



Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform

MIP3 haalbaarheidsstudie

“Het Energieatol - Energieopslag in de Noordzee”

April 2013

Eindrapport



Colofon

UITGAVE: Ecorem nv

ADRES: Kontichsesteenweg 38, 2630 Aartselaar

TELEFOON: 03/8710900

FAX: 03/8710901

E-MAIL: info@ecorem.be

PROJECTLEIDER : Dr. Walter Mondt – CEO Ecorem nv

PROJECTTEAM: ir. P. Hambach, ir. E. Vermaut, ir. K. Peeters, ir. F. Vercammen

Inhoudsopgave

1	Inleiding	11
2	Projectvoorstelling	12
2.1	Aanleiding	12
2.2	Samenstelling projectteam	16
3	Voorstelling van het energieatol	18
3.1	Hoofdfuncties van het energieatol.....	18
3.1.1	Snel inschakelbare reserve voor transmissienetbeheerder Elia	18
3.1.2	Buffer voor opvangen van productieafwijkingen binnen de perimeter van een ARP ..	19
3.1.3	Trading van elektriciteit of prijsarbitrage	20
3.2	Uitvoeringsalternatieven.....	22
3.3	Opbouw van het energieatol.....	24
3.3.1	Bouwtechnische randvoorwaarden	24
3.3.2	Constructie van het energieatol	25
3.4	Bepaling van het vermogen.....	35
4	Locatiealternatieven van het energieatol	38
4.1	Randvoorwaarden voor de bepaling van de locatiealternatieven	38
4.1.1	De ligging van scheepvaartroutes	38
4.1.2	De ligging van kabels en leidingen	38
4.1.3	De ligging van zandwinningen	39
4.1.4	De offshore windmolenparken.....	39
4.1.5	Het “ Stopcontact op Zee” en het Simon Stevin project	40
4.1.6	De mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge.....	41
4.1.7	De visie Vlaamse Baaien	42
4.2	Keuze van de locatiealternatieven	43
4.2.1	Energieatol Zeebrugge	43
4.2.2	Energieatol Thorntonbank.....	44
4.2.3	Energieatol Vlake van de Raan.....	46
4.2.4	Energieatol Gootebank.....	46
4.3	Ecologische impact-analyse van de locatiealternatieven.....	48
4.3.1	Huidige status natuur- en milieuwaarden.....	48
4.3.2	Algemene ecologische impact van een energieatol.....	49
4.3.3	Specifieke ecologische impact voor de locatiealternatieven	54

4.4	Financieel-economische analyse van de locatiealternatieven	58
4.4.1	Bepaling kostprijs energieatol	58
4.4.2	Benchmarking kostprijs met andere elektriciteitsopslagsystemen	63
4.4.3	Rentabiliteit van het energieatol.....	65
4.4.4	Optimalisatie van de rentabiliteit.....	71
5	Juridische aspecten van het ontwerp, bouw en uitbating van een energieatol.....	83
5.1	Juridische aspecten van een verbinding met de kust	83
5.2	Afbakening van een domeinconcessie op de Noordzee	86
5.3	Vergunningsprocedures voor de bouw en uitbating van een energieatol in de Noordzee ..	88
6	SWOT-analyse van de locatiealternatieven	95
6.1	Evaluatie van de locatiealternatieven	95
6.1.1	Energieatol Zeebrugge	95
6.1.2	Energieatol Thorntonbank.....	96
6.1.3	Energieatol Vlake van de Raan.....	97
6.1.4	Energieatol Gootebank.....	97
6.2	Selectie voorkeursalternatief	98
7	Algemeen besluit van de haalbaarheidsstudie	104
8	Niet-technische samenvatting.....	106
9	Bibliografie.....	116

Lijst van figuren

- Figuur 1 Prognose aandeel van elke HEB in de groene elektriciteitsproductie in Vlaanderen in 2020 (in GWh)
- Figuur 2 Illustratie van de variabele elektriciteitsproductie van hernieuwbare energiebronnen (Elia, 2012)
- Figuur 3 Vergelijking van elektriciteitsopslagsystemen (Joint Research Center, 2011)
- Figuur 4 Principe van de opslag van groene elektriciteit onder de vorm van "Blue Energy"
- Figuur 5 Samenstelling projectteam
- Figuur 6 Structuur van de Belgische elektriciteitsmarkt (UMIX, 2008)
- Figuur 7 Illustratie van de prijsschommelingen op de Belpex-markt gedurende twee opeenvolgende weken (Belpex, 2012)
- Figuur 8 Schematische voorstelling van de werking van een valmeercentrale en een spaarbekkencentrale.
- Figuur 9 Werking van een energieatol
- Figuur 10 Ondergrond van de Noordzee (Belgische Geologische Dienst, 2012)
- Figuur 11 Opbouw van een stortsteendam (Pladys)
- Figuur 12 Opbouw van een caissondam (Pladys)
- Figuur 13 Doorsnede doorheen een stortsteendam van het energieatol
- Figuur 14 Afbeelding XBlock
- Figuur 15 Afbeelding Accropod
- Figuur 16 Hydrostatische druk op de bodem van het energieatol
- Figuur 17 Kaplan-turbine (zijaanzicht) (Voith Hydro, 2012)
- Figuur 18 Francis-turbine (zijaanzicht) (Voith Hydro, 2012)
- Figuur 19 Pelton-turbine (bovenaanzicht) (Voith Hydro, 2012)
- Figuur 20 Inzetbereik turbines i.f.v. valhoogte en debiet (Doucé, 2003)
- Figuur 21 Radiale turbine (Voith Hydro, 2012)
- Figuur 22 Doorsnede caissondam met pompturbine
- Figuur 23 Levertijd voor verschillende constante vermogens
- Figuur 24 Scheepvaart op de Noordzee (Schelderadarketen, 2011)
- Figuur 25 Ligging van kabels en leidingen in de Noordzee (Kustatlas, 2011)
- Figuur 26 Zandwinnings in de Noordzee (Kustatlas, 2011)
- Figuur 27 Windmolenparken op de Noordzee (toestand september 2012)
- Figuur 28 Voorstelling van het Stopcontact op Zee en het Simon Stevin project (Elia)
- Figuur 29 Voorstelling van de structuur van de haven van Zeebrugge met de mogelijke uitbreiding van de voorhaven (MBZ, 2011)
- Figuur 30 Voorstelling van de Visie van de Vlaamse Baaien: ophoging van Vlaamse zandbanken en realisatie van eilanden voor de Vlaamse kust (THV Noordzee en Kust, 2009)
- Figuur 31a Overzicht van de randvoorwaarden
- Figuur 31b Situering locatiealternatieven energieatol
- Figuur 32a Schematische voorstelling van het energieatol Zeebrugge in combinatie met het strandmeer van de Vlaamse Baaien
- Figuur 32b Schematische voorstelling van het energieatol Zeebrugge
- Figuur 33 Doorsnede van het energieatol Zeebrugge
- Figuur 34 Schematische voorstelling van het energieatol Thorntonbank

- Figuur 35 Doorsnede van het energieatol Thorntonbank
- Figuur 36 Schematische voorstelling van het energieatol Vlake van de Raan
- Figuur 37 Schematische voorstelling van het energieatol Gootebank
- Figuur 38 Voorbeeld van de werking van het atol Zeebrugge gedurende oktober 2012
- Figuur 40 Impact van het vergroten van het aantal turbines van het energieatol Zeebrugge op de verhouding investeringskost/kW
- Figuur 41 Impact van het vergroten van de valhoogte op de verhouding investeringskost/vermogen
- Figuur 42 Impact van het vergroten van de valhoogte en het verhogen van het aantal turbines op de verhouding kostprijs/kW
- Figuur 43 Artist impressie energieatol Zeebrugge in combinatie met het strandmeer van de Vlaamse Baaien – invalshoek vanuit de kust
- Figuur 44 Artist impressie energieatol Zeebrugge in combinatie met het strandmeer van de Vlaamse Baaien – invalshoek vanuit de Noordzee
- Figuur 45 Artist impressie energieatol Zeebrugge in combinatie met het strandmeer van de Vlaamse Baaien – invalshoek vanuit de huidige voorhaven van Zeebrugge
- Figuur 46 Artist impressie energieatol Zeebrugge – invalshoek vanuit de kust
- Figuur 47 Artist impressie energieatol Zeebrugge – invalshoek vanuit de Noordzee
- Figuur 48 Artist impressie energieatol Zeebrugge – invalshoek vanuit de huidige voorhaven van Zeebrugge
- Figuur 49 Artist impressie energieatol Thorntonbank – oostelijke invalshoek
- Figuur 50 Artist impressie energieatol Thorntonbank – westelijke invalshoek richting windmolenpark C-Power
- Figuur 51 Artist impressie energieatol Thorntonbank – oostelijke invalshoek vanuit windmolenpark C-Power

Lijst van buitentekstplannen

A-0801-00 Poster: Energieopslag in de Noordzee – Energieatol Zeebrugge

A-0802-00 Poster: Energieopslag in de Noordzee – Energieatol Thorntonbank

Lijst van tabellen

Tabel 1: Geologie kust Zeebrugge (Belgische Geologische Dienst, 2012).....	24
Tabel 2: Geologie ten westen offshore windmolenparken (Belgische Geologische Dienst, 2012)	24
Tabel 3: Voor- en nadelen stortsteendam, caissondam en kaaimuur	27
Tabel 4: Overzicht van de gerealiseerde en geplande offshore windmolenparken in de Belgische Noordzee	40
Tabel 5: Dimensies van het energieatol Zeebrugge	44
Tabel 6: Energetische prestaties van het energieatol Zeebrugge	44
Tabel 7: Dimensies van het energieatol Thorntonbank	45
Tabel 8: Energetische prestaties energieatol Thorntonbank.....	45
Tabel 9: Overzicht ecologische impact locatiealternatieven	55
Tabel 10: Investeringskosten energieatol vier locatiealternatieven	60
Tabel 11: Investeringskost / kW geïnstalleerd vermogen per locatiealternatief.....	63
Tabel 12: Gesimuleerde opbrengsten energieatol Zeebrugge in 2012.....	68
Tabel 13: Overzicht van de resultaten voor 3 scenario's	69
Tabel 14: Resultaat voor de verschillende locatiealternatieven	69
Tabel 15: Samenvatting van de resultaten voor de exploitatie van hoofd- en nevenfuncties	78
Tabel 16: Vergelijkend overzicht van de Federale en Vlaamse vergunningsprocedures voor de bouw en uitbating van een energieatol	89
Tabel 17: SWOT-analyse energieatol Zeebrugge	99
Tabel 18: SWOT-analyse energieatol Thorntonbank	100
Tabel 19: SWOT-analyse energieatol Vlakte van de Raan.....	101
Tabel 20: SWOT-analyse energieatol Gootebank.....	102
Tabel 21: Investeringskosten energieatol vier locatiealternatieven	111

Lijst van afkortingen

ARP	Acces Responsible Party
Belpex	Belgian Power Exchange
BMM	Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde-estuarium
CAES	Compressed Air Energy Storage
CREG	Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas
DNB	DistributieNetBeheerder
DS	Droge Stof
EEZ	Exclusief Economische Zone
ELIA	Beheerder van het Belgisch hoogspanningsnetwerk (30kV tot 380kV)
EPC	Engineering, procurement en constructiekost
EU-15	De samenstelling van de Europese Unie per 1 januari 1995: België, Duitsland, Denemarken, Finland, Frankrijk, Griekenland, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland, Oostenrijk, Portugal, Spanje, Verenigd Koninkrijk en Zweden
FOD	Federale Overheidsdienst
GSC	GroeneStroomCertificaten
HEB	Hernieuwbare EnergieBron
HV	High Voltage, hoogspanning
Hz	Hertz
Ifremer	Institut Français de Recherche pour l' Exploitation de la Mer
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWT	Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie
KB	Koninklijk Besluit
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattuur
LCoE	Levelized Cost of Electricity

MBZ	Maatschappij van de Brugse Zeevaartinrichtingen
MIP	Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform
MV	Medium Voltage, middenspanning
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
NIOZ	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee
O&M	Operation and Maintenance
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion
OVAM	Openbare Vlaamse AfvalstoffenMaatschappij
PPS	Publiek-Private Samenwerking
PV	Photo-Voltaics: zonnecellen
ROE	Return on Equity
RTE	Réseau de Transport d'Electricité
STEG	Stoom- En Gascentrale
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
TAW	Tweede Algemene Wateraanpassing
TBM	Tunnelboormachine
THV	Tijdelijke Handelsvereniging
TNB	TransmissieNetBeheerder
TSO	Transmission System Operator
VEA	Vlaams EnergieAgentschap
VLIZ	Vlaams Instituut voor de Noordzee
VREG	Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt
VITO	Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek
WKK	WarmteKrachtKoppeling
XPLE	Cross-linked polyethyleen

Het Energieatol – Energieopslag in de Noordzee

1 Inleiding

In opdracht van het Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform (MIP) werd door Ecorem, in samenwerking met de partners MBZ en Rent-a-Port, de haalbaarheidsstudie “Energieatol – Energieopslag in de Noordzee” uitgevoerd.

Het MIP stimuleert en ondersteunt bedrijven in Vlaanderen in het onderzoek naar de toepassing van milieuvriendelijke technologieën. Het MIP werd opgericht in 2005 en valt onder de bevoegdheid van de Vlaamse Minister van Innovatie. Via de derde oproep van het MIP (MIP3) in 2011 werden bedrijven aangespoord projectvoorstellen in te dienen die mikken op het sluiten van materialen proceskringlopen of op de ontwikkeling van nieuwe technologieën voor slimme energieopwekking.

Aangezien het energieatol kan bijdragen tot de optimalisatie van energiecycli, past de uitvoering van de haalbaarheidsstudie perfect binnen de thema’s van het MIP3.

Het voorstel van haalbaarheidsstudie “Energieatol: waterkrachtcentrale in de Noordzee” werd bij het MIP ingediend in april 2011. In september 2011 verleende het MIP, het Vlaams Energieagentschap (VEA), de Vlaamse openbare Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT) en de Raad van Bestuur van het VITO samen de goedkeuring voor de uitvoering van de haalbaarheidsstudie. De haalbaarheidsstudie werd opgestart op 1 oktober 2011.

Voorliggend rapport is het eindverslag van de haalbaarheidsstudie.

2 Projectvoorstelling

2.1 Aanleiding

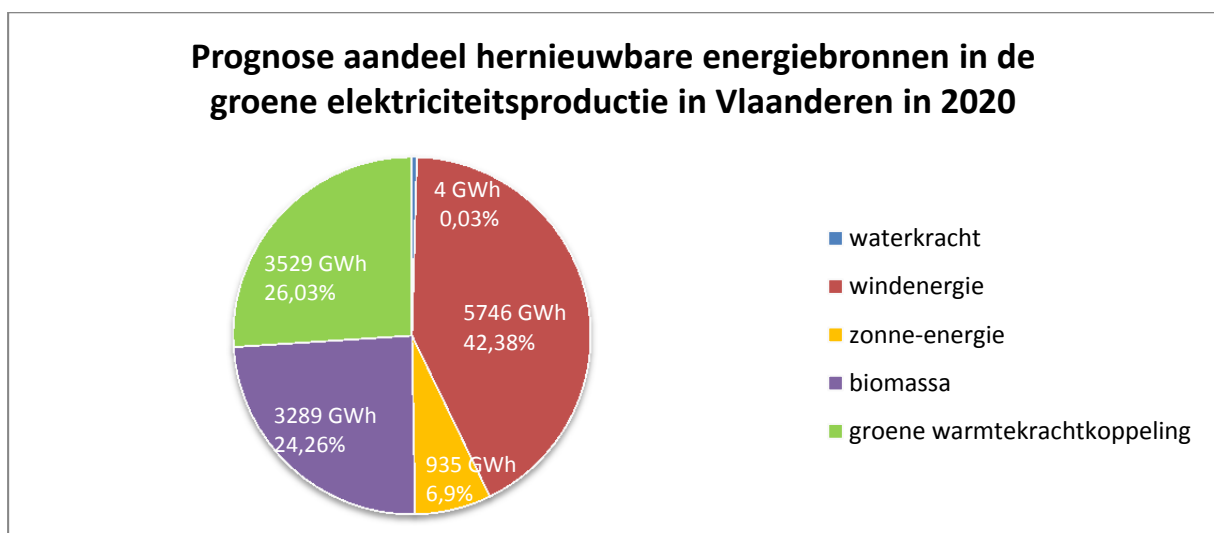
Sinds het begin van de 20^{ste} eeuw is de gemiddelde temperatuur op aarde met ongeveer 0,74°C gestegen. Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is deze temperatuurstijging zo goed als zeker veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteit.

