man die Ableitungen über einen längeren Zeitraum, so ist die Auswirkung in der Richtung, in die der Wind am häufigsten weht, am größten. Für das KKW Doel ist die vorherrschende Windrichtung Südwest, sodass die erwarteten Auswirkungen in nordöstlicher Richtung vom KKW Doel aus am größten sind. Diese Informationen werden beispielsweise auch genutzt, um ein Überwachungsprogramm rund um das KKW Doel einzurichten, bei dem Proben gezielt an der Stelle mit der höchsten potenziellen Belastung und Referenzproben in größerer Entfernung in der am wenigsten vorherrschenden Windrichtung genommen werden (siehe 3.4.2).

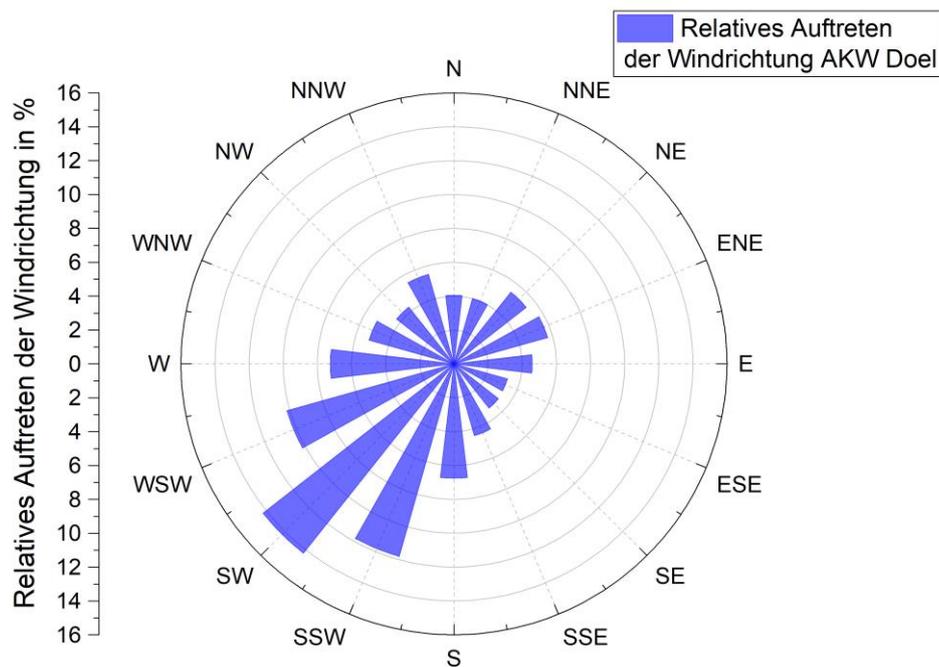


Abbildung 26: Relatives Auftreten der Windrichtung beim KKW Doel basierend auf stündlichen Daten für einen 3-Jahreszeitraum vom 1. Juni 2017 bis 1. Juni 2020 (Quelle: KMI – ECMWF³³).

³³ Daten zur Verfügung gestellt vom Königlichen Meteorologischen Institut (KMI), Daten auf der Grundlage numerischer Wetterdaten basierend auf dem „European Centre for Medium-Range Weather Forecasts“ (ECMWF).

Neben der Windrichtung sind auch die Windgeschwindigkeit, die Niederschlagsmenge und die atmosphärische Stabilität notwendige Parameter. Bei der Berechnung der atmosphärischen Dispersion wird auch die Höhe der Ableitung berücksichtigt (Kaminhöhe mit einer eventuellen Korrektur für Niederschlagseffekte der Fahne und einem eventuellen Anstieg der Ableitungsfahne aufgrund der Bewegungsmenge und des Wärmeinhalts der Ableitungsfahne). Es werden bi-gaußsche Modelle verwendet, bei denen die Konzentrationsverteilung in der Ableitungsfahne als gaußverteilt in beiden Richtungen senkrecht zur Windrichtung angenommen wird. Die Breite der Gaußverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung, die in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ableitungspunkt zunimmt, wird durch spezifische, dem Gelände angepasste Parameter beschrieben, die für die atmosphärische Stabilität zum Zeitpunkt der Ableitung spezifisch sind. Die Ablagerung auf dem Boden wird mit Depositionsparametern beschrieben. Für die trockene Deposition ist dies die trockene Depositionsrate, für den Niederschlag ein Auswaschkoeffizient. Diese Parameter hängen von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der abgeleiteten radioaktiven Stoffe ab; z. B. werden sich Edelgase nicht ablagern und elementares Jod kann sich anders ablagern als Aerosole. Die Berechnungen werden daher spezifisch für die verschiedenen Gruppen von Radionukliden durchgeführt.

Das Ergebnis dieser atmosphärischen Dispersionsrechnungen sind mittlere Konzentrationen und Depositionsraten, die als Ausgangspunkt für die Berechnung der radiologischen Auswirkung auf Mensch (effektive Dosis) und Umwelt verwendet werden. Ein Beispiel für das Ergebnis solcher Berechnungen finden Sie in Abbildung 27 und Abbildung 28 unten, insbesondere für kontinuierliche Ableitungen für die durchschnittliche Konzentration von Aerosolen, Tritium und Jod in Bq/m^3 in der Luft während des Jahres und die Deposition pro Jahr (Bq/m^2), und dies für einen einheitlichen Quellterm von 1 TBq/Jahr. Dies ist ein hypothetischer Quellterm, die Ergebnisse können dann mit dem real abgeleiteten Quellterm skaliert werden. Berechnungen können auch für kurze Ableitungen durchgeführt werden, z. B. 1 Stunde, 1 Tag etc.

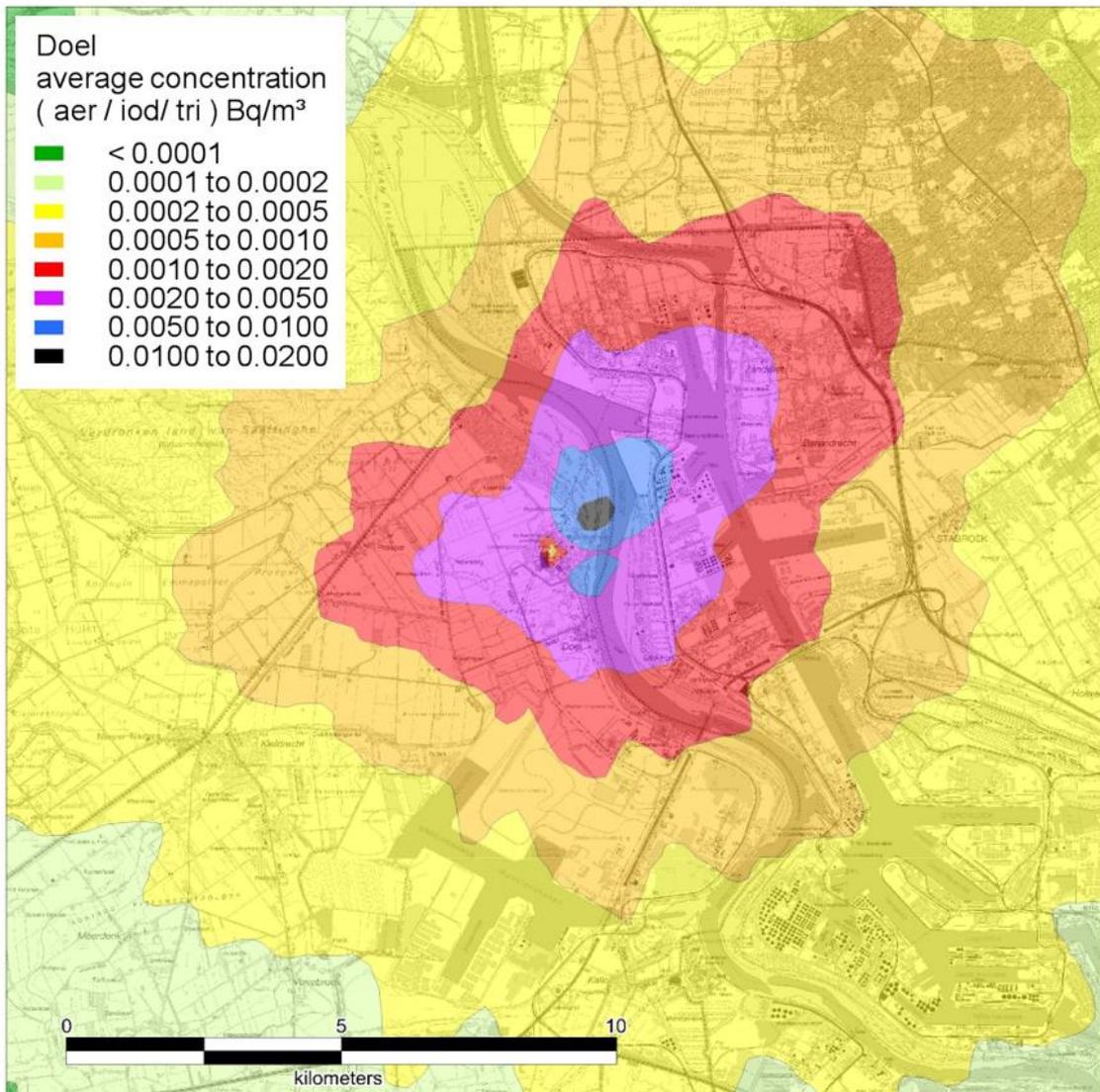


Abbildung 27: Durchschnittliche Konzentration in Bq/m³ in Bodennähe bei konstanter Ableitung (KKW Doel) von a 1 TBq/Jahr.

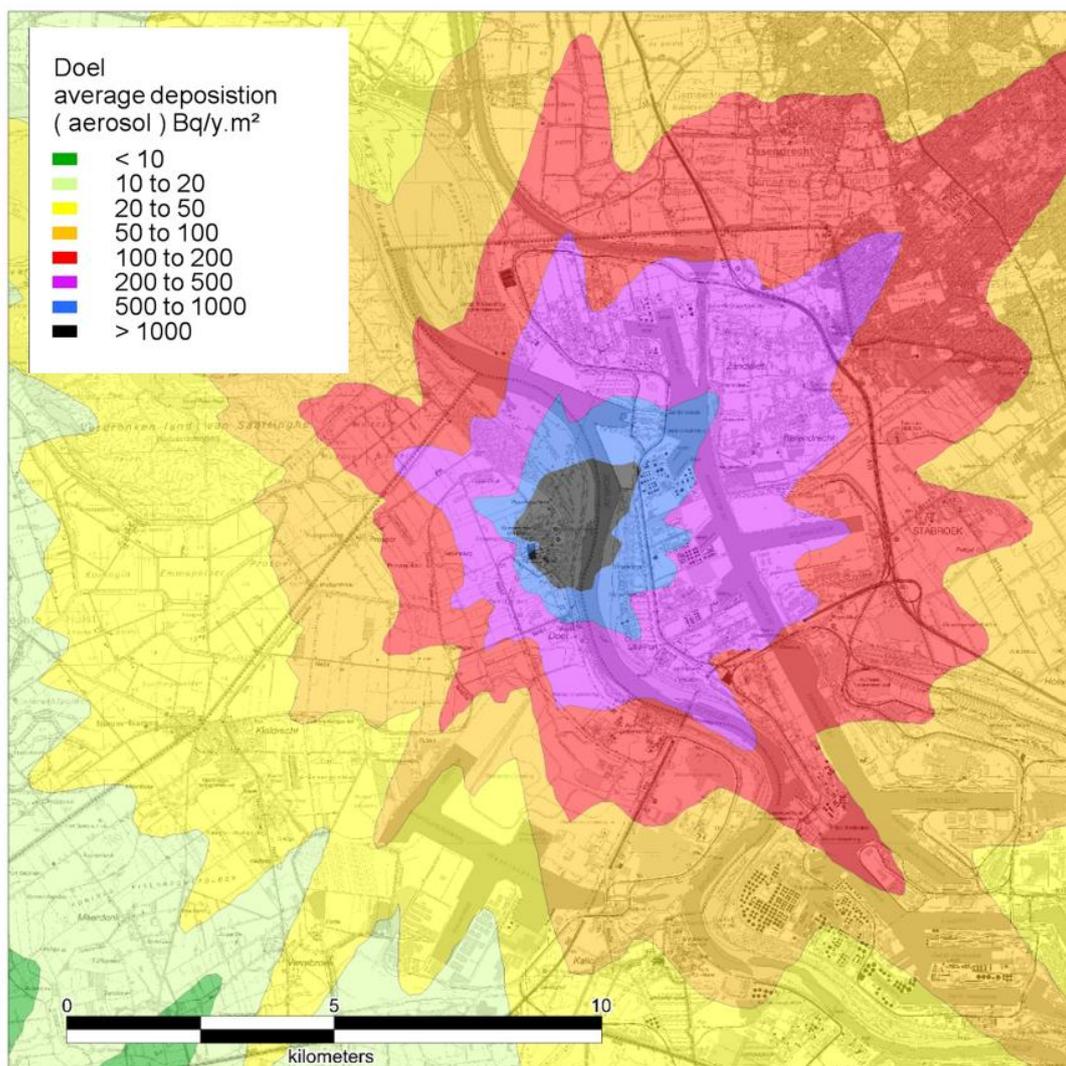


Abbildung 28: Gesamte Aerosoldeposition in Bq/m² (ohne Berücksichtigung des Zerfalls) bei konstanter Ableitung (KKW Doel) von 1 TBq/Jahr.

3.3.1.2 Flüssige Ableitungen

Ein einfaches Flussmodell, das die Verdünnung der abgeleiteten Mengen berücksichtigt, wird verwendet, um die Konzentrationen der abgeleiteten Radionuklide im Scheldewasser zu berechnen. Die Schelde ist ein Tidefluss. In Doel sind die Tidedurchflussmengen sehr hoch, im Durchschnitt 5.000 m³/s mit einer daraus resultierenden Abflussmenge zum Meer von 70 m³/s. Diese Abflussmenge sorgt dafür, dass die im Scheldewasser eingeleiteten Stoffe stark verdünnt werden. Das Flussmodell berücksichtigt weder die Adsorption von Radionukliden auf dem Sediment, die die Konzentrationen von Radionukliden im Wasser (und damit auch die Dosiswirkung) weiter senken würde, noch die Tatsache, dass die Gezeiten des Flusses die Verweilzeit von Radionukliden in der Schelde (und damit möglicherweise auch die Dosiswirkung) erhöhen würden.

3.3.1.3 Auswirkungen auf den Menschen

Einzelpersonen der Bevölkerung, die in der Nähe von Kernkraftanlagen leben oder sich dort regelmäßig aufhalten, können den radioaktiven Stoffen, die von den atmosphärischen Ableitungen der Anlagen ausgehen, im bestimmten Maße ausgesetzt sein. Die Expositionsarten sind allgemein bekannt und werden in zwei verschiedene Kategorien eingeteilt:

- externe Bestrahlung durch ionisierende Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall von Radionukliden entsteht, die:
 - in der Luft vorhanden (und daher proportional zur Konzentration in der Luft) sind;
 - durch Ablagerung auf dem Boden und anderen Oberflächen abgelagert werden (und daher proportional zur Deposition sind);
- innere Exposition durch Aufnahme von Radioaktivität in den Körper:
 - durch Einatmen von radioaktiven Stoffen in der Luft;
 - durch den Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln (Obst, Gemüse, Getreide usw.), die durch Ablagerung auf den Boden Radioaktivität aufgenommen haben, und/oder durch den Verzehr von Fleisch und tierischen Produkten (Milch, Käse usw.), die von Tieren aus der heimischen Zucht stammen, die selbst solche Pflanzen gefressen haben.

Bei den Berechnungen der radiologischen Auswirkungen für die gegenwärtige Situation und die geplante Aktivität handelt es sich um die für die am meisten exponierte Person. Die Berechnungen werden für 6 Alterskategorien durchgeführt: Säuglinge, Kinder von 1 bis 2 Jahren, von 2 bis 7 Jahren, von 7 bis 12 Jahren, Jugendliche von 12 bis 17 Jahren und Erwachsene. Für sie werden in den Berechnungen bestimmte Parameter angenommen, wie z. B. das eingeatmete Volumen pro Zeiteinheit, die Ernährung, und es werden spezifische Dosiskoeffizienten verwendet, um die effektive Dosis zu bestimmen. Außerdem werden die Ergebnisse auf der Grundlage konservativer Lebensgewohnheiten berechnet, um Hüllwerte für die Dosisbelastung zu erhalten. Die am stärksten exponierten Personen befinden sich ständig an dem Ort mit der maximalen Dosisbelastung. Die landwirtschaftlichen Produkte (Getreide, Milch und Fleisch) werden an dem Standort mit der maximalen Deposition angebaut, wobei 10 % der Ernährung der exponierten Personen aus diesen Produkten besteht. Dies steht im Einklang mit der Richtlinie zur Berechnung der radiologischen Auswirkungen für kerntechnische Anlagen der Klasse I.

Tabelle 31 zeigt die Ableitungsgrenzwerte für die Blöcke Doel 1 und 2 und das KKW Doel insgesamt und wurden vom Betreiber des KKW Doel festgelegt und von der Aufsichtsbehörde genehmigt.

Tabelle 31: Genehmigte Aktivitäten für gasförmige Ableitungen für das KKW Doel.

Nuklid**	Ableitungsgrenze KKW Doel 1 und 2 pro 12 Monate	Ableitungsgenehmigung KKW Doel pro 12 Monate
Edelgase	1.480 TBq ¹³³ Xe _{eq}	2.960 TBq ¹³³ Xe _{eq}
Jod-131(¹³¹ I)	7,4 GBq	14,8 GBq
Aerosole	74 GBq	148 GBq
Tritium (³ H)*	-	88,8 TBq

* Es gibt keinen spezifischen Ableitungsgrenzwert für Tritium für Doel 1 und 2, da diese Ableitungen hauptsächlich aus dem WAB-Gebäude erfolgen.

** Es gibt keinen Ableitungsgrenzwert für C-14, da dieses Radionuklid nicht gemessen wird. Dazu wird bei den Berechnungen der radiologischen Auswirkungen eine Ableitung pro Jahr in Abhängigkeit von der installierten Leistung verwendet.

Der Betreiber des Kernkraftwerks ist verpflichtet, die Auswirkungen der routinemäßigen Ableitungen auf den Menschen zu berechnen und nachzuweisen, dass die Dosis unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt. Bei der Berechnung der Dosis werden alle möglichen Expositionspfade berücksichtigt. Die Bevölkerung kann der Radioaktivität durch die Nutzung von Flusswasser, den Aufenthalt am Wasser oder am Flussufer oder durch den Verzehr von Fischen aus der Schelde ausgesetzt sein. Die anfallende Dosis kann je nach Lebensstil der Bevölkerung stark variieren. Die Dosis aus flüssigen Ableitungen in der Schelde wird nach der FANK-Richtlinie zur Berechnung der radiologischen Auswirkungen von kerntechnischen Anlagen der Klasse I berechnet, wobei analog zu den atmosphärischen Ableitungen bei der Dosismittlung ein „Worst-Case“-Szenario angewandt wird, wobei insbesondere konservative Eingabewerte für Verbrauch, Verweilzeiten etc. verwendet werden, damit die Exposition der Bevölkerung nicht unterschätzt wird.

Für die Berechnung der Dosis für die repräsentative Person aufgrund von Ableitungen in der Schelde werden die folgenden Expositionspfade berücksichtigt;

- Interne Exposition durch:

- Konsum von Flusswasser als Trinkwasser;
- Verzehr von Fisch.
- Externe Exposition durch Aufenthalt am Ufer, Schifffahrt, Aufenthalt auf dem durch Baggersediment verunreinigten Boden.

Die Nutzung des Flusswassers zur Bewässerung von Nahrungspflanzen, Gras und zum Tränken von Vieh wird aufgrund des zu hohen Salzgehalts des Wassers nicht betrachtet.

Die Dosis für die repräsentative Person wurde ebenfalls für die 6 Alterskategorien berechnet, wobei die in der FANKⁱⁱⁱ-Richtlinie genannten Verbrauchswerte berücksichtigt wurden. Wie bei der Dosisberechnung infolge der atmosphärischen Ableitungen wird von einer kritischen Person ausgegangen, die sich ständig am Ort der maximalen Dosisbelastung aufhält und 10 % ihrer Nahrung aus einem Gebiet bezieht, in dem der Eintrag der abgeleiteten Radionuklide maximal ist.

Jedes Jahr berechnet Tractebel die Dosis für die Bevölkerung aus atmosphärischen und routinemäßigen flüssigen Ableitungen des KKW Doel gemäß der Richtlinie 96/29/Euratom zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Die Berechnung berücksichtigt die tatsächlichen Ableitungen der 4 Reaktoreinheiten des KKW Doel. Die Entwicklung der Dosis über die letzten 10 Jahre wird ebenfalls berechnet. Die Gesamtdosis für den gesamten KKW-Standort Doel ist mit 0,02 mSv/Jahr am höchsten für 1- bis 2-jährige Kinder und liegt deutlich unter dem gesetzlichen Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr. Die Wahrscheinlichkeit von gesundheitlichen Auswirkungen durch radioaktive Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen ist daher sehr gering. Da die routinemäßigen Ableitungen der Reaktorblöcke Doel 1 und 2 50 bis 60 % der Ableitungen des gesamten Standorts ausmachen, wird die Dosis für die Bevölkerung durch atmosphärische und flüssige, routinemäßige Ableitungen noch geringer sein. Der größte Teil der Jahresdosis ist zudem auf atmosphärische Ableitungen zurückzuführen. Weniger als 10 % der berechneten Dosis, oder 0,002 mSv/Jahr, sind auf die Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde zurückzuführen. Selbst wenn die atmosphärischen und flüssigen Ableitungen den Dosisgrenzwerten entsprächen, würde die maximale Gesamtdosis 0,4 mSv/Jahr für die kritische Person betragen und wäre damit niedriger als der Dosisgrenzwert 1 mSv/Jahr für die Bevölkerung. Außerdem werden, wie in 3.3.1 erläutert, Dosisberechnungen für die Ableitungsgrenzwerte durchgeführt. Die Dosis auf Basis der Flüssigkeitsdosisgrenzwerte ist höher als die auf Basis der atmosphärischen Ableitungsgrenzwerte (Tabelle 30).

3.3.1.4 Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)

Bis in die 1990er Jahre ging man davon aus, dass, wenn der Mensch geschützt ist, auch die Umwelt vor ionisierender Strahlung geschützt ist. Diese Ansicht hat sich in den letzten Jahrzehnten geändert, zum einen aufgrund des wachsenden globalen Interesses an ökologischer Nachhaltigkeit und zum anderen aufgrund der Tatsache, dass es Situationen geben kann, in denen die Umwelt der Strahlung stärker ausgesetzt ist als der Mensch. Mehrere internationale Organisationen, wie die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO), die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen atomarer Strahlung (UNSCEAR) sowie verschiedene nationale Organisationen (z. B. US DOE, UK Environment Agency) haben seitdem Ratschläge und Richtlinien zum Schutz der Umwelt vor ionisierender Strahlung herausgegeben.

In Belgien gibt es noch keine Richtlinien mit einer Beschreibung der zu befolgenden Methodik. Es wurden jedoch Daten über die Auswirkungen von Strahlung oder der Exposition gegenüber Radionukliden auf die Fauna und Flora von verschiedenen (inter-)nationalen Organisationen und Expertengruppen gesammelt und ausgewertet, um daraus Schwellenwerte abzuleiten. Die Art und Weise, wie Schwellenwerte abgeleitet werden, ihre Interpretation und das Schutzniveau (Individuen, Populationen, Ökosysteme) können daher unterschiedlich sein. In einem regulatorischen Kontext zielt der Umweltschutz auf den Schutz von Artenpopulationen ab. Die meisten numerischen Schwellenwerte sind daher auch zum Schutz von Populationen gedacht. Um Schwellenwerte abzuleiten, die auf Populationsebene relevant sind, sollten nur Effekte in die Analyse einbezogen werden, die einen direkten Bezug zur Populationsdynamik haben. Von der IAEO^{xxxiii} und dem UNSCEAR^{xxxiv} werden Schwellenwerte von 40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Landtiere und 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Landpflanzen und aquatische Organismen vorgeschlagen, abgeleitet aus verfügbaren

Studien über Wirkungsdaten. Der UNSCEAR^{xxxv} überprüfte die seit 1996 gewonnenen Daten zu den Auswirkungen und kam zu dem Schluss: „Insgesamt kam der Ausschuss zu dem Schluss, dass chronische Dosisleistungen von weniger als 100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für die am stärksten exponierten Individuen wahrscheinlich keine signifikanten Auswirkungen auf die meisten terrestrischen Tiergemeinschaften haben und dass maximale Dosisleistungen von 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für einen kleinen Teil der Individuen in Populationen aquatischer Organismen keine schädlichen Auswirkungen auf Populationsebene haben würden.“ [freie Übersetzung aus dem Englischen]

Die ICRP [4] empfiehlt die Verwendung von „Derived Consideration Reference Levels“ (DCRL) für eine Reihe von Referenztieren und -pflanzen (Reference animals and plants, kurz: RAP). Diese Referenzwerte sind als Anhaltspunkte für die Bewertung der möglichen Auswirkungen ionisierender Strahlung auf Fauna und Flora gedacht. Die DCRL definieren Dosisleistungsintervalle, innerhalb derer für die jeweiligen Referenzbiota-Kategorien (RAP) eine gewisse Wahrscheinlichkeit für eine mögliche schädliche Wirkung ionisierender Strahlung besteht. Diese Referenzwerte wurden aus den verfügbaren Studien über Wirkungsdaten für die verschiedenen RAP abgeleitet. DCRLs können je nach betrachteter RAP stark variieren und reichen von 4-40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für beispielsweise Säugetiere bis 400-4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für beispielsweise Wirbellose. Die ICRP [4] gibt keine Interpretation darüber, wie sich die auf individueller Ebene beobachteten Effekte auf der Populationsebene manifestieren können. Die Schwellenwerte der ICRP^{xxxvi} beziehen sich also ebenfalls auf das Individuum und nicht auf die Bevölkerung.

Die im EC-ERICA-Projekt^{xxxvii,xxxviii} und im EU-Projekt PROTECT^{xxxix} vorgeschlagenen Schwellenwerte wurden anhand von Methoden abgeleitet, die für chemische Kontaminanten verwendet werden^{xl}. Auf der Grundlage von Studien zur chronischen Exposition wurde eine Dosisleistung EDR10 abgeleitet. Dieser EDR10-Wert (EDR: Effective Dose Rate) ist die effektive Dosisleistung, die zu 10 % der Wirkung für eine bestimmte Spezies führt. Über eine Analyse der Spezies-Sensitivitäts-Verteilung (Species Sensitivity Distribution, kurz: SSD) wurde dann die Dosisleistung HDR5 (Hazardous Dose Rate, kurz: HDR) ermittelt, auf die ein Sicherheitsfaktor angewendet werden kann oder nicht. Der HDR5-Wert ist definiert als die Dosisleistung, die bei 5 % aller Arten eine Wirkung von mindestens 10 % bewirkt. Im Rahmen des ERICA-Projekts wurde ein generischer Schwellenwert PNEDR (Predicted No Effect Dose Rate) von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ abgeleitet. Dieser PNEDR wird als Schwellenwert angesehen, unterhalb dessen die Struktur und die Funktionen allgemeiner Ökosysteme (einschließlich aller Populationen) geschützt sind. Situationen, für die die vorhergesagte Dosisleistung (Predicted Environmental Dose Rate, kurz: PEDR) niedriger ist als die PNEDR ($\text{PEDR/PNEDR} < 1$), können daher als nicht zu einem Effekt auf die Population oder das Ökosystem führend betrachtet werden. Die PNEDR kann als Schwellenwert für eine zusätzliche, d. h. über die Hintergrundstrahlung hinausgehende Exposition verwendet werden. Der ERICA-Referenzwert ist sicherlich nicht als Grenzwert oder Auslösewert gedacht. EU-PROTECT schlägt ebenfalls einen allgemeinen Grenzwert von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ vor, gibt aber zusätzlich eine Reihe von Grenzwerten für bestimmte Organismengruppen an: 2 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbeltiere, 200 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbellose und 70 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Pflanzen.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die von den verschiedenen (inter-)nationalen Organisationen empfohlenen Grenzwerte von 4 bis 4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ stark variieren. Die natürlichen Hintergrunddosisleistungen für Fauna und Flora variieren deutlich weniger, zwischen 0,07 und 6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ ^{xli,xlii}. Die vorgeschlagenen Schwellenwerte können auch mit den ursprünglichen Effektdaten verglichen werden. Die niedrigsten in der EU-PROTECT-Datenbank erfassten EDR10 zur Ableitung von Schwellenwerten waren 710 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Pflanzen, 1.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbellose und 3,6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbeltiere.

Das Risiko der Strahlenexposition für die Fauna und Flora lässt sich am besten quantitativ bestimmen, indem die geschätzte Dosisleistung mit einem Schwellenwert, z. B. den PNEDR-Schwellenwerten, verglichen wird. Für die meisten der zu beurteilenden Szenarien liegen jedoch nicht genügend Informationen vor, um eine quantitative Einschätzung der Strahlenexposition zu ermöglichen. Außerdem wurden die meisten Effektdaten gewonnen und Wirkungsmodelle für Gleichgewichts- und nicht für Unfallsituationen entwickelt. Daher werden die verschiedenen Szenarien gegebenenfalls auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeit des Ausbleibens einer signifikanten Exposition verglichen. Basierend auf der oben zitierten Literatur haben wir einen Signifikanzrahmen entwickelt, der in Tabelle 32 dargestellt ist.

Tabelle 32: Signifikanzrahmen für die radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora.

Dosismenge	Wahrscheinlichkeit, dass keine signifikante Exposition vorliegt
< 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Sehr hoch
10-100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Hoch
100-400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Relativ hoch
400-4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Mäßig
>4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Niedrig

Da die Auswirkungen auf ein Ökosystem aufgrund seiner Komplexität schwer zu bewerten sind, werden verschiedene Kategorien von Referenzorganismen verwendet, um die radiologische Auswirkung auf die Umwelt zu bestimmen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Referenzorganismen repräsentativ für die von ihnen bewohnten Lebensräume, die Aufnahme von Radionukliden und ihre Größe sind (mit Effekt auf die Dosisberechnung) und sich die Menge der Referenzorganismen auf ein Ökosystem bezieht. Daher muss man ein konzeptionelles Modell des Untersuchungsgebiets erstellen, ein Verständnis für den Quellterm und die Expositionspfade haben und repräsentative Referenzorganismen für die Wirkungsanalyse auswählen. Da die Organismen, die in einer bestimmten Umweltverträglichkeitsprüfung als Indikatorarten betrachtet werden, für einen bestimmten Standort repräsentativ sein müssen, werden sie folglich von Bewertung zu Bewertung variieren. Daher wird bei der Auswahl von Indikatorarten oder bestimmter Referenzorganismen besonders auf den „Wert“ eines Organismus innerhalb des untersuchten Ökosystems geachtet.

Als zusätzliche Information führen wir hier die Unterschiede zwischen der Methodik zur Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt und die Bevölkerung an (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Hauptunterschiede zwischen der Methodik zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.

Mensch	Umwelt (Fauna und Flora)
Schutz auf Ebene des Individuums	Schutz auf Ebene der Populationen/Ökosysteme
Deterministische und stochastische Effekte der Radioaktivität werden berücksichtigt	Generell werden nur die deterministischen Effekte berücksichtigt
Interne Dosen werden mit biokinetischen Modellen berechnet, die die Aufnahme von Radionukliden im menschlichen Körper simulieren	Interne Dosen werden anhand von Transferfaktoren berechnet, die auf der Aktivität in der Umgebung basieren
Referenzperson (biokinetisches Modell)	Referenzorganismen (dargestellt als einfache Ellipsoide)
Verschiedene Altersklassen	Keine Altersklassen
Die Anreicherung von Radionukliden in den Organen ist zu berücksichtigen	Die Radionuklide sind gleichmäßig im Gewebe der Tiere verteilt
Effektive Dosis (mSv)	Energiedosisleistung (Gy s^{-1})

3.3.2 Unfallbedingte Ableitungen

Während der gesamten Laufzeit einer kerntechnischen Anlage muss die Anlage beständig gegen Störfallbedingungen sein, und es müssen die dafür erforderlichen Maßnahmen getroffen werden. Eine kerntechnische Anlage ist präventiv mit einer Reihe von Barrieren nach dem Prinzip der „mehrschichtigen Abschirmung“ ausgelegt, um zu vermeiden, dass die Bevölkerung und die Umwelt einer unakzeptablen Dosis ionisierender Strahlung ausgesetzt werden. Das Prinzip der mehrschichtigen Abschirmung zielt darauf ab: i) die

Auswirkungen äußerer Gefahren zu minimieren, seien es extreme Gefahren und Gefahren, die durch die Natur oder durch eine unbeabsichtigte menschliche Handlung verursacht werden, ii) einen anormalen Betrieb oder Störungen zu verhindern, iii) einen anormalen Betrieb zu kontrollieren oder Störungen zu erkennen, iv) Auslegungsstürfe zu kontrollieren, v) die Modalitäten der Auslegungserweiterung zu kontrollieren und insbesondere die Entwicklung von Unfällen zu schweren Unfällen zu verhindern und die Folgen schwerer Unfälle zu begrenzen, und vi) das Management von Notfallsituationen zu ermöglichen (siehe Abschnitt 3.8)^{xliii}. Um das Prinzip der mehrschichtigen Abschirmung anzuwenden, muss zunächst eine detaillierte Analyse der möglichen Ereignisse, sowohl derjenigen innerhalb der Auslegung (Auslegungsstürfall) als auch derjenigen, die in der erweiterten Auslegung auftreten können (auslegungsüberschreitende Unfälle), durchgeführt werden, gegen die die Anlage in der Lage sein muss, zu widerstehen oder die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen. Diese Ereignisse können zu Stürfällen führen, und zwar zu Auslegungsstürfällen (Design Basis Accidents) und auslegungsüberschreitenden Unfällen (Beyond Design Basis Accidents).

Die relevanten internationalen und europäischen Richtlinien im Hinblick auf Stürfallszenarien sowie eine Zusammenfassung ihrer (wichtigsten) Inhalte sind in Tabelle 34 aufgeführt.

Tabelle 34: Einschlägige internationale und europäische Richtlinien zur Ermittlung von Stürfallszenarien.

Internationale und europäische Richtlinie	Relevante Inhalte für Stürfallsituationen
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1, 2012 ^{xliv}	Diese IAEO-Richtlinie gibt die Sicherheitsanforderungen für die Auslegung eines Kernkraftwerkes vor.
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1 (Rev. 1), 2017 ^{xlv}	Diese IAEO-Richtlinie ist eine nach dem Fukushima-Unfall initiierte Überarbeitung der vorherigen Richtlinie. Die Überarbeitung dieser Richtlinie führte zu einer Reihe von begrenzten Änderungen.
IAEA Safety Standards Series SSG-2, 2010 ^{xlvi}	Diese IAEO-Richtlinie bietet einen Leitfaden für die deterministische Sicherheitsanalyse von Kernkraftwerken. Die Sicherheitsanalyse dient zur Identifizierung und Klassifizierung von Ereignissen und zur Ermittlung von Unfallszenarien.
IAEA Safety Standards Series SSG-2 (Rev. 1), 2019 ^{xlvii}	Diese IAEO-Richtlinie ist Überarbeitung, basierend auf den Erfahrungen aus dem Fukushima-Unfall, der vorherigen Richtlinie.
Euratom-Vertrag, 2012 ^{xlviii}	Der Euratom-Vertrag über die Gründung einer Europäischen Atomgemeinschaft. Eines der Hauptziele ist die Festlegung einheitlicher Sicherheitsstandards zum Schutz der Bevölkerung und der Arbeitnehmer.
Richtlinie 2014/87/EURATOM, 2014 ^{xlix}	Diese EU-Richtlinie ist eine nach dem Fukushima-Unfall initiierte Überarbeitung der Richtlinie 2009/71/Euratom. Mit der Richtlinie wird ein Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit von kerntechnischen Anlagen in der Europäischen Union geschaffen.

Der Zustand, in dem sich ein Kernkraftwerk befinden kann, wurde von der IAEO wie in Abbildung 29 schematisch dargestellt. Es werden zwei Kategorien von Unfallbedingungen betrachtet: a) Auslegungsbasis ('Design Basis') und b) erweiterte Auslegungsbedingungen ('Design Extension Conditions'). Darüber hinaus werden unter der letztgenannten Kategorie zwei Arten von Ereignissen betrachtet: (a) Ereignisse ohne signifikante Brennstoffdegradation und (b) Ereignisse mit Kernschmelze. Bei auslegungsüberschreitenden Unfällen sind die radiologischen Folgen schlimmer als bei Auslegungsstürfällen oder beinhalten zusätzliche Störungen ^{xlv}.

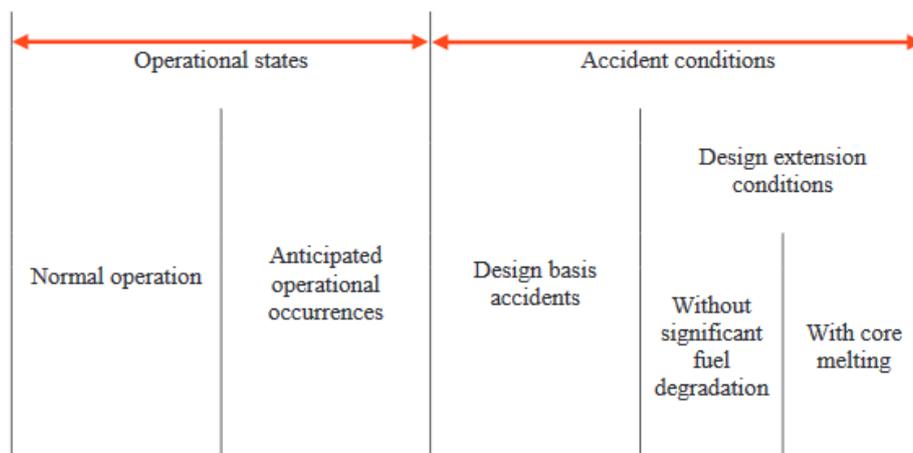


Abbildung 29: Betriebs- und Störfallzustand eines Kernkraftwerks ^{xlv}.

Zusätzlich zu den IAEO- und EU-Richtlinien hat die WENRA („Western European Nuclear Regulators' Association“), deren Mitglied Belgien ist, 2014 harmonisierte Sicherheitsniveaus und -anforderungen an die Auslegungsbasis und erweiterte Auslegung für bestehende Reaktoren veröffentlicht!

Verwendete Terminologie für Störfälle

Auslegungsbasis: die Bandbreite von Bedingungen und Ereignissen, die ausdrücklich bei der Auslegung einer Anlage (einschließlich Modernisierungen) gemäß festgelegten Kriterien berücksichtigt werden und denen die Anlage durch den geplanten Betrieb von Sicherheitssystemen standhalten kann, ohne zulässige Grenzwerte zu überschreiten.

Auslegungsstörfall: ein Unfall, der in der Auslegungsbasis betrachtet wird.

Erweiterte Auslegungsbedingungen: die Menge der Umstände und Ereignisse, die komplexer oder schwerwiegender sind als die in der Auslegungsbasis enthaltenen. Diese Umstände können durch mehrere auslösende Ereignisse, mehrere Ausfälle, höchst unwahrscheinliche Ereignisse oder postulierte Umstände verursacht werden.

Auslegungsüberschreitender Unfall: ein Unfall, der in der erweiterten Auslegungsbasis betrachtet wird. Es werden zwei Kategorien von Störfällen betrachtet:

- Auslegungsüberschreitende Unfälle innerhalb der Domäne „A“ (DEC-A), bei denen es möglich ist, frühzeitige oder massive radioaktive Ableitungen sowie ggf. Brennstoffschäden zu vermeiden.
- Auslegungsüberschreitende Unfälle innerhalb der Domäne „B“ (DEC-B oder Schwere Unfälle), bei denen es nicht möglich ist, frühzeitige oder massive radioaktive Ableitungen sowie ggf. Brennstoffschäden zu vermeiden.

Auf belgischer Ebene wurden die Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Unfälle im Königlichen Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung der Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen definiert und die notwendigen Anforderungen festgelegt^{li}. Der K. E. wurde im Laufe der Jahre sowohl inhaltlich als auch terminologisch angepasst. Der vorgenannte K. E. vom 30. November 2011 ist die Umsetzung der EU-Richtlinie und der WENRA-Sicherheitsstufen in belgisches Recht. Die neueste Version des K. E. berücksichtigt Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Unfälle in Übereinstimmung mit den neuesten IAEO- und EU-Richtlinien. Diese beiden Unfallsituationen werden wie folgt definiert ^{lii}:

3.3.2.1 Auslegungsstörfall

Das Ziel der Auslegungsbasis im oben erwähnten Königlichen Erlass ist es, Maßnahmen zu ergreifen, „um sicherzustellen, dass die potenziellen radiologischen Folgen für die Bevölkerung, die Arbeitnehmer und die Umwelt die vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten und so niedrig wie vernünftigerweise möglich gehalten

werden.“ Speziell in Bezug auf Unfälle gilt: „Die Auslegungsbasis sollte sein, vorhersehbare Betriebsstörungen und Unfälle zu verhindern und, falls dies nicht gelingt, deren Folgen zu begrenzen.“

Bei der Erstellung der Auslegungsbasis ist „eine Liste aller mutmaßlichen auslösenden Ereignisse zu erstellen, die alle Ereignisse enthält, die die nukleare Sicherheit der Anlage beeinträchtigen können.“ Aus dieser Liste ist auf der Grundlage einer Kombination von deterministischen Methoden, probabilistischen Methoden und Expertenurteilen eine Anzahl von Auslegungsstörfällen auszuwählen, um die Randbedingungen festzulegen, unter denen Strukturen, Systeme und Komponenten, die für die nukleare Sicherheit wichtig sind, auszulegen sind, um nachzuweisen, dass die geforderten Sicherheitsfunktionen gewährleistet sind und die Ziele der Auslegungsbasis erreicht werden“^{lii}.

Weitere Anforderungen für die Erstellung der Liste der auslösenden Ereignisse in der Auslegung sind in Artikel 20 des K. E.^{lii} enthalten.

„bei der Erstellung der Initiator-Ereignisliste werden Erfahrungsrückmeldungen und Analysen zu ähnlichen Anlagen und Standorten werden berücksichtigt.

Glaubwürdige Kombinationen von Einzelereignissen werden identifiziert und bilanziert.

Die ausgewählten Ereignisse internen Ursprungs müssen mindestens Folgendes umfassen:

- Ausfall von Geräten;
- Unfälle mit Verlust der Primärkühlung (LOCA);
- menschliches Versagen;
- andere Gefahren wie Brand, Explosion, Überflutung mit interner Ursache.

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

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

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

3.3.2.2 Auslegungsüberschreitender Unfall

Der Entwurf der Erweiterung im K. E. zielt darauf ab, die Sicherheit zu verbessern, „indem die Fähigkeit verbessert wird, mit Störfällen oder Bedingungen umzugehen, die schwerer sind als die der Auslegungsbasis; indem, soweit vernünftigerweise praktikabel, radioaktive Ableitungen minimiert werden, die für die Öffentlichkeit und die Umwelt während solcher Störfälle oder Bedingungen schädlich sind.“^{lii}. Der K. E. unterscheidet wie folgt zwischen einer Analyse der DEC-A („Design Extension Conditions“ – A) und DEC-B:

„Die DEC-A-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um signifikante Brennstoffschäden und Bedingungen verhindern zu können, die zu vorzeitigen oder massiven radioaktiven Ableitungen führen könnten.

Erhebliche Schäden durch die abgebrannten Brennelemente im Abklingbecken sind mit hoher Wahrscheinlichkeit als extrem unwahrscheinlich einzustufen, es sei denn, die Folgen können durch einen Einschluss ausreichend begrenzt werden.

Die DEC-B-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden und Bedingungen abzuschwächen, die zu vorzeitigen oder massiven

radioaktiven Ableitungen führen könnten, ermöglichen würden, soweit solche Schäden oder Zustände nicht mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft wurden.“ [freie Übersetzung]

Eine repräsentative Liste der erweiterten Auslegungsbedingungen muss wie folgt erstellt werden^{lii}:

„Eine repräsentative Liste von erweiterten Auslegungsbedingungen wird auf der Grundlage einer Kombination von deterministischen und probabilistischen Methoden und Expertenurteilen erstellt und begründet.

Dabei werden die Ereignisse, die gleichzeitig mehrere Anlagen an einem Standort betreffen können, sowie die verschiedenen möglichen Wechselwirkungen zwischen den Anlagen am Standort oder an anderen nahe gelegenen Standorten berücksichtigt.

Das Auswahlverfahren von DEC-A-Bedingungen geht von Ereignissen oder Kombinationen von Ereignissen aus, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht als sehr unwahrscheinlich angesehen werden können und zu erheblichen Brennstoffschäden oder vorzeitigen oder massiven radioaktiven Ableitungen führen könnten.

Das Auswahlverfahren der DEC-A Bedingungen basiert auf:

- Ereignisse, die in den verschiedenen Betriebszuständen auftreten;
- Ereignisse, die sich aus internen oder externen Risiken ergeben;
- Ausfälle mit einer gemeinsamen Ursache.

Die Liste der DEC-B-Bedingungen umfasst jene Situationen, für die die Fähigkeit, entweder signifikante Brennstoffschäden oder vorzeitige oder massive radioaktive Ableitungen zu verhindern, unzureichend ist, oder jene Situationen, für die die Präventionsmaßnahmen nicht wie gewünscht funktionieren.

Die Liste der DEC-B-Bedingungen enthält die vorausgesetzten Störfälle mit signifikanten Brennstoffschäden, auch für den im Abklingbecken verwendeten Brennstoff, soweit solche Störfälle nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit extrem unwahrscheinlich gemacht werden.“ [freie Übersetzung]

Im K. E. werden die auslegungsüberschreitenden Unfälle in Artikel 21 näher beschrieben.

„Unfälle, die schwerwiegender sind als Auslegungsstörfälle, sollten als Teil der erweiterten Auslegungsanalyse identifiziert werden.

Wenn ein in der Auslegungsbasis enthaltenes Naturphänomen mit hoher Wahrscheinlichkeit extrem unwahrscheinlich ist, dann sollte für dieses Ereignis kein auslegungsüberschreitender Unfall berücksichtigt werden.

Die Auswahl der Ereignisse für die Analyse der erweiterten Auslegungsanalyse basiert, wenn möglich, auf einer Überschreitungshäufigkeit der Schwere des Unfalls oder auf anderen Parametern bezüglich des Unfalls.

Die Analyse von auslegungsüberschreitenden Unfällen:

1. zeigt, dass ein ausreichender Spielraum in Bezug auf die „Klippeneffekte“ besteht, die zum Verlust einer grundlegenden Sicherheitsfunktion führen könnten;
2. identifiziert und bewertet die robustesten Mittel zur Gewährleistung der grundlegenden Sicherheitsfunktionen;
3. trägt der Tatsache Rechnung, dass:
 - a) verschiedene redundante oder diversifizierte Gruppen eines Sicherheitssystems;
 - b) unterschiedliche Strukturen, Systeme und Komponenten;
 - c) verschiedene Installationen des Standorts sowie die Infrastruktur des Standorts;
 - d) die umliegende Infrastruktur, externe Versorgung und andere Gegenmaßnahmen von den Ereignissen betroffen sein können;
4. zeigt, dass an Standorten mit mehreren Reaktorblöcken, die eine gemeinsame Nutzung von Geräten oder Dienstleistungen vorsehen, ausreichend Ressourcen verfügbar bleiben;
5. umfasst Kontrollen vor Ort so weit wie möglich.“ [freie Übersetzung]

Im Jahr 2017 veröffentlichte die FANK eine Richtlinie zur Realisierung des Sicherheitsnachweises für neue kerntechnische Anlagen der Klasse I^{liii}. Die Empfehlungen in dieser Richtlinie geben detaillierte Informationen zu den Anforderungen der FANK hinsichtlich der „mehrschichtigen Abschirmung“ und der quantitativen radiologischen Ziele im Rahmen des Sicherheitsnachweises für neue kerntechnische Anlagen der Klasse I. Da es sich bei Doel 1 und 2 um bestehende Anlagen der Klasse I handelt, ist diese Richtlinie nicht direkt anwendbar, aber die Empfehlungen können dennoch zur Bewertung des Sicherheitsnachweises auf der Grundlage der geltenden Normen herangezogen werden.

Die FANK-Richtlinie wurde durch eine Bel V-Richtlinie ergänzt, die Empfehlungen zur Anwendung von konservativen und weniger konservativen Ansätzen für die Analyse der in der FANK-Richtlinie genannten radiologischen Folgen^{liv} gibt. Wie die FANK-Richtlinie richtet sich auch die Bel V-Richtlinie an neue kerntechnische Anlagen der Klasse I.

Nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags^{xlvi} ist jeder Mitgliedstaat verpflichtet, allgemeine Angaben über jeden Unfallplan zur Ableitung radioaktiver Stoffe vorzulegen. Die allgemeinen Daten für Doel wurden im Jahr 1972 zusammengestellt. Zu diesem Zweck wurden zwei Auslegungstörfälle identifiziert: i) Hauptleitungsbruch und ii) Herabfallen eines bestrahlten Brennelements^{lv}. Die Genehmigungsgrenzwerte für die radiologischen Folgen von Auslegungstörfällen am Rande des Standorts und an der nächstgelegenen Grenze (Niederlande in 3,15 km Entfernung), basieren auf dem pessimistischsten Szenario (Hauptleitungsbruch) für die Schilddrüsendosis und die effektive Gesamtdosis. Diese Grenzwerte müssen für die am stärksten exponierte Person eingehalten werden. Die am stärksten exponierte Person wird an einem Ort betrachtet, an dem sie der höchsten (zeitintegrierten) Konzentration der radioaktiven Ableitungen ausgesetzt ist^{liv}. Diese Person gehört zu der Altersgruppe, die am meisten von der Exposition gegenüber radioaktiven Ableitungen betroffen ist.

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

Bei der Bewertung der Auswirkungen betrachten wir die Situation nach 2019, wenn die Sicherheitsverbesserungen, die im Zeitraum 2015-2018 im Rahmen der LTO (Long Term Operation) und BEST (Belgian Stress Tests) durchgeführt wurden, abgeschlossen sind. Eine ausführliche Diskussion dieser Sicherheitsverbesserungen ist in der UVP-Arbeiten der Electrabel AG zu finden (siehe UVP-Arbeiten).

Die allgemeinen Daten für das KKW Doel im Rahmen von Artikel 37 des Euratom-Vertrags beinhalten Genehmigungsgrenzen für die nächstgelegene Grenze, d. h. zu den Niederlanden in 3,15 km Entfernung. Es gibt keine gesetzlichen Grenzwerte für radiologische Unfälle in größeren Entfernungen von Unfällen. Als Anhaltspunkt kann der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr verwendet werden, wie er in Artikel 12 der Richtlinie 2013/59/Euratom für den Normalbetrieb angegeben ist.

Wie oben beschrieben, muss die Anlage die notwendigen Maßnahmen zur Vermeidung oder Begrenzung von Unfallsituationen treffen. Sollte es dennoch zu einem Unfall kommen, tritt der nukleare und radiologische Notfallplan wie in Abschnitt 3.8 beschrieben in Kraft.

3.3.3 Radioaktive Betriebsabfälle und abgebrannte Brennelemente

Für den Teil der radioaktiven Abfälle und spaltbaren Materialien werden die möglichen Auswirkungen der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1-2 im Vergleich zum Referenzszenario als kumulierte Mengen veranschlagt, die im Referenzzeitraum 2015-2025 anfallen. Die Auswirkungen dieser zusätzlichen Mengen an Abfällen und Spaltmaterial werden im Hinblick auf die in Abschnitt 3.2.3 erörterten Bewirtschaftungsmaßnahmen bewertet.

3.3.4 Stilllegung

Hinsichtlich der Stilllegung kann die längere Laufzeit der Reaktoren Doel 1 und 2 zu einem Unterschied in der Gesamtaktivierung von Komponenten, wie z. B. dem Stahl des Reaktorbehälters, führen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass

es zu einer Verlagerung des Volumens an Stilllegungsabfällen kommt. Zum Beispiel eine Verlagerung von Abfall der Kategorie A zu Abfall der Kategorie B, obwohl die Gesamtmenge an Stilllegungsabfällen gleich bleiben würde. Dies wird anhand von Aktivierungsberechnungen untersucht und getestet.

3.4 Bestehende Situation

3.4.1 Überwachung der Ableitungen

Die radioaktiven Ableitungen des KKW Doel werden kontinuierlich überwacht. Zum einen durch den Betreiber und zum anderen durch die FANK (Föderalagentur für Nuklearkontrolle). Der Betreiber ist verpflichtet, die Genehmigung zur Ableitung radioaktiver Abwässer jederzeit einzuhalten. Eine permanente Überwachung während der Ableitung wird durchgeführt, um in „Echtzeit“ zu überprüfen, ob die in der Genehmigung festgelegten Ableitungsmodalitäten und -grenzwerte eingehalten werden (maximale und durchschnittliche Konzentrationen der Abwässer, maximale Menge der abgegebenen Radioaktivität ...).

Die radioaktiven Ableitungen des KKW Doel werden zudem von der FANK auf verschiedene Weise überwacht:

- Die *TELERAD-Stationen* sind rund um das KKW-Doel-Gelände und in der Schelde installiert, in die die flüssigen Abwässer eingeleitet werden. Diese Messstationen lösen bei abnormalen Ableitungen einen Alarm an die FANK aus. Diese werden in Abschnitt 3.4.2.1 näher beschrieben. Es handelt sich um ein kontinuierliches Netzwerk, das hauptsächlich auf die Erkennung von abnormalen Ableitungen ausgerichtet ist;
- *Monatlich* muss das KKW Doel seine Ableitungen an die FANK und an Bel V melden. Die Sicherheitsbehörde prüft dann die Einhaltung der Ableitungsgrenzwerte und das Fehlen eines plötzlichen, signifikanten Anstiegs dieser Ableitungen;
- *Jährlich* muss das KKW Doel einen Bericht über die Entladungen des vergangenen Jahres an die FANK und an Bel V senden. Dieser Bericht muss eine Zusammenfassung der abgeleiteten Aktivität für jede Art von Ableitung sowie die Berechnung der Dosiswirkung der Ableitungen der Einrichtung auf die Bevölkerung enthalten. Bis zum 1. Juli eines jeden Jahres veröffentlicht die FANK eine Informationsakte über radioaktive Ableitungen mit der Zusammenfassung dieser Meldungen. Die Art und Weise, in der diese Ableitungsmeldungen vorgenommen werden, muss einem vorher festgelegten Verfahren entsprechen^{lvii};
- Für jeden Standort führt die FANK eine *jährliche Inspektion* über die radiologischen Auswirkungen der kerntechnischen Anlagen durch, bei der die Überwachung der radioaktiven Ableitungen besprochen wird. Bel V führt auch Inspektionen im Zusammenhang mit der Entsorgung von radioaktiven Ableitungen durch.

Die FANK hat zudem die Aufgabe, die Öffentlichkeit in aller Transparenz über die Ableitungen zu informieren:

- Das Gesetz vom 11. April 1994 über die Öffentlichkeit der Verwaltung legt den allgemeinen Rahmen für den öffentlichen Zugang zu Verwaltungsunterlagen fest, die sich im Besitz einer föderalen Verwaltungsbehörde befinden. Von Ausnahmen abgesehen, sieht das Gesetz vor, dass „jeder [...] jede Verwaltungsunterlage vor Ort einsehen, Erläuterungen dazu erhalten und sie in Form einer Abschrift mitgeteilt bekommen kann“;
- Das Gesetz vom 15. April 1994 Gesetz über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde definiert genauer die Informationspflichten gegenüber der Öffentlichkeit, die der Agentur in ihrem Zuständigkeitsbereich auferlegt sind. Gemäß den Bestimmungen des Gesetzes hat die Agentur die Aufgabe, neutrale und objektive Informationen auf dem Gebiet der Kernenergie zu verbreiten. Die Agentur sorgt zudem für die Übermittlung technischer Informationen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes;
- Das Gesetz vom 5. August 2006 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen bekräftigt diesen Wunsch nach Transparenz und dehnt ihn auf alle Tätigkeitsbereiche aus, auch auf solche außerhalb des Nuklearsektors. Das Gesetz weist allen föderalen öffentlichen Diensten und Einrichtungen öffentlichen Interesses, die der Autorität, Kontrolle oder Aufsicht der Föderalregierung unterliegen, aktive

Informationspflichten gegenüber der Öffentlichkeit im Bereich der Umwelt in ihrem jeweiligen Zuständigkeitsbereich zu, insbesondere durch Nutzung elektronischer Kommunikationsmittel.

Die Ableitungen (siehe Abschnitt 3.3.1) werden in eine Reihe von Radionuklidgruppen unterteilt. Tabelle 35 zeigt die spezifischen Ableitungen, die vom KKW Doel überwacht und gemeldet werden. Darüber hinaus gibt es Ableitungen von Kohlenstoff-14 (C-14). Diese werden auf Basis der thermischen Leistung geschätzt, da sie schwer zu messen sind.

Tabelle 35: Kategorien von überwachten Ableitungen.

Art der Ableitungen	Radionuklid (Gruppe)	Details (Form, spezifische Radionuklide)
Atmosphärisch:	Tritium	tritiertes Wasser HTO
	Jod	¹³¹ I
	Edelgase	⁸⁵ Kr, ¹³³ Xe
	α-Aerosole	²³⁵ U, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am
	β-γ-Aerosole	⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ¹²⁴ Sb, ¹³⁷ Cs...)
Flüssig:	Tritium	tritiertes Wasser HTO
	α-Strahler	²³⁵ U, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am...
	β-γ-Strahler	⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ¹²⁴ Sb, ¹³¹ I, ¹³⁷ Cs...)

Darüber hinaus müssen die Ableitungen an die Europäische Kommission übermittelt werden, wie in der Richtlinie „Empfehlung der Kommission vom 18. Dezember 2003 zu standardisierten Informationen über Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen in die Umwelt im Normalbetrieb (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2003) 4832)^{lviii}“ festgelegt und vorgeschrieben.

Die Ableitungsdaten der verschiedenen EU-Mitgliedstaaten werden in der „European Commission RAdioactive Discharges Database“ (RADD) gesammelt. Dies ermöglicht auch den Informationsaustausch über Ableitungen. Die Ziele dieser Datenbank sind:

- die Kompilation der radioaktiven Ableitungen, wie sie von den EU-Mitgliedstaaten an die Europäische Kommission übermittelt wurde;
- die Erstellung und Veröffentlichung von Berichten über radioaktive Ableitungen durch das zuständige Referat innerhalb der Europäischen Kommission (GD ENER D3 – „Strahlenschutz“ & Nuclear Safety);
- der Austausch von Informationen mit der IAEO (Internationale Atomenergie-Organisation) und anderen internationalen Gremien;
- die Sicherstellung des öffentlichen Zugangs zu den Daten über die RADD-Website.

Im Rahmen von Artikel 35 des Euratom-Vertrags werden auch Überprüfungen durchgeführt. Der letzte verfügbare Bericht zur Überwachung der radioaktiven Ableitungen durch das KKW Doel, einschließlich des Überwachungsprogramms um Doel, ist der von 2012^{lviii}.

3.4.1.1 Atmosphärische Ableitungen

Atmosphärische Ableitungen haben ihren Ursprung in und/oder sind auf die folgenden Prozesse zurückzuführen:

- Gasförmiger Abfall (GW)
 - Die Entgasung aus dem Primärkreislauf wird in Abgasbehältern der Abgasbehandlungsanlage gespeichert, diese werden nach einer Verfallszeit entleert;
- Reaktorgebäude oder ringförmiger Raum (RGI)

- Entsorgung des zunächst aus dem Reaktorgebäude oder ringförmigen Raum abgeführten Gases durch ein Luftreinigungssystem;
- Intermittierende Ableitungen (DIS)
 - Intermittierende, hauptsächlich unfreiwillige oder erzwungene Ableitung, die durch einen nuklearen Belüftungsauslass erfolgt. Es handelt sich um geplante Ableitungen (mit Ausnahme von I-131-Probeableitungen). Diese Kategorie wird für Spitzen oberhalb der kontinuierlichen Ableitungen verwendet, deren Ursprung nur schwer oder gar nicht zu bestimmen ist;
- Kontinuierliche Ableitungen
 - Kontinuierliche Ableitungen aus verschiedenen nicht kontrollierbaren Quellen, die durch die nukleare Belüftung auftreten;
- Jod-Tests
 - Ableitungen von I-131 bei Jodtests. Alle Kohlenstofffilter werden periodisch mit radioaktivem Jod, nämlich I-131, getestet.

Zusätzlich zu den bereits im Abschnitt über die Methodik erwähnten jährlichen Ableitungsgrenzwerten gibt es auch Ableitungsgrenzwerte für momentane (potenzielle) atmosphärische Ableitungen. Diese Grenzwerte beziehen sich auf die maximale durchschnittliche Konzentration im Schornstein pro Stunde.

Tabelle 36: Momentane atmosphärische Ableitungsgrenzwerte für Doel 1 und 2, Doel 3 und 4 und das Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB).

Art	Doel 1 & 2	Doel 3 & 4		WAB
		Hauptbelüftung	Reaktorbelüftung	
Edelgase (MBq/m ³)	148	111	185	148
Aerosole (MBq/m ³)	7,4·10 ⁻³	1,11·10 ⁻¹	2,22·10 ⁻¹	1,48·10 ⁻²
Jod-131 (MBq/m ³)	2,59·10 ⁻⁶	1,85·10 ⁻⁴	3,70·10 ⁻⁴	2,59·10 ⁻⁶

Es ist anzumerken, dass die Ableitungen von Kohlenstoff-14 (¹⁴C) und Argon-41 (⁴¹Ar) nicht überwacht werden, da sie schwer zu messen sind, und konservativ auf der Grundlage der Reaktorleistung bestimmt werden (siehe Abschnitt 3.3). Trotz der Tatsache, dass nur Jod-131 überwacht und in der Berichterstattung vermeldet wird, werden andere Jod-Isotope, insbesondere Jod-133 (¹³³J), auf der Grundlage der Jod-131-Messungen berechnet.

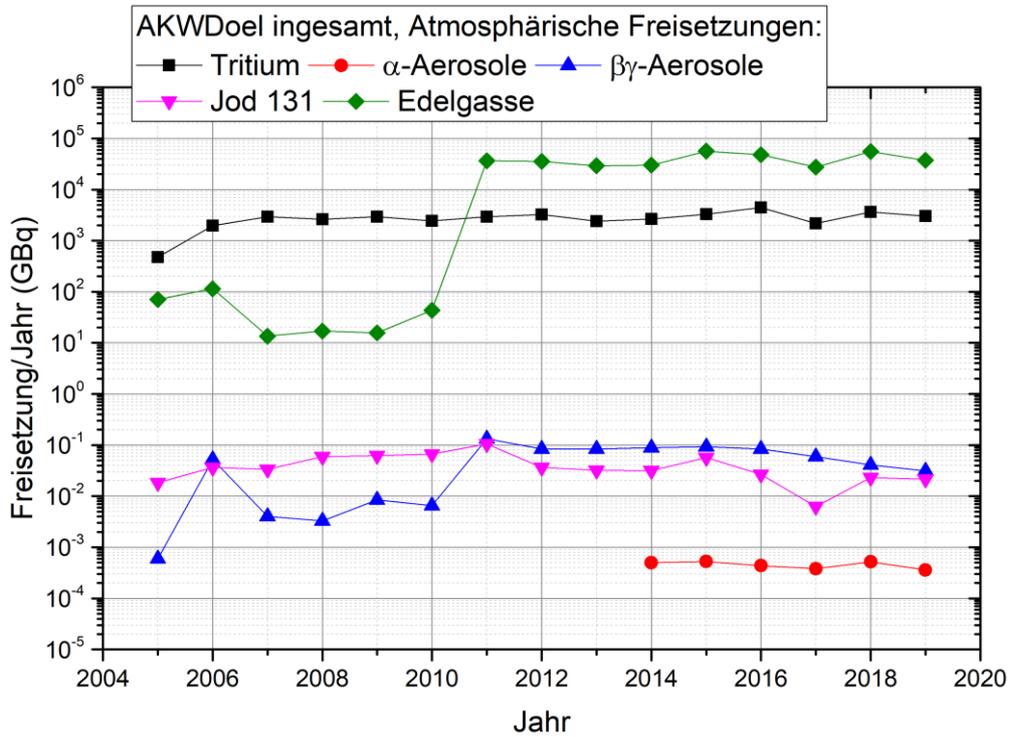
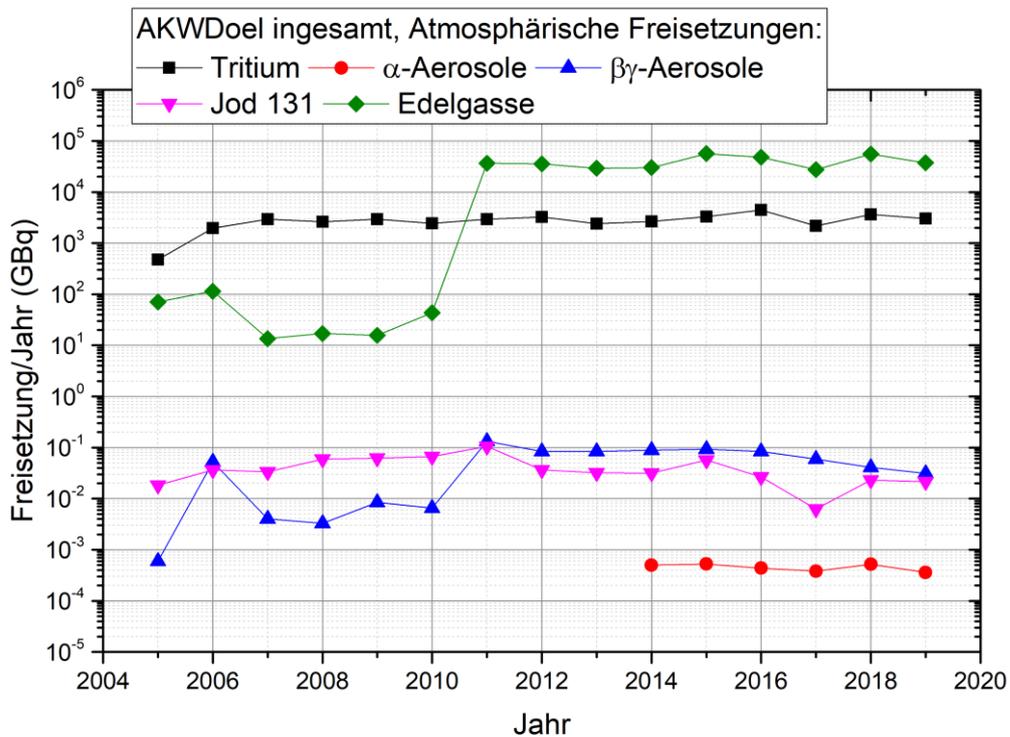


Abbildung 30: Gasförmige Ableitungen pro Jahr für den gesamten KKW-Doel-Standort.