Om een verdere stijging te voorkomen, werd in 1992 door de Verenigde Naties het klimaatverdrag “United Nations Framework Convention on Climate Change” afgesloten. In 1997 werd dit klimaatverdrag door het Kyoto-protocol vertaald in een concrete doelstelling: een gemiddelde daling van de uitstoot van broeikasgassen met 5% ten opzichte van het niveau van 1990 tegen 2012.

Voor de periode na het Kyoto-protocol (2012 tot 2020) formuleerde Europa de 20-20-20 klimaatsdoelstelling. Deze doelstelling houdt in dat tegen 2020:

- De gemiddelde uitstoot van broeikasgassen moet verlaagd worden met 20% ten opzichte van 1990.
- Het energieverbruik met gemiddeld 20% moet dalen ten opzichte van 1990.
- Gemiddeld 20% van het energieverbruik moet afkomstig zijn van hernieuwbare energiebronnen.

Europa opteert dus duidelijk voor hernieuwbare energie als één van de speerpunten voor het aanpakken van de klimaatcrisis. Om te kunnen voldoen aan deze Europese doelstelling inzake hernieuwbare energie maakte het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO) in opdracht van het Vlaams Energie Agentschap (VEA) een prognose van welk aandeel elke hernieuwbare energiebron zal innemen in de Vlaamse groene elektriciteitsproductie in 2020 (VITO, 2009). Deze prognose wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Prognose aandeel van elke HEB in de groene elektriciteitsproductie in Vlaanderen in 2020 (in GWh)

Uit de figuur kan worden afgeleid dat in 2020 42,55% van de groene elektriciteitsproductie zal worden ingevuld door windenergie, 26,13 % door groene WarmteKrachtKoppeling (WKK) 24,36% door biomassa, 6,92% door zonne-energie en slechts 0,03% door waterkracht. Deze prognose toont aan dat windenergie en zonne-energie samen ongeveer 50% zullen uitmaken van de totale groene elektriciteitsproductie in 2020.

Zowel windenergie als zonne-energie hebben echter te kampen met een belangrijk nadeel. Deze **hernieuwbare energiebronnen** worden gekenmerkt door een **niet-stabiele, variabele productie** als gevolg van variërende meteorologische omstandigheden. Bovendien kan ondanks het gebruik van gesofisticeerde weermodellen deze variabele productie thans niet exact voorspeld worden.

Dit heeft als gevolg dat de elektriciteitsproductie van deze hernieuwbare energiebronnen slechts moeilijk afgestemd kan worden op de vraag naar elektriciteit, wat leidt tot twee belangrijke problemen:

- Omdat er op het elektriciteitsnet steeds een evenwicht moet zijn tussen de vraag naar en aanbod van elektriciteit kan deze situatie de stabiliteit van het net in gedrang brengen.
- Daarenboven verlaagt de variabele productie ook de waarde van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen. Dit verzwakt de concurrentiële positie van hernieuwbare energie op de markt en bemoeilijkt nieuwe investeringen.

De problematiek van de variabiliteit wordt geïllustreerd op Figuur 2. Op deze figuur wordt een vergelijking gemaakt tussen de voorspelde en gemeten elektriciteitsproductie van de offshore windmolenparken tussen 4 en 11 maart 2012.

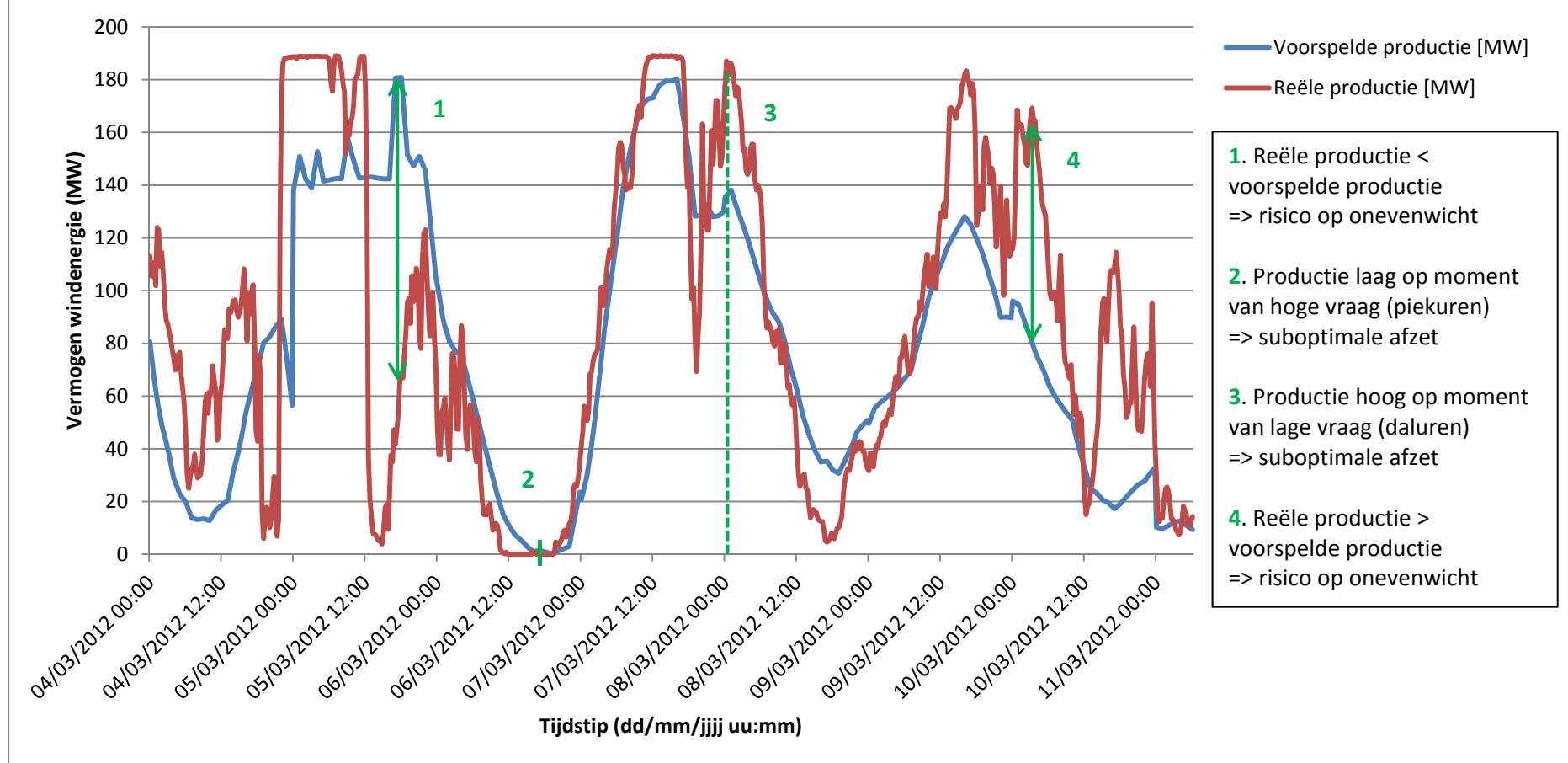
Uit Figuur 2 kunnen vier situaties afgeleid worden waarbij de variabele productie van groene stroom in vergelijking met de voorspellingen aanleiding kon geven tot een onevenwicht op het elektriciteitsnet of waarbij de groene stroom niet optimaal kon worden afgezet.

1. de reële productie van de offshore windmolens was kleiner dan voorspeld – risico op onevenwicht tussen vraag en aanbod;
2. de productie van groene elektriciteit was laag op het ogenblik dat de vraag naar elektriciteit hoog was (piekuren) – suboptimale afzet;
3. de productie van groene elektriciteit was hoog op het ogenblik dat de vraag naar elektriciteit laag was (daluren) – suboptimale afzet;
4. de reële productie was groter dan voorspeld – risico op onevenwicht tussen vraag en aanbod.

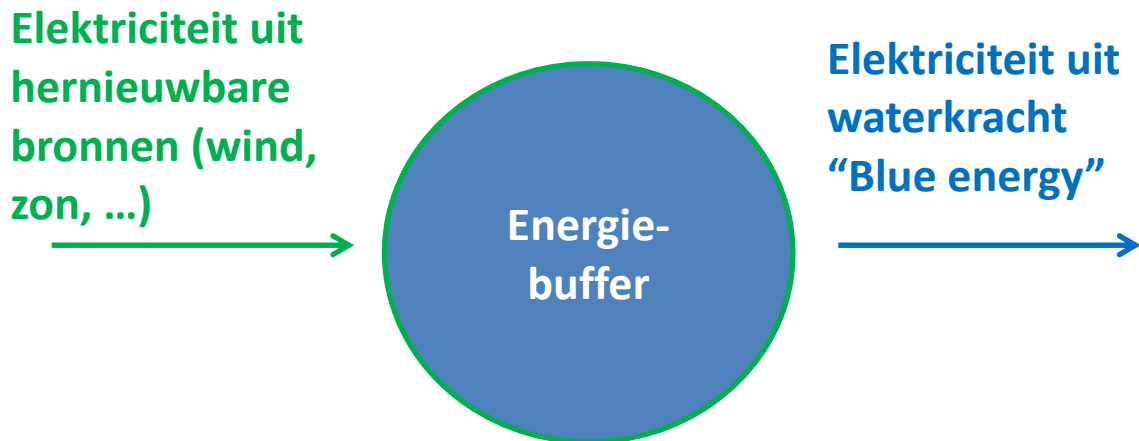
Bij een verdere toename van het aandeel aan hernieuwbare energiebronnen met een variabele productie zal deze problematiek in de toekomst sterk aan belang winnen.

Een mogelijke oplossing is het inpassen van een **energiebuffer** in het net, die elektriciteit kan opslaan en vrijgeven wanneer nodig. Met dergelijke buffer zou de variabiliteit in de productie van groene elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen opgevangen kunnen worden.

Vergelijking voorspelde en reële productie windenergie van offshore windmolenparken



Figuur 2: Illustratie van de variabele elektriciteitsproductie in Vlaanderen in 2020 (in GWh)



Figuur 4: Principe van de opslag van groene elektriciteit onder de vorm van waterkracht

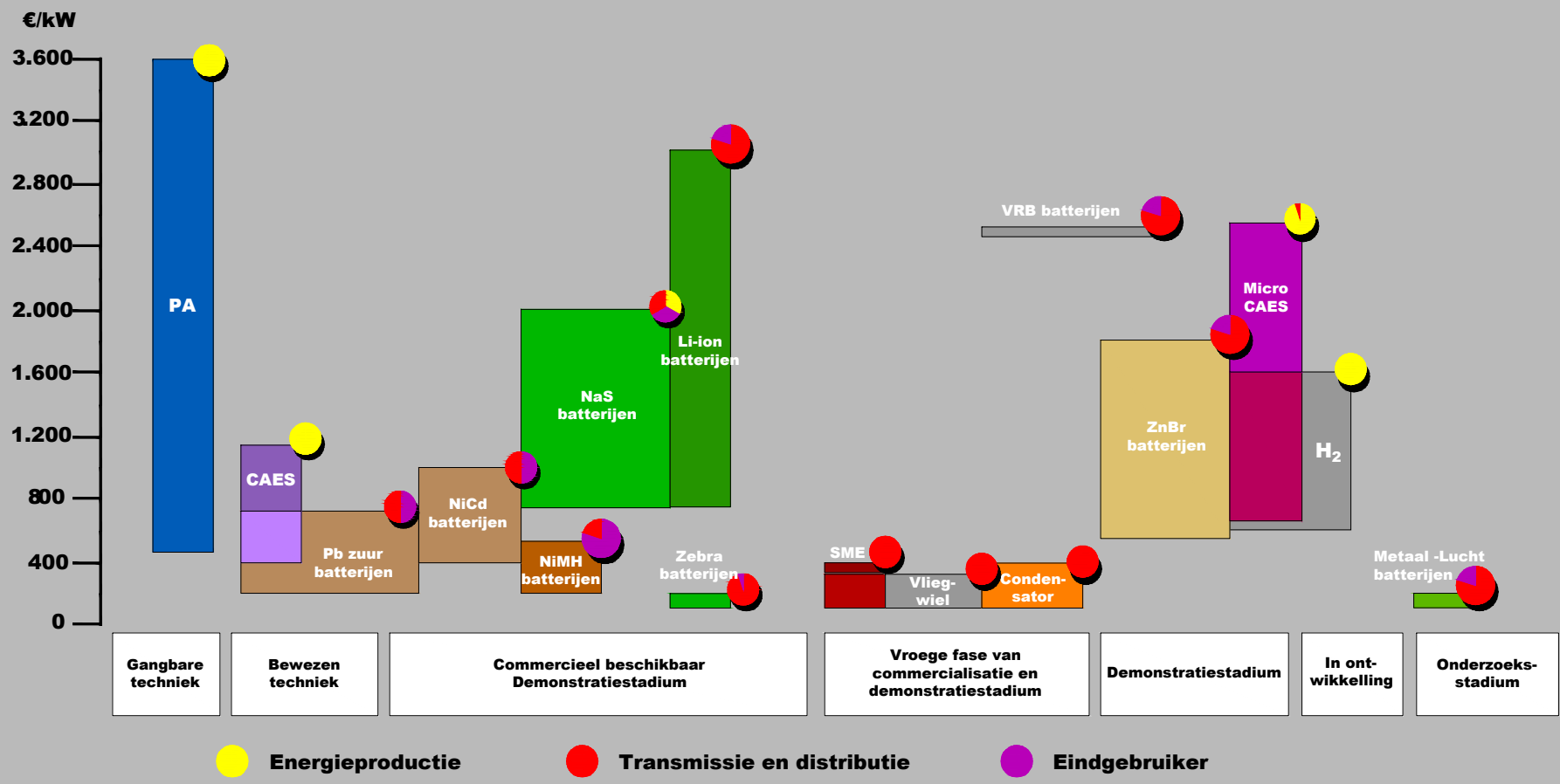
De belangrijkste technologieën voor het bufferen of opslaan van elektrische energie worden voorgesteld op Figuur 3. In deze figuur worden de verschillende elektriciteitsopslagsystemen met elkaar vergeleken op basis van investeringskost/kW opslag en het ontwikkelingsstadium. In deze haalbaarheidsstudie werd ervoor gekozen om de opslag te realiseren met pompaccumulatie. Het idee achter pompaccumulatie is dat elektrische energie kan opgeslagen worden onder de vorm van waterkracht door water omhoog te pompen naar een hoger gelegen waterreservoir. Hierdoor wordt elektrische energie omgezet in potentiële energie. De potentiële energie kan terug omgezet worden in elektrische energie door de opgeslagen hoeveelheid water over een turbine te voeren. Deze cyclus van oppompen en terug turbineren van water wordt dan **pompaccumulatie** genoemd.

Pompaccumulatiecentrales hebben een aantal belangrijke voordelen: ze kunnen grote hoeveelheden energie opslaan, ze zijn regelbaar, flexibel, snel inzetbaar en betrouwbaar. Pompaccumulatiecentrales zijn bovendien groen, want ze maken geen gebruik van fossiele brandstoffen en genereren geen milieubelastende afvalstromen.

Pompaccumulatiecentrales worden meestal gebouwd in regio's waar er relatief grote reliëfverschillen zijn. Daarom is een pompaccumulatiecentrale in Vlaanderen moeilijk realiseerbaar. In principe kan het gebrek aan natuurlijke hoogteverschillen gecompenseerd worden door de opslag van zeer grote hoeveelheden water in een reservoir met grote oppervlakte. Maar hiervoor is dan weer veel vrije ruimte nodig.

In de Belgische Noordzee zijn zowel ruimte als grote hoeveelheden water beschikbaar, waardoor de bouw van een pompaccumulatiecentrale mogelijk wel haalbaar is. Deze pompaccumulatiecentrale voor de kust in de Noordzee verderop het "**Energieatol**" genoemd, naar analogie met een atol dat bestaat uit een ringstructuur van koraalriffen rondom een centrale lagune.

In voorliggende studie wordt de haalbaarheid nagegaan om een energiebuffer te realiseren in de Belgische Noordzee.



LEGENDE
 PA: Pompaccumulatie
 CAES: Opslag met gecomprimeerde lucht
 SMEs: Magnetische energieopslag op basis van supergeleiders
 H2: Opslag met waterstof

Bron: Joint Research Centre, 2011

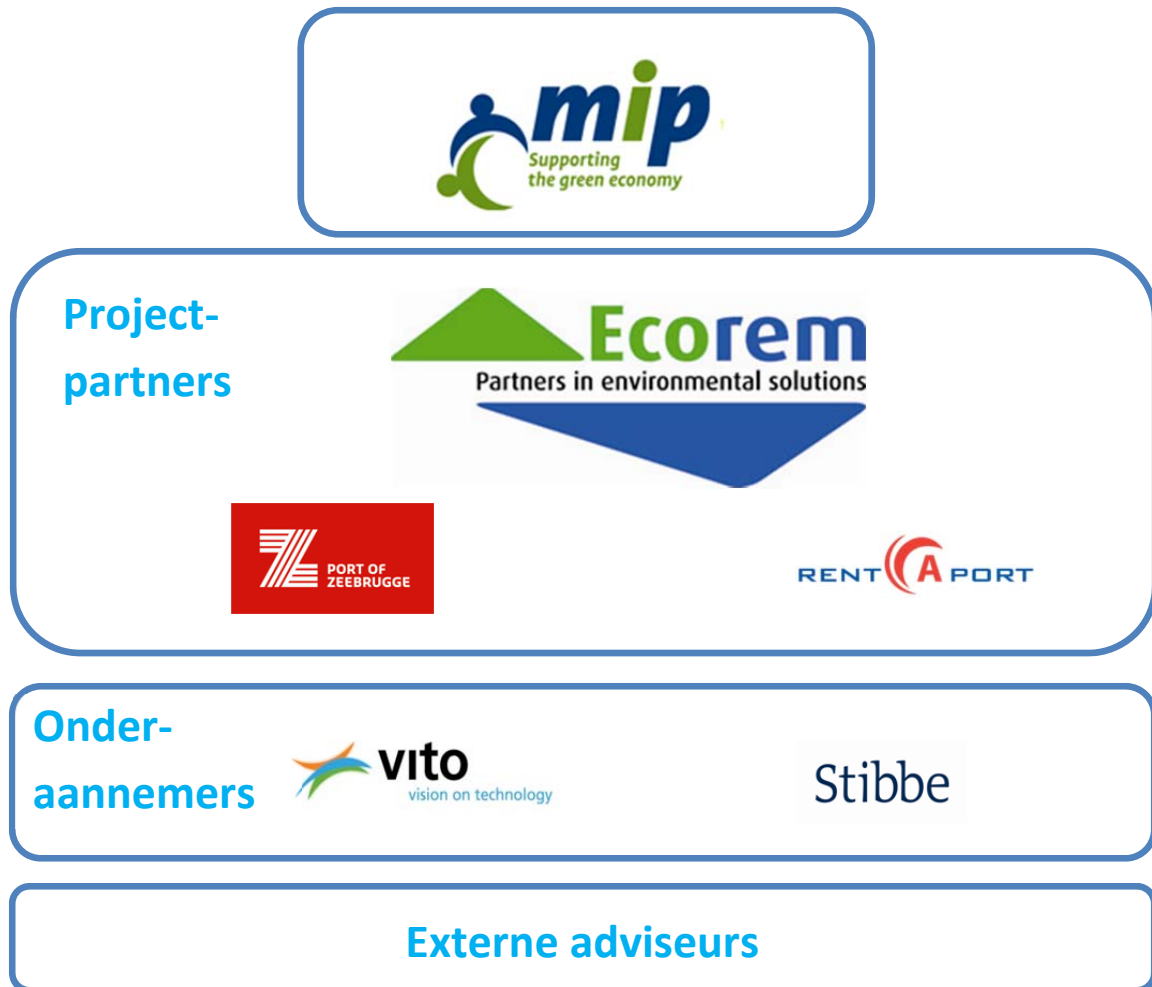
FIG. 3: VERGELIJKING VAN ELEKTRICITEITSOPSLAGSYSTEMEN



2.2 Samenstelling projectteam

Voor de uitvoering van de studie werd intensief samengewerkt tussen de projectleider **Ecorem** en de projectpartners **MBZ** en **Rent-a-Port**.

Het volledige projectteam wordt schematisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Samenstelling projectteam

Ecorem nv is een Vlaams multidisciplinair studie- en ingenieursbureau gespecialiseerd in het uitvoeren van milieustudies in de brede zin. Ecorem trad op als coördinator van de haalbaarheidsstudie en stond in voor de inhoudelijke invulling evenals de rapportering. Ecorem werkte ook alle elementen uit die verbonden zijn met milieu en duurzaamheid. Het projectteam van Ecorem bestaat uit: Dr. Walter Mondt, ir. Patrick Hambach, ir. Evert Vermaut en ir. Katrijn Peeters.

Het **Havenbestuur van Zeebrugge (MBZ)** exploiteert een uitgesproken duurzame haven met groene ruimte en plaats voor hernieuwbare energiebronnen zoals windmolens en zonneparken. De Haven van Zeebrugge biedt mogelijk een zeer geschikte locatie voor de realisatie van een energieatol. Het Havenbestuur bracht haar competenties in met betrekking tot de ontwikkeling en exploitatie van haveninfrastructuur.

Rent-a-Port nv is een investeringsvennootschap die wereldwijd actief is op het vlak van het ontwerp, de ontwikkeling en de begeleiding bij de realisatie van havenprojecten en mariene infrastructuur. Samen met Electrawinds is Rent-a-Port in het bezit van een domeinconcessie voor de bouw van een offshore-windmolenpark in de Noordzee, de zogenaamde Rentel-concessie. Rent-a-Port bracht haar ervaring in op vlak van uitbouw van haveninfrastructuur en ontwikkeling van offshore windenergie.

Voor bijkomende inhoudelijke ondersteuning werd een beroep gedaan op twee onderaannemers: VITO en advocatenkantoor Stibbe.

VITO bestudeerde het potentieel van het energieatol voor het kweken van algen en de verwerking van deze algen tot voedingssupplementen en/of biobrandstoffen.

Het advocatenkantoor **Stibbe** onderzocht de opportuniteiten met betrekking tot beleid en wetgeving die het project mee kunnen ondersteunen en promoten, maar evenzeer de mogelijke knelpunten die de realisatie ervan kunnen bemoeilijken.

Prof. Dr. J. De Rouck en de ir. **Roland Lesuisse** traden op als externe adviseurs. Prof. Dr. J. De Rouck gaf ondersteuning op waterbouwtechnisch vlak, ir. Roland Lesuisse op energietechnisch vlak.

3 Voorstelling van het energieatol

3.1 Hoofdfuncties van het energieatol

Zoals reeds aangehaald in de probleemstelling, ligt de variabiliteit van hernieuwbare energiebronnen aan de basis van de voorliggende haalbaarheidsstudie. Het concept van het energieatol werd ontwikkeld om deze variabiliteit te kunnen opvangen.

De **hoofdfuncties** van het energieatol zijn dus de functies die een oplossing bieden voor de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen door de opslag van elektriciteit onder de vorm van waterkracht.

In de studie worden de volgende hoofdfuncties onderscheiden:

- Snel inschakelbare reserve voor transmissienetbeheerder ELIA
- Buffer voor het opvangen van productieafwijkingen binnen een perimeter van een ARP
- “Trading” van elektriciteit of prijsarbitrage

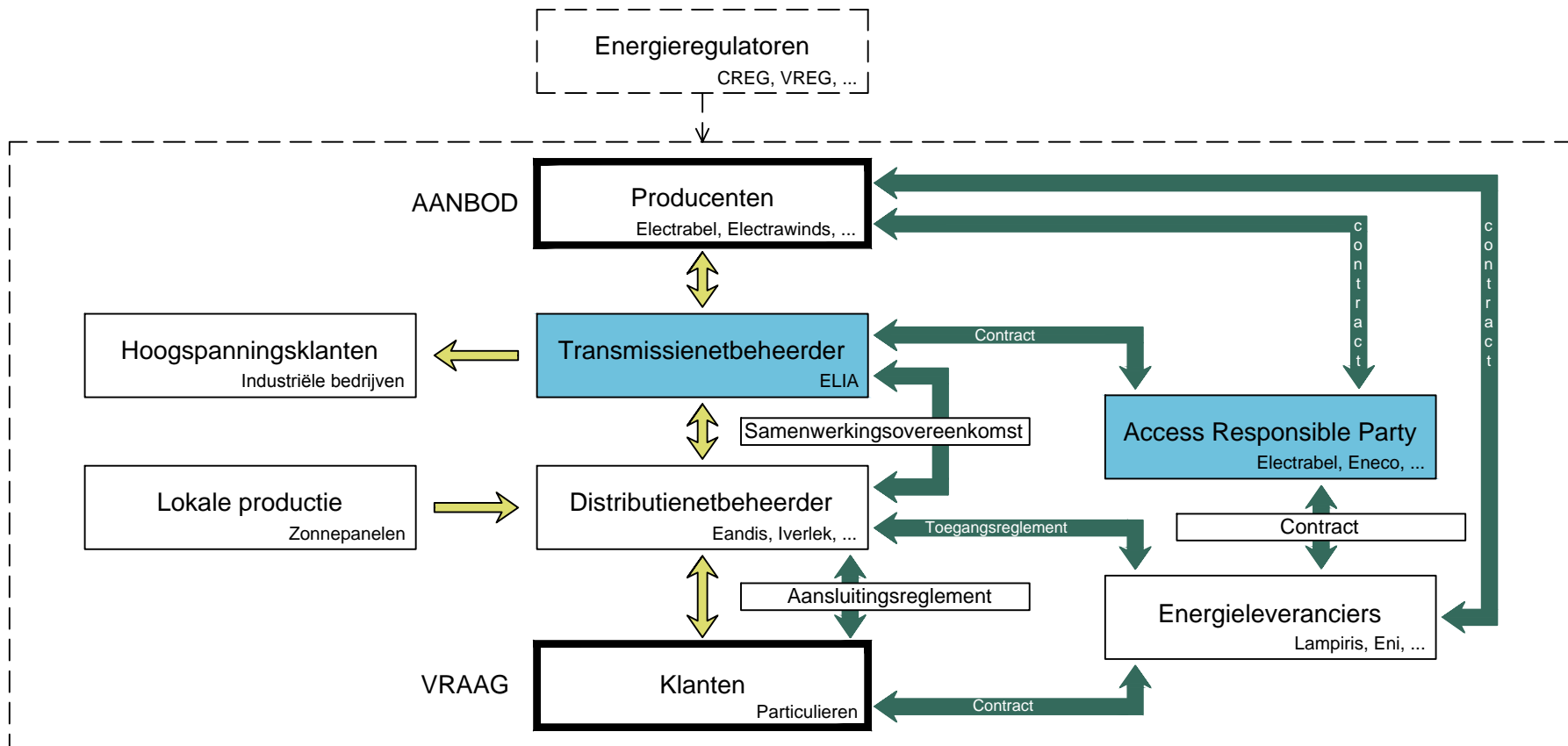
In de volgende paragrafen wordt elk van deze functies toegelicht.

3.1.1 Snel inschakelbare reserve voor transmissienetbeheerder Elia

Op de elektriciteitsmarkt moet altijd aan het **evenwicht tussen vraag en aanbod** voldaan zijn. Voor dit evenwicht zijn er verschillende actoren op de markt verantwoordelijk. Een overzicht van alle marktpelers is te zien op Figuur 6. De gele pijlen stellen de fysische elektriciteitsstromen voor, de groene pijlen contracten die tussen de verschillende marktpelers worden afgesloten.

Globaal kan gesteld worden dat de elektriciteit van de producenten (zoals bv. Electrabel, Electrawinds, ...) via de transmissienetbeheerder Elia verder wordt verdeeld naar hoogspanningsklanten en het distributienet. Van daaruit wordt de elektriciteit verder gedistribueerd naar de particuliere klanten. Het distributienet wordt ook gebruikt voor de injectie van lokale elektriciteitsproductie zoals zonnepanelen en WKK's.

Het elektriciteitsnetwerk in het grootste deel van Europa werkt met een netfrequentie van 50 Hz. Om de stabiliteit van het globale Europese elektriciteitssysteem te garanderen moet elke nationale transmissienetbeheerder de netfrequentie op 50 Hz houden. Hiervoor moet op elk moment de injectie en afname aan elektriciteit op het transmissienet in evenwicht zijn. Als er bijvoorbeeld een grotere afname is dan injectie, m.a.w. een tekort aan productie, zal de netfrequentie dalen onder de 50 Hz. Bij een te sterke daling zullen uit veiligheidsoverwegingen centrales afgekoppeld worden en kan de stroom uitvallen, de zogenaamde '**black-out**'. Om dit te vermijden moet elke transmissienetbeheerder, dus ook Elia, bij een onevenwicht de gepaste acties ondernemen om het evenwicht en dus de standaardfrequentie te herstellen.



LEGENDE

-  Elektriciteitsstromen
-  Contracten
-  Toezicht

Bron: UMIX, 2008

FIG. 6: STRUCTUUR VAN DE BELGISCHE ELEKTRICITEITSMARKT



Elia beschikt over verschillende middelen om het evenwicht op het transmissienet te bewaren. Een eerste middel zijn de **primaire reserves**. Primaire reserve is uitsluitend bedoeld om kleine frequentieschommelingen op het transmissienet op te vangen. Primaire reserve kan heel snel geactiveerd worden (0-30 seconden) om de frequentie op het net bij te regelen naar 50 Hz. In 2012 bedroeg het aandeel primaire regeling in België 95 MW.

De **secundaire reserves** worden automatisch ingeschakeld bij een dreigend systeemonevenwicht op het net en kunnen binnen 30 seconden tot maximaal 15 minuten geactiveerd worden. Secundaire reserves moeten kunnen geleverd worden tot zolang dit nodig is. Dit komt neer op de periode waarin het onevenwicht kan opgelost worden of de secundaire reserve vervangen wordt door tertiaire reserve.

De **tertiaire reserve** is een reserve die steunt op een fundamentele herschikking van de productie of afname van elektriciteit op langere termijn. Deze reserve voorziet bijvoorbeeld in het structureel opdrijven van het vermogen van centrales of het bijschakelen van centrales. De tertiaire reserve lost een structureel onevenwicht op voor lange termijn.

Voor het leveren van secundaire en tertiaire reserves bestaan er aangepaste contracten tussen Elia en de elektriciteitsproducenten. Elia vergoedt de gecontracteerde producenten voor het ter beschikking stellen van de reserve.

Het energieatol zou kunnen ingezet worden als primaire en secundaire reserve voor Elia. Een energieatol is bijzonder geschikt voor het aanbieden van dit type reservecapaciteit aangezien het een grote vermogensreserve combineert met een zeer korte activatietijd.

3.1.2 Buffer voor opvangen van productieafwijkingen binnen de perimeter van een ARP

Elia is als transmissienetbeheerder verantwoordelijk voor het globale evenwicht op het Belgische elektriciteitsnet. België is echter ook opgedeeld in verschillende kleinere evenwichtszones. Binnen elk van deze zones is de zogenaamde ARP (de Access Responsible Party of toegangsverantwoordelijke), verantwoordelijk voor het behoud van het evenwicht. Deze ARP kan zowel een producent, grootverbruiker, leverancier als een trader zijn.