Die atmosphärischen Ableitungen pro Jahr für die verschiedenen Gruppen von Radionukliden, wie sie den Behörden gemeldet und in der RADD-Datenbank der Europäischen Kommission für die Jahre 2005-2019 zu finden sind, sind



in

Abbildung 30 dargestellt. Bei diesen Ableitungen handelt es sich um die atmosphärischen Ableitungen für den gesamten KKW-Doel-Standort. Sie sind auf einer logarithmischen Skala aufgetragen, da es große Unterschiede in den Ableitungen zwischen den verschiedenen Gruppen von Radionukliden gibt. Der offensichtliche Anstieg der Werte ab 2011, insbesondere für Edelgase und Beta-Gamma-Aerosole, ist auf eine neue Richtlinie bzgl. der Berichterstattung zurückzuführen^{lix}. Jede abgeleitete Aktivität, die kleiner als die Nachweisgrenze der Messketten ist, wird konservativ mit 25 % der Nachweisgrenze in der Ableitung berechnet. Die Schwankungen (abgesehen von dem Sprung im Jahr 2011, daher ab 2011 auszuwerten) bei den atmosphärischen Ableitungen pro Jahr sind auf Schwankungen im Betriebsregime der Reaktoren zurückzuführen. Der allgemeine Trend ist, dass die Ableitungen über längere Zeiträume konstant sind, jedoch ist in den letzten Jahren ein Rückgang der Ableitung von Jod-131 und Aerosolen zu beobachten. Alpha-Aerosole werden ab 2014 separat ausgewiesen und stellen nur einen sehr kleinen Teil der Aerosole dar.

Diese tatsächlichen atmosphärischen Ableitungswerte können im Hinblick auf die Ableitungsgrenzwerte gemäß der Betriebsgenehmigung des KKW Doel überprüft werden (wie in Abschnitt 3.3.1 Methodik angegeben). Die Ergebnisse dieses Vergleichs finden Sie in Abbildung 31 als Prozentsatz des Ableitungsgrenzwerts pro Gruppe und zwar für den Zeitraum von 2014-2019. Die Beta-Gamma- und Alpha-Aerosole (seit 2014 in separater Berichterstattung) werden hier zusammengefasst. Die tatsächlichen atmosphärischen Ableitungen betragen nur einen Bruchteil der Ableitungsgrenzwerte.

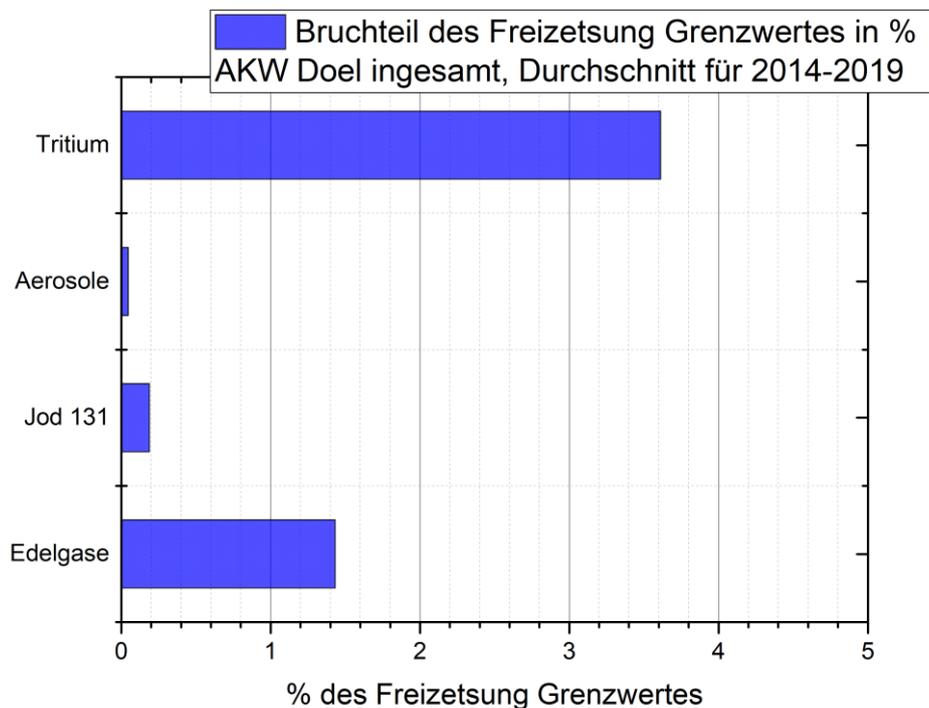


Abbildung 31: Reale Ableitungen für den Zeitraum 2014-2019, ausgedrückt als Prozentsatz der Ableitungsgrenzwerte für die verschiedenen Gruppen von Radionukliden.

3.4.1.2 Flüssige Ableitungen

Wie bereits erwähnt, stammen die flüssigen radioaktiven Ableitungen hauptsächlich aus Prozesskreisläufen, zum Beispiel zur Aufbereitung von Primärkühlwasser in den Kernkraftwerken. Sie entstehen auch durch das bei der Dekontamination von Werkzeugen anfallende Abwasser, das Sanitärabwasser und das Wasser, das für die Reinigung der Böden in den Nuklearzonen wie den Brennstofflagerdocks verwendet wird, sowie durch Wasserlecks. Diese Abwässer können gelöste und feste radioaktive Partikel in Form einer Suspension sowie nichtradioaktive Stoffe enthalten. Um sicherzustellen, dass die Mengen an Radioaktivität, die in die Umwelt abgegeben werden, so gering

wie möglich sind, werden die Abwässer vor der Ableitung behandelt. Die vorbehandelten Abwässer aus dem Kernkraftwerk Doel, die begrenzte Mengen an Radionukliden enthalten, werden in die Schelde eingeleitet und landen schließlich in der Nordsee.

Im Zusammenhang mit dem Schutz des Meereslebens im Nordostatlantiks (einschließlich der Nordsee) hat Belgien auch das OSPAR-Übereinkommen unterzeichnet, das eine Reduzierung der Ableitungen künstlicher Radionuklide in die Meeresumwelt auf nahezu Null vorsieht. OSPAR-Mitgliedstaaten müssen außerdem sicherstellen, dass kerntechnische Anlagen die besten verfügbaren Techniken (Best Available Techniques, kurz: BAT) und die besten Umweltpraktiken (Best Environmental Practices, kurz: BEP) anwenden.

Die Vorbehandlung besteht normalerweise aus einer oder einer Kombination der folgenden BAT-Methoden: Verdampfung, Fällung/Flockung, Filtration und Ionenaustausch. Beim Verdampfen wird das Wasser gekocht und der Dampf kondensiert. Dadurch verbleibt der größte Teil der Radioaktivität in den Verdampfungsrückständen, die dann konditioniert und als Abfall gelagert werden. Beim Ionenaustausch verbleibt der größte Teil der Radioaktivität am Ionenaustauscher. Auf diese Weise kann der Gehalt an verschiedenen Radionukliden wie ¹³⁷Cs im Abwasser reduziert werden. Auch durch Fällung und Flockung kann der Gehalt an radioaktiven Stoffen im Abwasser reduziert werden. Tritium verbleibt als tritiiertes Wasser im Abwasser. Es kann durch diese Verfahren jedoch nicht entfernt werden, da es die gleichen Eigenschaften wie nichttritiiertes Wasser hat und daher in seiner Gesamtheit abgeleitet wird. Bestimmte Abwässer können auch mit dem Ziel gelagert werden, die Radioaktivität durch radioaktiven Zerfall zu reduzieren.

Der Betreiber des Kernkraftwerks muss monatlich über die Ableitungen (Mengen und Radionuklide) an die FANK und BelV Bericht erstatten, und jährlich muss ein Bericht erstellt werden, in dem auch die Dosis infolge der Ableitungen in die Schelde erwähnt wird. Eine Zusammenfassung dieses Berichts ist auf der Website der FANK verfügbar.

Die Ableitungsgrenzwerte des in Betrieb befindlichen Kernkraftwerks basieren auf dem behördlichen Jahresgrenzwert von 1 mSv für die am meisten exponierte Bevölkerung, sodass die Ableitungen nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes führen können. Die Ableitungsgenehmigung enthält neben den Höchstmengen, die jährlich abgeleitet werden dürfen, auch die Art der abgeleiteten radioaktiven Stoffe. Das Kernkraftwerk leitet hauptsächlich Tritium in die Schelde ein. Die anderen Radionuklide (z. B. ^{110m}Ag, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵¹Cr, ¹⁴⁰La, ¹⁰⁶Ru, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ⁹⁵Zr, ²⁴¹Am etc.) werden in wesentlich geringeren Mengen abgeleitet (siehe Abbildung 32).

Die wichtigsten Radionuklide in den flüssigen Abwässern sind:

- Tritium in Form von tritiiertem Wasser
- Beta-, Gamma-Strahler: ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ^{110m}Ag
- Alphastrahler: Am-241

Tabelle 37: Ableitungsgrenzwerte für flüssige Abwässer.

Radionuklide	Grenzwert
Tritium	104 TBq/Jahr
Beta, Gamma und Alpha (außer Tritium und gelöste Edelgase)	1,48 TBq/Jahr

Durch die Strömung und den Fluss des Scheldewassers wird die eingeleitete Radioaktivität verteilt und verdünnt. Die möglichen Auswirkungen der Ableitungen auf Mensch und Umwelt werden von der FANK durch eine regelmäßige Entnahme von Wasser-, Sediment-, Wasserpflanzen-, Fisch- und Kriebstierproben sowie durch Messung der Radioaktivitätswerte bewertet. Ergänzend zum Überwachungsprogramm der FANK gibt es seit 2014 auch im Kernkraftwerk Doel ein begrenztes Überwachungsprogramm mit dem Schwerpunkt auf Bioindikatoren wie Wasserpflanzen.

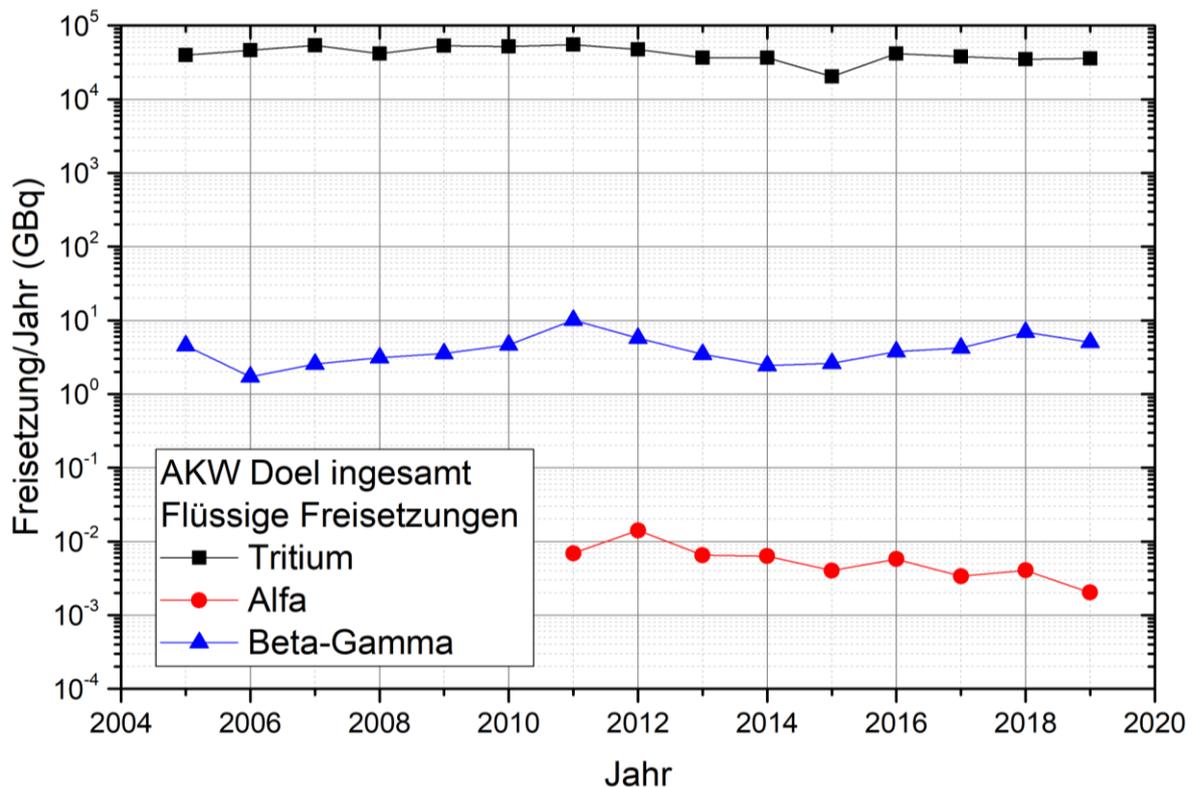


Abbildung 32: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde für den Zeitraum 2005-2019^x.

Abbildung 32 zeigt die flüssigen Ableitungsmengen von 2004 bis einschließlich 2019. Die Mengen liegen deutlich unter den Ableitungsgrenzwerten und sind in den letzten 15 Jahren nahezu konstant geblieben. In den letzten 5 Jahren wurden im Durchschnitt 33 % des Ableitungsgrenzwertes für Tritium und 3 % des Wertes für die anderen Radionuklide abgeleitet.

3.4.2 Überwachung der Radioaktivität am Standort und in der Umwelt

Die radiologische Situation auf dem Gelände des KKW Doel und in der Umgebung wird kontinuierlich durch Messungen im Rahmen eines Überwachungsprogramms überwacht, das einerseits von der zuständigen Behörde, der FANK – die radiologische Aufsichtsbehörde des Staatsgebiets – und andererseits vom Betreiber des Kernkraftwerks durchgeführt wird. Bei den Messungen wird immer eine Kombination aus natürlicher und künstlicher Radioaktivität überprüft. Speziell in der Umgebung des KKW Doel können Spuren künstlicher Radioaktivität vom Betrieb des KKW Doel selbst (als Folge von Ableitungen: siehe vorheriger Abschnitt), aber auch von anderen nuklearen Aktivitäten in der Vergangenheit (oberirdische Atombombentests, Tschernobyl-Unfall) oder radiologischen Auswirkungen anderer nuklearer und nichtnuklearer Aktivitäten stammen.

3.4.2.1 Radiologische Überwachung des Staatsgebiets

Belgien ist, wie alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union, im Rahmen des Euratom-Vertrags verpflichtet, die Anforderungen der Europäischen Kommission (EK) zu erfüllen. Gemäß Artikel 35 Euratom-Vertrag muss jeder Mitgliedstaat die erforderlichen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Gehalts der Luft, des Wassers und des Bodens an Radioaktivität schaffen und für die Einhaltung der grundlegenden Sicherheitsnormen sorgen. Die Formulierung „Luft, Wasser und Boden“ wird als allumfassend angesehen und schließt alle Kompartimente der Biosphäre ein. Die Umwelt ist nicht auf die Umgebung einer kerntechnischen Anlage beschränkt, sondern gilt für das gesamte Staatsgebiet. Darüber hinaus ist Artikel 36 über die Mitteilung von Überwachungsdaten zur Radioaktivität in der Umwelt (Radioaktivität in der Luft, Partikel in der Luft, Oberflächenwasser und Trinkwasser, Milch und Lebensmittel) zu beachten.

Dazu gehören auch die neuen Anforderungen an die Überwachung der Nahrungskette, die sich aus den Schutzmaßnahmen nach den Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima ergeben, sowie die Empfehlung 2000/473/EURATOM 2 zu Artikel 36 des Euratom-Vertrags, die in Punkt 4 vorsieht, dass die Mitgliedstaaten der Kommission alle erforderlichen Daten zur Überwachung der Radioaktivität im „gemischten Regime“ übermitteln, um Gesamtinformationen über die Aufnahme von Radioaktivität durch den Menschen über die Nahrungskette zu erhalten.

Das OSPAR-Übereinkommen (OSlo-PARis) zum Schutz der Meeresumwelt der Nordsee und des Nordostatlantiks verpflichtet die Vertragsstaaten, Überwachungs- und Forschungsprogramme zu den Auswirkungen radioaktiver Ableitungen in die Meeresumwelt zu entwickeln. Es ist in sechs Strategien organisiert: (1) Schutz und Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Ökosysteme des Meeresgebiets; (2) Eutrophierung; (3) Schadstoffe; (4) Offshore-Öl- und Gasindustrie; (5) Radioaktive Substanzen; (6) Monitoring und Bewertung. Das Übereinkommen sieht eine drastische Reduzierung der radioaktiven Ableitungen in die Meeresumwelt vor, bis hin zu Konzentrationen nahe Null für künstliche Radioaktivität. Im Rahmen der OSPAR-Strategie fordert die Europäische Kommission die Mitgliedstaaten außerdem auf, in grundlegende Forschungsprogramme zu investieren, die sich mit den Auswirkungen radioaktiver Ableitungen in die Meeresumwelt (Flora, Fauna und Menschen) befassen.

Und schließlich gibt es auch internationale Richtlinien, wie die der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO Safety Guide N° RS-G-1.8 „Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection“). Gemäß diesen Richtlinien muss ein Überwachungsprogramm außerhalb des Standortes die Messung der externen Dosis oder Dosisleistung und der Radionuklidaktivität in Umweltproben, die für die menschliche Exposition relevant sind, insbesondere in Luft, Trinkwasser, Boden, Sedimenten, landwirtschaftlichen Produkten und natürlichen Lebensmitteln sowie Bioindikatoren (Flechten, die Radioaktivität konzentrieren und über die Zeit eine bestimmte Tendenz aufzeigen können) umfassen.

Die FANK ist für die Überwachung der Radioaktivität des gesamten Staatsgebiets und für die Überwachung der Dosis ionisierender Strahlung, die an die Bevölkerung abgegeben wird, zuständig und führt dieses radiologische Überwachungsprogramm auf belgischem Staatsgebiet seit 2001 durch. Das Überwachungsprogramm betrifft sowohl natürliche als auch künstliche Radioaktivität und wird auf zwei Arten durchgeführt:

Auf kontinuierlicher Basis: durch das automatische Netzwerk TELERAD zur Messung der lokalen Umweltradioaktivität; dieses besteht aus einem Netzwerk von 250 Messstationen, die über das gesamte belgische Staatsgebiet verteilt sind und kontinuierlich die Radioaktivität (genauer gesagt Gammastrahlung) in der Luft und im Wasser der Flüsse messen. Dadurch ist es möglich, 24 Stunden am Tag nahezu unmittelbar (in Echtzeit) auf die Strahlungswerte zuzugreifen und schnell zu reagieren, wenn der Strahlungspegel einen bestimmten vorgegebenen Schwellenwert überschreitet. Das Netz verfügt über Verdichtungen um kerntechnische Anlagen wie dem KKW Doel, die aus Ringstationen, die am Rande des Standorts installiert sind, und Agglomerationsstationen in der Nähe des Standorts bestehen.

Auf diskontinuierliche Weise: durch periodische Messungen vor Ort (Probenahme), die anschließend in spezialisierten Labors analysiert werden. Dies ermöglicht es, sehr kleine Mengen an Radioaktivität messen zu können.

Das Ganze sorgt für eine Kontrolle der Radioaktivität u. a. in der Luft, im Regenwasser, in Oberflächengewässern und im Trinkwasser, in Böden und Flusssedimenten, in Küstengebieten und in Produkten der Nahrungskette.

Das Netzwerk hat außerdem zwei Komponenten: eine globale Überwachung, die das gesamte Staatsgebiet außerhalb der Gebiete mit nuklearen Aktivitäten abdeckt, und eine enge Überwachung rund um die kerntechnischen Anlagen. Außerdem wurde ein spezielles Referenzgebiet definiert, nämlich Brüssel. Die Ergebnisse beider sind mit Berichten für die Jahre 1996 bis 2018 öffentlich zugänglich^{xi}.

Das TELERAD-Netzwerk, bestehend aus mehr als 250 automatischen Messstationen, die über Belgien verteilt sind, ist mit 5,3 Stationen pro 1.000 km² eines der dichtesten Netzwerke zur Messung von Strahlungswerten in Europa und der Welt. Es umfasst:

- 162 Umgebungs-dosis-Äquivalentstationen (Geiger-Müller-Detektor, $H^*[10]$), zur Messung der Gammaradioaktivität in der Umgebung;
- 64 spektroskopische Messstationen: 1,5" x 1,5" Natriumjodid (NaI)-Szintillationsdetektoren + Geiger-Müller(GM)-Zähler für Dosistempi $> 400 \mu\text{Sv/h}$ zur Messung der Gammaradioaktivität in der Umgebung und zur Messung einer Anzahl von Radionukliden (10 vordefinierte Radionuklide). Diese sind entlang des Umzäunung um die kerntechnischen Standorte des SCK CEN, die Kernkraftwerke in Doel und Tihange sowie um das IRE verteilt;
- 11 Messstationen entlang von Flüssen (LaBr₃), die kontinuierlich die Gammastrahlung im Flusswasser messen;
- 13 Wetterstationen (30 Meter hohe Masten).

Speziell für das KKW-Doel-Gelände besteht das TELERAD-Netz aus einem Ring von 18 Stationen, die am Rande des Geländes platziert sind, und etwa 16 Stationen in der weiteren Umgebung des KKW Doel (Agglomerationsstationen). Die Ringstationen sind spektroskopische Stationen, die nicht nur die Dosisleistung, sondern auch Gammaspektren (Energie der Gammastrahlen) registrieren. Dies ermöglicht die Identifizierung spezifischer/typischer Radionuklide, die mit dem Betrieb des KKW Doel verbunden sind, wenn vorhanden. Alle Stationen messen die Dosisleistung (Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $H^*[10]$) und sind in der Lage, sowohl genaue Hintergrundwerte zu messen, bei denen die Variation der natürlichen Hintergrundstrahlung im Verlauf der Zeit beobachtet werden kann (siehe Abbildung 35), als auch stark erhöhte Dosisleistungen (Unfallsituationen) genau zu messen. Die Daten sind online über die Website <http://telerad.fgov.be> verfügbar. Daten aus allen europäischen Ländern werden auch über EURDEP gesammelt und zur Verfügung gestellt: „The Radioactivity Environmental Monitoring (REM) group of the Joint Research Centre (JRC)“ der Europäischen Kommission: <https://eurdep.jrc.ec.europa.eu/Entry/Default.aspx>. Neben belgischen Daten können dort auch Daten aus anderen europäischen Messnetzwerken eingesehen werden, wie z. B. die Ergebnisse des vom RIVM geleiteten niederländischen Nationalen Radioaktivitätsüberwachungsnetzes, das in der Nähe von Doel gleich hinter der Grenze Stationen hat (siehe auch: <https://www.rivm.nl/nationaal-meetnet-radioactiviteit/resultaten>, auf Niederländisch).

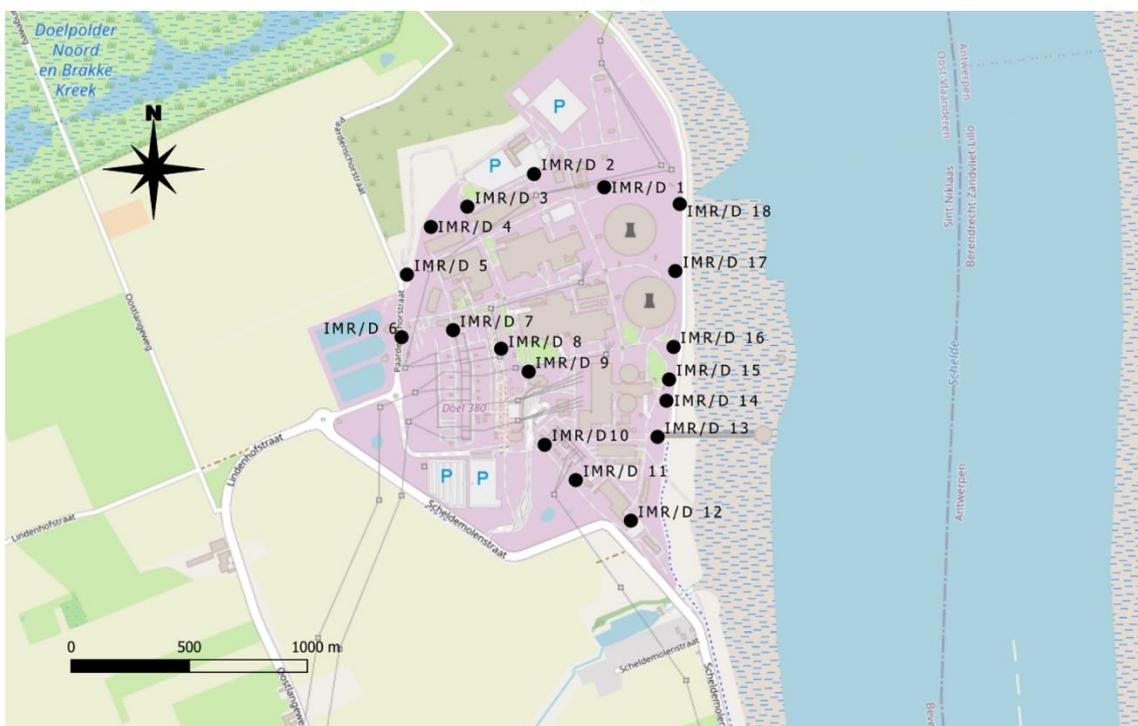


Abbildung 33: Die Ringstationen des TELERAD-Netzes um Doel (Karte: OpenStreetMap).

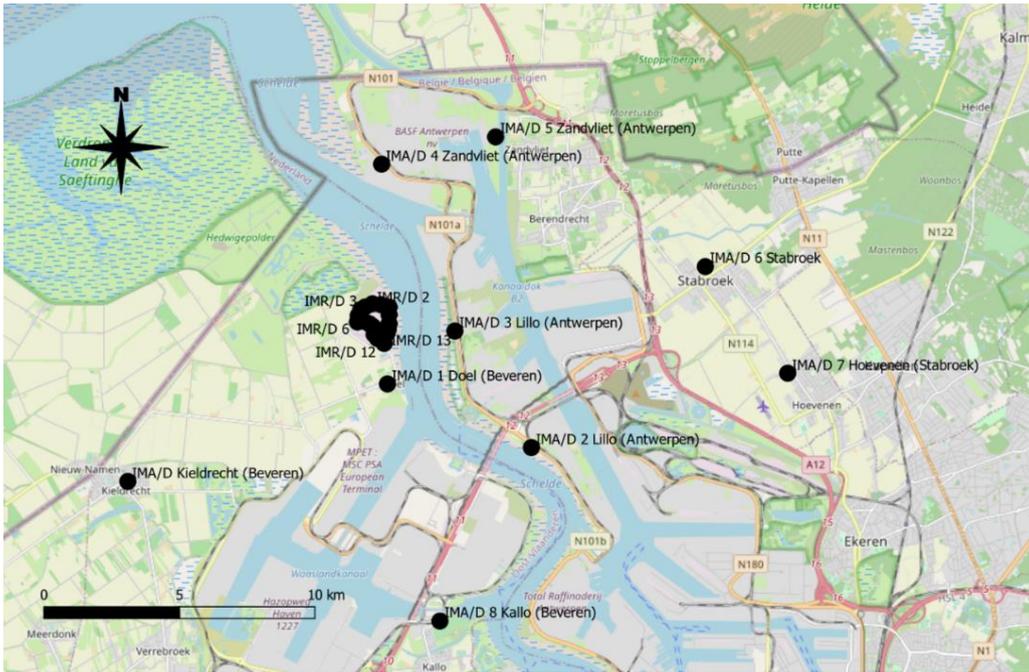


Abbildung 34: Ring- und Agglomerationsstationen des TELERAD-Netzwerks (Hintergrundkarte: OpenStreetMap).

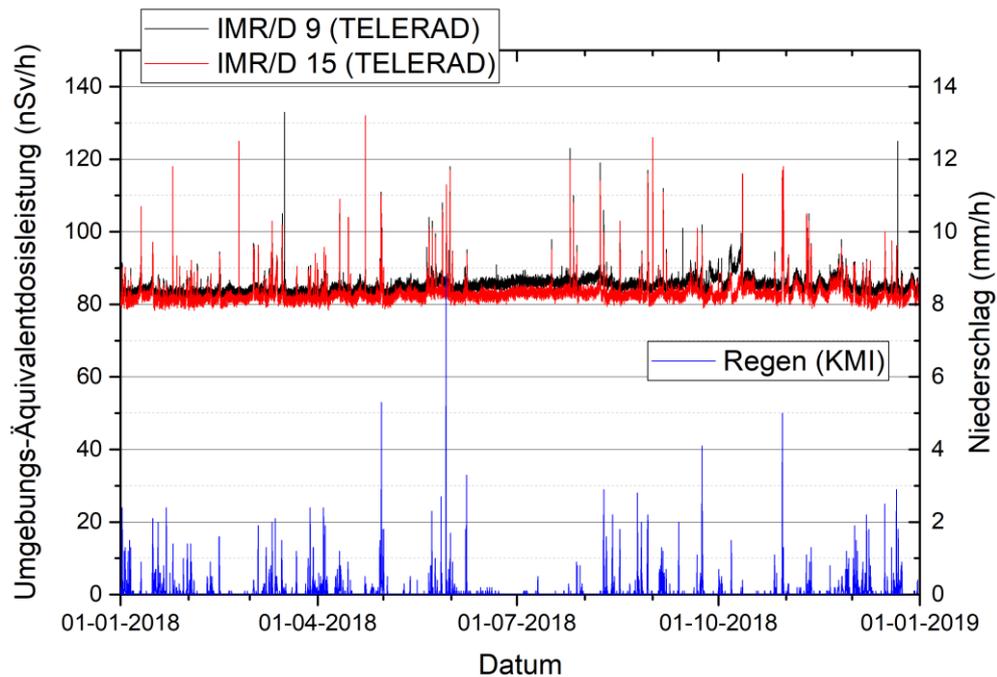


Abbildung 35: Dosistempo im Verlauf der Zeit für das gesamte Jahr 2018, gemessen von zwei TELERAD-Stationen an der Grenze der Domäne des KKW Doel, von denen eine westlich von Doel 1 und 2 (IMR/D 9) und eine östlich von Doel 1 und 2 (IMR/D 15) liegt. Die starken Erhöhungen der Dosisleistung resultieren aus der natürlichen Hintergrundstrahlung, die sich durch wechselnde meteorologische Bedingungen, wie vor allem das Auftreten von Regen (insbesondere nach langen Trockenperioden), verändert. Die Regenintensität ist auch in der unteren Grafik dieser Abbildung dargestellt (Daten zur Dosisleistung: FANK; Daten zum Niederschlag für den Standort des KKW Doel: KMI). Eine Überschreitung des Schwellenwerts für einen Alarm (Wert außerhalb des dargestellten Maßstabs) wurde im Jahr 2018 nie erreicht.

Die diskontinuierlichen Messungen (Probenahme und Analyse in Labors) rund um Doel bestimmen die Radioaktivitätswerte der Staubpartikel in der Luft, der Ablagerung in Absetzbecken (trockene und nasse Ablagerung), des Bodens und des Grases, des Wassers und der Sedimente in der Nähe des KKW Doel (stromabwärts) und schließlich der Garnelen, Muscheln und Algen (Ästuar stromabwärts von Doel bei Kieldrecht und Nordsee (Hoofdplaat & Kloosterzande)). Eine detaillierte Beschreibung dieses Programms (entnommene Proben, Häufigkeit, analysierte Radionuklide etc.) findet sich in den jährlichen Syntheseberichten, die ab dem Jahr 1996 ^{lxii} auf der Website der FANK verfügbar sind. Einzelheiten zum Überwachungsprogramm der FANK in Verbindung mit dem KKW Doel finden Sie in Tabelle 38.

Tabelle 38: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Doel.

Segment	Art der Messung	Frequenz
Atmosphäre – radioaktive Partikel in der Luft	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb Gesamt-Beta auf Papierfiltern nach 5 Tagen Zerfall	alle 4 Wochen täglich
Atmosphäre – Oberflächenablagerung (trocken und über Niederschlag)	Gammaspektrometrie (unbehandeltes Wasser): ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I Beta insgesamt, Alpha insgesamt, ^3H , ^{90}Sr (gefiltertes Wasser) Beta insgesamt und Alpha insgesamt (Filterniederschlag)	alle 4 Wochen
Boden – Erde und Gras	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th	jährlich
Schelde – Wasser	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{226}Ra Beta gesamt, Alpha gesamt, ^3H , ^{40}K	zweiwöchentlich
Schelde – Sedimente	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238-(239+240)}\text{Pu}$, ^{241}Am	alle 4 Wochen
Schelde-Ästuar flussabwärts – Garnelen Schelde-Ästuar/Nordsee (Hoofdplaat und Kloosterzande) – Krebstiere, Muscheln und Algen	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{238-(239+240)}\text{Pu}$ ^{241}Am organisch ^3H , (^{99}Tc für Algen)	vierteljährlich

3.4.2.2 Überwachungsprogramm des Betreibers des KKW Doel

Zusätzlich zum Überwachungsprogramm des Gebiets, das von der FANK durchgeführt wird, organisiert der Betreiber des KKW Doel sein eigenes Überwachungsprogramm, bestehend aus:

- Dosismessungen mithilfe von 18 Thermo-Lumineszenz-Detektoren (TLD), die am Rande des Geländes platziert sind (einer pro 20°-Sektor). Sie geben die integrierte Dosis durch externe Strahlung an;

Ein Überwachungsprogramm ergänzend zum Programm der FANK, bei dem einmal jährlich Proben genommen und analysiert werden. Für Doel läuft dieses Programm seit 2014. Dieses Programm hat eine begrenzte Frequenz in Bezug auf das Probenahmeprogramm, aber der Fokus liegt zum einen ganz auf künstlichen Radionukliden, die möglicherweise mit dem Betrieb des KKW Doel in Verbindung stehen, und zum anderen werden spezifische Proben untersucht, wie die von Bioindikatoren, d. h. Organismen, die bestimmte Radionuklide besonders konzentrieren und es somit ermöglichen, eventuelle Entwicklungen über die Zeit zu verfolgen. Dieses Programm wird in Tabelle 39 dargestellt.

Tabelle 39: Überwachungsprogramm des Betreibers.

Spezifische Probenahme	Ort und Häufigkeit	Spezifikationen der Messung
Bio-Indikator: Flechte Boden Gras	Jährlich an 2 Standorten (S1-T und S2-T) in dominanter Windrichtung und 1 Referenzstandort (R1-T)	Gammaskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60), H-3, C-14
Aquatischer Bioindikator (Fucus, Seetang, Muscheln)	Jährlich an 2 Standorten S1-A stromabwärts und einem Referenzstandort stromaufwärts	Gammaskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, 1Ag-110m), H-3, C-14
Sediment	Jährlich an 2 Standorten stromabwärts und einem Referenzstandort stromaufwärts	Gammaskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, 1Ag-110m),

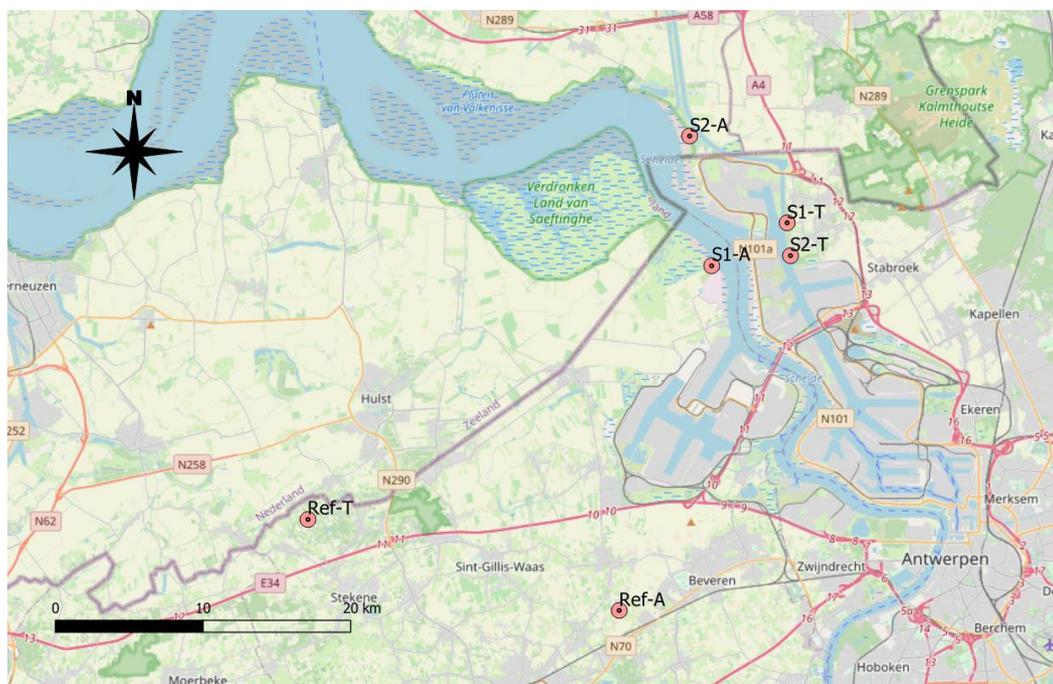


Abbildung 36: Orte für die Probenahme für das vom Betreiber des KKW Doel durchgeführte Zusatzprogramm (Bezeichnungen siehe Tabelle 39, Hintergrundkarte: OpenStreetMap).

3.4.2.3 Ergebnisse der radiologischen Überwachung

Die kontinuierlichen Online-Messungen, wie z. B. die TELERAD-Daten, ermöglichen nicht nur eine schnelle Reaktion, wenn erhöhte Strahlungswerte rund um den Standort vorhanden sind, sondern auch die Bestimmung der jährlichen Exposition von Personen gegenüber externer Strahlung. Die durchschnittliche Exposition pro Jahr in der Umgebung des Standorts KKW Doel beträgt etwa 0,70 bis 0,75 mSv/Jahr und wird durch Strahlung aus natürlicher Radioaktivität im Boden und kosmischer Strahlung verursacht (0,4 bis 0,45 mSv/Jahr externe Strahlung Boden und etwa 0,3 mSv/Jahr kosmische Strahlung). Dieser Wert ist über die Jahre stabil. Diese Werte werden auch durch den Betreiber der TLD-Messungen bestätigt.

Die Schwankungen in den Dosisleistungsmessungen – über die Zeit und an verschiedenen Orten – sind ausschließlich auf natürliche Schwankungen zurückzuführen, d. h. die Auswirkungen des Betriebs des KKW Doel, einschließlich der Ableitungen unter normalen Bedingungen, sind nicht beobachtbar und liegen daher weit unter der durchschnittlichen natürlichen Dosisleistung und auch weit unter den natürlichen Schwankungen, die beobachtet werden können. Dies ist auch bei kontinuierlichen Messungen, wie sie z. B. im Rahmen von Feldübungen

zur Messung von Teams für die Notfallplanung durchgeführt werden, deutlich sichtbar (siehe auch Abschnitt 3.8). Abbildung 37 unten zeigt die Ergebnisse einer Messkampagne in der Umgebung von Doel, die im Jahr 2020 durchgeführt wurde. Diese Messungen stimmen vollständig mit den Messungen aus dem Überwachungsprogramm überein. Die beobachteten Schwankungen sind auf Unterschiede in der natürlichen Radioaktivität in der Umgebung, der natürlichen Radioaktivität in Baumaterialien und den für den Straßenbelag verwendeten Materialien zurückzuführen (z. B. sehr gut sichtbare natürliche Erhöhungen bei der Pflasterung mit bestimmten Arten von Pflastersteinen). Während der Messkampagne wurden keine künstlichen Radionuklide beobachtet.

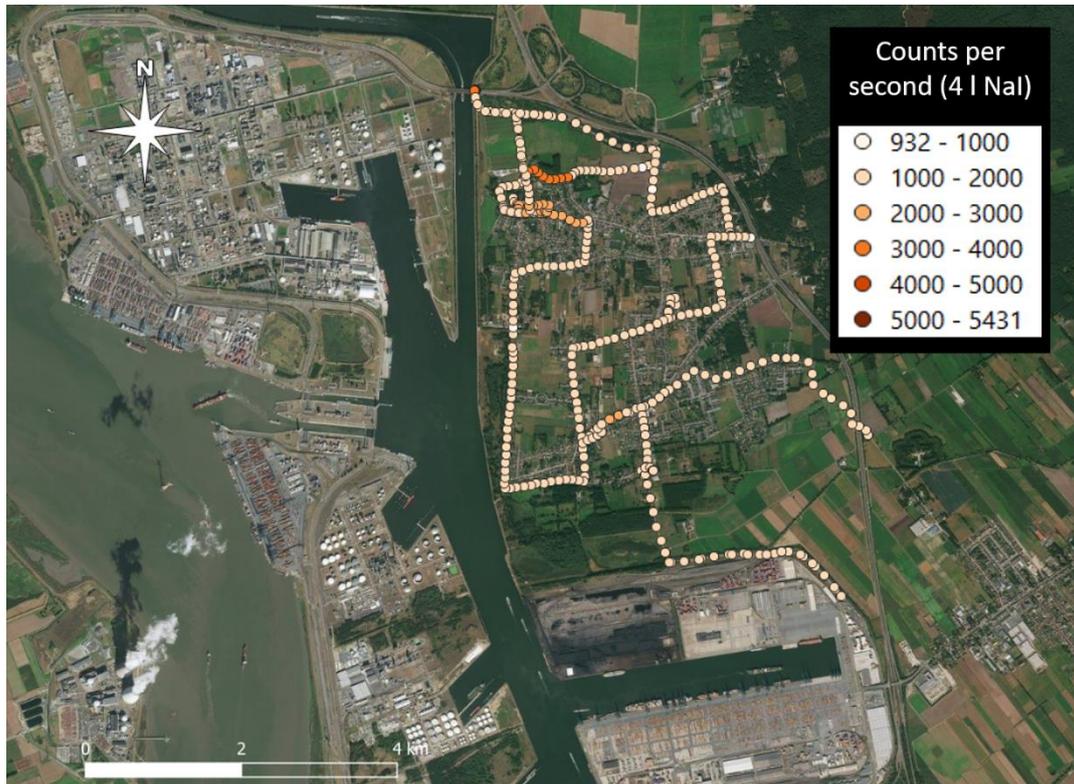


Abbildung 37: Messkampagne mit einem großvolumigen Detektor im Fahrzeug, die in der Region nordöstlich des KKW Doel durchgeführt wurde (Messungen SCK CEN, 2020). Die Einheiten in der Legende sind detektorspezifisch und zeigen nur relative Unterschiede. Normale Dosisleistungen werden über den gesamten Bereich gemessen. (Hintergrundkarte: Bing VirtualEarth).

Das diskontinuierliche Programm, das durch Probenahme und Laboranalyse eine höhere Empfindlichkeit für die Erkennung von potentiellen künstlichen Radionukliden um das KKW Doel hat, zeigt:

- in erster Linie das große Übergewicht der natürlichen Radioaktivität;
- bezüglich der künstlichen Radioaktivität, dass Spuren von Cs-137 im Boden gemessen werden können (3,5 Bq/kg im Jahr 2019^[xiii]), die fast ausschließlich auf den Unfall von Tschernobyl und auf den Fallout der Atomtests in der Atmosphäre zurückzuführen sind (die in den 1960er Jahren ihren Höhepunkt erreichten). Die im Gebiet von Doel gemessenen Konzentrationen sind durchschnittlich für die in Belgien. Aufgrund der unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen (Regen) beim Vorbeiziehen der radioaktiven Wolke nach dem Tschernobyl-Unfall können in Belgien räumliche Unterschiede beobachtet werden. Dies ist in Abbildung 38 abgebildet;
- dass die künstlichen transuranischen Alpha-Strahler (Pu und Am) ihrerseits nicht messbar sind.

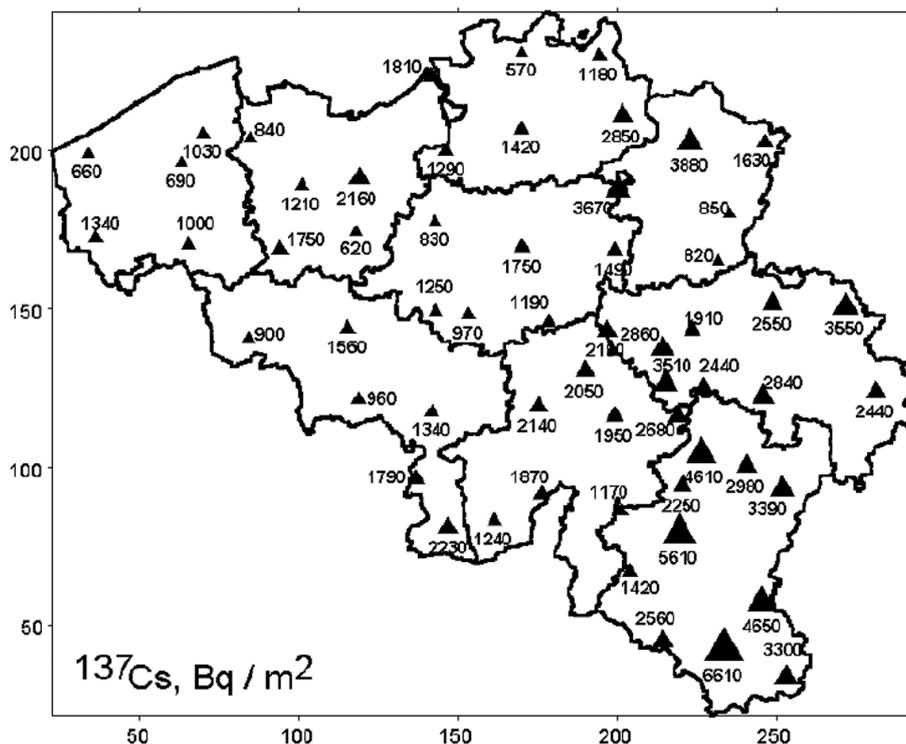


Abbildung 38: Cs-137-Konzentrationen in Bq/m² gemessen in einer Kampagne 10 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall. Damals wurden in der Umgebung des KKW Doel 1.810 Bq/m² Cs-137 gemessen, ein Durchschnittswert für Belgien^{biv}.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Kernkraftwerk Doel weder signifikante messbare radiologische Auswirkung auf die Umwelt durch atmosphärische Ableitungen noch signifikante messbare radiologische Auswirkungen auf die Schelde hat. Eine Analyse der Messergebnisse in der Umgebung des KKW Doel ist immer repräsentativ für alle Aktivitäten auf dem Gelände. Die Schlussfolgerungen gelten daher insbesondere auch für Doel 1 und 2.

3.4.3 Auswirkungen aufgrund von Berechnungen und Messungen

Der aktuelle radiologische Status und die Auswirkungen der Aktivitäten des Geländes des KKW Doel sind durch die Kombination aus Überwachung der Ableitungen in Verbindung mit Dosiswirkungsberechnungen und der Überwachung der Radioaktivität und Strahlung in der Umgebung des KKW Doel sehr gut charakterisiert. Eine zusammenfassende Übersicht finden Sie in Abbildung 39.



Abbildung 39: Zusammenfassende Übersicht über die ergänzenden Überwachungsaktivitäten zur Nachverfolgung der radiologischen Auswirkungen.

Die Berechnungen, die auf der Überwachung der Ableitungen basieren, zeigen eine maximale Auswirkung, d. h. eine effektive Dosisbelastung für die am stärksten exponierte kritische Person von 0,02 mSv/Jahr^{lxv}. Diese Exposition ist auch über die Jahre stabil, wie in Abbildung 40 dargestellt wird. Diese konservativ berechnete effektive Dosis für die am stärksten exponierte Person ist 50-mal niedriger als der Dosisgrenzwert für die Öffentlichkeit, der bei 1 mSv/Jahr liegt.

Auch die Überwachung der Umgebung zeigt, dass das KKW Doel keine messbaren radiologischen Auswirkungen auf seine Umgebung hat. Die Exposition in der Umgebung von Doel wird daher wie in anderen Teilen des Landes vollständig von der Exposition durch natürliche Radioaktivität dominiert. Folglich ist auch die Exposition durch radioaktive Ableitungen viel kleiner als die lokalen räumlichen Schwankungen der natürlichen Radioaktivität und Exposition. Der sehr begrenzte Beitrag künstlicher oder vom Menschen verursachter Radioaktivität in der Umgebung des KKW Doel stammt hauptsächlich aus dem radioaktiven Fallout der oberirdischen Atombombentests (1950-60) und dem Tschernobyl-Unfall (1986).

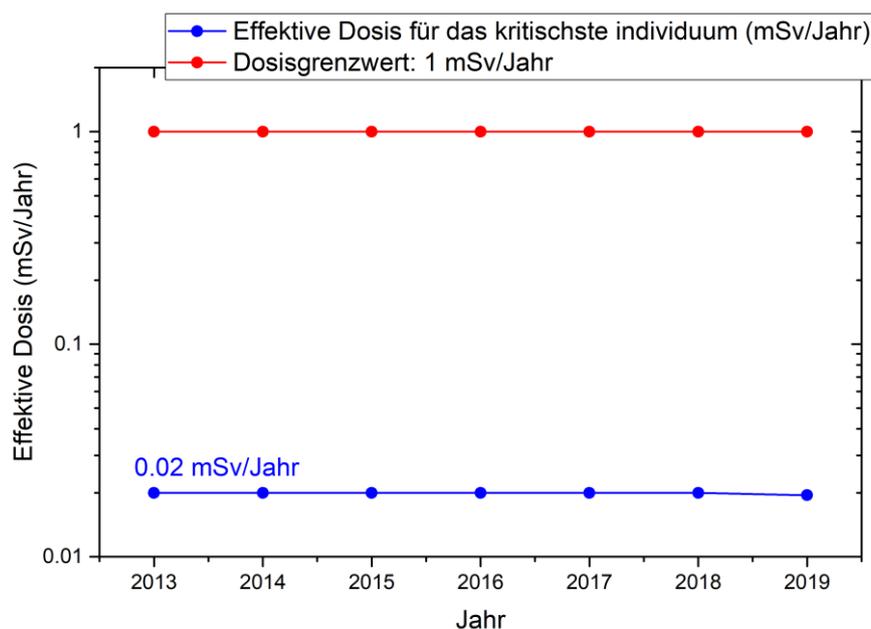


Abbildung 40: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Doel, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Ableitungen^{lxvi}. Zum Vergleich wird der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung angezeigt.

Der Vollständigkeit halber möchten wir eine Studie von Sciansano^{lxvii} erwähnen, in der die (erhöhte) Inzidenz von akuter Leukämie bei Kindern zwischen 0 und 14 Jahren in der Umgebung von belgischen kerntechnischen Anlagen untersucht wurde. In der Umgebung des KKW Doel wurde kein erhöhtes Auftreten beobachtet. Akute Leukämie kann unter anderem infolge der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung entstehen. Wegen der relativ kurzen Latenzzeit und der besonderen Anfälligkeit von Kindern wird das Auftreten von akuter Leukämie bei Kindern in der Umgebung von Kernkraftwerken am häufigsten, auch international, in epidemiologischen Studien untersucht. Die Ergebnisse solcher epidemiologischer Studien, wie die von Sciansano, sollten jedoch mit größter Vorsicht interpretiert werden. Es handelt sich dabei um ökologische Studien, die deskriptiver Art sind und keine Verbindung zwischen den Variationen des Auftretens und ihrer Ursache zulassen. Zudem liefern sie keine Informationen auf individueller Ebene. Zu einem früheren Zeitpunkt wurde eine ähnliche Studie durchgeführt, um die Inzidenz von Schilddrüsenkrebs zu untersuchen^{lxviii}. Auch in dieser Studie wurde keine erhöhte Inzidenz um das KKW Doel herum beobachtet.

Darüber hinaus ist auf der Grundlage der tatsächlichen radioaktiven Ableitungen (Referenz FANK), der Auswirkungen der Dosis auf die Bevölkerung und der kontinuierlichen Messungen der Strahlung und Radioaktivität in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen wie der des KKW Doel kein Anstieg der Inzidenz von akuter Leukämie bei Kindern zu erwarten. Darüber hinaus sind die Schwankungen der individuellen Exposition aufgrund der natürlichen Exposition, des Lebensstils (Ernährung, Reisen usw.) und medizinischer Anwendungen ionisierender Strahlung um ein Vielfaches größer als die Exposition durch Ableitungen während des Normalbetriebs von Kernkraftwerken.

3.4.4 Radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente

3.4.4.1 Arten von radioaktivem Abfall

Der Betrieb des Kernkraftwerks (Normalbetrieb) geht mit der Produktion verschiedener Arten von radioaktivem Abfall einher, dessen Volumen durch die Behandlung im Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB) so weit wie möglich minimiert wird (Informationen der Electrabel AG):

- Brennbare Abfälle

Nach der Volumenreduzierung im WAB wird der brennbare Abfall als nicht konditionierter Abfall zur Verbrennung zu Belgoprocess transportiert. Bei Belgoprocess wird der Abfall durch Verbrennung weiter stark reduziert. Die Restfraktion (Asche), die die gesammelten radioaktiven Stoffe enthält, wird konditioniert.

- Nichtbrennbare Abfälle

Nichtbrennbare oder verdichtbare Abfälle werden in mehrere Abfallströme unterteilt. Unter anderem werden die verschiedenen Metalle von den anderen verschiedenen verdichtbaren Abfällen getrennt, mit dem Ziel, jeden einzelnen Abfallstrom bestmöglich zu reduzieren. In den KKW-Doel-Anlagen wird der verdichtbare Abfall zunächst gepresst (mit einer 16-Tonnen- oder 100-Tonnen-Presse) und anschließend als unkonditionierter Abfall zu Belgoprocess transportiert. Dort wird es in den Anlagen mit einer 2.000-Tonnen-Presse ein zweites Mal gepresst. Der verdichtete Abfall wird anschließend konditioniert.

- Filter

Um möglichst viele radioaktive Partikel aus der Luft zu entfernen, wird die Luft aus der kontrollierten Zone kontinuierlich durch Vorfilter, Aktivkohlefilter (für Jod) und Absolutfilter gefiltert. Auch die BelüftungsfILTER aus diesen Anlagen werden je nach ihren physikalischen Eigenschaften als brennbarer oder verdichtbarer Abfall aufbereitet und als unkonditionierter Abfall zu Belgoprocess transportiert.

Die Flüssigkeitsfilter aus den Kreisläufen des nuklearen Teils der Anlagen werden, wenn möglich, ebenfalls in einer Betonmischung zusammengepresst und konditioniert.

- Flüssige Abfälle

Das Volumen des radioaktiven Flüssigabfalls wird hauptsächlich durch Verdampfung reduziert. Die in der Flüssigkeit vorhandenen radioaktiven Stoffe werden im „Konzentrat“ gesammelt, und der nichtradioaktive Teil der Flüssigkeiten, die Kondensate, können nach vorheriger Kontrolle abgeleitet werden. Das „Konzentrat“ wird in der Konditionierungsanlage von Doel zu konditioniertem Abfall weiterverarbeitet. Nach Annahme³⁴ durch die NIRAS wird der konditionierte Abfall zur Entsorgung zu Belgoprocess transportiert.

- Harze

Radioaktive Harze aus Ionenaustauschern, die für die Reinigung von Kreisläufen verwendet werden, werden nicht verdichtet, sondern wie das Konzentrat zu konditioniertem Abfall verarbeitet. Die Harze werden mit einer Betonmischung vermischt.

- Schutzkleidung

Die Verwendung von Einweg-Schutzkleidung (radioaktiver Abfall) wird in den nuklearen Teilen der Anlage durch den Einsatz waschbarer Schutzkleidung so weit wie möglich eingeschränkt. Diese wiederverwendbare persönliche Schutzausrüstung (PSA) wird in der Spezialwäscherei des WAB-Gebäudes gereinigt. Das Wäschewasser wird nach Filterung und vorheriger Kontrolle abgeleitet.

3.4.4.2 Schwach- und mittelradioaktive Abfälle

Nach der Behandlung der verschiedenen Abfallströme im WAB werden die Betriebsabfälle vom KKW Doel zur weiteren Verarbeitung und/oder Lagerung zu Belgoprocess (BP) transportiert. Eine Übersicht über die Mengen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen (sowohl konditionierte als auch unkonditionierte) und die daraus resultierenden Volumen, die nach der Verarbeitung bei BP entsorgt werden müssen, sind in Tabelle 40 dargestellt. Diese Daten wurden auf der Grundlage der Umwelterklärung des KKW Doel zusammengestellt, die jährlich aktualisiert wird^{lxix}. Es wird nicht zwischen Abfällen der Kategorie A und der Kategorie B unterschieden.

Tabelle 40: Jährliche Mengen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, die zu Belgoprocess transportiert werden, und die daraus resultierenden zu entsorgenden Mengen nach der hiesigen Verarbeitung^{lxix}. GA: konditionierter Abfall; NGA: nicht konditionierter Abfall; NB: Daten nicht verfügbar. Im Jahr 2014 wurde eine Korrektur der Vorjahreswerte vorgenommen; die korrigierten Werte wurden hier übernommen. Ab 2015 wird das Volumen nach einer anderen Methodik berechnet: Die Volumen der unkonditionierten Harze werden ebenfalls berücksichtigt.

	Menge (m³) an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, die zu BP transportiert wurden (GA + NGA)	Volumen (m³) der zu entsorgenden schwach- und mittelradioaktiven Abfälle (GA)
2010	NB	202
2011	NB	196
2012	NB	124,7
2013	NB	125,9
2014	NB	46,8
2015	NB	108,2
2016	NB	100,5
2017	NB	95,1
2018	183,9	91,1

³⁴ Die Annahme ist die Gesamtheit der Kontrollen, die von der NIRAS durchgeführt werden, um zu prüfen, ob der Abfall die geltenden Annahmekriterien erfüllt.

2019	372	61,9
Langjähriger Durchschnitt		115

Zu Überprüfungszwecken werden die oben genannten Daten mit den Informationen der FANK^{bx} verglichen, an die die Electrabel AG die jährlichen Mengen an konditioniertem Abfall meldet. Diese Daten werden als gleitende 3-Jahres-Durchschnitte des Produktionsäquivalents von konditioniertem Abfall pro erzeugter Nettoenergieeinheit ausgedrückt. Durch Multiplikation mit der Nettostromproduktion des Kernkraftwerkes erhält man einen Näherungswert für die jährliche Menge an konditioniertem Abfall. Diese Methode führt zu einer etwas höheren Schätzung der durchschnittlichen Menge an konditioniertem Abfall (Tabelle 41).

Tabelle 41: Geschätzte Menge des jährlich im KKW Doel anfallenden konditionierten Abfalls (GA) auf der Grundlage der von der FANK bereitgestellten Daten.

	Netto-Stromerzeugung (TWh)	GA-Produktionsäquivalent (3 Jahre gleitender Durchschnitt) (m³/TWh)	Geschätzte GA-Produktion (m³)
2009	21,24	5,64	119,7
2010	22,03	6,77	149,2
2011	22,79	7,57	172,6
2012	18,22	8,97	163,4
2013	20,72	8,76	181,5
2014	14,04	7,14	100,2
2015	11,05	10,16	112,2
2016	22,07	5,12	113,0
2017	20,68	5,63	116,4
2018	11,92	10,05	119,7
Langjähriger Durchschnitt			134,8

Auf der Grundlage dieser Tabellen wird von Produktionsmenge für das Kernkraftwerk Doel von konditioniertem Abfall in einer Größenordnung von ungefähr 120 m³/Jahr ausgegangen. Dies betrifft schwach- und mittelradioaktive Abfälle ohne Unterscheidung zwischen Abfällen der Kategorie A und B.

3.4.4.3 Brennelemente

Im Kernkraftwerk wird Strom durch die Energie erzeugt, die durch die Spaltung des in den Brennelementen enthaltenen Uran-235 freigesetzt wird. Nach drei bis vier Jahren im Reaktorkern ist ein Brennelement erschöpft, d. h. die gesamte nutzbare Energie ist aufgebraucht. Diese verbrauchten Brennelemente werden unter Wasser abgekühlt (in der Regel 5 bis 10 Jahre lang) und dann in das Lagergebäude für abgebrannte Brennelemente (kurz: SCG, auf dem Gelände des Kernkraftwerks) transportiert, bis eine Entscheidung über die langfristige Entsorgung getroffen wird^{lxix}. Das SCG ist eine Anlage zur trockenen Lagerung von Brennelementen in Behältern vom Typ Dual Purpose Cask (DPC). Diese Art der Verpackung wird seit Ende der 1970er Jahre verwendet und arbeitet mit einem passiven Kühlsystem. Im Fall des Kernkraftwerks Doel sind diese mit einem Primärdeckels und einem Raketenschutz ausgestattet. Die Dichtheit der Nähte, die den Einschluss des radioaktiven Materials gewährleisten, wird kontinuierlich überwacht. Die Sicherheit von Lagern für abgebrannte Brennelemente wurde anhand von Widerstands- oder Stresstests neu bewertet, die nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima auferlegt wurden.

Diese Bewertungen haben gezeigt, dass die extremen Naturphänomene (Erdbeben oder Überschwemmungen), die in Belgien auftreten könnten, die Sicherheit der Lagereinrichtungen nicht gefährden können.

Die derzeitige Lagerkapazität innerhalb des SCG (maximal 165 Brennstoffbehälter) wird voraussichtlich nach 2024 gesättigt sein. Um die abgebrannten Brennelemente aus den Reaktoren des KKW Doel weiterhin zwischengelagern zu können, werden durch das Projekt „Spent Fuel Storage Facility“ (SF²) neue Lagerkapazitäten geschaffen, für die derzeit die Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens vorbereitet wird^{lxix}. Das Projekt SF² sieht den Bau von 3 Gebäuden vor: SFB – das Hauptgebäude für die Lagerung von abgebrannten Brennelementen in Behältern, ebenfalls vom Typ DPC, AUX – das Hilfsgebäude und ASB – das Ausrüstungslagergebäude. Das SF²-Projekt ermöglicht es, die Abschalt docks von Kernkraftwerken nach der endgültigen Abschaltung der Blöcke zu leeren^{lxix}.

Die Menge des in einem Kernkraftwerk anfallenden hochradioaktiven Abfalls hängt sehr stark von der erzeugten Strommenge und dem Nachladezyklus der Einheit ab. Tabelle 42 zeigt die Anzahl der Brennelemente, die jedes Jahr in den verschiedenen Reaktorblöcken dauerhaft entladen wurden, basierend auf Daten in der Umwelterklärung des KKW Doel^{lxix}. Die gleichen Informationen sind in Tabelle 43 dargestellt, ausgedrückt in tSM (Tonnen Schwermetall).

Tabelle 42: Anzahl der dauerhaft entladenen Brennelemente in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Doel 1 & 2	KKW Doel insgesamt
2011	32	28	44	52	60	156
2012	36	32	44	60	68	172
2013	0	32	0	0	32	32
2014	36	28	0	56	64	120
2015	60	0	44	52	60	156
2016	28	40	40	0	68	108
2017	28	32	0	60	60	120
2018	0	28	40	56	28	124
2019	24	28	40	0	52	92
Langjähriger Durchschnitt					55	120

Tabelle 43: Anzahl der Tonnen Kernbrennstoff (tSM oder Tonne Schwermetall), die in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel endgültig entsorgt wurden.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Doel 1 & 2	KKW Doel insgesamt
2011	8,5	7,4	20,2	28,1	15,9	64,2
2012	9,5	8,5	20,2	32,4	18,0	70,7
2013	0,0	8,5	0,0	0,0	8,5	8,5
2014	9,5	7,4	0,0	30,2	17,0	47,2
2015	15,9	0,0	20,2	28,1	15,9	64,2
2016	7,4	10,6	18,4	0,0	18,0	36,4
2017	7,4	8,5	0,0	32,4	15,9	48,3
2018	0,0	7,4	18,4	30,2	7,4	56,1
2019	6,4	7,4	18,4	0,0	13,8	32,2

Langjähriger Durchschnitt					14,5	47,5
---------------------------	--	--	--	--	------	------

Anhand der obigen Tabellen ist ersichtlich, dass die zusätzliche Jahresproduktion in den Kraftwerken Doel 1 und 2 einen durchschnittlichen Mehrverbrauch von 55 Brennelementen bzw. 14,5 tSM Kernbrennstoff ausmacht.