Door de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen, kan deze evenwichtsverplichting een probleem vormen voor een ARP met veel hernieuwbare bronnen in haar regelzone. **Het energieatol kan voor deze onevenwichten een oplossing bieden door elektriciteit op te slaan bij een overschot en de opgeslagen elektriciteit op het net te injecteren bij een tekort.**

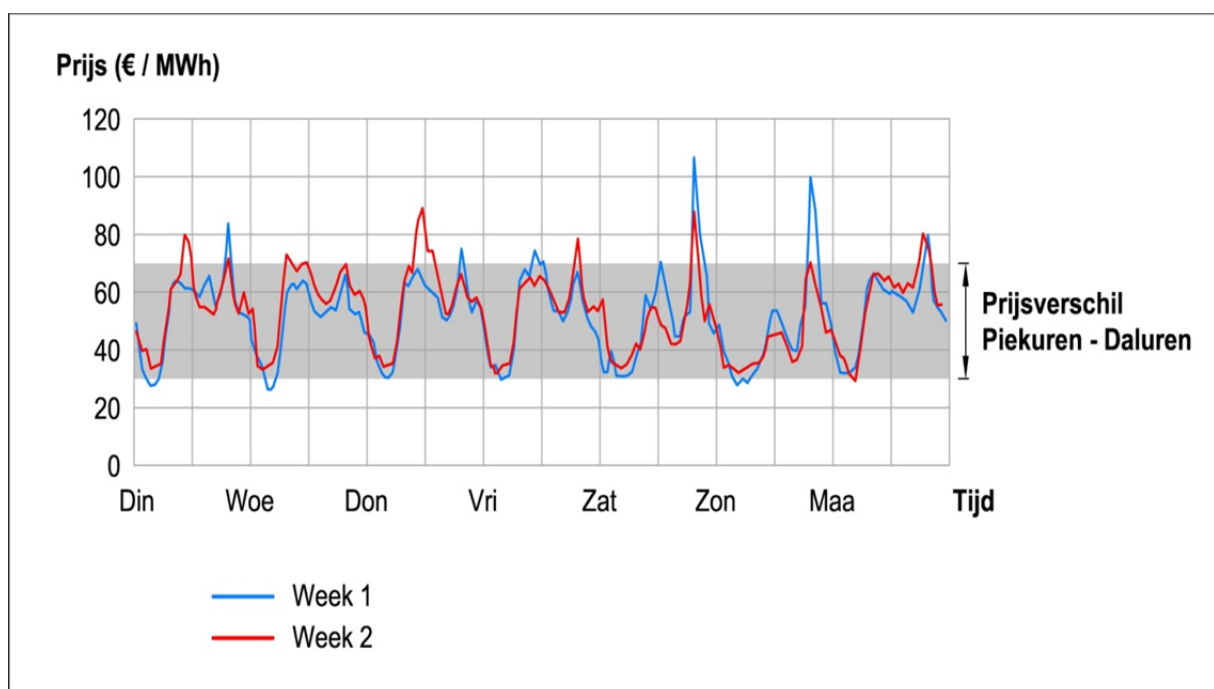
Aangezien onevenwichten in een evenwichtzone op kwartierbasis worden bepaald, is de reactiesnelheid van het energieatol een belangrijke troef. Het energieatol kan immers binnen enkele minuten in- of uitgeschakeld worden en kan ze snel omschakelen tussen productie- en opslagmodus.

Het vermogen dat het energieatol moet kunnen opslaan of leveren is afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen aan variabele hernieuwbare energiebronnen binnen de perimeter van de ARP. Hoe groter het totale vermogen aan hernieuwbare energiebronnen binnen de perimeter, hoe groter de buffercapaciteit zal moeten zijn.

3.1.3 Trading van elektriciteit of prijsarbitrage

De elektriciteitsmarkt in België kan opgedeeld worden in 2 soorten markten: de onderhandse markt en de beursmarkt. Op de onderhandse markt wordt de handel rechtstreeks georganiseerd tussen verschillende marktpelers. Dit voor zowel leveringen van elektriciteit op korte termijn als contracten op lange termijn.

Naast deze onderhandse markt is er ook nog de beursmarkt of de "Belpex". Hierbij wordt elektriciteit geveild volgens het beursprincipe. De wet van vraag en aanbod speelt hier sterk en bijgevolg zijn er ook prijschommelingen. Deze prijschommelingen over een periode van twee opeenvolgende weken worden geïllustreerd op Figuur 7.



Figuur 7: Illustratie van de prijschommelingen op de Belpex-markt gedurende twee opeenvolgende weken (Belpex, 2012)

Zoals te zien is op de grafiek van Figuur 7, schommelt de prijs van elektriciteit op de Belpex dagelijks. In de daluren (na middernacht) is de prijs gevoelig lager dan in de piekuren ('s middags en in de vooravond). De grijze band op Figuur 7 geeft een gemiddelde range aan van de dagelijkse prijschommeling.

Deze prijschommelingen zijn een opportuniteit voor het energieatol. **Als de energieprijis laag is kan het atol elektriciteit aankopen en energie opslaan door water uit het atol in zee te pompen. Deze opgeslagen energie kan dan terug worden omgezet in elektriciteit als de prijs hoog is.** Omdat de elektriciteitsprijs bij productie hoger ligt dan bij opslag kan het energieatol op deze manier inkomsten genereren.

Naast het feit dat inkomsten worden gegenereerd draagt het energieatol door prijsarbitrage ook bij tot het **optimaliseren van de afzet van elektriciteit.**

Besluit: hoofdfuncties van het energieatol

De hoofdfuncties van het energieatol zijn de functies die een oplossing bieden voor de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen door de opslag van elektriciteit onder de vorm van waterkracht.

Er worden 3 hoofdfuncties onderscheiden:

- Snel inschakelbare reserve voor transmissienetbeheerder ELIA. Door het energieatol in te zetten als reserve kan Elia de stabiliteit van het elektriciteitsnet behouden en grootschalige stroompannes vermijden.
- Buffer voor het opvangen van van productieafwijkingen binnen een perimeter van een ARP (Access Responsible Party). Het energieatol kan als buffer fungeren voor hernieuwbare energiebronnen, waardoor de marktwaarde van groene elektriciteit wordt verhoogd en nieuwe investeringen in hernieuwbare energiebronnen worden gestimuleerd.
- “Trading” van elektriciteit of prijsarbitrage. Het energieatol kan de afzet van elektriciteit optimaliseren door elektriciteit op te slaan tijdens periodes van kleine vraag en elektriciteit te produceren tijdens periodes met een grote vraag.

De hoofdfuncties worden beschouwd als basisfuncties, die wanneer ze worden geplaatst binnen een competitief marktkader inkomsten kunnen genereren voor het energieatol.

3.2 Uitvoeringsalternatieven

Het energieatol bestaat uit de volgende basiscomponenten:

- een waterreservoir of bekken.
- pompturbines voor het oppompen van water en het opwekken van elektriciteit.
- een transmissiekabel voor de aansluiting op het elektriciteitsnet.

In functie van het reservoirtype kunnen 3 **uitvoeringsvormen** onderscheiden worden: een **valmeer**, een **spaarbekken** of een **combinatie van een valmeer en een spaarbekken**.

Bij een **valmeercentrale** wordt een overdiepte gecreëerd. Energie wordt opgeslagen door water uit het reservoir weg te pompen zodat het peil binnen dit reservoir lager komt te staan dan dat van de Noordzee. Door water vanuit de zee in het reservoir te laten lopen, wordt de opgeslagen energie terug omgezet in elektriciteit. Figuur 8 geeft de werking van een valmeercentrale schematisch weer.

Bij een **spaarbekkencentrale** wordt een overhoogte gecreëerd. Energie wordt opgeslagen door water vanuit de zee op te pompen in het reservoir. Deze energie kan terug omgezet worden door het water over turbines in zee te laten stromen. Figuur 8 geeft schematisch de werking van een spaarbekcentrale weer.

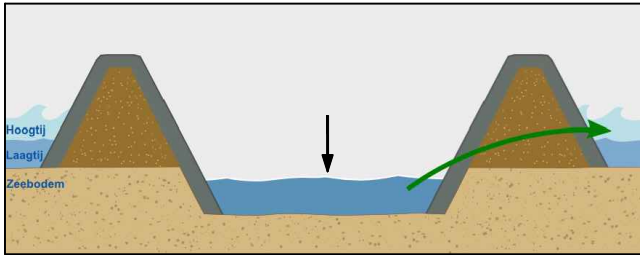
Bij een **combinatie** van een spaarbekcentrale met een valmeercentrale wordt zowel een overhoogte als een overdiepte gecreëerd. Afhankelijk van het waterniveau in het reservoir en de wens om elektriciteit op te slaan of te produceren, wordt het principe van het spaarbekken of het valmeer toegepast. Het idee is dat een energiepotentieel zowel kan opgebouwd worden door een waterniveau in het reservoir lager dan het zeeniveau als door een waterniveau in het reservoir hoger dan het zeeniveau. Figuur 8 geeft schematisch de werking van een combinatie van een spaarbekcentrale met een valmeer weer.

In vergelijking met de andere uitvoeringsalternatieven heeft het valmeer een aantal niet onbelangrijke voordelen:

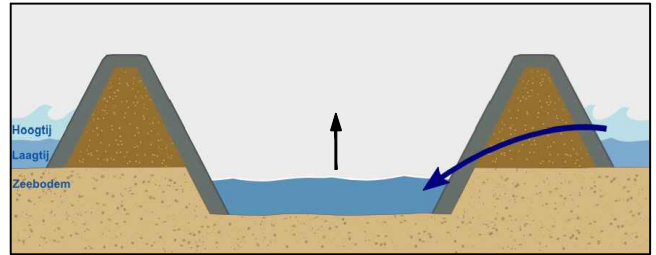
- Door de kleinere dijkhoogte zal de kostprijs voor de constructie van het valmeer gevoelig lager zijn.
- Het materiaal dat vrijkomt bij de aanleg van de overdiepte kan hergebruikt worden voor de bouw van de dijken van het energieatol. Dit heeft een positieve impact op de kostprijs.
- De hinder op het zicht vanaf de kustlijn zal voor een valmeer minder groot zijn.

Bovenstaande argumenten geven aan dat voor de realisatie van een energieatol in de Noordzee een valmeercentrale waarschijnlijk te verkiezen valt. De werking van een valmeer wordt geïllustreerd op Figuur 9.

VALMEERCENTRALE

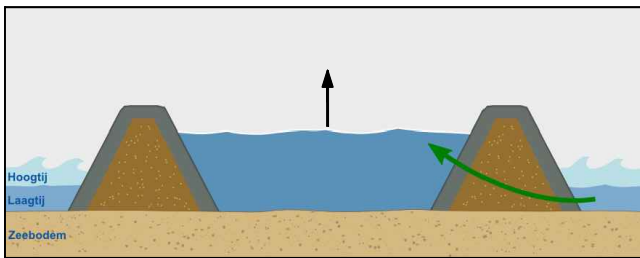


Elektriciteitsopslag

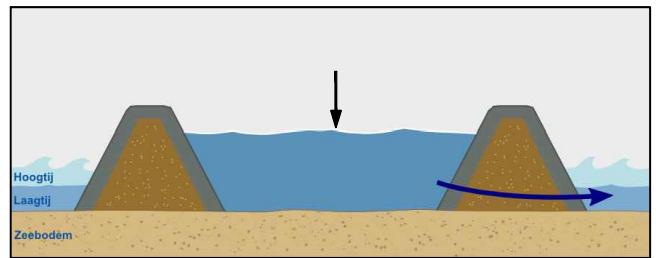


Elektriciteitsproductie

SPAARBEEKENCENTRALE

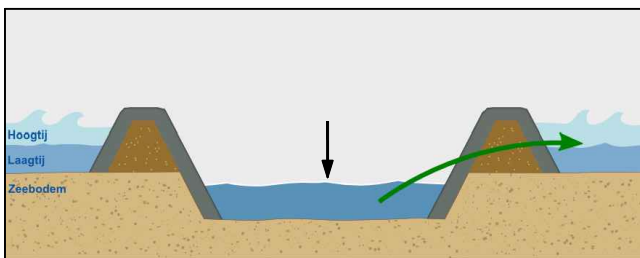


Elektriciteitsopslag

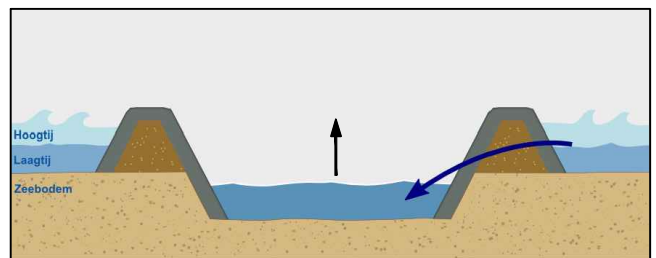


Elektriciteitsproductie

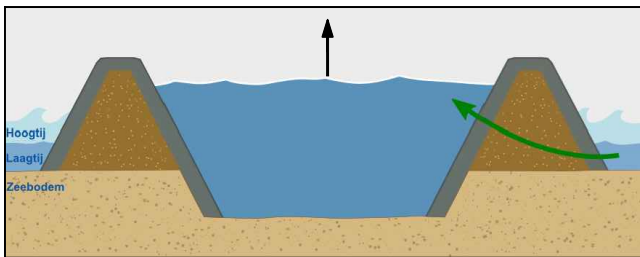
COMBINATIE VALMEER-SPAARBEEKEN



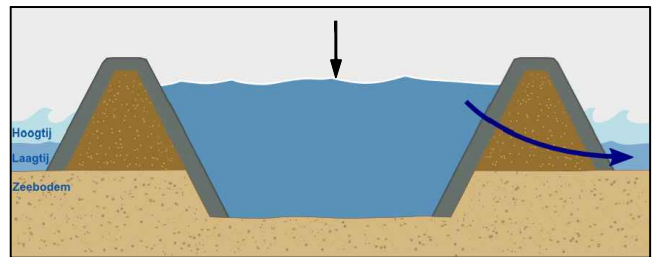
Elektriciteitsopslag



Elektriciteitsproductie



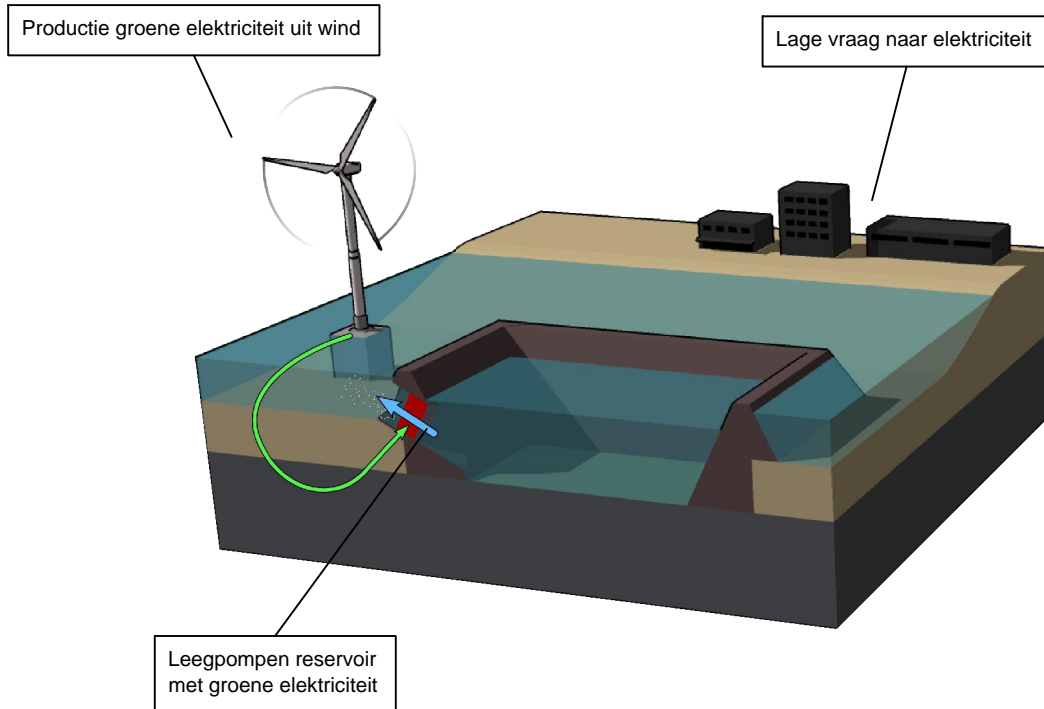
Elektriciteitsopslag



Elektriciteitsproductie

FIG. 8: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE UITVOERINGSALTERNATIEVEN