3.5 Auswirkungen im Fall der Abschaltung

3.5.1 Normalbetrieb

Im Falle der Abschaltung von Doel 1 und 2 würden die mit dem Betrieb dieser Blöcke für die Energieerzeugung verbundenen radioaktiven Ableitungen wegfallen. In der Nachbetriebsphase und der Stilllegung kann es eventuell noch zu begrenzten Ableitungen kommen, was jedoch außerhalb des Rahmens der vorliegenden UVP liegt, und diese werden im Falle einer verschobenen Abschaltung, aber mit Abschaltung im Jahr 2025, ähnlich wie in der Nachbetriebsphase und der Stilllegung sein. Allerdings werden nach dem Betrieb zur Energieerzeugung sehr begrenzte Radioaktivitätswerte aufgrund der Akkumulation von langlebigen Radionukliden während der Laufzeit von Doel 1 und 2 in der Umwelt verbleiben, zusammen mit denen von Doel 3 und 4 (siehe für Cs-137 Abschnitt 3.6.1.1). Diese Radioaktivitätswerte sind jedoch kaum messbar und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und nicht-menschliche Biota sind völlig vernachlässigbar. Die Abschaltung bedeutet auch, dass keine neuen (betriebsfähigen) radioaktiven Abfälle oder abgebrannten Brennelemente entstehen.

3.5.2 Unfälle

Im Falle der Abschaltung von Doel 1 und 2 beschränken sich die Unfallrisiken auf Unfälle bei der Entfernung und dem Transport der Brennelemente aus dem Reaktor und den Brennstoffdocks. Abhängig von der Abkühlzeit zwischen der letzten Bestrahlung der Brennelemente und ihrer Entfernung kann der Quellterm einen unterschiedlichen Isotopeninhalt aufweisen. Der Inhalt der beiden Reaktoren wird keine schwerwiegenden Unfälle verursachen als im Falle einer verschobenen Abschaltung.

3.6 Auswirkungen im Fall des Aufschubs der Abschaltung

3.6.1 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

3.6.1.1 Normalbetrieb

Bei einem Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 werden die mit dem normalen Betrieb dieser beiden Blöcke verbundenen gasförmigen und flüssigen Ableitungen bis 2025 weiterhin stattfinden. Die Ableitungen werden vollständig durch den Betrieb der Anlagen bestimmt und hängen mit der Wärmeleistung und der Behandlung der flüssigen und gasförmigen Ableitungen zusammen. Da im Rahmen des integrierten Aktionsplans für den Betrieb nach 2015 (Zehnjährliche Sicherheitsüberprüfung, Long Term Operation und BEST-Maßnahme - Stresstests) keine grundlegenden Änderungen am Betrieb der Anlage vorgenommen wurden, wie z. B. eine thermische Leistungserhöhung, kann davon ausgegangen werden, dass sowohl die atmosphärischen als auch die flüssigen radioaktiven Ableitungen unter den gleichen Bedingungen und in sehr ähnlichen Mengen wie in den Vorjahren und wie in Abschnitt 3.4 (aktuelle Situation) beschrieben abgeleitet werden.

Die Ableitungen werden weiterhin kontinuierlich überwacht, müssen nach den Richtlinien der FANK gemeldet werden und werden von der FANK und Bel-V kontrolliert. Diese Überwachung und Kontrolle stellt sicher, dass die Ableitungsgrenzwerte nicht überschritten werden. Diese Werte, wie in der Methodik (Abschnitt 3.3) beschrieben, stellen sicher, dass die radiologischen Auswirkungen begrenzt sind und sicher nicht den Wert von 1 mSv/Jahr effektive Dosis für die am meisten exponierte Person erreicht.

Die radiologische Auswirkung sowohl der atmosphärischen als auch der flüssigen Ableitungen für den gesamten Standort des KKW Doel wird daher im Falle einer Abschaltung von Doel 1 und 2 ähnlich bleiben und etwa 0,02 mSv/Jahr für die am stärksten exponierte Person betragen.

Darüber hinaus sorgt das Überwachungsprogramm in der Umgebung des KKW Doel, das einerseits von der FANK und andererseits vom Betreiber durchgeführt wird, für eine kontinuierliche Überwachung der Strahlungs- und Radioaktivitätswerte in der Umgebung des Kraftwerks. Neben der Überwachung der potenziellen Dosis über die verschiedenen Expositionspfade pro Jahr kann auch die potenzielle Akkumulation einer Reihe von künstlichen Radionukliden in der Umwelt überwacht werden. Durch den Betrieb von Kernkraftwerken über ihre gesamte Laufzeit hinweg können sich bestimmte Radionuklide mit ausreichend langen Halbwertszeiten im Boden anreichern. In Abbildung 41 ist dies unter einfachen Annahmen für die Akkumulation von Cs-137 im Boden nach Ablagerung bei atmosphärischen Ableitungen dargestellt (es wurde eine durchschnittliche maximale Ablagerung pro Jahr entsprechend den durchschnittlichen Ableitungen pro Jahr verwendet). Auf diese Weise erhalten wir die Akkumulation von Cs-137 in Abhängigkeit von der Betriebszeit des KKW Doel (die grauen Linien in der Abbildung zeigen dies für den individuellen Beitrag der verschiedenen Blöcke Doel 1 bis 4). Betrachtet man die Halbwertszeit von Cs-137 ($T_{1/2} = 30,05$ Jahre), so sieht man nach der Inbetriebnahme der verschiedenen Blöcke (Jahre 1975–1986) eine ansteigende Kurve (Akkumulation), die sich mit fortschreitender Zeit leicht zu krümmen beginnt (dies kommt durch ein sich einstellendes Gleichgewicht zwischen den zusätzlichen Anlagerungen pro Jahr und dem radioaktiven Zerfall). Ab 2016 sehen wir zwei verschiedene Kurven: eine für die verschobene Abschaltung im Jahr 2015 und eine für die Abschaltung im Jahr 2015 von Doel 1 und 2. Im Falle einer Abschaltung beginnt die Cs-137-Konzentration aufgrund des radioaktiven Zerfalls sofort zu sinken, was wichtiger ist als die Cs-137-Ablagerung durch Doel 3 und 4. Im Falle einer Verschiebung der Abschaltung steigt die Kurve bis 2026 weiter an und beginnt danach zu sinken, was ausschließlich durch den radioaktiven Zerfall bedingt ist. Bei den Berechnungen haben wir angenommen, dass Doel 3 bis Ende 2022 und Doel 4 bis 2025 in Betrieb bleiben. Es ist auch wichtig, die Größe des Effekts zu betrachten. Der maximale Unterschied zwischen der verschobenen Abschaltung und der Abschaltung im Jahr 2025 beträgt etwa $2,7 \text{ Bq/m}^2$ Cs-137. Die absoluten Werte sind mit einer Oberflächenkontamination von 1.810 Bq/m^2 Cs-137 zu vergleichen, wie sie z. B. 1996 mittels Gammaskpektrometrie vor Ort gemessen wurde (im Jahr 2025 nach Korrektur für den radioaktiven Zerfall noch etwa 900 Bq/m^2). Dies ist ein Durchschnittswert für Belgien und ist auf den Unfall von Tschernobyl (1986) und die oberirdischen Atombombentests zurückzuführen, die vor allem in den Jahren 1950–60 durchgeführt wurden. Diese Anreicherung wird auch im Überwachungsprogramm verfolgt, das sowohl Böden und Sedimente auf diese Radionuklide, aber auch Bioindikatoren, die Radioaktivität gezielt anreichern, beprobt und analysiert. Mit anderen Worten, der Effekt der Akkumulation von Cs-137 im Boden und damit sicherlich der Unterschied zwischen Abschaltung oder verschobener Abschaltung im Jahr 2015 ist nicht wahrnehmbar. Bei kurzlebigen Nukliden findet über einen langen Zeitraum keine Akkumulation statt, da sich sehr schnell ein Gleichgewicht zwischen Ablagerung und Zerfall einstellt. Auch beim langlebigen Kohlenstoff-14 (C-14, $T_{1/2} = 5.700$ Jahre) wird keine signifikante Anreicherung stattfinden (relativ gut durch Beobachtungen gestützt), da man davon ausgeht, dass sich ein Gleichgewicht zwischen Luft- und Bodenkonzentrationen einstellt^{lxvii}.

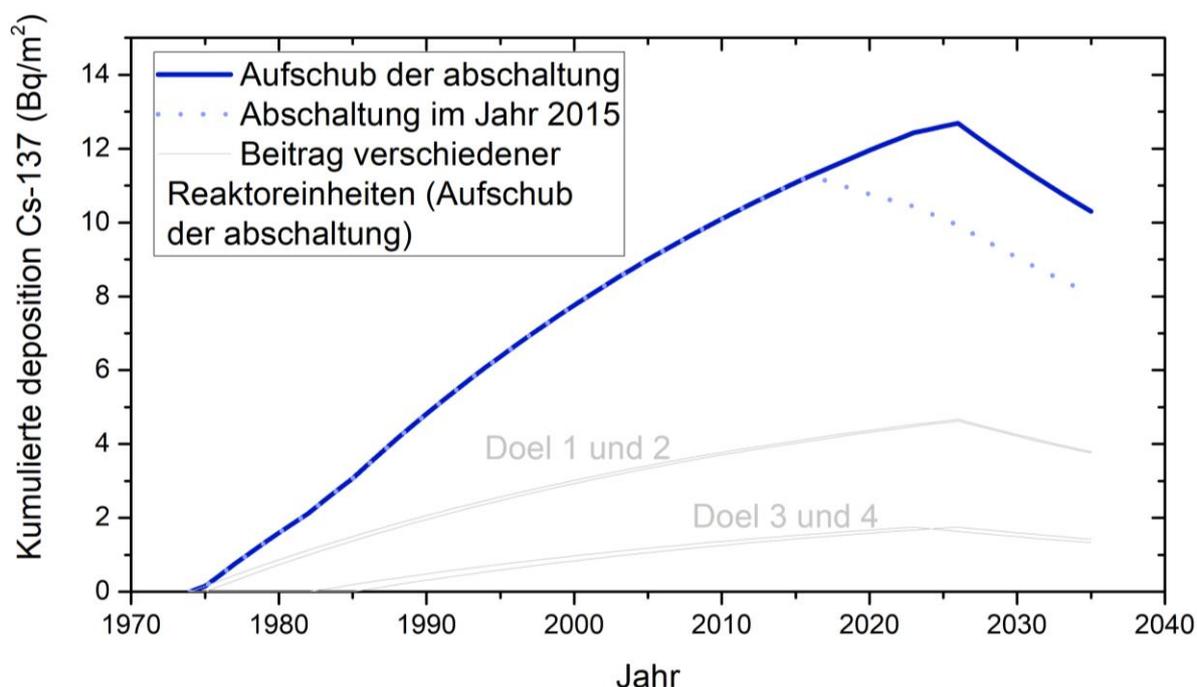


Abbildung 41: Akkumulation der maximalen Deposition von Cs-137 in Bq/m² über die Laufzeit des KKW Doel mit Abschaltung im Jahr 2015 von Doel 1 und Doel 2 und Aufschub der Abschaltung bis 2025 von Doel 1 und Doel 2. Der Beitrag der verschiedenen Reaktoreinheiten bei verschobener Abschaltung ist ebenfalls dargestellt.

3.6.1.2 Unfälle

In diesem Abschnitt werden die radiologischen Auswirkungen von Unfällen im KKW Doel (1 und 2) auf die menschliche Gesundheit in Belgien diskutiert. In einem ersten Teil werden die Reaktoren des KKW Doel im Kontext von Kernkraftwerken weltweit sowie von historischen Unfällen mit ähnlichen Reaktoren diskutiert. Anschließend werden die verschiedenen Szenarien, die für Doel 1 und 2 betrachtet wurden, und ihre berechneten Auswirkungen diskutiert. [Referenz UVP-Arbeiten]

Bei Doel 1 und 2 handelt es sich um Kernkraftwerke des Typs „Pressurised Light-Water Moderated and Cooled Water Reactor“ (Druckleichtwasser-Moderations- und Kühlwasserreaktor, kurz: DWR). Seit dem ersten großen DWR-Kernkraftwerk, der „Shippingport Atomic Power Station“ in den USA, im Jahr 1957^{lxiii}, wurde weltweit eine ganze Flotte von DWR-Kernkraftwerken gebaut. Ende 2019 gab es weltweit 361 bestehende DWR-Kernkraftwerke (sowohl in Betrieb als auch nicht in Betrieb), basierend auf den von der IAEO verfügbaren Daten^{lxiv}. Diese weltweite Flotte von DWR ist nach den im IAEO PRIS^{lxv} verfügbaren Daten seit der Inbetriebnahme des ersten DWR insgesamt 7.806 Jahre in Betrieb gewesen. In diesen Betriebsjahren hat es einen Unfall mit einem DWR gegeben, nämlich mit dem Reaktor 2 des Kernkraftwerks „Three Mile Island“ (TMI) in den USA im Jahr 1979. Nach der INES-Skala (International Nuclear and Radiological Event Scale), die erst 1990 entwickelt wurde, wäre dieser Unfall in die INES 5 eingestuft worden.

Die INES-Skala wurde 1990 von der IAEO und der OECD/NEA nach dem Tschernobyl-Unfall entwickelt und ist ein Instrument, um der Öffentlichkeit die Bedeutung der Sicherheit von nuklearen und radiologischen Ereignissen zu vermitteln. INES 1 bis 3 beziehen sich auf Störungen, während INES 4 bis 7 sich auf Unfälle beziehen^{lxvi}.

Der Unfall am 28. März 1979 im Kernkraftwerk TMI war der schwerste nukleare Unfall in einem DWR. Bei diesem Unfall kam es zu einer Kernschmelze, es gab keine Todesopfer oder Verletzten und die radioaktive Kontamination war begrenzt. Die Ursachen, die zur Kernschmelze von Block 2 des Kernkraftwerks (TMI-2) führten, sind eine Abfolge von Konstruktionsfehlern, menschlichen Fehlern und Hardwarefehlern. Schließlich kam es weder zu einer Explosion noch einem Brand und der Reaktoreinschluss wurde aufrechterhalten. Die radioaktiven Ableitungen hatten

vernachlässigbare Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt (siehe z. B. ^{lxxvii}, ^{lxxviii} und ^{lxxix}). Nachdem diese gerade noch abgewendete Katastrophe untersucht worden war, wurden die Anforderungen an die Konstruktion, die Kontrollsysteme, die Schulung des Personals und die Notfallverfahren stark verschärft und verbessert.

Wie in Abschnitt 3.3.2 Störfallszenarien beschrieben, wurden für Doel 1 und 2 zwei Auslegungsstörfallszenarien^{lxxx} und ein Szenario eines auslegungsüberschreitenden Unfalls^{lxxxi} betrachtet. Die beiden Auslegungsstörfälle und zwar (i) ein Hauptleitungsbruch („Loss Of Coolant Accident“, kurz: LOCA) und (ii) das Herabfallen eines bestrahlten Brennelementes („Fuel Handling Accident“, kurz: FHA), wurden bei der Auslegung beschrieben und ihre radiologischen Auswirkungen wurden in der Vergangenheit (erstmalig 1972) bewertet^{lv}. Im Rahmen der integrierten Aktionspläne für den Langzeitbetrieb wurde in beiden Blöcken eine neue Komponente, das Containment Filtered Venting System (CFVS), installiert, die sich auf die radiologischen Auswirkungen des LOCA-Unfalls auswirkt. Die radiologischen Auswirkungen beider Szenarien liegen an der Standortgrenze des KKW Doel unterhalb der in den allgemeinen Angaben für das KKW Doel gemäß Art. 37 der Römischen Verträge festgelegten Genehmigungsgrenzen^{lv}.

Der auslegungsüberschreitende Unfall wurde kürzlich beschrieben und seine radiologischen Auswirkungen bewertet [UVP-Arbeiten]. Das Szenario berücksichtigt einen kompletten Stromausfall („Complete Station Black Out“, kurz: CSBO), der eine Kernschmelze und ein Versagen des Reaktorbehälters verursacht, gefolgt von einem Unter-Druck-Setzen des Sicherheitsbehälters über den Auslegungsdruck hinaus. Anschließend wird die Radioaktivität über das CFVS in die Umgebung abgeleitet [UVP-Arbeiten]. Dieses Szenario ist ein DEC-B-Unfall, der fast alle möglichen DEC-B-Szenarien und auch alle DEC-A-Bedingungen abdeckt. Wenn dieser Unfall eintritt, wäre die daraus resultierende Ableitung in die Atmosphäre ähnlich der Ableitung während des TMI-Unfalls, da das CFVS-System größtenteils nur Edelgase durchlässt. Die daraus resultierenden radiologischen Auswirkungen hängen vom Quellterm selbst, aber auch von den Ableitungseigenschaften und den Wetterbedingungen ab. Die berechnete radiologische Auswirkung zeigt, dass die Auswirkung am Rand des KKW Doel unter dem Genehmigungsgrenzwert für Unfälle bleibt, wie er in den allgemeinen Daten für das KKW Doel gemäß Art. 37 der Römischen Verträge definiert ist [UVP-Arbeiten].

Wenn die Abschaltung von Doel 1 und 2 verschoben wird, ist das Risiko eines Unfalls im Zeitraum 2015-2025 eindeutig größer als bei der Abschaltung von Doel 1 und 2, und dies gilt aufgrund des Weiterbetriebs der beiden Reaktoren auch für den gesamten Standort des KKW Doel. In Anbetracht der im Rahmen des LTO- und BEST-Projekts durchgeführten Arbeiten ist jedoch festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen eines Unfalls seit 2019 in den Blöcken Doel 1 und 2 für die gleiche Menge an erzeugtem Strom geringer geworden sind als zuvor. Dies gilt auch für den gesamten Standort des KKW Doel, da die Störfallwahrscheinlichkeit und die möglichen radiologischen Auswirkungen der Blöcke Doel 3 und 4 sowie des WAB und des SCG im Betrachtungszeitraum gleich bleiben (bzw. ab 2022 aufgrund der Abschaltung von Doel 3 abnehmen).

Die Analyse der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Auswirkungen von Unfällen ist eine statistische Analyse, bei der nie ganz ausgeschlossen werden kann, dass es zu Unfällen kommt und die notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt getroffen werden müssen. In diesem Fall gilt der nukleare und radiologische Notfallplan für das belgische Gebiet (siehe 3.8).

3.6.2 Radiologische Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)

3.6.2.1 Auswirkungen auf Fauna und Flora bei Normalbetrieb

Wie bereits erwähnt, gibt es in Belgien keine Richtlinien oder gesetzlichen Rahmenbedingungen, um die Auswirkungen von Strahlung auf die Umwelt (Fauna und Flora) zu bewerten. Unsere Bewertung ist daher qualitativer Art.

In der Umgebung des Kernkraftwerks Doel gibt es mehrere wertvolle Naturschutzgebiete, die gesetzlich geschützt sind, wie z. B. das Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent und die niederländische Schutzzone Westerschelde und Saeftinghe (FFH-Gebiete). Beide Gebiete sind außerdem wichtige Vogelschutzrichtliniengebiete, die aus verschiedenen Feuchtgebieten wie sumpfigen Sümpfen, undurchlässigen Schilfgürteln, Schlick- und brackigen Salzwiesen bestehen. Das einzigartige Brackwasser-Ökosystem ist von entscheidender Bedeutung für brütende, überwinterte und durchziehende Wasservögel, einschließlich geschützter Arten wie Rohrweihe, Blaukehlchen und Säbelschnäbler (aufgeführt in Anhang I der Vogelschutzrichtlinie)^{lxxxii}. Es ist darüber hinaus ein Brutgebiet für verschiedene Fischarten und es sind zahlreiche weitere geschützte Pflanzen- und Tierarten vorhanden.

Auswirkungen von routinemäßigen Ableitungen

Im Zeitraum 2010-2011 wurden vom belgischen Studienzentrum für Kernenergie im Auftrag der Electrabel AG Studien durchgeführt, um die radiologischen Auswirkungen von atmosphärischen und flüssigen routinemäßigen Ableitungen auf die Umwelt zu bewerten.^{lxxxiii, lxxxiv, lxxxv} Für die Berechnungen wurde das ERICA-Tool (Environmental Risk from Ionising Contaminants Assessment and Management Tool), das Referenztool für Biota, verwendet^{lxxxvi}. Die potenzielle Auswirkung wird mithilfe eines Risikoquotienten (RQ) abgeschätzt, der als das Verhältnis der berechneten Dosisleistung (PEDR) und einer geschätzten Dosisleistung ohne Wirkung (PNEDR) als Screeningwert definiert ist. Der von ERICA vorgeschlagene Richtwert von $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ wurde als Referenzwert verwendet. Wie bereits erwähnt, wird bei solchen Dosisleistungen davon ausgegangen, dass die Ökosysteme geschützt sind.

Es wurden einerseits Auswirkungsanalysen für die atmosphärischen und flüssigen Ableitungsgrenzwerte des KKW Doel durchgeführt. Der Screeningwert von $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ wurde trotz zusätzlicher konservativer Annahmen, z. B. zur Ausbreitung der Radionuklide, nie überschritten. Die tatsächlichen Ableitungen betragen weniger als 1 % der Dosisgrenzwerte, die resultierenden Dosisleistungen waren um mehrere Größenordnungen niedriger als der Richtwert und die assoziierten RQ lagen $<< 0,01$.

Aus der Tatsache, dass die Ableitungen aus den Reaktorblöcken Doel 1 und 2 50-60 % der Ableitungen des gesamten Geländes des KKW Doel (bestehend aus 4 Reaktorblöcken) ausmachen, kann gefolgert werden, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass die routinemäßigen Ableitungen aus den Blöcken Doel 1 und 2 Auswirkungen auf die Umwelt und infolgedessen auf die biologische Vielfalt der nahe gelegenen FFH-Gebiete oder anderer (geschützter) Naturgebiete und Ökosysteme haben werden. Da die Ableitungen in den letzten zwei Jahrzehnten ziemlich stabil geblieben sind, kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Trend fortsetzt, wenn der Betrieb von Doel 1 und 2 von 2015 bis 2025 verlängert wird, und daher das zukünftige Risiko von Auswirkungen auf die Umwelt durch routinemäßige Ableitungen nicht gegeben ist. Diese Schlussfolgerung steht im Einklang mit dem OSPAR-Übereinkommen, zu dessen Hauptzielen der Schutz des Meeresgebiets vor den nachteiligen Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten gehört, um so die menschliche Gesundheit zu schützen und das Meeresökosystem zu erhalten.

3.6.2.2 Radiologische Auswirkungen auf Fauna und Flora bei Unfällen

Bezüglich der Unfallszenarien werden, wie zuvor beschrieben, drei Szenarien betrachtet, nämlich (1) ein Kühlmittelverlustunfall (Loss Of Coolant Accident, kurz: LOCA); (2) ein Brennelement-Handhabungsunfall (Fuel Handling Accident, kurz: FHA) und (3) ein Complete Station Black-Out (CSBO) eines der Reaktorblöcke. Bei den ersten beiden Unfallszenarien handelt es sich um Auslegungstörfälle (Design Basis Accident, kurz: DBA), beim

letzten Szenario um einen auslegungsüberschreitenden Unfall (Beyond Design Basis Accident, kurz: BDBA). Eine genauere Beschreibung dieser Szenarien finden Sie in Abschnitt 3.6.1.2.

In den DBA-Szenarien werden nur Edelgase und Jod-Radioisotope freigesetzt und nur die Jod-Isotope fallen aus. LOCA führt zu höheren Depositionswerten als FHA^{lxxxvi} (basierend auf einer geringeren Schilddrüsenexposition bei FHA als bei LOCA). Stützt man sich auf die Depositionswerte in Tabelle 8-22 der UVP 2010 des Kernkraftwerks Doel (Teil II S. 250)^{lxxxvii}, so liegt die Dosisleistung trotz sehr konservativer Annahmen nie höher als $45 \mu\text{G h}^{-1}$ (höchste Dosis für Wirbellose, Regenwürmer, Amphibien, Reptilien und Säugetiere). Selbst wenn man die Depositionen kumulativ betrachtet (Zerfall berücksichtigend), so ist die Dosisleistung nie höher als $45 \mu\text{G h}^{-1}$. Diese Dosisleistung liegt im Bereich von $10\text{-}100 \mu\text{Gy h}^{-1}$, wobei man die Wahrscheinlichkeit, dass das Ökosystem geschützt wird, als sehr hoch betrachtet (Tabelle 32). Für die meisten Organismen sank die Dosisleistung nach einer 4-tägigen und für alle Organismen nach einer 30-tägigen Exposition auf $< 10 \mu\text{G h}^{-1}$. Zur Erinnerung: Die Richt- oder Schwellenwerte sind für eine chronische Exposition abgeleitet, während es sich bei dem vorliegenden Unfallszenario um eine akute, vorübergehende (begrenzte) Dosisbelastung handelt.

Die BDBA setzt verschiedene Radionuklide frei, darunter I-131, I-133, Cs-134, Cs-137, Sr-89, Sr-90, Ba-140, Am-241, aber in so geringen Mengen (geschätzter Depositionsfaktor 1000 niedriger als beim LOCA-Unfallszenario), dass es keine Auswirkungen dieses Szenarios auf Fauna und Flora oder die biologische Vielfalt im Allgemeinen gibt.

Der schwerste nukleare Unfall in einem DWR-Kernkraftwerk, in Three Mile Island im Jahr 1979 (beschrieben in Abschnitt 3.6.1.2 Unfälle), war nur in der Umgebung des Kernkraftwerks messbar. Die maximal geschätzte von der Bevölkerung aufgenommene effektive Dosis in der Umgebung betrug 1 mS ^{lxxxviii} und unter solchen Bedingungen ist keine Auswirkung auf die Fauna und Flora zu erwarten.

3.6.2.3 Entscheidung

Da weder die routinemäßigen radioaktiven Ableitungen noch die betrachteten Störfallszenarien Auswirkungen auf die Fauna und Flora haben, kann gefolgert werden, dass der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 keine negativen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt durch radioaktive Ableitungen hat.

3.6.3 Auswirkungen auf radioaktive Abfälle, abgebrannte Brennelemente, Stilllegung

3.6.3.1 Radioaktive Abfälle

Die verschobene Abschaltung der Kernreaktoren Doel 1-2 wird zur Entstehung von zusätzlichem schwach- und mittelradioaktivem Abfall führen. Von der durchschnittlichen Produktion von 120 m^3 konditioniertem Abfall pro Jahr für das KKW Doel (siehe Abschnitt 3.4.4.2) entfällt etwa $1/3$ auf Doel 1-2, also $40 \text{ m}^3/\text{Jahr}$. Dies entspricht in etwa dem Verhältnis des Anteils der beiden Reaktoren an der Gesamtleistung bzw. an der gesamten erzeugten Strommenge. Zum Vergleich: Im Zeitraum 2005-2015 trug der Zwillingssreaktor 32 % zur Bruttostromerzeugung und 34 % zur Nettostromerzeugung in Doel bei. Es sollte jedoch beachtet werden, dass ein Großteil des Abfalls in keinem Zusammenhang zur erzeugten Strommenge steht. Er entsteht bei Arbeiten an Anlagen sowie bei Reinigungstätigkeiten oder beim Waschen von Arbeitskleidung^{lxxxix}. Auch für diesen Anteil wird angenommen, dass $1/3$ eine gute Näherung für den Anteil von Doel 1 und 2 ist.

Auf Grundlage dessen wird für den Referenzzeitraum 2015-2025 ein kumuliertes zusätzliches Aufkommen von 400 m^3 an zu entsorgenden schwach- und mittelaktiven Abfällen erwartet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B. Vermutlich werden nur die Harze und Filter der CSD (Chemical System Decontamination) in letztere Kategorie fallen (Information der Electrabel AG). Verglichen mit den $\sim 50.000 \text{ m}^3$ Abfall der Kategorie A, die derzeit als Quellterm in der Sicherheitsakte der Oberflächenlagerung enthalten sind^{lxxxviii}, stellt dies eine marginale Erhöhung von 0,8 % dar.

Unter der Annahme, dass die Menge an Abfall der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 250 Monolithen oder einem Viertel eines Moduls in der Endlageranlage für Abfall der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität des Endlagers beträgt 34 Module^{lxxxviii} basierend auf:

- Schätzungen der Mengen an bestehenden und zukünftigen Abfällen der Kategorie A aus dem Jahr 2013 (also ohne Berücksichtigung einer möglichen Verschiebung der Abschaltung von Doel 1-2): 28,6 Module;
- eine Reserve von ~20 % (5,4 Module), wovon eine Entscheidung zur Verlängerung von Doel 1-2 also ein Viertel eines Moduls oder ~5 % verbraucht.

Es wird davon ausgegangen, dass dieser Abfall die von der NIRAS festgelegten Annahmekriterien erfüllt, die Kriterien für spaltbares Material und Kritikalität sowie Aktivitätskonzentrationsgrenzen auf Radionuklidebene für den Abfall beinhalten. Da es sich um die Erweiterung einer bestehenden Tätigkeit handelt, werden keine (zusätzlichen) Auswirkungen auf die (kurz- und langfristige) Sicherheit der Endlageranlage für Abfälle der Kategorie A erwartet, abgesehen von den Auswirkungen, die ohnehin mit der Errichtung dieser Endlageranlage verbunden sind.

3.6.3.2 Abgebrannte Brennelemente

Kumulierte Mengen

Wie bei den radioaktiven Abfällen wird eine Schätzung der kumulierten Anzahl von Brennelementen vorgenommen, die im Referenzzeitraum 2015-2025 verbraucht werden. Ausgehend von einer durchschnittlichen Entladung von 55 Brennelementen pro Jahr für Doel 1 und 2 (siehe Tabelle 42) wird der kumulierte Mehrverbrauch durch den Aufschub der Abschaltung auf 550 Brennelemente geschätzt.

Die NIRAS berücksichtigt eine zusätzliche Anzahl von Brennelementen in etwa der gleichen Größenordnung (609 Stück, siehe Tabelle 44), die sich aus der Erweiterung des Betriebs von Doel 1 und 2 ergibt. Dies lässt sich aus den von der NIRAS betrachteten Projektionen vor und nach 2015 für die Anzahl der abgebrannten Brennelemente am Ende der Laufzeit der belgischen Kernkraftwerke ableiten. Die Brennelementbündel mit einer Länge von 8 Fuß (UOX 8ft in Tabelle 44) sind diejenigen, die – ausschließlich – in Doel 1 und 2 geladen werden.

Tabelle 44: Übersicht über die verschiedenen Typen und die Anzahl der abgebrannten Brennelemente am Ende der Laufzeit der belgischen Kernkraftwerke.

	Abschaltung 2025		Abschaltung 2015		Differenz	
	# Brennelemente	tSM	# Brennelemente	tSM	# Brennelemente	tSM
UOX 8ft	2.359	625	1.750	464	609	161
UOX 12ft	5.109	2.350	5.109	2.350		
UOX 14ft	3.426	1.850	3.426	1.850		
MOX 12ft	144	66	144	66		
UOX insgesamt	10.894	4.825	10.285	4.664		
UOX/MOX insgesamt	11.038	4.891	10.429	4.730		

Gewichtet in Bezug auf den gesamten belgischen Reaktorpark entspricht dies einem Mehrverbrauch von 5,8 % in Anzahl der Brennelemente bzw. 3,4 % in Tonnen Schwermetall (tSM). In Anbetracht dieser relativ begrenzten Menge und unter der Annahme, dass sie ähnliche Eigenschaften (z. B. Abbrand) wie die vorhandenen Brennelemente haben werden, werden keine Auswirkungen auf ihre weitere Bewirtschaftung erwartet.

Wir erinnern Sie daran, dass abgebrannte Brennelemente, solange sie Eigentum von SYNATOM sind und nicht an die NIRAS übergeben werden, nicht als radioaktiver Abfall gelten. Die politischen Entscheidungen, die im Hinblick auf die Langzeitlagerung des Brennstoffs zu treffen sind, werden Auswirkungen auf die Art und die Mengen des endgültig zu lagernden Abfalls der Kategorien B und C haben. Die NIRAS berücksichtigt in ihrem RD&D-Programm die Option der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente mit einem angepassten Endlagerungskonzept (Supercontainer) für jeden Typ. Da pro Supercontainer 4 UOX-Brennelemente verpackt werden können, entsprechen 600 zusätzliche Brennelemente aufgrund der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 ~150 zusätzlichen Supercontainern oder ~630 m zusätzlicher Länge an Endlagerstollen.

Lagerung

Im KKW Doel werden Brennelemente im SCG trocken in Containern zwischengelagert (siehe Abschnitt 3.4.4.3). Durch den Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 wird die Abschaltung der 4 Blöcke auf wenige Jahre (2022-2025) verdichtet, während sie sonst gleichmäßiger verteilt wäre. Electrabel AG versichert, dass es dank des geplanten Baus des SF²lxxi, für das das Genehmigungsverfahren läuft, genügend Lagerkapazität für Brennelemente geben wird. Das bestehende SCG-Gebäude (Gebäude für Brennstoffcontainer) wird hauptsächlich für die Lagerung der Brennelemente von Doel 1-2 und das SFB-Gebäude für die Lagerung der Brennelemente Doel 3 und 4 genutzt. Die Abklingbecken dienen als Puffer, in dem die Brennstoffbündel abkühlen können. Ausführlichere Informationen über das SF²-Projekt finden Sie im entsprechenden UVP-Bericht lxxi.

Die IAEO hat ein internationales Forschungsprogramm^{lxxxix} (Projekt SPAR: Spent Fuel Performance and Research Program, 1997-2001) über das Verhalten von bestrahltem Kernbrennstoff und der für seine langfristige (100 Jahre und mehr) Lagerung verwendeten Materialien durchgeführt. Auf der Grundlage der durchgeführten Programme konnten eine Reihe von Abbaumechanismen für Brennelemente aufgedeckt werden. Nach einer detaillierten Analyse wurde festgestellt, dass es unwahrscheinlich ist, dass diese Mechanismen die Integrität der Elemente auf lange Sicht beeinträchtigen. Das langfristige Ziel, die Integrität der abgebrannten Brennelemente zu erhalten, besteht darin, alle Optionen für die Bewirtschaftung dieser Brennelemente offen zu halten.

3.6.3.3 Stilllegungsabfälle

Bei den Stilllegungsarbeiten werden radioaktive Komponenten aus den Kraftwerken entfernt, wodurch große Mengen an radioaktivem Abfall anfallen. Ein Teil dieses Abfalls ist auf die Neutronenaktivierung von großen (Struktur-)Komponenten zurückzuführen. Diese Aktivierung erfolgt während des Betriebs des Kernkraftwerks und wird in der Regel durch Berechnungen geschätzt. Materialien, die sich in der Nähe der Neutronenquelle (z. B. im Mittelteil des Reaktorbehälters) befinden, werden stärker aktiviert als weiter entfernte Materialien. Da die Abfallklassifikation (Kategorie A oder B) von der Gesamtmenge der sicherheitsrelevanten Nuklide abhängt, wird erwartet, dass eine längere Neutroneneinwirkung möglicherweise zu einer Verschiebung der Abfallkategorie (z. B. von Kategorie A zu Kategorie B) führen kann. Aufgrund der hohen Masse dieser Materialien hat eine höhere Aktivierung daher potenziell einen erheblichen Einfluss auf die bei der Stilllegung anfallende Abfallmenge (Kategorie A und B). Derzeit gibt es nur wenige oder gar keine Messdaten, um diese Berechnungen zu verifizieren.

Um den Effekt einer Verschiebung der Abschaltung um 10 Jahre quantitativ abschätzen zu können, wurde eine Berechnung der Aktivierung des Reaktorbehälters von Doel 1 und 2 mithilfe des Aktivierungscodes ALEPH2 durchgeführt^{xc}. Für die Zusammensetzung des Reaktorbehälters wurde eine Zusammensetzung angenommen, wie sie in Gerard *et al.* (1996) angegeben ist^{xc1}: der Reaktorbehälter besteht aus Stahlingen Soudotenax 56 und die Zusammensetzung in Gewichtsprozent der Hauptelemente ist in Tabelle 45 angegeben.

Tabelle 45: Zusammensetzung der Hauptelemente des Reaktorbehälters (in Gew.-%).

C	Co	Cr	Mn	Ni	P	S	Si	Mo	Cu
0,147	0,012	0,58	0,96	0,79	0,01	0,01	0,25	0,35	0,085

Diese Elemente bestimmen das thermochemische Verhalten des Stahls. In den Erzen und während des Produktionsprozesses können jedoch Spurenelemente (oder Verunreinigungen) vorhanden sein, die im endgültigen Stahl enthalten sein werden. Diese Elemente haben keinen Einfluss auf das Verhalten des Stahls, können aber im Hinblick auf eine sichere langfristige Entsorgung von Bedeutung sein. Da keine Informationen über die Menge der Spurenelemente in den Reaktorbehältern von Doel 1 und 2 vorliegen, wurde die internationale Richtlinie NUREG-3474^{xcii} zugrunde gelegt.

Anschließend wurden an einem Kontrollvolumen des Reaktorbehälters Aktivierungsberechnungen mit dem ALEPH2-Code durchgeführt, basierend auf einer Bestrahlung mit einem vordefinierten normalisierten

Neutronenspektrum (Abbildung 42), das normalerweise am mittleren Querschnitt eines Reaktorbehälters eines thermischen Leichtwasserreaktors zu beobachten ist. Es wurde ein konstanter energieintegrierter Strom von $4,75 \times 10^{10}$ [n/cm²s] verwendet, basierend auf der maximalen Auslegungs-Reaktorbehälterfluenz von Doel 1 und 2 nach 40 Jahren Betrieb.

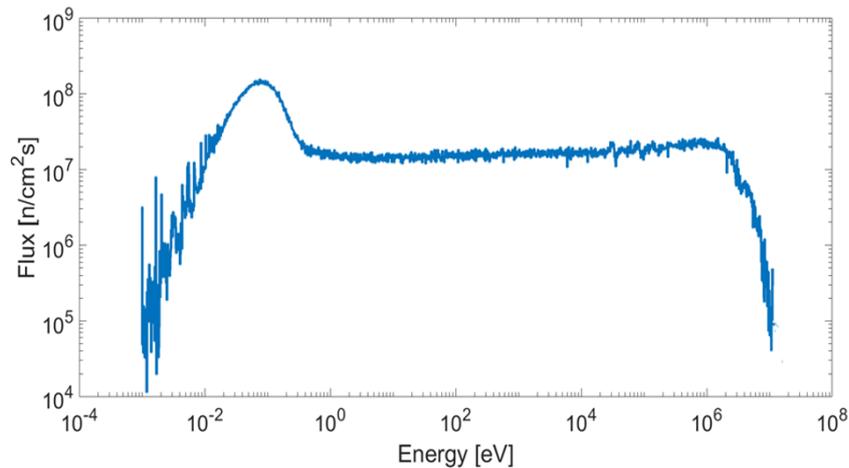


Abbildung 42: Strom durch den Reaktorbehälter je nach der Neutronenenergie am mittleren Querschnitt eines Doel I/II-Reaktorbehälters, der vom ALEPH2-Code verwendet wird.

Die Berechnungen wurden durchgeführt, um auf relativer Basis eine Abschätzung zu erhalten, wie sich die Aktivität der vorhandenen Isotope infolge der Aktivierung durch Neutronen nach 40 bzw. 50 Jahren Betrieb des Reaktors verändert. Zu diesem Zweck wurden die folgenden 2 Berechnungsfälle verwendet (Abbildung 43):

- Eine Berechnung mit konstanter Bestrahlung ohne Zerfall, mit zeitlichem Verlauf, der dem tatsächlichen Electric Full Power Day (EPFD) von Doel I im Zeitraum 1974-2015 entspricht;
- Eine Berechnung mit radioaktivem Zerfall zwischen den Zyklen unter der Annahme einer durchschnittlichen Bestrahlungszeit pro Zyklus von 30 Electric Full Power Years, gleichmäßig verteilt auf 40 Betriebsjahre: Jeder Zyklus besteht also aus 274 Tagen Aktivierung, gefolgt von 91 Tagen Zerfall.

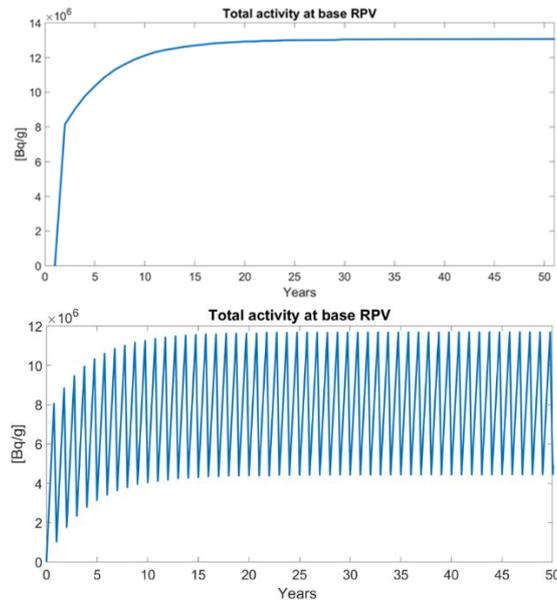


Abbildung 43: Akkumulierte Aktivität des Isotopeninventars innerhalb des Kontrollvolumens des Reaktorbehälters in Abhängigkeit von der Zeit (oben: konstante Bestrahlung; unten: mit Zerfall zwischen den Zyklen).

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsfälle sind relativ ähnlich:

- Die Gesamtaktivität im aktivierten Reaktorbehälter nach 50 Jahren Bestrahlung wird (unmittelbar nach der Abschaltung) von relativ kurzlebigen Radionukliden dominiert. Die wichtigsten sind ^{56}Mn ($T_{1/2}$ 2,5789 Std.) und ^{55}Fe ($T_{1/2}$ = 2,737 Jahre). In der Liste der 10 Nuklide, die am meisten zur Gesamtaktivität beitragen, wird eine relative Änderung nur für die folgenden Nuklide gemessen: ^{60}Co ($T_{1/2}$ = 5,27 Jahre) 0,4-0,7 % und ^{63}Ni ($T_{1/2}$ = 100 y) 22,0-23,4 % Anstieg nach 50 bzw. 40 Jahren Betrieb. Die absolute Gesamtaktivität ändert sich jedoch kaum;
- Für die meisten langlebigen Isotope (^{14}C $T_{1/2}$ = 5700 y, ^{36}Cl $T_{1/2}$ = $3\text{E}+05$ y, ^{41}Ca $T_{1/2}$ = $1\text{E}+05$ y, ^{59}Ni $T_{1/2}$ = $7.6\text{E}+04$ y, ^{63}Ni $T_{1/2}$ = 100 y, ^{79}Se $T_{1/2}$ = $3.3\text{E}+05$ y, ^{93}Zr $T_{1/2}$ = $1.5\text{E}+06$ y, ^{94}Nb $T_{1/2}$ = $2\text{E}+04$ y, ^{93}Mo $T_{1/2}$ = 4000 y, ^{99}Tc $T_{1/2}$ = $2.1\text{E}+05$ y) steigt die Aktivität um ca. 25 % (22-28%) bei einer Laufzeitverlängerung von 40 auf 50 Jahre. Dies spiegelt die Tatsache wider, dass die Aktivierung proportional zur Verlängerung der Bestrahlung fortgesetzt wird und dass diese Isotope während der Laufzeit der Anlage nicht zerfallen. Aufgrund ihrer geringen Abundanz (begrenzt Vorkommen) hat dieser Anstieg jedoch kaum Auswirkungen auf die absolute Gesamtaktivität.

Aus diesen Modellberechnungen kann daher geschlossen werden, dass eine Verlängerung der Laufzeit um 40 bis 50 Jahre nur geringe oder gar keine Auswirkungen auf die Gesamtradioaktivität hat, die durch die Aktivierung der in den Strukturelementen des Kraftwerks vorhandenen Elemente verursacht wird, da die meisten dieser Aktivierungsisotope nur eine kurze Lebensdauer haben. Allerdings steigt die Anzahl der langlebigen Isotope in diesen Strukturelementen deutlich an, und zwar im Verhältnis zum gesamten Neutronenfluss, dem diese Elemente während der Laufzeitverlängerung ausgesetzt sind. Unter der Annahme, dass das gleiche Regime wie in den letzten 40 Jahren gilt, bedeutet dies einen Anstieg von 25 % über eine 50-jährige Laufzeit.

Die Auswirkung auf die Gesamtabfallmenge der verschiedenen Kategorien (unbedingte Freigabe, bedingte Freigabe, Kategorie A, Kategorie B) ist jedoch derzeit schwer abzuschätzen, da detaillierte Daten über die Menge der Spurenelemente in den Strukturelementen der Kraftwerke fehlen (oder uns nicht bekannt sind). Generell ist jedoch eine leichte Verschiebung hin zu „schwereren“ Abfallklassen zu erwarten, ohne dass dies jedoch Probleme für die langfristige Entsorgung dieser Klassen mit sich bringt.

3.7 Grenzüberschreitende Auswirkungen

3.7.1 Normalbetrieb

Die Grenze zu den Niederlanden befindet sich in kürzester Entfernung von etwa 3,15 km vom Standort des KKW Doel. Angesichts der vernachlässigbaren und nicht nachweisbaren radiologischen Auswirkungen (0,02 mSv/Jahr) beim Betrieb aller Blöcke des KKW Doel für die am stärksten exponierte Person, die sich auf belgischem Staatsgebiet knapp außerhalb des Geländes des KKW Doel befindet, und der Tatsache, dass die Auswirkungen nur mit der Entfernung abnehmen, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass keine grenzüberschreitenden Auswirkungen bei einem normalen Betrieb von Doel 1 und 2, d. h., im Falle eines Aufschubs der Abschaltung, auftreten.

3.7.2 Unfälle

In diesem Abschnitt werden die radiologischen Auswirkungen außerhalb der belgischen Grenzen für Unfallszenarien diskutiert. Wie in Abschnitt 3.3.2 erwähnt, gibt es für die beiden Auslegungstörfälle Genehmigungsgrenzwerte für die nächstgelegene Grenze, d. h. die Niederlande in 3,15 km, aber es gibt keine spezifischen gesetzlichen Grenzwerte für die grenzüberschreitende radiologische Auswirkung über größere Entfernungen. Der in Artikel 12 der Richtlinie 2013/59/Euratom genannte Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr für den Normalbetrieb kann jedoch als Richtwert verwendet werden. Wie in Abschnitt 3.8 beschrieben, sieht der HERCA-WENRA-Ansatz^{xciii} vor, dass das Nachbarland keine Maßnahmen ergreift, die im Widerspruch zu denen des Ursprungslandes stehen oder über diese hinausgehen. In diesem Zusammenhang können auch die Interventionsrichtwerte des nuklearen und radiologischen Notfallplans auf belgischem Gebiet als Richtwerte für grenzüberschreitende Auswirkungen verwendet werden. In diesem Abschnitt werden 3 Fälle/Studien im Zusammenhang mit grenzüberschreitenden Auswirkungen diskutiert, mit dem Ziel, einen umfassenden Überblick über die potenziellen grenzüberschreitenden radiologischen Auswirkungen von Unfällen beim KKW Doel zu geben: (i) der einzige historische DWR-Unfall, d. h. der Unfall bei Three Mile Island, (ii) die betrachteten Unfallszenarien für die Blöcke Doel 1 und 2 und (iii) andere relevante Studien.

Der schwerste nukleare Unfall in einem DWR-Kernkraftwerk, in Three Mile Island im Jahr 1979 (beschrieben in Abschnitt 3.6.1.2 Unfälle), war nur in der Umgebung des Kernkraftwerks messbar. Die maximale effektive Dosis, die von der Bevölkerung in der Umgebung aufgenommen wurde, betrug 1 mSv^{bcxvii}, was in der gleichen Größenordnung liegt wie die Grenzwerte von 1 mSv/Jahr für den Normalbetrieb in der EU-Richtlinie^{bcxvii}. Diese aufgenommene effektive Dosis liegt unter den belgischen Richtwerten für die Aufforderung der Bevölkerung zum Aufenthalt in geschlossenen Räumen.

Die radiologischen Auswirkungen der beiden Auslegungstörfälle für das KKW Doel 1 und 2 an der nächstgelegenen Grenze, d. h. in den Niederlanden in ca. 3,15 km Entfernung vom KKW Doel, liegen unterhalb der Genehmigungsgrenzen der allgemeinen Daten für das KKW Doel 1 und 2 und die berechnete effektive Dosis für die Bevölkerung beträgt 0,3 bis 0,5 mSv (siehe UVP-Arbeiten). Der auslegungsüberschreitende Unfall würde als radiologische Auswirkung an der nächstgelegenen Grenze eine effektive Dosis für die Bevölkerung von ca. 0,5 mSv ergeben (siehe UVP-Arbeiten). Diese Werte liegen auch unter den belgischen Richtwerten für die Aufforderung der Bevölkerung zum Aufenthalt in geschlossenen Räumen. Auch hier handelt es sich um eine statistische Analyse, bei der je nach den tatsächlich während des Unfalls abgeleiteten Mengen an Radionukliden und den meteorologischen Bedingungen nie ausgeschlossen werden kann, dass es zu Unfällen mit größeren radiologischen Auswirkungen kommt, für die die Wahrscheinlichkeit geringer ist.

Ein Beispiel für die geografische Verteilung des Risikos von sehr schweren Unfällen in kerntechnischen Anlagen in Europa wurde in einer von der österreichischen Regierung finanzierten Studie^{xciv} untersucht. Das Projekt resultierte in einem webbasierten Werkzeug, genannt FlexRISK, in dem die Auswirkungen jeder betrachteten kerntechnischen Anlage für ein ganzes Jahr an Wetterdaten visualisiert werden können (das Jahr 1995, die Studie selbst wurde für 10 Jahre an meteorologischen Daten durchgeführt). Für diese Studie wurden Doel 1 und 2 mit einem „Containment Bypass Accident“ betrachtet, bei dem eine deutlich größere Menge mit einer zugeordneten, aber viel geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit ausgetragen wird. Die daraus resultierende Auswirkung hängt neben dem Quellterm selbst auch von den Freisetzungparametern und den Wetterbedingungen ab. In einigen Simulationen überschreitet

die effektive Dosis den Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr der EU-Richtlinien und den Grenzwert für die Aufforderung der Bevölkerung zum Aufenthalt in geschlossenen Räumen des belgischen nuklearen und radiologischen Notfallplans in den Nachbarländern.

Im Falle eines Unfalls mit erheblichen grenzüberschreitenden radiologischen Auswirkungen (*d. h.* mit Auswirkungen, die zu einer Überschreitung der Interventionswerte führen würden) werden die nationalen nuklearen und radiologischen Notfallpläne zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt aktiviert.

3.8 Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung

3.8.1 Ziel und grundlegende Konzepte

Das Ziel der nuklearen Notfallplanung ist es, sicherzustellen, dass innerhalb der Betriebsorganisation und auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene sowie gegebenenfalls auf internationaler Ebene angemessene Kapazitäten vorhanden sind, um auf einen nuklearen Notfall wirksam zu reagieren. Diese Kapazitäten beziehen sich auf einen integriertes Ganzes von Infrastrukturelementen, die Folgendes umfassen: zuständige Behörde und Verantwortlichkeiten, Organisation und Personal, Koordination, Pläne und Verfahren, Instrumente, Ausrüstung und Einrichtungen, Schulungen, Übungen und ein Verwaltungssystem^{xcv}.

Bei einem nuklearen oder radiologischen Notfall sind die Ziele:

- a) die Kontrolle über die Situation zurückzugewinnen und die Folgen zu begrenzen;
- b) Leben zu retten;
- c) schwerwiegende deterministische Effekte zu verhindern oder zu minimieren;
- d) Erste Hilfe zu leisten, kritische medizinische Behandlungen durchzuführen und die Behandlung von Strahlenschäden zu verwalten;
- e) das Risiko von stochastischen Effekten zu reduzieren;
- f) die Öffentlichkeit zu informieren und das öffentliche Vertrauen zu erhalten;
- g) nichtradiologische Auswirkungen weitestgehend zu minimieren;
- h) Eigentümer und die Umwelt so weit wie möglich zu schützen;
- i) sich so weit wie möglich auf die Wiederaufnahme der normalen sozialen und wirtschaftlichen Tätigkeit vorzubereiten.

Die Exposition nach einem Unfall kann über die gleichen Expositionspfade erfolgen, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben.

3.8.2 Rechtlicher Rahmen

3.8.2.1 Europäische und internationale Richtlinien

Tabelle 46 zeigt die wichtigsten europäischen und internationalen Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.

Tabelle 46: Relevante europäische und internationale Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.

Europäische und internationale Richtlinie	Relevante Inhalte der nuklearen Notfallplanung
2013/59/Euratom ^{xcvi}	Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, ein Notfallmanagementsystem einzurichten, das Notfallpläne für die verschiedenen Arten von nuklearen und radiologischen Notfällen, die festgestellt werden können, vorsieht. Die Richtlinie 2013/59/Euratom vom 5. Dezember 2013 wird teilweise im Königlichen Erlass vom 1. März 2018 zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet umgesetzt (siehe Tabelle 47).
IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1 ^{xcvii}	Diese Richtlinien beschreiben angemessene Reaktionen auf eine Reihe von nuklearen oder radiologischen Notfällen.

IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7 ^{xcvii}	Diese Publikation legt die Anforderungen für ein angemessenes Niveau der Bereitschaft für einen nuklearen oder radiologischen Notfall fest. Die Anwendung dieser Anforderungen soll die Folgen eines nuklearen oder radiologischen Notfalls abmildern, sollte dieser trotz aller Bemühungen zur Vermeidung eintreten.
ICRP Publication 63 ^{xcviii}	Diese Publikation gibt quantitative Leitlinien für die Interventionsstufen. Diese Leitlinien betreffen die sehr kurzfristige Einführung von Schutzmaßnahmen und deren Fortführung über einen längeren Zeitraum.
ICRP Publication 109 ^{xcix}	Dieser Bericht enthält Leitlinien für die Vorbereitung auf und die Reaktion auf alle Situationen, in denen eine Strahlenexposition in nuklearen oder radiologischen Notfällen auftritt.

3.8.2.2 Belgische Gesetzgebung

Im Folgenden wird ein Überblick über die belgische Gesetzgebung gegeben, die für die nukleare Notfallplanung relevant ist (Tabelle 47).

Tabelle 47: Belgische Gesetzgebung, die für die nukleare Notfallplanung relevant ist.

Art	Inhalt
Gesetz vom 15. April 1994 über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die FANK. ^c	Dieses Gesetz enthält Bestimmungen für den zielgerichteten Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Das Gesetz sieht auch die Einrichtung einer öffentlichen Einrichtung mit Rechtspersönlichkeit vor: die „Föderalagentur für Nuklearkontrolle“, abgekürzt FANK, die die Einhaltung dieses Gesetzes und seiner Ausführungserlasse sicherstellen soll.
AOSIS (20.07.2001) ^{ci}	Diese Vorschriften gelten für alle Tätigkeiten, die eine Gefährdung durch ionisierende Strahlung, die entweder von einer künstlichen oder einer natürlichen Strahlenquelle ausgeht, mit sich bringen können, wenn natürliche Radionuklide im Hinblick auf ihre radioaktiven Eigenschaften, ihre Spaltbarkeit oder ihre Züchtungseigenschaften verarbeitet werden oder wurden. Dieser Königliche Erlass legt die grundlegenden Normen für den Schutz vor der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung fest.
Ministerielles Rundschreiben NPU-1 bezüglich der Notfall- und Interventionspläne (26.10.2006) ^{cii}	Dieses Rundschreiben erläutert die Bestimmungen und Grundsätze, die im Königlichen Erlass vom 16. Februar bezüglich der Notfall- und Interventionspläne enthalten sind.
K. E. zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen (30.11.2011) ^{ciii}	Dieser Erlass ist an die Betreiber von kerntechnischen Anlagen der Klasse 1 und insbesondere von Kernreaktoren zur Stromerzeugung gerichtet. Er erlässt eine Reihe von Sicherheitsvorschriften, die der Betreiber anwenden muss.
K. E. zur Abänderung der AOSIS (20.07.2020) ^{civ}	Dieser K. E. ändert verschiedene Bestimmungen der AOSIS, im Hinblick auf eine teilweise Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM. Außerdem werden einige zusätzliche Bestimmungen eingefügt.
K. E. zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet, B. S. 6. März 2018) ^{cv}	Dieser K. E. legt den nuklearen und radiologischen Notfallplan für das belgische Staatsgebiet fest. Dieser Plan soll die Koordinierung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt im Falle einer das belgische Staatsgebiet direkt oder indirekt bedrohenden radiologischen Notfallsituation sicherstellen. Der Plan definiert die durchzuführenden Aufgaben und die Zuständigkeiten aller beteiligten Parteien.

	Belgien verfügt seit 1991 über einen nationalen nuklearen und radiologischen Notfallplan. Seitdem wurden viele Aktualisierungen vorgenommen. Nach Rücksprache mit allen beteiligten (inter-)nationalen Partnern wurde der nukleare und radiologische Notfallplan für das belgische Staatsgebiet 2018 aktualisiert.
--	--

3.8.3 Interne und externe Notfallpläne für kerntechnische Anlagen des KKW Doel

Der Notfallplan jeder belgischen kerntechnischen Anlage wird systematisch im Sicherheitsbericht beschrieben und durch die Erteilung der Genehmigung genehmigt. Darüber hinaus enthält der „interne“ Notfallplan Anweisungen für alle Akteure.

Im Falle eines Unfalls in einem Kernkraftwerksblock im KKW Doel wird der Betriebsraum in Doel (d. h. das technische Zentrum vor Ort) aktiviert und verwaltet alle technischen Probleme, um den Unfall zu kontrollieren und seine Folgen zu begrenzen. Auf Standortebene verwaltet die Notfallplanzentrale (NPK - Doel) die Umweltauswirkungen und steht in Verbindung mit dem CGCCR^{vi}.

3.8.4 Harmonisierung zwischen Nachbarländern für das KKW Doel

Es ist wünschenswert, dass die Länder ihr Vorgehen bei einem grenzüberschreitenden nuklearen Unfall im Vorfeld koordinieren^{vii}. Dadurch wird verhindert, dass sich die Maßnahmen auf der einen Seite der Grenze wesentlich von denen auf der anderen Seite der Grenze unterscheiden. In diesem Zusammenhang fördert der europäische Zusammenschluss HERCA-WENRA^{xciii} die Harmonisierung in den Grenzgebieten in der Umgebung von Kernkraftwerken. Harmonisierung bedeutet in diesem Ansatz, dass das Nachbarland keine Maßnahmen ergreift, die im Widerspruch zu denen des Ursprungslandes stehen oder über diese hinausgehen.

Die Niederlande, Belgien (und Deutschland) haben Strategien formuliert, um ähnliche Schutzmaßnahmen für den Fall eines nuklearen Unfalls vorzubereiten (siehe Tabelle 48).

Tabelle 48: Von Belgien und den Niederlanden eingerichtete Vorbereitungszonen (Radius der Kreise in km) um das KKW Doel für die unmittelbaren Schutzmaßnahmen im Falle eines nuklearen Notfalls.

Politik in Belgien			Politik in den Niederlanden	
	Vorbereitungszone	Erweiterungszone		
Reflexzone ³⁵	3,5			
Evakuierung	10	20	Evakuierung	10
Aufenthalt in geschlossenen Räumen	20	100	Aufenthalt in geschlossenen Räumen	20
Jod-Zielgruppen			Jod-Zielgruppen	
- bis einschl. 40-Jährige und Schwangere	20	100	- bis einschl. 40-Jährige und Schwangere	20
- bis einschl. 18-Jährige und Schwangere			- bis einschl. 18-Jährige und Schwangere	100

³⁵ Sofortiger Schutz bei General Emergency – reflex mode (Gouverneur)

3.8.5 Organisation von Notfallplanübungen für das KKW Doel

Das KKW Doel hält mehrmals im Jahr interne Übungen ab. Darüber hinaus sieht der nukleare und radiologische Notfallplan für das belgische Staatsgebiet vor, dass für das KKW Doel eine jährliche Notfallplanübung durch das Krisenzentrum organisiert wird. Alle 3 Jahre muss für einen kerntechnischen Standort eine groß angelegte Übung organisiert werden, an der grundsätzlich alle Disziplinen beteiligt sind. Es gibt 2 Arten von Übungen^{cvi}:

- theoretische Übungen: Die verschiedenen Akteure sitzen gemeinsam am Tisch und diskutieren, wie sie in der Realität handeln würden;
- Feldübungen: Die Übung wird am Ort der (simulierten) Notfallsituation inszeniert. Im Prinzip gibt es einen realen Einsatz von Truppen und Ressourcen an diesem Ort, aber es sind verschiedene Modalitäten möglich.

Entsprechend den verfolgten Zielen bezieht das Krisenzentrum die verschiedenen Disziplinen (Feuerwehr, medizinischer Rettungsdienst, Polizei, Kastastrophenschutz, Messteams usw.) in diese Übungen ein.

Tabelle 49 zeigt die Übungen für das KKW Doel über die letzten 15 Jahre. Es gab 10 Übungen für Doel 1 und/oder 2.

Tabelle 49: Übungen für das KKW Doel der letzten 15 Jahre.

Datum	Reaktor	Art der Übung	Teilnahme im Ausland?
14.09.2020	2	Begrenzte Übung (theoretisch)	/
21.03.2019	2	Begrenzte Übung	/
08.05.2018	4	Begrenzte Übung	/
21.11.2017	1, 2, 3, 4, 5	Erweiterte Übung	/
15.03.2016	1	Begrenzte Übung	/
26.03.2015	4	Begrenzte Übung	/
14.10.2014	2	Begrenzte Übung	/
22.10.2013	3	Erweiterte Übung	/
29.03.2012	2	Begrenzte Übung	/
06.09.2011	4	Begrenzte Übung	/
27.04.2010	1	Erweiterte Übung	/
19.10.2009 und 20.10.2009	1, 2, 3, 4	Großangelegte Übung	Ja, bilaterale Interaktion mit den Niederlanden auf allen Ebenen
16.09.2008	1	Begrenzte Übung	/
02.05.2007		Begrenzte Übung (Sandkastenübung)	/
07.09.2006		Begrenzte Übung	/
19.09.2005 und 22.09.2005	1	Erweiterte Übung	/

3.9 Wissenslücken

Bei der Berechnung der radiologischen Auswirkungen von Ableitungen können verschiedene Unsicherheiten eine Rolle spielen, wie z. B. die Menge und die Eigenschaften der abgeleiteten Radionuklide (der Quellterm), die meteorologischen Bedingungen und der Aufenthaltsort von Menschen und deren Lebensgewohnheiten (z. B. Ernährung). Für die Berechnungen der Auswirkungen bei Normalbetrieb sind die Ableitungen bekannt und die meteorologischen Bedingungen werden für ein volles (Referenz-)Jahr berücksichtigt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die am stärksten exponierte Person sehr konservative Lebensgewohnheiten in Bezug auf die

radiologische Auswirkung hat (konservative Abschätzung der radiologischen Auswirkung). Auch für Unfallszenarien werden konservative Annahmen getroffen, aber die tatsächliche Exposition während eines Unfalls hängt von den genauen Mengen der abgeleiteten Radionuklide, den genauen meteorologischen Bedingungen (z. B. lokale Schauer) sowie dem Aufenthaltsort und den Gewohnheiten der Menschen ab (bei einem Unfall eventuell ergänzt durch Gegenmaßnahmen wie Schutz, Einnahme von stabilem Jod und Evakuierung). Ungeachtet der oben beschriebenen Unsicherheiten sind die Dosen, denen man bei Normalbetrieb ausgesetzt ist, extrem niedrig (weitaus weniger als 1 mSv/Jahr), aber auch in Unfallsituationen wird in den meisten Fällen die aufgenommene Dosis für alle oder die meisten der exponierten Bevölkerung begrenzt sein (siehe Abschnitt 3.6.1.2). Die Dosen liegen daher weit unter denen für das Auftreten deterministischer Effekte (deterministische Effekte müssen jederzeit, auch in Unfallsituationen, vermieden werden: siehe Grundlegende Konzepte in Abschnitt 3.1 und Notfallplanung in Abschnitt 3.8), aber auch fast immer weit unter den effektiven Dosen, bei denen epidemiologische Studien stochastische Effekte der Strahlung (Entwicklung von Krebserkrankungen und genetische Effekte: siehe Abschnitt 3.1) nachweisen können. Dies liegt daran, dass, zusätzlich zu einem hohen spontanen Auftreten der gleichen Effekte, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Effekte bei solch niedrigen Dosen sehr gering ist. Obwohl wir aus dem Vorsorgeprinzip heraus die Möglichkeit stochastischer Effekte mit jeder zusätzlichen Exposition (Dosis), und sei sie noch so gering, verbinden, können wir dieses Auftreten nicht mit Sicherheit bestätigen, wir wissen nur sicher, dass die Wahrscheinlichkeit dieses Auftretens sehr gering oder sogar nonexistent ist ($< 0,57\%$ bei 100 mSv effektiver Dosis: siehe Abschnitt 3.1).

4 Synthese und Fazit

4.1 Synthese der Auswirkungen

In dieser UVP wurden sowohl radiologische als auch nichtradiologische Auswirkungen des Aufschubs (über den Zeitraum 2015-2025) der Abschaltung von Doel 1 und 2 untersucht und bewertet.

Für die nichtradiologischen Auswirkungen geht es dabei um die Auswirkungen innerhalb der Themen Oberflächengewässer, Luft, biologische Vielfalt, Mensch und Gesundheit sowie Klima. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung werden diese Auswirkungen dahingehend bewertet, inwieweit sie zur Erreichung der politischen Ziele für diese Themen beitragen oder nicht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Disziplinen der Rezeptoren „biologische Vielfalt“ und „Mensch und Gesundheit“; die anderen Disziplinen liefern die notwendigen Informationen, um die Auswirkungen im Rahmen dieser Disziplinen korrekt zu beschreiben.