ENERGIEOPSLAG



ENERGIEPRODUCTIE

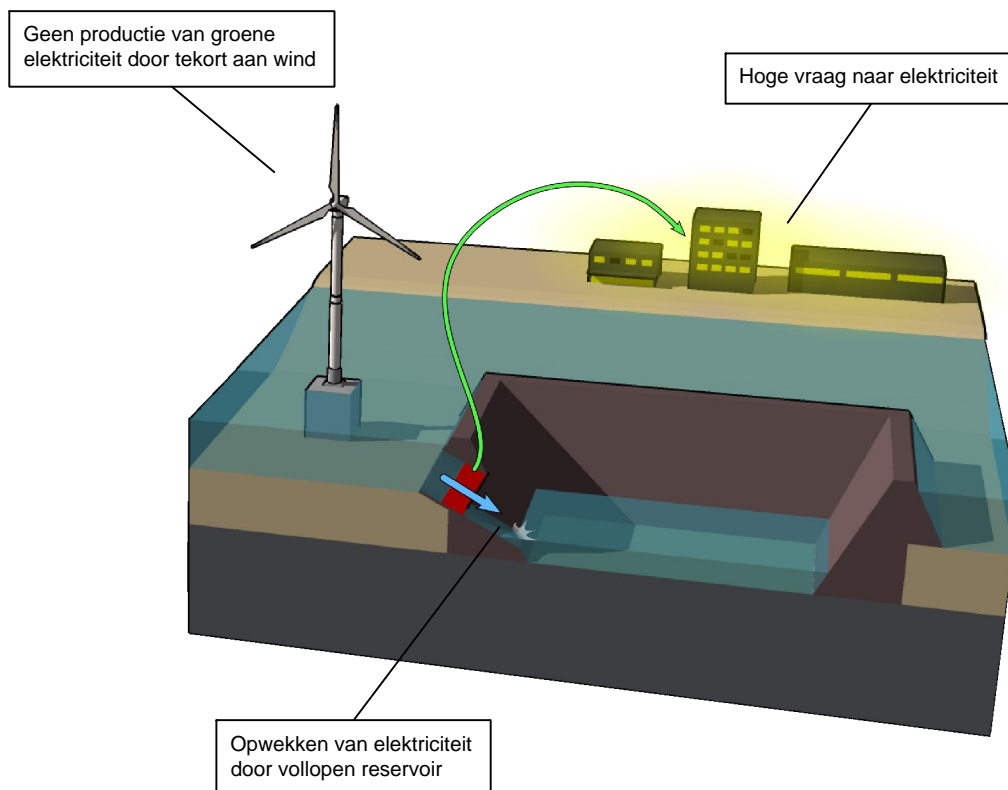


FIG. 9: WERKING ENERGIEATOL

Besluit: uitvoeringsalternatieven

Het energieatol is een pompaccumulatiecentrale in de Noordzee die kan instaan voor het bufferen van variabele elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen.

Het energieatol werkt volgens het principe van een valmeercentrale. Elektrische energie wordt opgeslagen door water uit het energieatol in zee te pompen. De opgeslagen energie wordt terug vrijgezet door water vanuit de zee via turbines terug in het atol te laten lopen.

3.3 Opbouw van het energieatol

3.3.1 Bouwtechnische randvoorwaarden

De bouw van een energieatol is zoals elke constructie in zee gebonden aan specifieke bouwtechnische randvoorwaarden. De bouwtechnische randvoorwaarden die hier besproken zullen worden zijn:

- Geologische ondergrond.
- Waterdiepte en ligging van de zandbanken.
- Golfhoogte.

3.3.1.1 Geologische ondergrond

De geologie van de Noordzee verschilt van locatie tot locatie. De geologie wordt hier beschreven voor twee type locaties: voor de kust van Zeebrugge en ter hoogte van de zandbanken ten westen van de offshore windmolenparken.

De algemene geologie in deze zone van de Noordzee bestaat uit een niet-geconsolideerde kwartaire deklaag bovenop een geconsolideerde tertiaire laag. Specifiek ter hoogte van de voorhavens van Zeebrugge is de geologie als volgt opgebouwd:

Laag		Diepte top (m TAW)	Dikte(m)	Textuur
Quartair		-6,5 à -8,5	12,5 à 21,5	Zand
Tertiair	Formatie van Ursel	-21 à -28	10 à 17	Zware klei
	Formatie van Asse	-38	5	Zandige klei
	Formatie van Knesselare	-43	/	Fijn zand

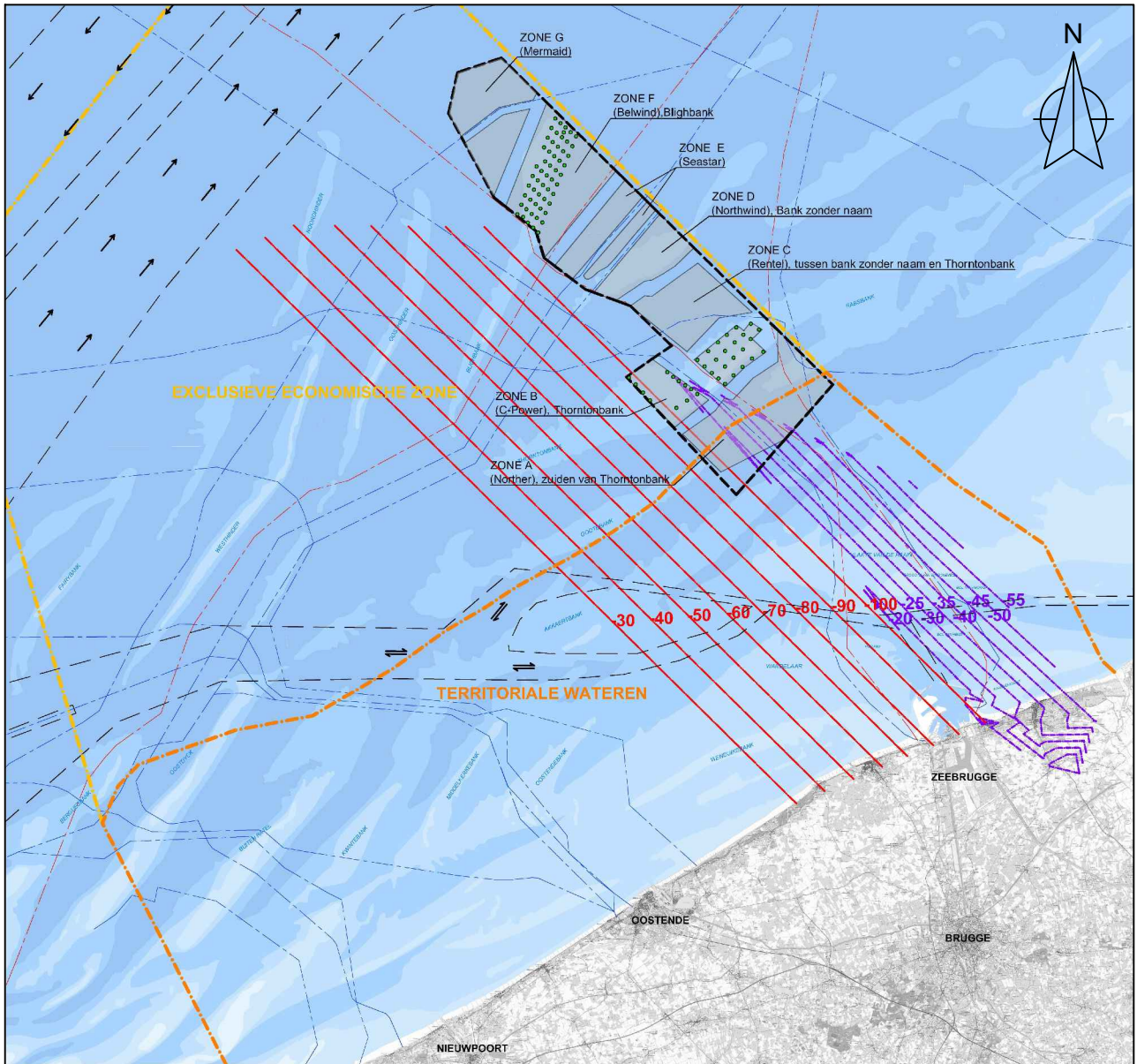
Tabel 1: Geologie kust Zeebrugge (Belgische Geologische Dienst, 2012)

De geologische opbouw ten westen van de offshore windmolenparken wordt weergegeven in Tabel 2.

Laag		Diepte top (m TAW)	Dikte(m)	Textuur
Quartair		-14 à -16	12 à 21	Zand
Tertiair	Zandformatie	-28 à -35	49 à 56	Zand
	Formatie van Kortrijk	-84	/	Zware klei

Tabel 2: Geologie ten westen offshore windmolenparken (Belgische Geologische Dienst, 2012)

De dieptes waarop de kleilagen ter hoogte van de kust van Zeebrugge en de offshore windmolenparken voorkomen, worden aangeduid op Figuur 10. De geologische ondergrond van de



LEGENDE

—•—•— Exclusieve economische zone (EEZ)

—•—•— Territoriale zee

— — Vaarweg

⇄ Vaarroute

→ Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

0 - 5 m

5 - 10 m

10 - 20 m

+20 m

Leidingen

— — — — — Communicatiekabel

— — — — — Gasleiding

Offshore windmolenparken

— — — — — Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken

■ Windmolenpark

● Windturbine

— — — — — Landingskabels windmolenpark

Kleilaag

— x — — — — — Isohyps top kwartaire kleilaag van Ursel (m TAW)

— x — — — — — Isohyps top tertiaire kleilaag van leper (m TAW)

Bron: Belgische geologische dienst, 2012



FIG. 10: ONDERGROND VAN DE NOORDZEE



Noordzee en meer bepaald de ligging van de kleilagen kan voor de bouw van een energieatol mogelijk een opportuniteit bieden. Voor het atol moet er immers een overdiepte in de zeebodem gerealiseerd worden. Indien deze overdiepte tot in een onderliggende kleilaag kan aangelegd worden, kan deze kleilaag een natuurlijke waterdichting bieden voor de bodem van het reservoir. Dit biedt als voordeel dat de in- of uitstroom van zeewater wordt gereduceerd waardoor de operationele efficiëntie van het energietol kan worden verhoogd. **De aanwezigheid van een kleilaag op de juiste diepte is dus een voordeel, doch geen vereiste.**

3.3.1.2 Waterdiepte en ligging van de zandbanken

De ondergrond van de Noordzee wordt gekenmerkt door een variabele waterdiepte. De belangrijkste oorzaak van deze variatie is de aanwezigheid van zandbanken (Figuur 10). Als gevolg van de overheersende zeestroming zijn de zandbanken zuidwest-noordoost georiënteerd. Door de gereduceerde waterdiepte ter hoogte van zandbanken, zijn zij vaak geschikte locaties voor de bouw van offshore-installaties zoals het geval is voor de windmolenparken. **De waterdiepte en de aanwezigheid van zandbanken zullen mee de dijkhoogte bepalen.**

3.3.1.3 De golfhoogte

Zoals elke zee is ook de Noordzee onderworpen aan golfslag. De overheersende golfrichting in de noordzee is net zoals de oriëntatie van de zandbanken ZW-NO. Voor de constructie van het energieatol is niet alleen de richting maar vooral de hoogte en de kracht van de golven van belang. De dijken van het atol moeten voorkomen dat golven overslaan en de kracht van de golven weerstaan om de integriteit van de structuur te bewaren.

De golfcondities in de Noordzee zijn locatiespecifiek. Deze condities zijn beschikbaar op de hydrometeoatlas van de Belgische Kust die gebruik maakt van boeien voor het bepalen van de golfcondities.

De golfhoogte zal bepalend zijn voor het type en de hoogte van de dijken van het energieatol.

3.3.2 Constructie van het energieatol

3.3.2.1 Civiel-technische constructie

De civiel-technische deel van de constructie van het energieatol bestaat uit het bouwen van de **dijken** en het uitbaggeren van het atol voor het creëren van een **overdiepte**.

Rekening houdend met de bovengenoemde randvoorwaarden komen 3 constructiealternatieven in aanmerking:

- **Klassieke stortsteendam met waterdichte kern.**
- **Caissondam.**
- **Kaaimuur.**

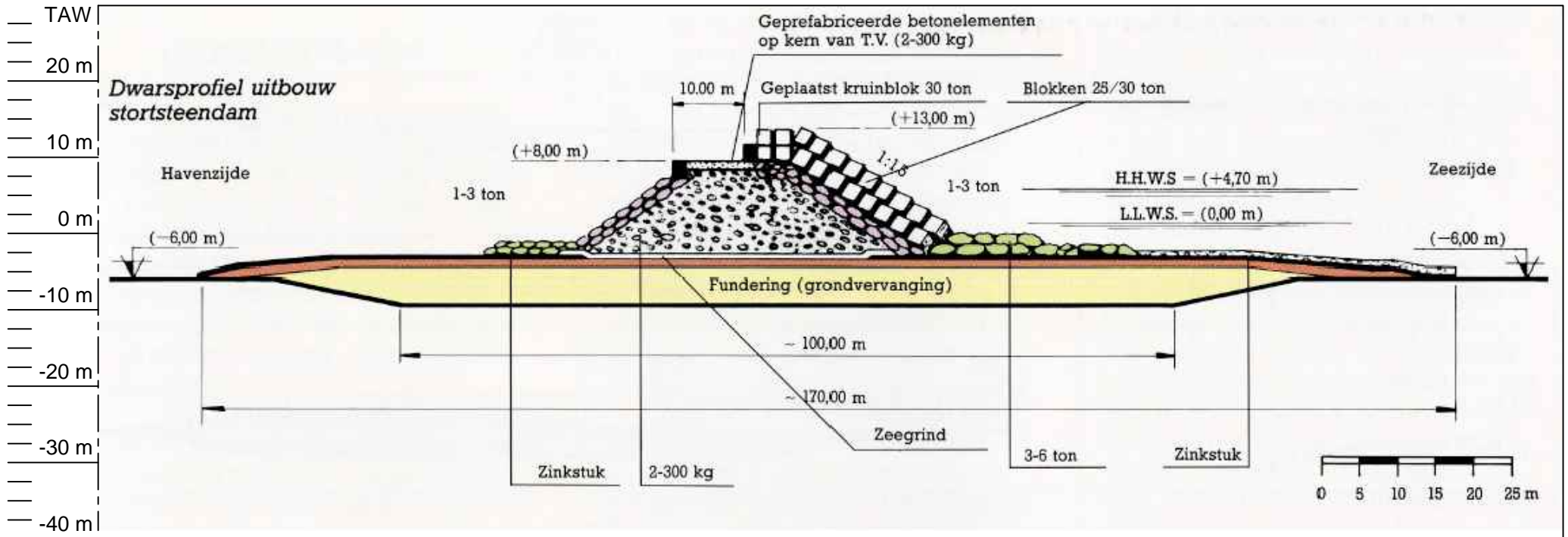
Stortsteendammen hebben een trapeziumvormig dwarsprofiel. Een stortsteendam is opgebouwd uit meerdere lagen: een kern, tussenlagen, een deklaag, een teen en een filterlaag. Een stortsteendam kan gebouwd worden met grotendeels natuurlijke bouwmaterialen (zeezand en zeegrond), naast andere kunstmatige materialen (kruinblokken uit beton). De stabiliteit van een stortsteendam is te danken aan het gewicht van de gebruikte materialen. De algemene opbouw van een meer-lagen-stortsteendam wordt op Figuur 11 weergegeven. Deze opbouw werd gebruikt voor de constructie van de oostelijke en westelijke strekdam van de huidige voorhavens van Zeebrugge. Een stortsteendam is normaliter niet waterkerend aangezien alle materialen waaruit de dam is opgebouwd waterdoorlatend zijn (zeegrond, zeezand, gestapelde betonblokken, etc.). Om een stortsteendam toch waterkerend te maken kan een vertikaal waterkerend scherm geplaatst worden in de kern van de dam. Dit scherm kan een stalen damwand, groutwand of een cement-bentonietwand zijn.

Stortsteendammen hebben als voornaamste voordelen dat zij weinig gevoelig zijn voor mechanische schade, redelijk eenvoudig hersteld kunnen worden bij schade en goed weerstaan aan zware golfaanvallen. Bovendien zijn er in Vlaanderen ook meerdere positieve ervaringen met het gebruik van stortsteendammen (Haven van Zeebrugge, Haven van Oostende). Specifiek in het kader van dit project laten deze dammen ook om gebruik te maken van lokaal beschikbare bouwmaterialen (zoals zand en grind). Een nadeel van de stortsteendam is de grote hoeveelheid benodigd materiaal voor de bouw van de dam.