Für die Themen Boden, Grundwasser, Lärm, Mobilität und Landschaft wurde geurteilt, dass durch den Aufschub der Abschaltung keine signifikanten (nichtradiologischen) Auswirkungen zu erwarten waren. Diese beeinflussen also auch nicht die Disziplinen der Rezeptoren.

Für die meisten der in dieser UVP untersuchten Auswirkungen ist klar, dass sie in der Referenzsituation (der Situation, in der die Abschaltung 2015 nicht verschoben worden wäre) nicht aufgetreten wären und dass mit dieser Abschaltung an sich keine negativen Auswirkungen verbunden gewesen wären. In einigen Fällen muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Nichtaufschub der Abschaltung über den Zeitraum 2015-2025 zu (möglicherweise erheblichen) Auswirkungen hätte führen können. Dies betrifft in erster Linie die Emissionen, die durch den (theoretischen) Produktionspark verursacht worden wären, der in diesem Zeitraum die weggefallene Kernkraftkapazität hätte ersetzen müssen³⁶. Die relevantesten Emissionen in diesem Zusammenhang sind Emissionen von Stickstoffoxiden (NOx) mit möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Emissionen von Treibhausgasen mit möglichen Auswirkungen auf das Thema Klima. Da diese Emissionen während der Projektdurchführung (dem Aufschub der Abschaltung) nicht auftraten, werden sie in dieser UVP mit dem Begriff „vermeidene Emissionen“ bezeichnet.

4.1.1 Nichtradiologische Auswirkungen

4.1.1.1 Thema Wasser

Wenn Doel 1 und 2 10 Jahre länger in Betrieb bleiben, bedeutet dies, dass 10 Jahre lang (gereinigtes) **Sanitärabwasser**, behandeltes Industrieabwasser und (erwärmtes) **Kühlwasser** abgeleitet werden. Obwohl die meisten Parameter eingehalten werden können und der berechnete Beitrag zum Konzentrationsanstieg begrenzt bis vernachlässigbar ist, bedeutet dies jedoch, dass 10 Jahre lang eine Restverschmutzung in die Schelde gelangt. Der Teil der Seeschelde, der abgeleitet wird, befindet sich derzeit noch in einem „unzureichenden“ ökologischen Zustand und erfüllt nicht alle Umweltqualitätsnormen. Es gibt jedoch keinen Grund, eine Verschlechterung des **ökologischen Zustands** der Seeschelde durch die Offenhaltung von Doel 1 und 2 für weitere 10 Jahre zu befürchten, vorausgesetzt, dass der Überwachung und rechtzeitigen Anpassung weiterhin ständige Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Ein Problempunkt im derzeitigen Betrieb des KKW Doel ist auch die Tatsache, dass das Regenwasser nicht vom Sanitärabwasserstrom abgekoppelt ist, mit zu häufigen Überlaufereignissen von (wenn auch verdünntem) Sanitärabwasser bei Starkregen. Es ist kein separates **Kanalisationssystem** vorhanden. Ein zusätzliches Problem ist, dass auch Kühlwasser und in geringerem Maße auch Grundwasser abgeleitet wird und in die Kanalisation für Mischwasser gelangt und dadurch ebenfalls zur Überlaufproblematik beiträgt. Da intensivere Niederschläge als

³⁶Dieser theoretische Produktionspark kann natürlich auch andere Auswirkungen haben, z. B. auf die Wasserqualität, die biologische Vielfalt, die Landschaft usw. Diese Auswirkungen sind jedoch in erster Linie örtlich relevant und daher schwer zu veranschlagen, da die Standorte der theoretischen Ersatzkapazität nicht bekannt sind.

Folge des bereits festzustellenden Klimawandels unbestreitbar sind, ist dies ein Engpass, der in den nächsten 5 Jahren des Weiterbetriebs des Kernkraftwerks beachtet werden muss.

Im Allgemeinen hält das Kernkraftwerk die für Sanitärabwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser auferlegten **Ableitungsnormen** ein, jedoch ist dies für einige Parameter (z. B. Nitrit, AOX) nicht der Fall. Es müssen noch Anstrengungen unternommen werden, die Sanierungsinfrastruktur auch für diese Parameter anzupassen oder quellenorientierte Maßnahmen zu ergreifen, um diese Problempunkte zu lösen.

Für eine Reihe von Parametern, die im Sanitärabwasser, Betriebsabwasser oder Kühlwasser vorhanden sind, werden die Messungen nicht immer einheitlich durchgeführt oder die Nachweisgrenze der Messungen ist höher als die Ableitungsnorm, was bedeutet, dass es Unsicherheiten gibt, ob die Ableitungsnormen eingehalten werden oder nicht. Speziell für das Kühlwasser muss beispielsweise noch eine Lösung für eine adäquate Überwachung des aktiven Chlorgehalts gefunden werden, um die AOX-Bildung reduzieren zu können.

Die maximale Begrenzung der **thermischen Belastung** und die optimale Nutzung der Kühlkapazität sind ebenfalls Maßnahmen, die zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette beitragen, vor allem angesichts des Klimawandels. Es wird empfohlen, die Auswirkungen der thermischen Ableitungen stärker auf die Entwicklung des Temperaturgradienten zwischen der niederländischen Grenze und Antwerpen abzustimmen.

Die 10 Jahre längere Offenhaltung der Kraftwerke bedeutet, dass das Vorhandensein der Mischwasserkanalisation und das **Überlaufproblem** in diesem Zeitraum aufrechterhalten werden. Auch die **thermische Belastung** auf die Seeschelde wird weiter fortgesetzt.

In Bezug auf die **Hochwasserrisiken** stellen sich in der aktuellen Situation keine Probleme und es werden auch kurz- oder mittelfristig keine Probleme erwartet. Das Kernkraftwerk befindet sich nicht in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet und ist auch gegen mögliche zukünftige Überschwemmungsrisiken infolge eines steigenden Meeresspiegels und intensiverer Regenfälle (aufgrund des Klimawandels) ausreichend geschützt. Es gibt zudem keine Hinweise darauf, dass das Kraftwerk unerwünschte Hochwasserrisiken flussabwärts (in den tief liegenden Poldern) verursacht oder aufrechterhält. Folglich wird eine längere Offenhaltung von Doel 1 und 2 keinen nennenswerten Beitrag zur Verringerung oder Verursachung der Hochwasserrisiken leisten.

Die Bewertung des Beitrags zum politischen Ziel „**nachhaltige Wasserversorgung**“ während des Zeitraums der Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 fällt eher negativ aus, da z. B. kein Regenwasser wiederverwendet wird und es keine Projekte zur Abkopplung und Enthärtung gibt.

4.1.1.2 Thema Biologische Vielfalt

Im Rahmen des Themas biologische Vielfalt wurde zunächst geprüft, ob durch das Projekt **Schäden an der Natur** vermieden werden können, wie es das Naturdekret vorschreibt. Bei der Auswirkungsanalyse wurde die Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer, die Barrierefunktion, die Mortalität, die Störung, die Versauerung und die Eutrophierung aus der Luft und der direkte Flächenverbrauch berücksichtigt. Für die Barrierefunktion, die Mortalität und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten. Was Belästigungen anbelangt, so besteht potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten. Was die Versauerung und Überdüngung aus der Luft betrifft, so ist der Beitrag des Projekts selbst vernachlässigbar und aufgrund der vermiedenen Effekte sogar (begrenzt) positiv. Die Auswirkungen der Ableitung von Abwasser, Industrierwasser und Kühlwasser auf den gesamten Wasserkörper sind vernachlässigbar. Lokal, in der Zone innerhalb des Leitdamms, können potenziell zwar Auswirkungen auftreten, aber dies ist aus den Überwachungsdaten, z. B. aus dem MONEOS-Programm, nicht ersichtlich. Insgesamt kann daher der Schluss gezogen werden, dass das Projekt **keine vermeidbaren Schäden** verursachen wird.

Diese Analyse wurde für die VEN-Gebiete in der Nähe des Kernkraftwerks weiter verfeinert. Die wichtigsten Naturwerte sind hier die Schlick- und Salzwiesen selbst, die hier vorkommenden Vögel und die Fische in der Schelde. Für die Schlickwiesen und die Fische in der Schelde ist die Auswirkung auf die Qualität der Oberflächengewässer ein Punkt, der Beachtung verdient. Die in der Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich der Arbeiten enthaltenen Daten

zeigen, dass die thermischen Auswirkungen der Einleitungen weitgehend auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt sind. Angesichts der begrenzten Auswirkungen auf den Rest der Schelde werden keine Barriereeffekte für die Fische in der Schelde erwartet. Auch für die anderen Parameter (wie Nitrit und AOX) ist der Beitrag der Einleitungen zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper vernachlässigbar.

Allgemein kann daher geschlussfolgert werden, dass durch das Projekt **keine vermeidbaren und irreparablen Schäden innerhalb der VEN-Gebiete** in der Umgebung des Kraftwerks auftreten werden.

Das Projektgebiet ist von BSG-V umgeben und grenzt auch an BSG-H. Das Projekt darf keine erheblichen Auswirkungen in Bezug auf **NATURA-2000-Gebiete** haben. Die Wirkungsanalyse kam zu dem Schluss, dass weder Auswirkungen in Bezug auf die Barrierefunktion noch auf die Mortalität zu erwarten sind. Bei den sonstigen Auswirkungen ist im Rahmen der passenden Beurteilung nicht nur zu prüfen, ob eine Auswirkung auf die vorhandenen Lebensräume und Arten vorliegt, sondern auch, ob durch das Vorhaben die Erreichung der Naturziele nicht gefährdet wird. Für den direkten **Flächenverbrauch** haben wir daher geprüft, ob die Entscheidung für den längeren Betrieb von Doel 1 und 2 die Entwicklung neuer Lebensräume beeinträchtigt hat. Dies ist nicht der Fall, da die Möglichkeit, an diesem Standort Lebensraum zu entwickeln, ohnehin nicht gegeben ist. Außerdem ist die zusätzliche Fläche nicht notwendig, um die Naturziele für das BSG-V zu erfüllen.

Auch bei **versauernden und eutrophierenden Einträgen** müssen die Auswirkungen sowohl anhand der aktuellen Naturwerte als auch der Naturziele bewertet werden. Für die Auswirkungen des Projekts selbst ist diese Beurteilung einfach. In der Tat wird nur eine vernachlässigbare Auswirkung erwartet, und die nahe gelegenen aktuellen Lebensräume und Ziele betreffen Lebensräume mit geringer Empfindlichkeit gegenüber Stickstoffdeposition. Die Auswirkungen der vermiedenen Depositionen sind schwieriger zu beurteilen. Die Auswirkungen sind offensichtlich positiv, aber es ist weniger klar, ob sie auch signifikant sind und somit spürbar zu den Zielen der Natura-2000-Gebiete beitragen. Dies liegt vor allem daran, dass die Auswirkungen der vermiedenen Emissionen nicht räumlich verortet werden können.

Die wichtigste nichtradiologische Auswirkung des Kernkraftwerks, die für das Thema biologische Vielfalt relevant ist, liegt jedoch im Bereich der **Wasserqualität**. Das Kernkraftwerk hat eine erhebliche thermische Auswirkung und leitet auch Abwasser ein, für das eine mögliche eutrophierende und ökotoxikologische Wirkung nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann. Wie bereits erwähnt, ist dieser Einfluss jedoch auf das Gebiet innerhalb des Leitdamms beschränkt und der Beitrag zur gesamten Wasserqualität ist vernachlässigbar. Dies bedeutet auch, dass ein Effekt auf Populationsebene für die in der Schelde vorkommenden Arten ausgeschlossen werden kann. Es gibt zudem keine Hinweise darauf, dass die Ableitungen lokal die Nahrungsverfügbarkeit für die Vögel des BSG-V verringern. Das Gebiet innerhalb des Leitdamms ist noch fischreicher und auch die Artenvielfalt und Biomasse der Makroinvertebraten ist hoch. Ein signifikanter Effekt ist daher nicht zu erwarten.

Schließlich werden für Vögel im BSG-V weder in den bestehenden noch in den noch zu schaffenden Gebieten nennenswerte **beeinträchtigende Auswirkungen** erwartet. Obwohl der Betrieb des Kernkraftwerks zu erhöhten Lärmpegeln führt, dürfte der Beitrag von Doel 1 und 2 an sich begrenzt sein. Andere Formen der Beeinträchtigung, wie z. B. durch Licht oder durch die Anwesenheit von Menschen, werden sich durch das Projekt nicht wesentlich ändern.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass das Projekt **keine bedeutenden Auswirkungen** auf den Erhaltungszustand von Lebensräumen und Arten im Kontext der geeigneten Prüfung haben wird und dass der Beitrag dieses Projekts zu diesem Ziel neutral ist.

Im Kontext des **Artenschutzlases** schließlich kann geschlussfolgert werden, dass das Projekt keine Beeinträchtigung für das Erreichen der in den Artenschutzprogrammen genannten Ziele haben wird und dass der Beitrag dieses Projekts zu diesem Ziel neutral ist.

4.1.1.3 Thema Luft

Verglichen mit den politischen Zielen und den zu erreichenden Emissionsreduktionen in Belgien und den Regionen kann man sagen, dass die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 verursachten **Emissionen** vernachlässigbar sind. Da

der „Endzeitraum“ dieser UVP das Jahr 2025 ist, haben diese „eigenen Emissionen“ logischerweise keinen Einfluss auf die Ziele für 2030. Auch in Sachen **Luftqualität** sind von diesen „eigenen Emissionen“ keine Auswirkungen zu erwarten.

Hinsichtlich der „**vermiedenen**“ Emissionen, die durch die Stilllegung der Anlagen Doel 1 und 2 entstehen würden, kann festgestellt werden, dass diese sich zwar negativ auf die Reduktionsziele auswirken würden (weil zusätzliche Emissionen entstehen würden), der Anteil dieser Emissionen im Verhältnis zu den nationalen und regionalen Emissionshöchstmengen für die meisten Parameter jedoch als relativ begrenzt eingeschätzt werden kann. In Bezug auf NO_x können diese Emissionen jedoch als signifikant angesehen werden. Im Durchschnitt des Zeitraums 2015-2025 entspricht dies 0,4 % des nationalen NO_x-Grenzwertes für 2030.

In der Variante, in der die vermiedenen Emissionen auf Basis der maximalen Emissionen der neuesten Generation von erdgasbefeuerten GuD berechnet werden, sind die Beiträge bezüglich NO_x und NH₃ jedoch (deutlich) höher als in der ersten Berechnungsvariante. Die vermiedenen NO_x-Emissionen haben einen Beitrag von 0,4 bis 0,8 % (mit einem Durchschnitt von 0,6 % über den Zeitraum 2015-2025 in Bezug auf die föderale Emissionshöchstmenge für 2030. Für NH₃ erhalten wir einen Durchschnittswert von 0,37 % über den Zeitraum 2015-2025 (gegenüber < 0,01 % bei der ersten Berechnungsmethode), ebenfalls berechnet in Bezug auf die föderale Emissionshöchstmenge für 2030.

Die Auswirkungen auf die Luftqualität der möglichen Quellen, die für die „Ersatzproduktion“ von Doel 1 und 2 verantwortlich sind, können in der Nähe dieser Quellen (einige Kilometer) als begrenzt bewertet werden. In weiterer Entfernung werden die Auswirkungen aufgrund der zunehmenden Streuung als vernachlässigbar angesehen.

NO_x- und ggf. NH₃-Emissionen können durch versauernde und eutrophierende Ablagerungen auch lokale Auswirkungen haben. Aber auch bei diesen Parametern ist darauf hinzuweisen, dass die Auswirkungen stark von möglichen Genehmigungsbedingungen und Quellencharakteristika der „Ersatzanlagen“ abhängen werden.

Es ist deutlich, dass bei einer längeren Offenhaltung von Doel 1 und 2 die Emissionen, die im Zeitraum 2015-2025 von den mit beiden Reaktorblöcken verbundenen Verbrennungsanlagen erzeugt würden, um ein Vielfaches geringer wären als die Emissionen, die im gleichen Zeitraum entstehen würden, wenn Doel 1 und 2 im Jahr 2015 abgeschaltet worden wären. Für SO_x und NO_x sind dies unter den verwendeten Annahmen bezüglich der Zusammensetzung des Produktionsparks in der Referenzsituation (erste Variante) 0,5 % bzw. 1,8 %. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher sehr gering im Vergleich zu den vermiedenen Emissionen. Dies gilt natürlich auch für die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Luftqualität und auf versauernde und eutrophierende Einträge. Das tatsächliche Ausmaß dieser „vermiedenen“ abgeleiteten Effekte ist jedoch nicht bekannt, da es stark von etwaigen Genehmigungsbedingungen und Quellencharakteristika der Ersatzanlagen sowie von der Anfälligkeit der Umgebung, in der sie sich befinden, abhängt.

4.1.1.4 Thema Klima

Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 zu einer Emissionsvermeidung von maximal ca. 5.500 t CO₂eq. Setzt man die Emissionen ins Verhältnis zum produzierten Strom, erhält man einen Wert, der für die betrachteten Jahre zwischen 0,070 und 0,146 Gramm CO₂ pro kWh schwankt, was sehr niedrig ist.

Die durch eine längere Offenhaltung von Doel 1 und 2 *vermiedenen* Treibhausgasemissionen liegen in einer anderen Größenordnung. Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 22.000 kt CO₂eq. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 2,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Flandern für das Jahr 2018 (77.700 kt) oder fast 17 % der Emissionen im Teilssektor „Strom und Wärme“ für Flandern im selben Jahr. Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 1 und 2 im gleichen Zeitraum freigesetzt werden (5.500 Tonnen), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 1 und 2 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,025 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar. Das Projekt leistet also einen Beitrag zur Zielerreichung und die Bewertung lautet daher auch „**positiv**“.

Über den Referenzzeitraum 2015-2020 hat das Projekt keine zusätzlichen Auswirkungen auf die **Widerstandsfähigkeit** der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. Potenziell relevante Auswirkungen nehmen bei einem Aufschub der Abschaltung nicht zu, einerseits aufgrund des kurzen Zeithorizonts (2025), in dem sich der Klimawandel manifestieren kann, und andererseits aufgrund der Tatsache, dass der Boden des Standorts Doel 1 und 2 auch bei einer Abschaltung im Jahr 2015 über den Referenzzeitraum hinweg versiegelt bleiben wird. Das Projekt trägt also nicht merklich zur Zielerreichung bei, wirkt ihr aber auch nicht merklich entgegen. Die Bewertung fällt für diesen Aspekt daher auch **neutral** aus.

Die in dieser UVP angeführte Analyse zeigt schließlich deutlich, dass der Standort gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels (in Bezug auf Überschwemmungen, Überflutungen, extremes Wetter usw.) weit über die für das Jahr 2025 zu erwartende Situation hinausgeht. Ob Doel 1 und 2 im Referenzzeitraum 2015-2025 in Betrieb sind oder nicht, ändert daran nichts. Die Bewertung lautet daher **neutral**.

4.1.1.5 Thema Gesundheit

Die aufgeschobene Abschaltung von Doel 1 und 2 führt nicht zu gesundheitlichen Auswirkungen infolge **chemischer oder physikalischer Stressoren**. Allerdings wird bei der Kernenergieerzeugung u. a. der Ausstoß von Stickstoffoxiden vermieden, was sich im Rahmen der Analyse von Umwelt- und Gesundheitsrisiken positiv auswirkt. Die **vermiedenen Emissionen** von Stickstoffoxiden liegen bei ca. 500 Tonnen jährlich.

Ein weiterer Punkt, der hier beachtet werden muss, ist, dass die Kernenergie für eine zentrale Produktion steht. Bei einer dezentralen Energieerzeugung (was in der Referenzsituation zumindest teilweise der Fall wäre) treten an mehr Orten beeinträchtigende Aspekte auf, sodass das Projekt (mit stärkerem Fokus auf die zentrale Erzeugung) bezüglich dieses Aspekts als positiv zu bewerten ist.

Es ist schwierig, eine Aussage über die Bedeutung der **psychosomatischen und psychosozialen** Beschwerden zu treffen, die einerseits aus dem Betrieb des Kernkraftwerks Doel und andererseits aus dem Nuklearsektor im Allgemeinen resultieren können.

Angesichts des begrenzt bewohnten Gebiets in der Umgebung sind diese Doel 1 und 2 betreffend vernachlässigbar. Was den Nuklearsektor betrifft, können wir die Entscheidungen des SCK-CEN-Barometers (2018) übernehmen. Generell zeigt sich, dass neben der Umweltverschmutzung die nichtkonforme Nutzung der Kerntechnik die größte Sorge der Bevölkerung ist. Es besteht ein allgemeiner Konsens, die Anzahl der Kernkraftwerke zu reduzieren; das Vertrauen in den Schutz vor einem nuklearen Zwischenfall nimmt ab. Eine ausgeprägt negative Wahrnehmung gegen die Produktion von Kernenergie scheint es jedoch nicht zu geben.

Großflächige Stromausfälle können wahrscheinlich ebenfalls gesundheitliche Auswirkungen mit sich führen. Da der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 auf die Gewährleistung der Versorgungssicherheit und damit auf die Vermeidung großflächiger Stromausfälle abzielte, kann von einer positiven gesundheitlichen Wirkung des Projekts ausgegangen werden. Zu den Faktoren, die die Bedeutung der gesundheitlichen Auswirkung eines Stromausfalls bestimmen, gehören zum einen direkte Parameter wie Dauer und Häufigkeit, zum anderen kontextbezogene Parameter wie Außentemperatur und Maßstab. Auch bei einem Stromausfall ergeben sich Sicherheitsfragen, diese sind jedoch nicht Gegenstand der Disziplin Gesundheit. Eine wichtige Studie (Domianni 2018) berichtet über die gesundheitlichen Auswirkungen eines Stromausfalls anhand von drei Ereignissen. Bei zwei von drei Stromausfällen war auch der Kontext entscheidend: Die Stromausfälle traten während einer Hitzewelle auf. Zu den Auswirkungen, die auf dieser Forschung beruhen, gehören Atemprobleme und wahrscheinlich eine erhöhte Sterblichkeit. Stromausfälle während Hitzewellen können zu Nierenversagen führen. Bei extremer Kälte führen Stromausfälle zu mehr allgemeineren Todesursachen und Herzkrankheiten. In Anbetracht des Kontextes in Flandern und Belgien können wir den Beitrag des Projekts zu (der Vermeidung von) gesundheitlichen Auswirkungen infolge von Stromausfällen als **neutral bis positiv einstufen**.

4.1.2 Radiologische Auswirkungen

4.1.2.1 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Bezüglich der radiologischen Auswirkungen wurden sowohl die Auswirkungen des Projekts während des normalen Betriebs (einschließlich der Produktion von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen) als auch die Auswirkungen bei Unfallsituationen untersucht.

Während des **normalen Betriebs** des KKW Doel werden begrenzte Mengen an Radioaktivität kontrolliert in die Atmosphäre und in Oberflächengewässer abgeleitet.

Die Ableitungen in die Atmosphäre enthalten radioaktive Stoffe in gasförmiger Form (Gas und Dampf) oder, im Falle von festen oder flüssigen Partikeln in Suspension in der abgegebenen Luft, in Form von Aerosolen. Diese Ableitungen stammen aus Prozessen, die z. B. in den Kernkraftwerken vorgesehen sind, um die Entgasung des Primärkühlwassers zu gewährleisten oder aus der allgemeinen Belüftung der kerntechnischen Gebäude.

Die flüssigen Ableitungen enthalten radioaktive Stoffe, im Falle von gelösten ionischen Salzen, in Form einer Lösung, oder, im Falle von festen Partikeln, in Form einer Suspension, die mit den Ableitungen vermischt sind. Diese Ableitungen stammen hauptsächlich aus Prozesskreisläufen, zum Beispiel zur Aufbereitung von Primärkühlwasser in den Kernkraftwerken. Sie werden auch durch das Sanitärabwasser (Duschen, Waschbecken usw.) und das Reinigungswasser von den Fußböden in den Nuklearzonen gebildet.

Um die Auswirkungen der Ableitungen in die Atmosphäre zu berechnen, werden atmosphärische Verbreitungs- und Depositionsmodelle verwendet. Ein einfaches Flussmodell, das die Verdünnung der abgeleiteten Mengen berücksichtigt, wird verwendet, um die Konzentrationen der abgeleiteten Radionuklide im Scheldewasser zu berechnen. Das Ergebnis dieser verschiedenen Berechnungen wird weiterhin als Ausgangspunkt für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verwendet.

Einzelpersonen der Bevölkerung, die in der Nähe von Kernkraftanlagen leben oder sich dort regelmäßig aufhalten, können in bestimmten Maße den radioaktiven Stoffen ausgesetzt sein, die von den atmosphärischen oder flüssigen Ableitungen der Anlagen ausgehen. Zu den Expositionsmethoden gehören die äußere Bestrahlung durch Radionuklide, die in der Luft vorhanden oder sich auf dem Boden und anderen Oberflächen abgesetzt haben, und die innere Exposition durch die Aufnahme von Radioaktivität in den Körper, durch das Einatmen radioaktiver Stoffe oder durch die Aufnahme von pflanzlichen oder tierischen Lebensmitteln, die selbst Radioaktivität aufgenommen haben. Die Bevölkerung kann der Radioaktivität auch durch die Nutzung von Flusswasser, den Aufenthalt am Wasser oder am Flussufer oder durch den Verzehr von Fischen aus der Schelde ausgesetzt sein.

Die Dosisberechnungen berücksichtigen alle Expositionspfade und gehen von einer kritischen Person aus, die sich ständig am Ort der maximalen Dosisbelastung aufhält und 10 % ihrer Nahrung aus einem Gebiet bezieht, in dem der Eintrag der abgeleiteten Radionuklide maximal ist.

Die Berechnungen, die auf der Überwachung der Ableitungen basieren, zeigen in der aktuellen Situation eine maximale Auswirkung für die am meisten exponierte kritische Person von 0,02 mSv/Jahr. Diese konservativ berechnete effektive Dosis für die am stärksten exponierte Person ist 50-mal niedriger als der Dosisgrenzwert für die Öffentlichkeit, der bei 1 mSv/Jahr liegt. Auch die Überwachung der Umgebung zeigt, dass das KKW Doel keine messbaren radiologischen Auswirkungen auf seine Umgebung hat. Die Exposition in der Umgebung von Doel wird wie in anderen Teilen des Landes vollständig von der Exposition gegenüber natürlicher Radioaktivität dominiert.

Bei einem Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 werden die mit dem normalen Betrieb dieser beiden Blöcke verbundenen gasförmigen und flüssigen Ableitungen bis 2025 weiterhin stattfinden. Die Ableitungen werden vollständig durch den Betrieb der Anlagen bestimmt und hängen mit der Wärmeleistung und der Behandlung der flüssigen und gasförmigen Ableitungen zusammen. Da im Rahmen des integrierten Aktionsplans für den Betrieb nach 2015 keine grundlegenden Änderungen am Betrieb der Anlage vorgenommen wurden (Zehnjährliche Sicherheitsüberprüfung, Long Term Operation und BEST-Maßnahme - Stresstests), kann davon ausgegangen werden, dass sowohl die atmosphärischen als auch die flüssigen radioaktiven Ableitungen unter den gleichen Bedingungen wie im Jahr 2015 abgeleitet werden.

Die radiologische Auswirkung sowohl der atmosphärischen als auch der flüssigen Ableitungen für den gesamten Standort des KKW Doel wird daher im Falle einer Abschaltung von Doel 1 und 2 ähnlich bleiben und etwa 0,02 mSv/Jahr für die am stärksten exponierte Person betragen.

Durch den Betrieb von Kernkraftwerken über ihre gesamte Laufzeit hinweg können sich zudem bestimmte Radionuklide mit ausreichend langen Halbwertszeiten im Boden anreichern. Bei Aufschub der Abschaltung wird diese Akkumulation theoretisch noch 10 Jahre länger andauern, bevor ein Absinken der Bodenkonzentrationen durch den radioaktiven Zerfall einsetzt. Eine im Rahmen dieser UVP durchgeführte Analyse zeigt jedoch (für Cs-137), dass der Effekt der Akkumulation im Boden und damit sicherlich auch der Unterschied zwischen Abschaltung oder Aufschub der Abschaltung im Jahr 2015 nicht wahrnehmbar ist. Bei kurzlebigen Nukliden findet über einen langen Zeitraum keine Akkumulation statt, da sich sehr schnell ein Gleichgewicht zwischen Ablagerung und Zerfall einstellt. Auch beim langlebigen Kohlenstoff-14 wird keine signifikante Anreicherung stattfinden, da man davon ausgeht, dass sich ein Gleichgewicht zwischen Luft- und Bodenkonzentrationen einstellt.

Die UVP zeigt außerdem, dass die radiologischen Auswirkungen der betrachteten **Unfällen** im KKW Doel (1 und 2) auf die menschliche Gesundheit begrenzt sind. Diese Analyse basiert auf der Untersuchung von zwei Auslegungstörfallszenarien und einem auslegungsüberschreitenden Unfallszenario^{clx} (siehe UVP-Arbeiten). In jeder dieser Situationen bleibt die Auswirkung an der Domänengrenze des KKW Doel unter den zulässigen Grenzen und die grenzüberschreitenden Auswirkungen, insbesondere auf die Niederlande in 3,15 km, liegen ebenfalls unter den zulässigen Grenzen. Die Auswirkungen von Unfällen basieren auf einer statistischen Analyse, wobei Unfälle mit höheren Auswirkungen nie ausgeschlossen werden. Unter diesen Umständen können im Rahmen der nationalen nuklearen und radiologischen Notfallpläne weitere Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung ergriffen werden. Diese Notfallpläne werden jährlich für das KKW Doel getestet.

4.1.2.2 Auswirkungen auf die biologische Vielfalt

Da die radiologische Auswirkungen auf ein Ökosystem aufgrund seiner Komplexität schwer zu bewerten sind, werden verschiedene Kategorien von Referenzorganismen verwendet, um die radiologische Auswirkung auf die Umwelt zu bestimmen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Referenzorganismen repräsentativ für die von ihnen bewohnten Lebensräume sind. Die Gesamtheit der Referenzorganismen verweist auf ein Ökosystem. Daher wird bei der Auswahl von Indikatorarten oder bestimmter Referenzorganismen auch besonders auf den „Wert“ eines Organismus innerhalb des untersuchten Ökosystems geachtet.

Im Zeitraum 2010-2011 wurden vom belgischen Studienzentrums für Kernenergie im Auftrag von Electrabel AG Studien durchgeführt, um die radiologischen Auswirkungen von atmosphärischen und flüssigen **routinemäßigen Ableitungen** auf die Umwelt zu bewerten. Für die Berechnungen wurde das ERICA-Tool (Environmental Risk from Ionising Contaminants Assessment and Management Tool), das Referenztool für Biota, verwendet. Die potenzielle Auswirkung wird mithilfe eines Risikoquotienten (RQ) abgeschätzt, der als das Verhältnis der berechneten Dosisleistung (PEDR) und einer geschätzten Dosisleistung ohne Wirkung (PNEDR) als Screeningwert definiert ist. Der von ERICA vorgeschlagene Richtwert von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ wurde als Referenzwert verwendet. Wie bereits erwähnt, wird bei solchen Dosisleistungen davon ausgegangen, dass die Ökosysteme geschützt sind.

Es wurden einerseits Auswirkungsanalysen für die atmosphärischen und flüssigen Ableitungsgrenzwerte des KKW Doel durchgeführt. Der Screeningwert von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ wurde trotz zusätzlicher konservativer Annahmen, z. B. zur Ausbreitung der Radionuklide, nie überschritten. Die tatsächlichen Ableitungen betragen weniger als 1 % der Dosisgrenzwerte, die resultierenden Dosiswerte waren um mehrere Größenordnungen niedriger als der Richtwert und die assoziierten RQ lagen $\ll 0,01$.

Aus der Tatsache, dass die Ableitungen aus den Reaktorblöcken Doel 1 und 2 50-60 % der Ableitungen des gesamten Geländes des KKW Doel (bestehend aus 4 Reaktorblöcken) ausmachen, kann gefolgert werden, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass die routinemäßigen Ableitungen aus den Blöcken Doel 1 und 2 Auswirkungen auf die Umwelt und infolgedessen auf die biologische Vielfalt der nahe gelegenen FFH-Gebiete oder anderer (geschützter) Naturgebiete und Ökosysteme haben werden. Da die Ableitungen in den letzten zwei Jahrzehnten ziemlich stabil geblieben sind, kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Trend fortsetzt, wenn der Betrieb

von Doel 1 und 2 von 2015 bis 2025 verlängert wird, und dass daher das zukünftige Risiko von Auswirkungen auf die Umwelt durch routinemäßige Ableitungen nicht gegeben ist.