Een **caissondam** is opgebouwd uit caissons. Caissons zijn holle betonnen constructies die gestapeld kunnen worden. Een caisson wordt al drijvend getransporteerd naar de plaats van bestemming en wordt daar afgezonken door de caisson te belasten. Dit alternatief werd eveneens onderzocht voor de bouw van de havendammen van de voorhavens van Zeebrugge. Het onderzochte alternatief wordt in Figuur 12 afgebeeld. Aangezien het beton waaruit de caissons zijn opgebouwd waterkerend is, kan een caissondam als waterkerende constructie worden beschouwd.

Caissondammen bieden het voordeel dat ze relatief weinig bouw materiaal vereisen in vergelijking met stortsteendammen. Een belangrijk nadeel van de caissonconstructie is echter dat het risico op een totale vernietiging of ernstige beschadiging reëel is indien de ontwerpcondities worden overschreden. In dit geval is het bovendien zeer moeilijk om de constructie te herstellen. Verder bleek op basis van de analyse uitgevoerd ten tijde van de bouw van de haven van Zeebrugge dat het bouwen van de havendammen op basis van caissons 30% duurder zou zijn dan een technisch equivalent van het stortsteendamtype.

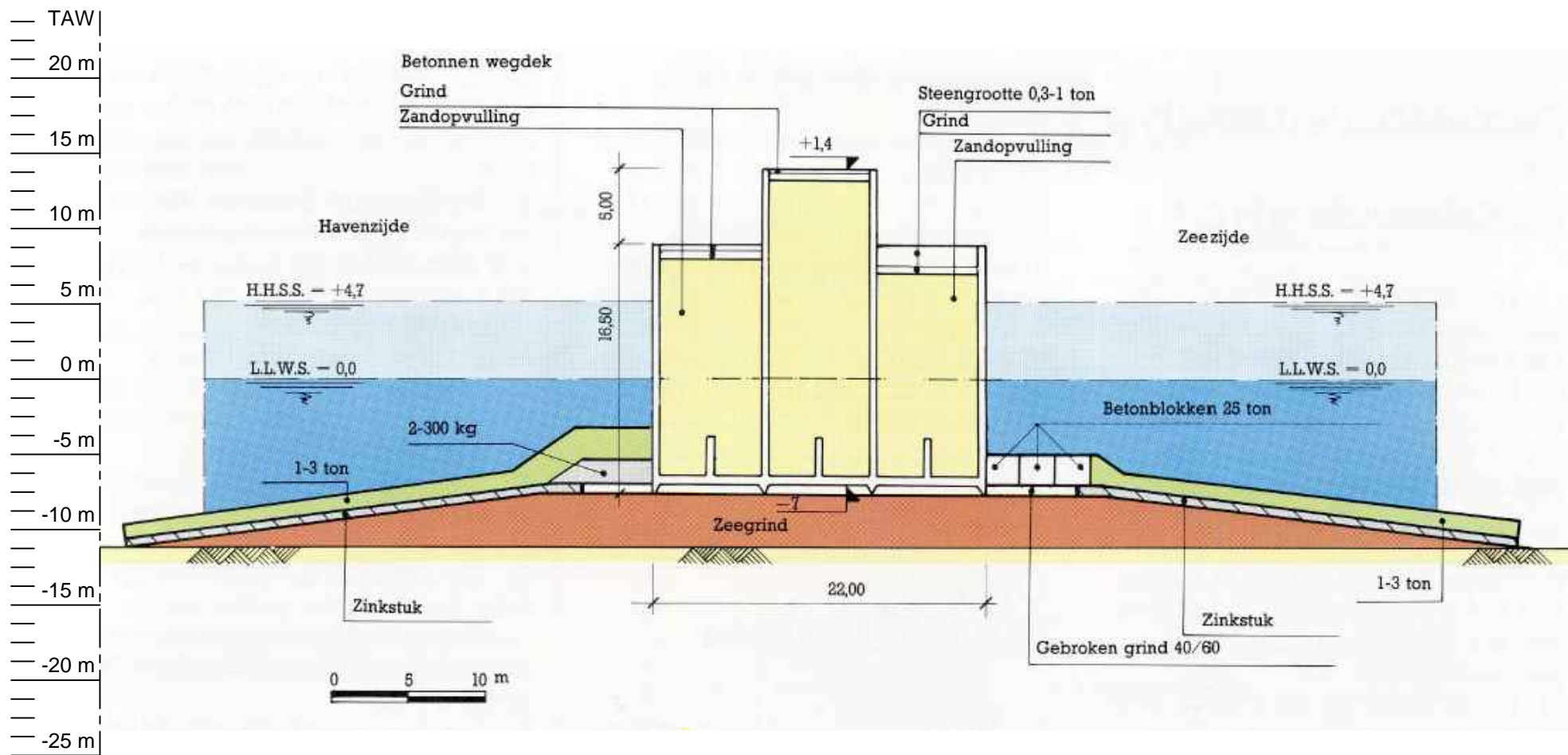
Een **kaaimuur** of kade is een nagenoeg verticale wand aan een vaarwater. Een kaaimuur kan opgebouwd zijn uit een zandkern, buispalen en een betonplaat. Een kaaimuur fungeert voornamelijk als aanlegplaats voor schepen. Voor de bouw van een energieatol zou een kaaimuur kunnen gebouwd worden aan de binnenzijde van het reservoir. Aan de buitenzijde van het reservoir kan een kaaimuur gebruikt worden op de locaties waar schepen moeten kunnen aanleggen. Op andere plaatsen aan de buitenzijde van het reservoir kan gewerkt worden met een stortsteendam. Een kaaimuur is normaal gezien niet waterkerend. Door het plaatsen van waterdichte damwanden en/of



Bron: Pladys
Locatie: Zeebrugge

FIG. 11: OPBOUW VAN EEN STORTSTEENDAM





Bron: Pladys
 Locatie: Zeebrugge

FIG. 12: OPBOUW VAN EEN CAISSONDAM



het injecteren van groutpalen ter hoogte van waterdoorlatende zones in de constructie is het mogelijk om een kaaimuur waterkerend te maken. Een kaaimuurconstructie brengt in vergelijking met een klassieke stortsteendam en een caissondam relatief grote kosten met zich mee. De constructie van een kaaimuur lijkt daarom niet aangewezen. Dit sluit echter niet uit dat langs de buitenkant een deel van de dijk kan afgewerkt worden tot kaaimuur om het aanmeren van schepen voor bv. onderhoud of levering van goederen mogelijk te maken.

In de Tabel 3 worden de voor- en nadelen van elk constructietype vergeleken. Op basis van deze vergelijking wordt de stortsteendam weerhouden als alternatief voor de constructie van de dijken van het energieatol. Deze keuze sluit echter niet uit dat een kaaimuur of caissondam in combinatie met een stortsteendam kan gebruikt worden voor de bouw van delen van de dijk van het atol (bv. ter hoogte van aanmeerzones, ter hoogte van de pompturbines).

Constructietype	Voordelen	Nadelen
Stortsteendam	<ul style="list-style-type: none"> • Weinig gevoelig voor mechanische schade • Bestand tegen grote golfaanvallen • Eenvoudig te herstellen • Bewezen techniek voor een dijk op zee • Gebruik van natuurlijke lokaal beschikbare materialen • Lagere kostprijs 	<ul style="list-style-type: none"> • Grote hoeveelheid materiaal nodig
Caissondam	<ul style="list-style-type: none"> • Bewezen techniek • Weinig materiaal nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Risico op grote schade bij grote golven • Moeilijk te herstellen
Kaaimuur	<ul style="list-style-type: none"> • Bewezen techniek 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge kostprijs • Relatief moeilijk te herstellen

Tabel 3: Voor- en nadelen stortsteendam, caissondam en kaaimuur

Om de stortsteendam waterdicht te maken komen 3 technieken in aanmerking: een stalen damwand, een groutwand en een cement-bentonietwand. Een stalen damwand en groutwand kunnen zowel grondkerend als waterkerend zijn, een cement-bentonietwand is enkel waterkerend. Aangezien de wand voor het aanleggen van het reservoir enkel waterkerend moet zijn, wordt geadviseerd om een cement-bentonietwand te gebruiken voor het realiseren van de waterdichting. De cement-bentoniet wand biedt als bijkomend voordeel dat de kostprijs per m² gevoelig lager is dan een stalen damwand of groutwand. Daarenboven kan een stalen damwand geplaatst worden tot op een diepte van slechts 20 à 30 m, een groutwand tot een diepte van slechts 10-15m terwijl een cement-bentonietwand tot ruim 50 m diep kan geplaatst worden.

De algemene structuur van de dijken zal dus een **stortsteendam zijn met een waterkerende cement-bentonietwand** (cf. Figuur 13).

De opbouw is als volgt:

- Filterlaag uit zeegrind. Een filterlaag wordt aangelegd op de zeebodem en dient als aanzet voor de damconstructie. De filterlaag helpt vermijden dat de breukstenen en het grind zouden verzanden. Bovendien vermindert de filterlaag overmatige erosie van de zeebodem

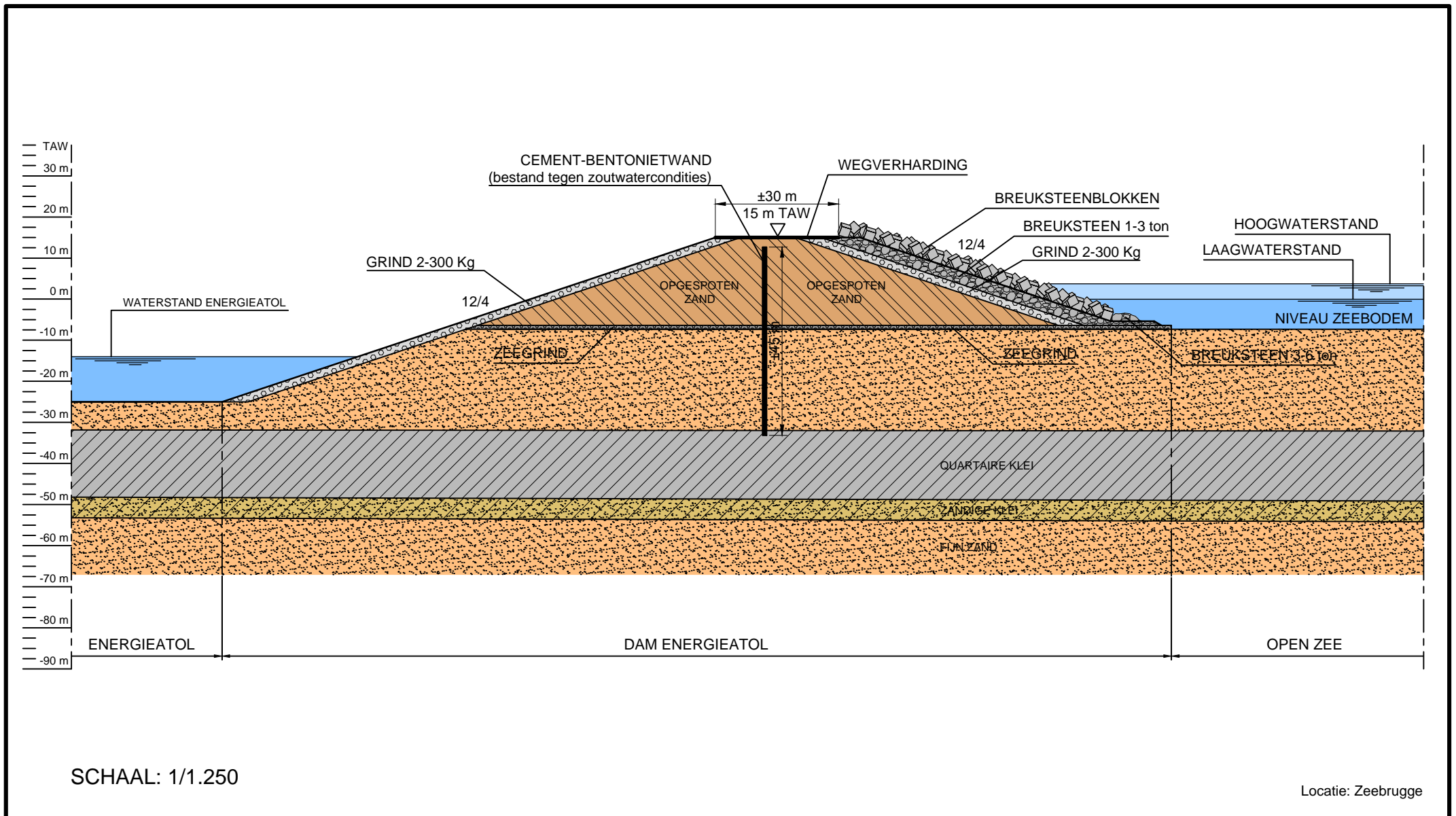


FIG. 13: DOORSNEDE DOORHEEN EEN STORTSTEENDAM VAN HET ENERGIEATOL

waarop de dam wordt aangezet tijdens de bouwwerkzaamheden en na realisatie van de dam.

- Kern uit opgespoten zand met cement-bentonietwand. De kern van de dam bestaat uit opgespoten zand dat werd uitgebaggerd voor de aanleg van de overdiepte van het energieatol. Na de bouw van de dam wordt centraal in de stortsteendam een cement-bentonietwand geplaatst die zorgt voor de waterdichting. Indien mogelijk wordt de cement-bentonietwand tot in een natuurlijke kleilaag geplaatst zodat een volledige afdichting wordt bekomen. Omdat de cement-bentonietspecie initieel vloeibaar is en moet geplaatst worden in een opgespoten en dus doorlatende zandlaag, bestaat het risico dat er grote verliezen aan specie zullen optreden. Om dit te vermijden wordt de opgespoten zandlaag ter hoogte van het tracé van de cement-bentonietwand verdicht met een vibrerende trilnaald. Dit proces zorgt voor een dichte pakking van de zandkorrels en reduceert sterk de doorlatendheid. Na verloop van tijd hardt de cement-bentonietspecie uit en wordt een ondoorlatende wand bekomen.
- Zeezijde
 - Eerste tussenlaag uit grind (2-300kg). De tussenlaag uit grind zorgt ervoor dat de onderliggende zandkern niet kan uitspoelen als gevolg van golfslag en zeestroming.
 - Tweede tussenlaag uit breuksteen (1-3 ton). Deze laag verhindert dat de onderliggende eerste tussenlaag niet kan uitspoelen.
 - Deklaag uit breuksteenblokken (15 ton). De deklaag bestaat uit stenen die de kracht van de golfslag moeten kunnen opvangen. Er werd geopteerd voor artificiële breuksteenblokken van het type Xblock® (Figuur 14) of Accropod® (Figuur 15). De vorm van deze blokken zorgt ervoor dat ze, bij zorgvuldige plaatsing, als het ware in elkaar haken. Hierdoor is het benodigde stukgewicht per blok lager en kan de deklaag met 1 laag blokken worden opgebouwd.



Figuur 14: Afbeelding XBlock



Figuur 15: Afbeelding Accropod

- Deklaag golfluwe zijde en binnenzijde (breuksteenblokken). Indien de zeezijde zich aan de golfluwe zijde bevindt van het energieatol, volstaat het een finale afdeklaag te voorzien met breukstenen van 1-3 ton. Ook aan de binnenkant van het energieatol kan enkel met dit type afdeklaag gewerkt worden.
- Teen van de stortsteendam (breuksteen 3-6 ton). Een verticale teenconstructie wordt voorzien aan de voet van de stortsteendam ter ondersteuning van de deklaag. Deze bestaat uit breukstenen van 3-6 ton.

De dijken hebben een hellingsgraad van 12/4. De top van de dijk is ongeveer 15m breed, zodat voldoende ruimte beschikbaar is voor het aanleggen van een wegverharding en het plaatsen van bovengrondse constructies (bv. windmolens).

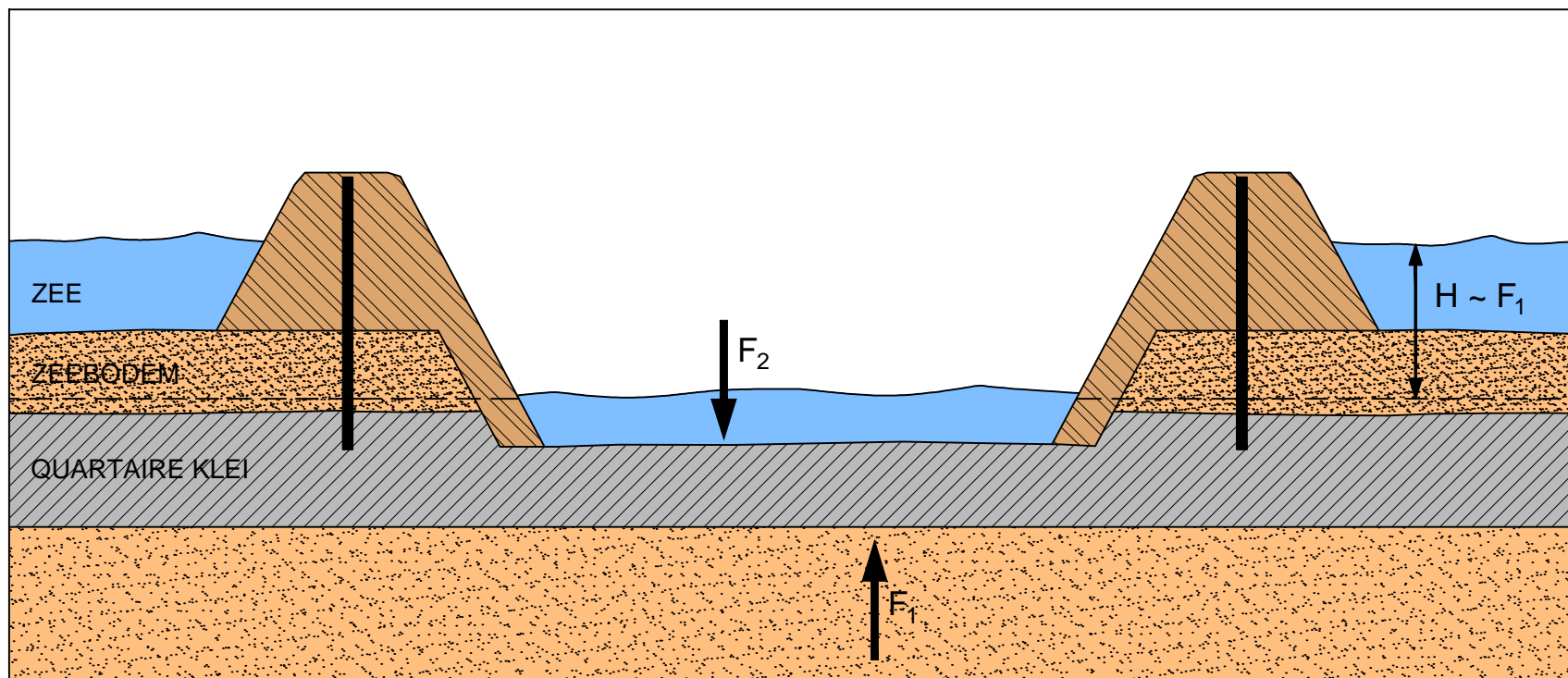
De **overdiepte** zal worden gerealiseerd door het wegbaggeren van de zeebodem. Het gebaggerde materiaal kan vervolgens opgespoten worden voor de aanleg van de kern van de stortsteendam. De baggerwerken kunnen worden uitgevoerd door een performante sleephopperzuiger en een zeewaardige cutterzuiger. De cutterzuiger zal voornamelijk actief zijn bij de start van de baggerwerken. Door de beperkte diepgang kan dit type baggerschip opereren bij een kleine waterdiepte (6m). Eenmaal een zekere diepte is bereikt, kan verder gebaggerd worden met de sleephopperzuiger.

De hellingsgraad van de taluds van de overdiepte bedraagt 12/4. Om de taluds van de overdiepte te beschermen tegen erosie wordt er een deklaag van grind (2-300 kg) aangebracht.

Indien de locatie dit toelaat wordt de overdiepte preferentieel aangelegd tot in de natuurlijke kleilaag. Indien de kleilaag bereikt wordt en een cement-bentonietwand wordt geplaatst in de stortsteendam tot aan de kleilaag is de overdiepte quasi volledig waterdicht. Dit biedt het voordeel dat belangrijke lekstromen vanuit de zee naar het energieatol kunnen vermeden worden.

Anderzijds bestaat het risico dat het hydrostatisch drukverschil, dat ontstaat wanneer water uit het atol wordt gepompt, de stabiliteit van het energieatol in gevaar zou brengen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 16.

Indien de druk op de kleilaag (F_2) op de bodem van het atol kleiner is dan de opwaartse hydrostatische druk (F_1), die veroorzaakt wordt door het waterhoogteverschil (H) zal de bodem van



LEGENDE

H: Waterhoogteverschil energieatol-Noordzee

F1: Opwaartse hydrostatische kracht op de bodem van het energieatol als gevolg van waterhoogteverschil

F2: Neerwaartse gravitaire kracht op de bodem van het energieatol

$F_1 < F_2$ = Stabiele toestand

FIG. 16: HYDROSTATISCHE DRUK OP DE BODEM VAN HET ENERGIEATOL

het energieatol openbreken. Om dit te vermijden dient een ballastlaag op de bodem van het reservoir te worden geplaatst, die het drukverschil kan compenseren. De berekening van de dikte van de ballastlaag zal afhankelijk zijn van het maximale waterhoogteverschil dat kan gerealiseerd worden en dus van de locatie van het energieatol.

3.3.2.2 Energie-technische constructie

De energie-technische constructie van het energieatol omvat de werken die moeten uitgevoerd worden om het atol te kunnen laten functioneren als pompaccumulatiecentrale. Hiervoor moet enerzijds water in -of uit het atol kunnen gepompt worden voor het opslaan van elektrische energie en moet anderzijds water geturbineerd kunnen worden voor het opwekken van elektrische energie.

Het verpompen en turbineren van water kan worden uitgevoerd door een pompturbine. Om haar functie te kunnen uitoefenen heeft de pompturbine een aan- en afvoer leiding nodig, waarlangs het water in of uit het energieatol kan stromen. Transformatoren zorgen voor de omvorming van de opgewekte elektrische stroom naar de juiste spanning voor het transport van de stroom naar het land.

De energie-technische componenten van het energieatol zijn:

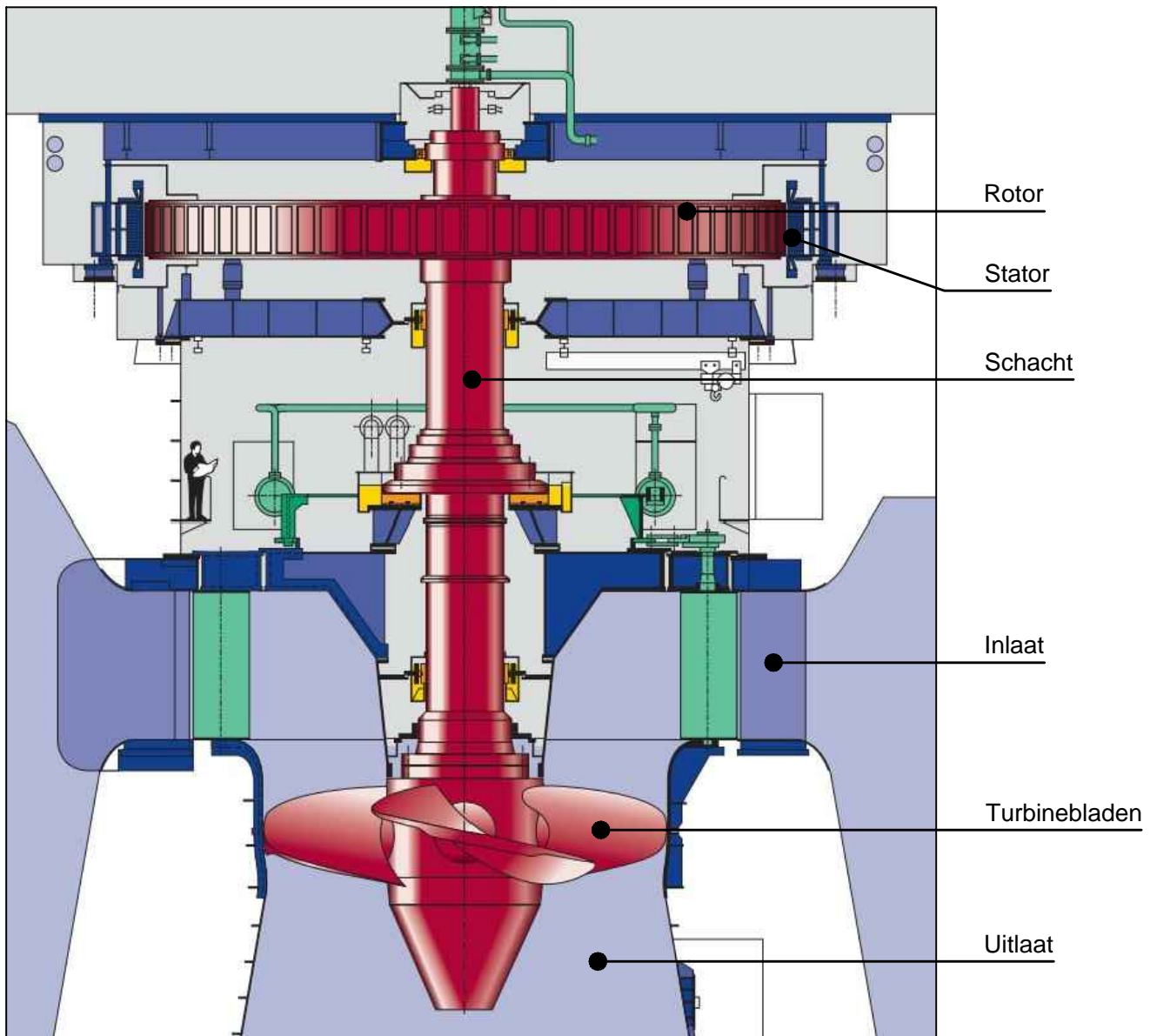
- **Pompturbine**
- **Transformatoren**
- **Aan- en afvoerleidingen**

Pompturbines

De **pompturbines** vormen het hart van de waterkrachtcentrale. Zoals de naam aangeeft, kunnen deze machines zowel functioneren als turbine (in één richting) en als pomp (in de andere richting).

Er bestaan drie belangrijke types pompturbines: de **Kaplan-turbine**, de **Francis-turbine** en de **Pelton-turbine**. Een doorsnede van elk type turbine worden respectievelijk voorgesteld op de Figuren 17, 18 en 19. Op elk van deze figuren worden de volgende basisonderdelen van een turbine aangeduid:

- De inlaat: via de inlaat wordt water naar de turbine geleid.
- De uitlaat: via de uitlaat wordt het water van de turbine weggevoerd.
- De turbinebladen: de bladen van de turbine die de beweging van het water omzetten in een rotatie van de turbine.
- De schacht: de verbinding tussen de turbinebladen en de generator.
- De generator: De generator heeft een dubbele functie. Enerzijds zet zij de draaiende beweging van de schacht om in elektrische stroom (turbinemodus). Anderzijds kan de een motor de turbine aandrijven waardoor de turbine als pomp kan fungeren (pompmodus).
- De rotor: het draaiende deel van de generator.
- De stator: het vaste deel van de generator.

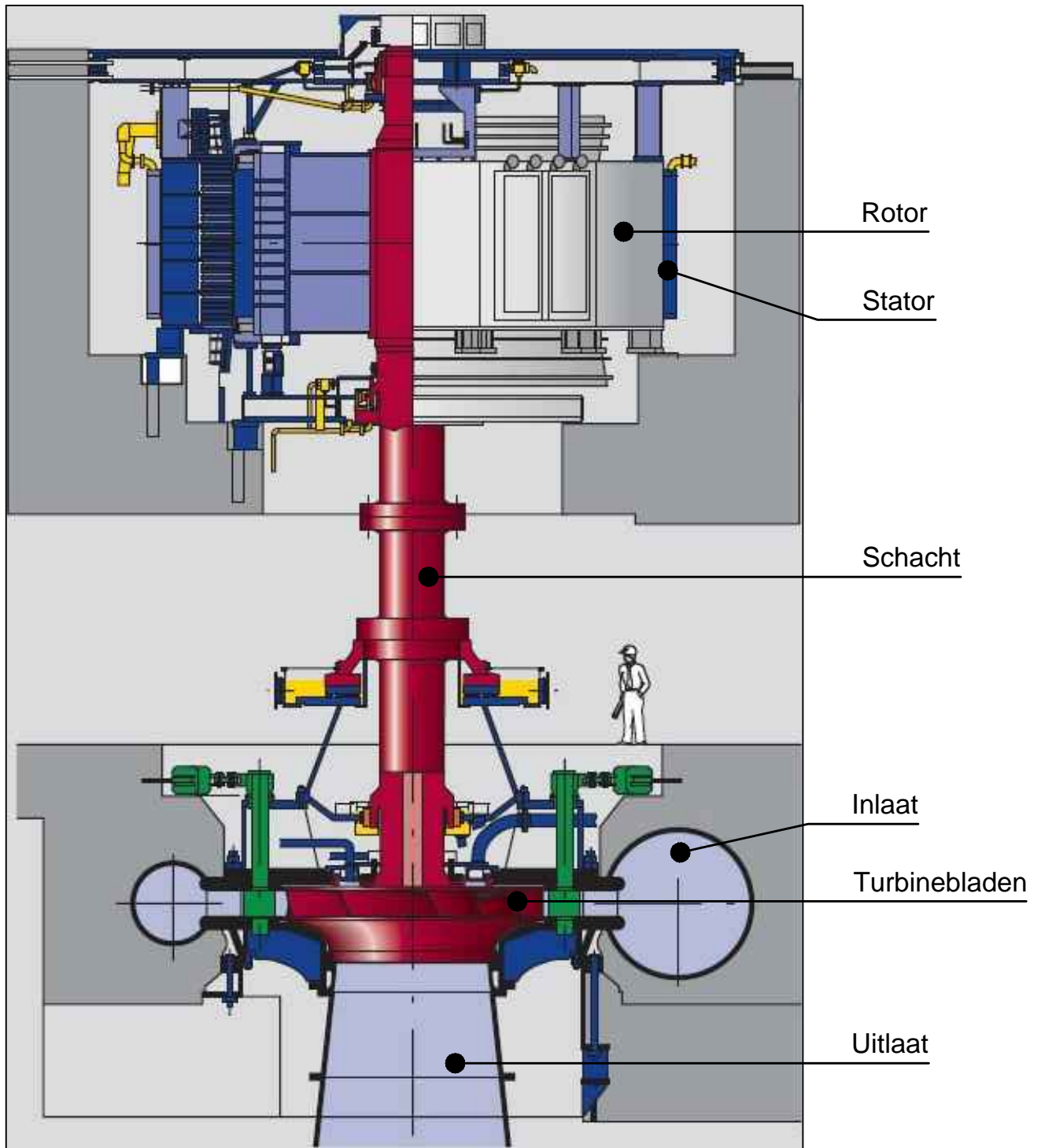


Bron: VOITH HYDRO, 2012

FIG. 17: KAPLAN-TURBINE (ZIJAANZICHT)