Für **Störfallszenarien** wird bei den oben genannten Szenarien trotz sehr konservativer Annahmen nie eine höhere Dosisleistung als $45 \mu\text{G h}^{-1}$ berechnet (höchste Dosis für Wirbellose, Regenwürmer, Amphibien, Reptilien und Säugetiere). Diese Dosisleistung liegt im Bereich von $10\text{-}100 \mu\text{Gy h}^{-1}$, wobei die Wahrscheinlichkeit, dass das Ökosystem geschützt wird, als sehr hoch eingeschätzt wird. Für die meisten Organismen sank die Dosisleistung nach einer 4-tägigen und für alle Organismen nach einer 30-tägigen Exposition auf $< 10 \mu\text{G h}^{-1}$.

Da weder die routinemäßigen radioaktiven Ableitungen noch die betrachteten Störfallszenarien Auswirkungen auf die Fauna und Flora haben, kann gefolgert werden, dass der Aufschub der Abschaltung von Doel 1 und 2 keine negativen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt durch radioaktive Ableitungen hat.

4.1.2.3 Auswirkungen auf die Erzeugung von Abfall und abgebrannten Brennelementen

Die verschobene Abschaltung der Kernreaktoren Doel 1-2 wird zur Entstehung von zusätzlichem schwach- und mittelradioaktivem Abfall führen. Von der durchschnittlichen Produktion von 120 m^3 konditioniertem Abfall pro Jahr für das KKW Doel entfällt etwa $1/3$ auf Doel 1-2, also $40 \text{ m}^3/\text{Jahr}$. Dies entspricht in etwa dem Verhältnis des Anteils der beiden Reaktoren an der Gesamtleistung bzw. an der gesamten erzeugten Strommenge. Es sollte jedoch beachtet werden, dass ein Großteil des Abfalls in keinem Zusammenhang zur erzeugten Strommenge steht. Er tritt bei Arbeiten an Anlagen sowie bei Reinigungstätigkeiten oder beim Waschen von Arbeitskleidung auf. Auch für diesen Anteil wird angenommen, dass $1/3$ eine gute Näherung für den Anteil von Doel 1 und 2 ist.

Auf Grundlage dessen wird für den Referenzzeitraum 2015-2025 ein kumuliertes zusätzliches Aufkommen von 400 m^3 an zu entsorgenden schwach- und mittelaktiven Abfällen erwartet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B.

Unter der Annahme, dass die Menge an Abfall der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 250 Monolithen oder einem Viertel eines Moduls in der Endlageranlage für Abfall der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität des Endlagers beträgt 34 Module. Da es sich um die Verlängerung einer bestehenden Aktivität handelt, die zu Abfallfamilien mit bekannten Eigenschaften führt, werden weder kurz- noch langfristige weitere Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft erwartet.

Wie bei den radioaktiven Abfällen wurde eine Schätzung der kumulativen Anzahl von Brennelementen vorgenommen, die im Referenzzeitraum 2015-2025 verbraucht werden. Ausgehend von einer durchschnittlichen Entladung von 55 Brennelementen pro Jahr für Doel 1 und 2 wird der kumulierte Mehrverbrauch durch den Aufschub der Abschaltung auf 550 Brennelemente geschätzt. Die NIRAS berücksichtigt eine zusätzliche Anzahl von Brennelementen infolge der Erweiterung des Betriebs von Doel 1 und 2 in etwa der gleichen Größenordnung (609 Stück, siehe Tabelle 44). Bezogen auf den gesamten belgischen Reaktorpark gewichtet, entspricht dies einem Mehrverbrauch von 5,8 % der Brennelemente oder 3,4 % in Tonnen Schwermetall (tSM).

In Anbetracht dieser relativ begrenzten Menge und unter der Annahme, dass sie ähnliche Eigenschaften wie die vorhandenen Brennelemente haben werden, werden keine Auswirkungen auf ihre weitere Bewirtschaftung erwartet. In Doel werden Kernbrennelemente in trockenen Behältern im SCG zwischengelagert. Durch den Aufschub der Abschaltung von Doel 1-2 wird die Abschaltung der 4 Blöcke auf wenige Jahre (2022-2025) verdichtet, während sie sonst gleichmäßiger verteilt wäre. Electrabel AG versichert, dass es dank des geplanten Baus des SF_2 -Lagers, für das das Genehmigungsverfahren läuft, genügend Lagerkapazität für Brennelemente geben wird.

Bei den Stilllegungsarbeiten werden radioaktive Komponenten aus den Kraftwerken entfernt, wodurch große Mengen an radioaktivem Abfall anfallen. Ein Teil dieses Abfalls ist auf die Neutronenaktivierung von großen (Struktur-)Komponenten zurückzuführen. Da die Abfallklassifikation (Kategorie A oder B) von der Gesamtmenge der sicherheitsrelevanten Nuklide abhängt, wird erwartet, dass eine längere Neutroneneinwirkung möglicherweise zu einer Verschiebung der Abfallkategorie (z. B. von Kategorie A zu Kategorie B) führen kann. Bei dieser leichten Verschiebung hin zu „schwereren“ Abfallklassen werden jedoch keine Probleme für die langfristige Entsorgung dieser Klassen erwartet.

4.2 Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen

4.2.1 Nichtradiologische Auswirkungen

Die meisten der nichtradiologischen Auswirkungen, die auf die verschobene Abschaltung von Doel 1 und 2 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kraftwerks, sind von begrenztem Ausmaß und führen daher nicht zu grenzüberschreitenden Auswirkungen. Nur für das Thema Wasser können (begrenzte) grenzüberschreitende Auswirkungen auftreten.

Basierend auf der Überwachung (2012) des Temperatureinflusses des Kühlwassers des KKW Doel auf die Schelde in der Nähe der niederländischen Grenze (in ca. 3,4 km Entfernung von der Einleitungsstelle), kann der Einfluss der Einleitung des Kühlwassers höchstens als begrenzt negativ angesehen werden (d. h. die Temperaturerhöhung infolge der Einleitung wird weniger als 1 °C betragen). Dieser Temperaturanstieg wird flussabwärts auf niederländischem Staatsgebiet langsam weiter abnehmen.

Es ist anzumerken, dass mehrere grenzüberschreitende Auswirkungen in der Referenzsituation nicht auszuschließen sind, wenn die Abschaltung nicht verschoben wird. Die Bedeutung und die Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden sehr stark von den Standorten, an denen (theoretische) Ersatzkapazitäten bereitgestellt werden, sowie von den technischen Merkmalen dieser Anlagen und von ihren Genehmigungsmerkmalen abhängen.

4.2.2 Radiologische Auswirkungen

4.2.2.1 Normalbetrieb

Die Grenze zu den Niederlanden befindet sich in kürzester Entfernung von etwa 3,15 km vom Standort des KKW Doel. Angesichts der vernachlässigbaren und nicht nachweisbaren radiologischen Auswirkungen (0,02 mSv/Jahr) beim Betrieb aller Blöcke des KKW Doel für die am stärksten exponierte Person, die sich auf belgischem Staatsgebiet befindet (knapp außerhalb des Geländes des KKW Doel), und der Tatsache, dass die Auswirkungen nur mit der Entfernung abnehmen, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass im Falle eines Aufschubs der Abschaltung von Doel 1 und 2 keine grenzüberschreitenden Auswirkungen bei einem normalen Betrieb auftreten.

4.2.2.2 Unfälle

Die radiologische Auswirkung der in den UVP-Arbeiten berücksichtigten Auslegungsstörfälle an der Grenze zu den Niederlanden (in ca. 3,15 km Entfernung des KKW Doel) führt zu einer effektiven Dosis für die Bevölkerung von ca. 0,5 mSv oder weniger. Dieser Wert liegt unter den belgischen Richtwerten für die Aufforderung der Bevölkerung zum Aufenthalt in geschlossenen Räumen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Unfälle mit einem größeren Quellterm auftreten, bei denen die Wahrscheinlichkeit geringer ist.

Im Falle eines Unfalls mit erheblichen grenzüberschreitenden radiologischen Auswirkungen (*d. h.* mit Auswirkungen, die zu einer Überschreitung der Interventionswerte führen würden) werden die nationalen nuklearen und radiologischen Notfallpläne zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt aktiviert.

4.3 Minderungsmaßnahmen

Für die nichtradiologischen Themen wurden keine signifikanten Auswirkungen festgestellt, sodass keine Notwendigkeit für Minderungsmaßnahmen besteht. Dies gilt auch für die radiologischen Auswirkungen bei Normalbetrieb. Sollten bei Störfällen dennoch erhebliche negative radiologische Auswirkungen auftreten, können unmittelbar Minderungsmaßnahmen in Form einer internen und externen Notfallplanung durchgeführt werden (siehe Abschnitt 3.8).

4.4 Wissenslücken

Es wurden keine Wissenslücken identifiziert, die eine hinreichend genaue Bewertung der Auswirkungen verhindern und die, wenn sie gefüllt würden, möglicherweise zu anderen Entscheidungen führen würden.

Zu den nichtessentiellen Wissenslücken bei den *nichtradiologischen* Themen gehören:

- Einsicht in den Anteil des Abwassers von Doel 1 und 2 und damit über den genauen Beitrag des Betriebs von Doel 1 und 2 zur Restverschmutzung in der Schelde;
- die Art und der Standort der (hypothetischen) Anlagen, die die weggefallene Kapazität im Falle der Abschaltung von Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015-2025 hätten ersetzen müssen. Die Auswirkungen dieser Anlagen auf die Umwelt (in Bezug auf Luftqualität, Stickstoffablagerung, Gesundheit usw.) können daher nicht mit Sicherheit abgeschätzt werden;
- die Verfügbarkeit von Studien über die gesundheitlichen Auswirkungen von Stromausfällen;
- die Bedeutung der direkten Auswirkungen von NO_x unterhalb des aktuellen WHO-Grenzwertes;
- die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls.

Bei der Berechnung der *radiologischen* Auswirkungen von Ableitungen können verschiedene Unsicherheiten eine Rolle spielen, wie z. B. die Menge und die Eigenschaften der abgeleiteten Radionuklide, die meteorologischen Bedingungen und der Aufenthaltsort von Menschen und deren Lebensgewohnheiten. Für die Berechnungen der Auswirkungen bei Normalbetrieb sind die Ableitungen bekannt und die meteorologischen Bedingungen werden für ein volles (Referenz-)Jahr berücksichtigt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die am stärksten exponierte Person sehr konservative Lebensgewohnheiten in Bezug auf die radiologische Auswirkung hat (konservative Abschätzung der radiologischen Auswirkung). Auch für Unfallszenarien werden konservative Annahmen getroffen, aber die tatsächliche Exposition während eines Unfalls hängt von den genauen Mengen der abgeleiteten Radionuklide, den genauen meteorologischen Bedingungen sowie dem Aufenthaltsort und den Gewohnheiten der Menschen ab.

Trotz dieser Unsicherheiten sind die Dosen, denen eine Person ausgesetzt ist, bei Normalbetrieb extrem niedrig (deutlich geringer als 1 mSv/Jahr). Auch in Unfallsituationen ist die Auswirkung für alle oder die meisten der exponierten Bevölkerung begrenzt (in der Regel deutlich unter 100 mSv). Die Dosen liegen weit unter der Grenze für das Auftreten deterministischer Effekte, aber auch fast immer weit unter den effektiven Dosen, für die epidemiologische Studien stochastische Effekte der Strahlung nachweisen können.

4.5 Allgemeine Entscheidung

Der Aufschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 kann dazu führen, dass eine Reihe von Auswirkungen, die bereits im vorangegangenen Zeitraum aufgetreten sind, für einen Zeitraum von 10 Jahren aufrechterhalten werden. Die Frage, die sich stellt, ist, ob diese Tatsache als signifikanter Effekt zu betrachten ist. Die Antwort auf diese Frage wurde in der vorliegenden UVP für die Rezeptorengruppen „Mensch“ und „biologische Vielfalt“ untersucht, und zwar sowohl in Bezug auf radiologische als auch auf nichtradiologische Auswirkungen. Eine Wirkungsanalyse wurde auch für eine Reihe anderer Themen durchgeführt, für die politische Ziele existieren, die durch das Projekt beeinflusst werden könnten und/oder die die Auswirkungen auf Mensch und biologische Vielfalt bestimmen. Darüber hinaus wurden auch die „vermiedenen Effekte“ des Projekts in Bezug auf Treibhausgasemissionen und Stickstoffoxide sowie deren Auswirkungen auf die Themen Gesundheit und Klima untersucht.

Die Analyse zeigt, dass die Auswirkungen auf das **Gewässersystem** nicht so beschaffen sind, dass sie einen Effekt auf den ökologischen Zustand der Seeschelde haben oder dass sie die Erreichung des guten ökologischen Potenzials dieses Wasserkörpers zu gefährden. Die Aufmerksamkeit wird jedoch auf die Lösung von Problemen gelenkt, die spezifisch für den aktuellen Betrieb sind, wie z. B. häufige Überläufe, der Zustand des Abwassersystems und die Tatsache, dass nicht immer alle Ableitungsnormen eingehalten werden. Auch im Bereich der politischen Themen „nachhaltige Wasserversorgung“ gibt es Verbesserungspotenzial.

Im Zusammenhang mit dem Thema **biologische Vielfalt** wurden die *nichtradiologischen Auswirkungen* in Bezug auf die Aspekte Qualität der Oberflächengewässer, Barrierefunktion, Mortalität, Störung, Versauerung und Eutrophierung aus der Luft und direkter Flächenverbrauch bewertet. Für die Barrierefunktion, die Mortalität und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten. Was Belästigungen anbelangt, so besteht potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten. Was die Versauerung und

Überdüngung aus der Luft betrifft, so ist der Beitrag des Projekts selbst vernachlässigbar und aufgrund der vermiedenen Effekte sogar (begrenzt) positiv. Die Auswirkungen der Ableitung von Abwasser, Brauchwasser und Kühlwasser auf die ökologische Qualität der Schelde sind vernachlässigbar.

Diese Erkenntnisse gelten mutatis mutandis auch für die Auswirkungen auf die VEN-Gebiete. Es werden keine Barriereeffekte durch die Kühlwassereinleitung und keine Auswirkungen durch Schadstoffeinleitung erwartet. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die besonderen Schutzgebiete in der Umgebung kann festgestellt werden, dass es keine negativen Auswirkungen auf die Erhaltungsziele gibt und dass das Projekt die Erreichung dieser Ziele auch nicht behindert. Die Auswirkung der vermiedenen Emissionen auf die Erhaltungsziele von Natura-2000-Gebieten in anderen Teilen Belgiens ist positiv, aber deren Bedeutung ist schwer abzuschätzen. Aus der Analyse der radiologischen Auswirkungen geht auch hervor, dass weder die routinemäßigen radioaktiven Ableitungen noch die betrachteten Störfallszenarien negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt im Allgemeinen oder auf den Erhaltungszustand der Natura-2000-Gebiete in der Umgebung des Kraftwerks haben dürften.

Die nichtradiologischen **atmosphärischen Emissionen** des Kraftwerks und seine Auswirkungen auf die Luftqualität sind vernachlässigbar. Die vermiedenen Stickstoffoxidemissionen sind im Referenzzeitraum im Vergleich zu den Emissionszielen gering. Lokal, in der Nähe der (theoretischen) Ersatzkapazitäten, können diese jedoch einen begrenzten Effekt auf die Luftqualität haben. Die durch den Aufschub der Abschaltung im Zeitraum 2015-2025 vermiedenen Emissionen sind übrigens viel größer als die mit den beiden Reaktorblöcken verbundenen nichtnuklearen Emissionen im selben Zeitraum.

Auch in Bezug auf die **Treibhausgase** sind die durch den Aufschub der Abschaltung vermiedenen Emissionen deutlich wichtiger als die mit dem Betrieb von Doel 1 und 2 verbundenen Emissionen im Zeitraum 2015-2025. Das Projekt hat des Weiteren weder Folgen für die Widerstandsfähigkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels, noch ist es selbst anfällig für diese Veränderungen.

Im Bereich **Gesundheit** kann über den Zeitraum, in dem Doel 1 und 2 länger geöffnet bleiben, durch die Vermeidung einer Menge an NO_x-Emissionen eine sehr bescheidene positive Auswirkung erwartet werden. Auch die Tatsache, dass größere Stromausfälle durch das Projekt vermieden werden, kann in gesundheitlicher Hinsicht als positiv angesehen werden. Die radiologischen Auswirkungen des Kraftwerks auf die menschliche Gesundheit sind bis zu 50-mal geringer als die Norm, und dies wird auch bei einem Weiterbetrieb von Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015-2025 der Fall sein. Die radiologischen Auswirkungen des Kernkraftwerks Doel auf die Gesundheit sind daher vernachlässigbar – mit oder ohne Realisierung des Projekts. Dies gilt nicht nur für die Auswirkungen bei Normalbetrieb, sondern auch für die Auswirkungen eventueller Unfällen.

Bibliographie

- Föderales Planbüro (2015). *Studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading tegen het jaar 2030*. FÖD Wirtschaft.
- GEMIX-Group. (2009). *Welke ideale energiemix voor België tegen 2020 en 2030?*
- Plancke, Y., Vereecken, H., Vanlede, J., Verwaest, T., & Mostaert, F. (2014). *Slibbalans-Zeeschelde: Deelrapport 5 - metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2013. Version 4.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.*
- Vanlierde, E., Michielsens, S., Vereycken, K., Hertoghs, R., Meire, D., Deschamps, M., ... Mostaert, F. (2016). *Tienjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken - Decennium 2001 - 2010*. Antwerpen: Waterbouwkundig Laboratorium.

Referenzen

- ⁱ Belgische black-outs berekend. Een kwantitatieve evaluatie van stroompannes in België. Föderales Planbüro, März 2014.
- ⁱⁱ Belgian blackout? Estimations of the reserve margin during the nuclear phase-out. Laleman, R. und Albrecht, J. *Electrical Power and Energy Systems* 81 (2016).
- ⁱⁱⁱ <https://fanc.fgov.be/nl/nieuws/openbaar-onderzoek-voor-vergunning-nieuwe-installatie-doel>.
- ^{iv} <https://nuclear.engeie-electrabel.be/nl/nuclear-energy/grote-nucleaire-projecten-belgie/definitieve-stopzetting-en-ontmanteling-van-een>.
- ^v Langetermijnuitbating (LTO) van de Belgische kerncentrales <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/kerncentrales-belgie/langetermijnuitbating-lto-van-de-belgische-kerncentrales> abgerufen am 16.12.2020.
- ^{vi} https://fanc.fgov.be/nl/system/files/20111223_nationaal_verslag_kerncentrales.pdf.
- ^{vii} <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-08-29-rapport-be-cns2019.pdf>.
- ^{viii} Adequacy and flexibility study for Belgium 2020 – 2030. Elia, 2019.
- ^{ix} Strategic Environmental Assessment for Nuclear Power Programmes: Guidelines. IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.17. International Atomic Energy Agency, 2018.
- ^x VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 62 S.
- ^{xi} Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brüssel.
- ^{xii} Arcadis (2012). Bericht über 5 Überwachungskampagnen (Zeitraum Juni 2011 – März 2012) zum Temperatureinfluss des Kühlwassers des Kernkraftwerks Doel auf die Schelde.
- ^{xiii} Königlicher Erlass vom 19. August 2020 zur Änderung des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und zur teilweisen Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom und der Lagerung radioaktiver Stoffe außerhalb von Gebäuden – <https://fanc.fgov.be/de/system/files/20200819-publication-kb-bss.pdf> (auf Französisch und Niederländisch).
- ^{xiv} Berekening van de jaarlijkse gemiddelde blootstelling aan ioniserende straling in België: Methodologie en Evolutie., FANK, 2018 - https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2018_popdose_methodologie.pdf.
- ^{xv} ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- ^{xvi} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen, Art. 20, 3 – 5.
- ^{xvii} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen, Art. 20, 3 – 5.
- ^{xviii} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen.
- ^{xix} Königreich Belgien, Gesetz vom 3. Juni 2014 zur Änderung von Artikel 179 des Gesetzes vom 8. August 1980 über die Haushaltsvorschläge 1979-1980 im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2014060303&table_name=wet.
- ^{xx} Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0070>.
- ^{xxi} Königreich Belgien, Artikel 179 § 5 des Gesetzes vom 8. August 1980 über die Haushaltsvorschläge 1979-1980, Belgisches Staatsblatt 15.08.1980 in geänderter Fassung.
- ^{xxii} Königreich Belgien, 30. März 1981. Königlicher Erlass zur Festlegung der Aufgaben und der Arbeitsweise der öffentlichen Einrichtung für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und Spaltmaterialien, Belgisches Staatsblatt 05.05.1981.
- ^{xxiii} Königreich Belgien, Artikel 2 des Gesetzes vom 15. April 1994 Gesetz über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde.

- ^{xxiv} <http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/consultatieLink?wettekstd=27752>.
- ^{xxv} <https://www.belgoprocess.be/activiteiten/Verwerken%20en%20conditioneren%20van%20alle%20types%20van%20radioactief%20afval>.
- ^{xxvi} <http://www.belgoprocess.be/activiteiten/tussentijdse-opslag-van-geconditioneerd-belgisch-radioactief-afval>
- ^{xxvii} Ministerrat, Sitzung vom 16. Januar 1998, Langfristige Entsorgung von schwach radioaktiven Abfällen.
- ^{xxviii} Ministerrat, Sitzung vom 23. Juni 2006, Entsorgung von radioaktiven Abfällen (Kategorie A).
- ^{xxix} https://www.niras.be/sites/default/files/2020-04/Ontwerpplan_NL_def.pdf.
- ^{xxx} Eight Meeting of the Contracting Parties to the Convention of Nuclear Safety, Kingdom of Belgium, National Report, August 2019 - <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-08-29-rapport-be-cns2019.pdf>
- ^{xxxi} Schwibach, J, Riedel, H., Bretschneider, J., Investigations into the emission of carbon-14 compounds from nuclear facilities, November 1978, Commission of the European Communities - <http://aei.pitt.edu/49706/1/B0038.pdf>
- ^{xxxii} EPRI (Electric Power Research Institute). Estimation of Carbon-14 in Nuclear Power Plant Gaseous Effluents; 2010. - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201991/>
- ^{xxxiii} IAEA (1992) Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards - Technical Reports Series No. 332.
- ^{xxxiv} UNSCEAR (1996) Sources and effects of ionizing radiation - Report to the General Assembly, with scientific annex. Fifty-first Session, Supplement No. 46. New York: United Nations. A/51/46, UN sales publication E.96.IX.3.
- ^{xxxv} UNSCEAR (2008) Effects of ionizing radiation on non-human biota. Fifty-sixth session, Vienna, 10-18 July 2008. New York: United Nations, A/AC.82/R.672.
- ^{xxxvi} ICRP (2008) Environmental Protection: the concept and use of reference animals and plants (Publication 108). Ann. ICRP. Vol. 38, S. 4-6.
- ^{xxxvii} Garnier-Laplace, J. und Gilbin, R. (Hrsg.) (2006) Derivation of predicted-no-effects-dose-rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances. ERICA (contract number: FI6R-CT-2004-508847).
- ^{xxxviii} Garnier-Laplace, J. et al. (2006) First derivation of predicted-no-effect values for fresh water and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances. Environmental Science and Technology. Vol. 40, S. 6498-6505.
- ^{xxxix} Andersson, P. et al. (2008) Numerical benchmarks for protecting biota against radiation in the environment: proposed levels and underlying reasoning - Deliverable 5B (draft) of the EC EURATOM PROTECT project (contract number: 036425 (FI6R)). 352 5249-506-068 | SEA Afvalplan NIRAS.
- ^{xl} European Chemicals Bureau (2003) Technical Guidance Document in Support of the Commission Directive 93/67/EEC, Commission Regulation (EC) No. 1488/94, Directive 98/8/EC. Part II. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities. EUR 20418 EN/2.
- ^{xli} Brown, J. E. et al. (2004) Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. Journal of Radiological Protection. Vol. 24, S. A63-A77.
- ^{xlii} Beresford, N. A. et al. Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 99(9), S. 1430-1439.
- ^{xliii} FANK-Website, abgerufen am 05.12.2020.
- xliv IAEA Safety Standards Series (2012) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1.
- xlv IAEA Safety Standards Series (2017) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1 (Rev. 1).
- xlvi IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2010) Specific Safety Guide, SSG-2.
- xlvii IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2019) Specific Safety Guide, SSG-2 (Rev. 1).
- xlviii Euratom-Vertrag, konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (2012).
- xlix Richtlinie 2014/87/Euratom zur Änderung der Richtlinie 2009/71/Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen (2014).
- I Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, WENRA RHWG (2014).
- li Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen, 01.03.2012.
- lii Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen, 09.03.2020.
- liii FANK (2017) Class I Guidance – Guideline – Safety demonstration of new class I nuclear installations – Approach to Defence-in-Depth, radiological safety objectives and application of a graded approach to external hazards, FANK 2013-05-15-NH-5-4-3.
- liv Bel V (2017) Safety Guidance – Guidance on the application of conservative and less conservative approaches for the analysis of radiological consequences.
- lv Auslegung Kernkraftwerk Doel – Zwei Blöcke von 390 MWe – Allgemeine Informationen im Zusammenhang mit Art. 37 der RÖMISCHEN VERTRÄGE (1972).
- lvi Periodieke rapportering aan het FANC en Bel V betreffende de radioactieve vloeibare en gasvormige lozingen – FANK: <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>, abgerufen am 14.12.2020.

- ^{lvii} Empfehlung der Kommission vom 18. Dezember 2003 zu standardisierten Informationen über Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen in die Umwelt im Normalbetrieb (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2003) 4832) (2004/2/Euratom) <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/a8327e87-eeb5-4426-a36a-1d6125e77fc7>.
- ^{lviii} VERIFICATIONS UNDER THE TERMS OF ARTICLE 35 OF THE EURATOM TREATY https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/tech_report_belgium_2012_en.pdf.
- ^{lix} Periodieke rapportering aan het FANC en Bel V betreffende de radioactieve vloeibare en gasvormige lozingen. FANC-richtlijn "010-106": <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- ^{lx} Abbildung abgeleitet von Daten auf der Website RADD (European Commission RAdioactive Discharge Database for collecting, storing, exchanging and dissemination of information on radioactive discharges, <https://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.do?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=z1Jr5jOaKbJgqCOTImhu5eqMBSenTqJi710889633!1608128017306&redirectAction=null>).
- ^{lxi} <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- ^{lxii} <https://www.fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- ^{lxiii} Radiological Monitoring in Belgium – Summary Report 2019, FANC, <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-annual-report-srt-en.pdf>
- ^{lxiv} Radiocesium contamination in Belgium, S. Pommé et al. (1998) Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry volume 235, S. 139-145.
- ^{lxv} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2019, abgerufen am 14.12.2020.
- ^{lxvi} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2019, abgerufen am 14.12.2020.
- ^{lxvii} NUCABEL 2B - Monitoring of possible health effects of living in the vicinity of nuclear sites in Belgium: childhood leukemia incidence – Sciensano, <https://www.sciensano.be/en/projects/monitoring-possible-health-effects-living-vicinity-nuclear-sites-belgium-childhood-leukemia>
- ^{lxviii} NUCABEL 2A - Monitoring of possible health effects of living in the vicinity of nuclear sites in Belgium: thyroid cancer incidence – Sciensano, <https://www.sciensano.be/en/projects/monitoring-possible-health-effects-living-vicinity-nuclear-sites-belgium-thyroid-cancer-incidence>
- ^{lxix} <https://nuclear.engie-electrabel.be/nl/powerplant/de-kerncentrale-van-doel/milieuverklaring>.
- ^{lxx} Kontaktperson: Jurgen Claes Jurgen.CLAES@FANC.FGOV.BE
- ^{lxxi} Vinçotte AG belgischen Rechts. Project-MER – ELECTRABEL Kerncentrale Doel – SF²-project in Beveren. Ref. EOPSAN-20-60600924-02-01, 25. September 2020.
- ^{lxxii} Carbon-14 and the environment, IRSN 2001 (revision 2010) https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/radionuclides-sheets/environment/Documents/Carbone_UK.pdf
- ^{lxxiii} Malcolm J. (2018) Nuclear Engineering Chapter 8 – Elementary Reactor Principles.
- ^{lxxiv} IAEA-Website, Power Reactor Information System (PRIS), abgerufen am 07.12.2020.
- ^{lxxv} IAEA Power Reactor Information System - <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- ^{lxxvi} IAEA-Website, International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), abgerufen am 06.12.2020.
- ^{lxxvii} Battist, L. & Peterson, H. T. (1980) Radiological Consequences of the Three Mile Island Accident, International Congress of the International Radiation Protection Association, Jerusalem, Israel, pp. 2263-2270.
- ^{lxxviii} NSAC (1980) Analysis of the Three Mile Island – Unit 2 Accident, NSAC-80-1.
- ^{lxxix} Corey, G.R. (1979) A brief review of the accident at Three Mile Island, IAEA Bulletin, Vol. 21(5), S. 54-59.
- ^{lxxx} CNT-KCD/4NT/0029088/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for design basis accident (2020).
- ^{lxxxi} CNT-KCD/4NT/0029070/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for beyond design basis accident (2020).
- ^{lxxxii} Gyselings et al. (2010) Monitoring natuur havengebied en omgeving Antwerpen Rechtoever. INBO R.2010.15.
- ^{lxxxiii} Vandenhove et al. (2013) Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. JER, Vol. 126, S. 61-76.
- ^{lxxxiv} Vandenhove et al. (2010) Evaluation of the environmental risk associated with the radiological liquid discharges from the Belgian nuclear power plants - SCK CEN-ER-132, S 64.
- ^{lxxxv} Vandenhove et al. (2011) Evaluation of the environmental risk associated with the radiological atmospheric discharges from the Belgian nuclear power plants - SCK CEN-ER-169, S. 67.
- ^{lxxxvi} Brown et al. (2008) The ERICA tool. JER, Vol. 99(9), S. 1371-1383.
- ^{lxxxvii} UVP DOEL 1 und 2 (2010) - KCD-MER/4NT/154702/000/01•01.07.10
- ^{lxxxviii} NIRAS, Kapitel 6 Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel: Afval, NIROND-TR 2011-06 Versie 3", 30. Januar 2019.

- ^{lxxxix} IAE0 (2003) Spent fuel performance assessment and research. Final report of a coordinated research project on spent fuel performance assessment and research (SPAR), IAEA-TECDOC-1343, www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1343_web.pdf
- ^{xc} <https://science.sckcen.be/en/Institutes/ANS/NSP/ALEPH2>.
- ^{xcⁱ} Gérard, R., Fabry, A., Van de Velde, J., Puzzolante, J.L., Verstrepn, A., Van Ransbeeck, T., van Walle, E. (1996) "In-service embrittlement of the pressure vessel welds at the Doel I and II nuclear power plants", *Effects of Radiation on Materials: 17th International Symposium, ASTM STP 1270*, David S. Gelles, Randy K. Nanstad, Arvind S. Kumar and Edward A. Little, Eds., American Society for Testing and Materials.
- ^{xcⁱⁱ} Evans J.C., Lepel E.L., Sanders R.W., Wilkerson C.L., Silker W., Thomas C.W., Abel K.H., Robertson D.R. (1984) "NUREG/CR-3474 Long-lived activation products in reactor materials", Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA 99352.
- ^{xcⁱⁱⁱ} HERCA-WENRA (2014) Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident.
- ^{xc^{iv}} Seibert, P., Arnold, D., Arnold, N., Gufire, K., Kromp-Kolb, H., Mraz, G. Sholly, S. and Wenisch, A. (2013) FlexRISK – Flexible tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe. Final Report. Boku-Met report 23. Preliminary version.
- ^{xc^v} Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (2015) IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna.
- ^{xc^{vi}} Richtlinie 2013/59/Euratom zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom.
- ^{xc^{vii}} Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency (2007) IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna.
- ^{xc^{viii}} Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency (1991) ICRP Publication 63. Pergamon Press.
- ^{xc^{ix}} Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Pergamon Press (2009).
- ^c Gesetz vom 15. April 1994 über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde.
- ^{ci} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen.
- ^{cⁱⁱ} Ministerielles Rundschreiben NPU-1 vom 26. Oktober 2006 bezüglich der Notfall- und Interventionspläne.
- ^{cⁱⁱⁱ} Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen.
- ^{c^{iv}} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2020 zur Änderung des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und zur teilweisen Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom und der Lagerung radioaktiver Stoffe außerhalb von Gebäuden.
- ^{c^v} Königlicher Erlass vom 1. März 2018 zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet.
- ^{c^{vi}} FANK (2017) Sixth 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.
- ^{c^{vii}} Onderzoekraad voor Veiligheid. Samenwerken aan nucleaire veiligheid. Een onderzoek naar de samenwerking tussen Nederland, België en Duitsland inzake de kerncentrales in de grensgebieden. Den Haag, Januar 2018.
- ^{c^{viii}} <https://crisiscentrum.be/nl/inhoud/oefeningen/> abgerufen am 05.12.2020.
- ^{c^{ix}} CNT-KCD/4NT/0029070/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for beyond design basis accident (2020).