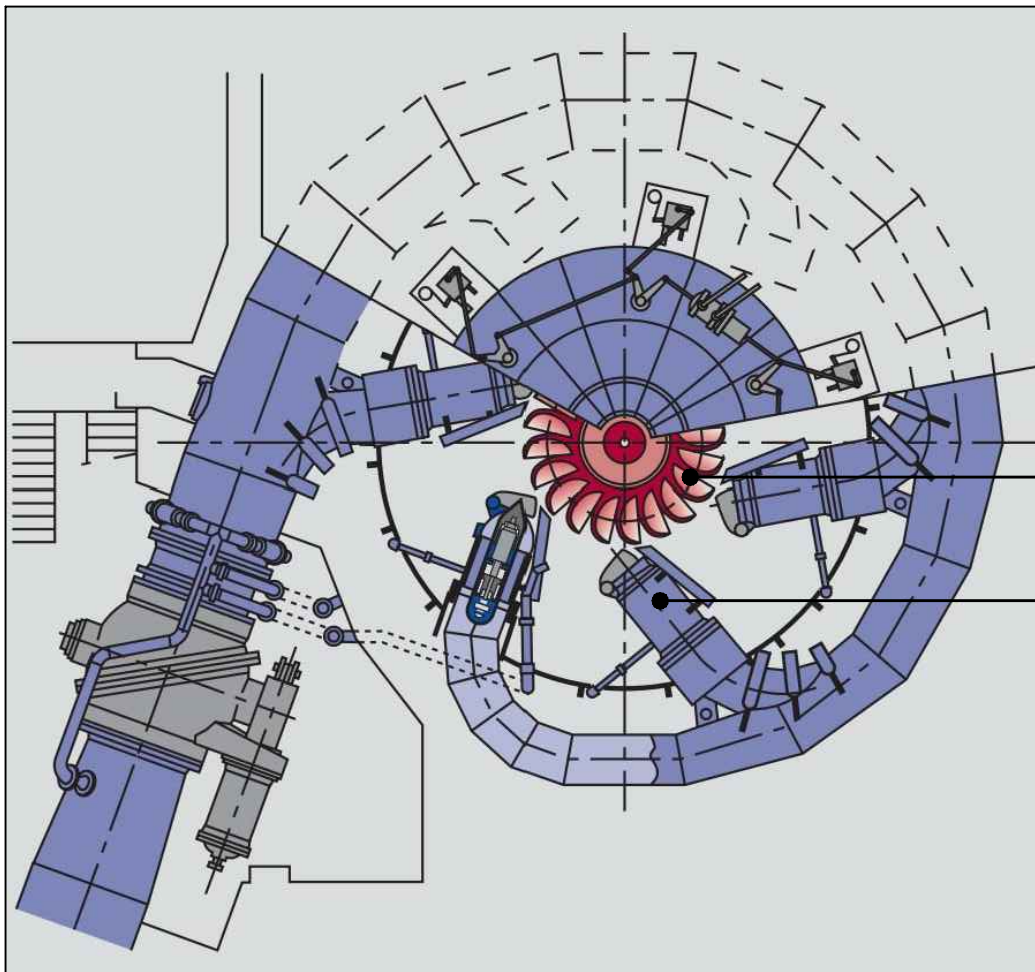
MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



Bron: VOITH HYDRO, 2012

FIG. 18: FRANCIS-TURBINE (ZIJAANZICHT)





Turbinebladen

Inlaat

Bron: VOITH HYDRO, 2012

FIG. 19: PELTON-TURBINE (BOVENAANZICHT)



MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP

Elk van deze type pompturbines heeft een specifiek bereik van valhoogte en waterdebiet. Binnen dit bereik kan de pompturbine haar functie in turbinemodus en pomppmodus uitvoeren. Een grafisch overzicht van het bereik van de 3 types van turbines wordt weergegeven in Figuur 20.

Uit Figuur 20 kan afgeleid worden dat elk type pompturbine ingezet kan worden in een relatief brede range voor het debiet. Met betrekking tot de valhoogtes kan afgeleid worden dat de Kaplan-turbine geschikt is voor de zeer lage tot medium valhoogtes (2-100m), de Francis-turbine voor de lage tot hoge valhoogtes (10-1000m) en de Pelton-turbine voor de hoge valhoogtes (100m-1000m).

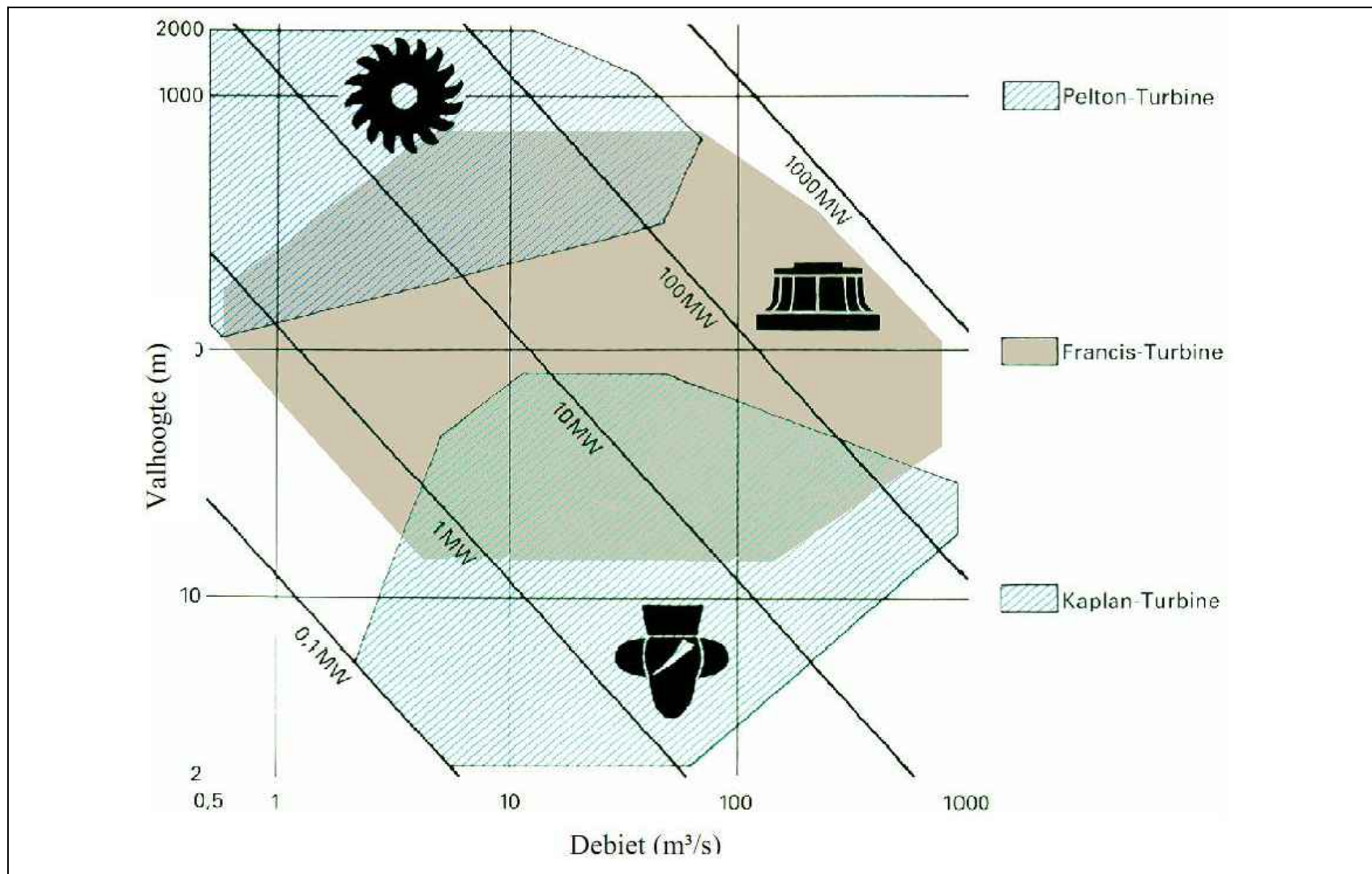
Het energieatol wordt gekenmerkt door eerder lage valhoogtes (range 10-30 m). Voor deze valhoogtes komen dus zowel de Kaplan- als de Francis-turbine in aanmerking.

Teneinde een gemotiveerde keuze te kunnen maken met betrekking tot het type pompturbine werd een beroep gedaan op één van de marktleiders op het vlak van het ontwerp en de productie van pompturbines, nl. Voith Hydro. In overleg met deze producent werd variëteit van een Francis-turbine, namelijk de **radiale turbine met variabele snelheid**, geselecteerd als meest geschikt voor de bouw van een energieatol (Figuur 18). De keuze voor de radiale turbine is gebaseerd op de valhoogte en het vermogen van het energieatol.

De kenmerken van de turbine worden opgelijst in Figuur 21. De belangrijkste kenmerken van de turbine zijn de volgende:

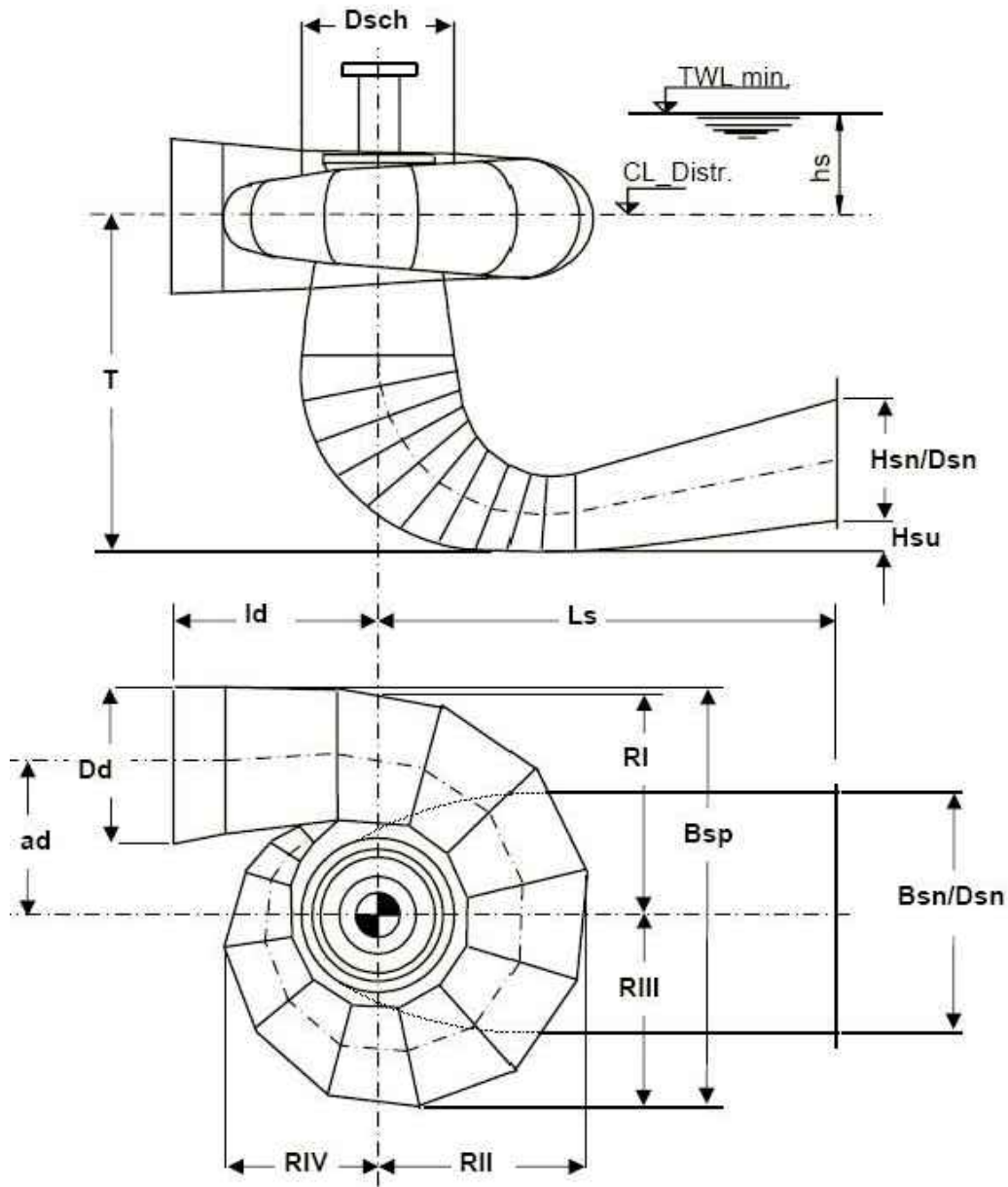
- De pomphoogte en valhoogte. De maximale pomphoogte van de turbine bedraagt 28 m, d.w.z. dat de pompturbine een maximaal hoogteverschil kan creëren van 28 tussen het waterniveau in het atol en het waterniveau in de zee. De minimale valhoogte van 14 m betekent dat op het ogenblik dat het watersverschil binnen het atol minder dan 14 m lager staat dan buiten het atol, de pompturbine geen elektriciteit meer kan opwekken. Beide parameters zijn bepalend voor het vermogen dat het energieatol kan leveren.
- De variabele snelheid. Een tweede belangrijk kenmerk van het geselecteerde type Francis-turbine, is dat de turbine kan turbineren aan een variabele snelheid. Door de draaisnelheid van de turbine aan te passen, kan het vermogen dat de turbine levert worden bijgestuurd.
- De omschakelsnelheid. Een belangrijk kenmerk van dit type pompturbine is het feit dat zij relatief snel kan omschakelen van pomppmodus naar turbinemodus. Deze operatie neemt voor de pompturbine slechts 2 minuten in beslag en maakt dat flexibel en snel kan omgeschakeld worden van pomppmodus naar turbinemodus en vice versa.
- De minimale waterdiepte boven de pompturbine. In het algemeen moet de as van de pompturbines altijd enkele meters onder het laagste waterniveau liggen om drukken in de turbine aanvaardbaar te houden (vermijden van plotse drukveranderingen of cavitatie). Voor de radiale Francis-turbine bedraagt de minimale waterdiepte ongeveer 4 m.
- Een laatste belangrijk kenmerk is het feit dat de pompturbine slechts in één richting kan pompen en in de andere richting kan turbineren.

Om een voldoende groot vermogen te kunnen ontwikkelen zullen meerdere radiale pompturbines moeten geplaatst worden. De pompturbines dienen geplaatst te worden in een machinekamer tussen het reservoir en de zee in de dijk van het energieatol. Op basis van de afmetingen van de turbine is de grootte van de machinekamer die 1 turbine kan huisvesten bij benadering 20m x 20m x 40m (lengte x breedte x hoogte). Aangezien de runnerbladen van de turbine zich ongeveer 4 meter



Bron: Doucé, 2003

FIG. 20: INZETBEREIK TURBINES I.F.V. VALHOOGTE EN DEBIET



Afmetingen van de radiale turbine met variabele snelheid	
Afmeting	Waarde (m)
D_d	4,17
ad	4,135
Id	10,58
L_s	20,851
R_I	6,847
R_{II}	5,972
R_{III}	5,539
R_{IV}	4,739
B_{sp}	12,025
T	15,291
D_{sn}	6,024

Kenmerken van de radiale Francis-turbine met variabele snelheid		
Parameter	Waarde	Eenheid
Bereik pomphoogte/valhoogte	28-14	m
Vermogen per turbine	22	MW
Turbinedebiet	99,2	m ³ /s
Efficiëntie*	0,9 à 0,95	%
Pompdebiet	+/- 80	m ³ /s
Minimaal waterniveau boven turbine (hs)	4	m

Bron: VOITH HYDRO, 2012

FIG. 21: TECHNISCHE KENMERKEN RADIALE TURBINE



onder het laagste waterniveau moeten bevinden, zal de machinekamer onderaan in de dijk van het energieatol moeten ingebouwd worden.

Het inbouwen van de machinekamers met de turbines in de stortsteendam van het energieatol, is een complexe uitdaging. Voor het bouwen van de machinekamer en het plaatsen van de pompturbines, dient immers droog gewerkt te worden. Het creëren van een droge omgeving onder het zeeniveau lijkt echter weinig haalbaar. **Daarom is het aangewezen om ter hoogte van de machinekamer voor de turbines een alternatieve opbouw voor de dam van het energieatol te gebruiken, met name de caissondam.** De caissondam bestaat uit prefab-betonnen elementen die afgezonken en vervolgens verbonden worden. Binnen deze ruimte kunnen de pompturbines geplaatst worden. Een voorstelling van een pompturbine ingebouwd in een caissondam wordt gegeven in Figuur 22.

Aangezien de caisson op zichzelf waterkerend is, dient er hier geen cement-bentonietwand geplaatst te worden. De caissondam biedt bijkomend als voordeel dat de zeezijde van de dam kan afgewerkt worden tot verticale kaaimuur. Hier kunnen schepen die de machines en het materiaal aanvoeren voor de constructie van het atol aanmeren. Tijdens de exploitatie van het atol kan de kaai gebruikt worden voor het aanvoeren van bemanning, vervangonderdelen, onderhoudsploegen, etc.

Transformatoren

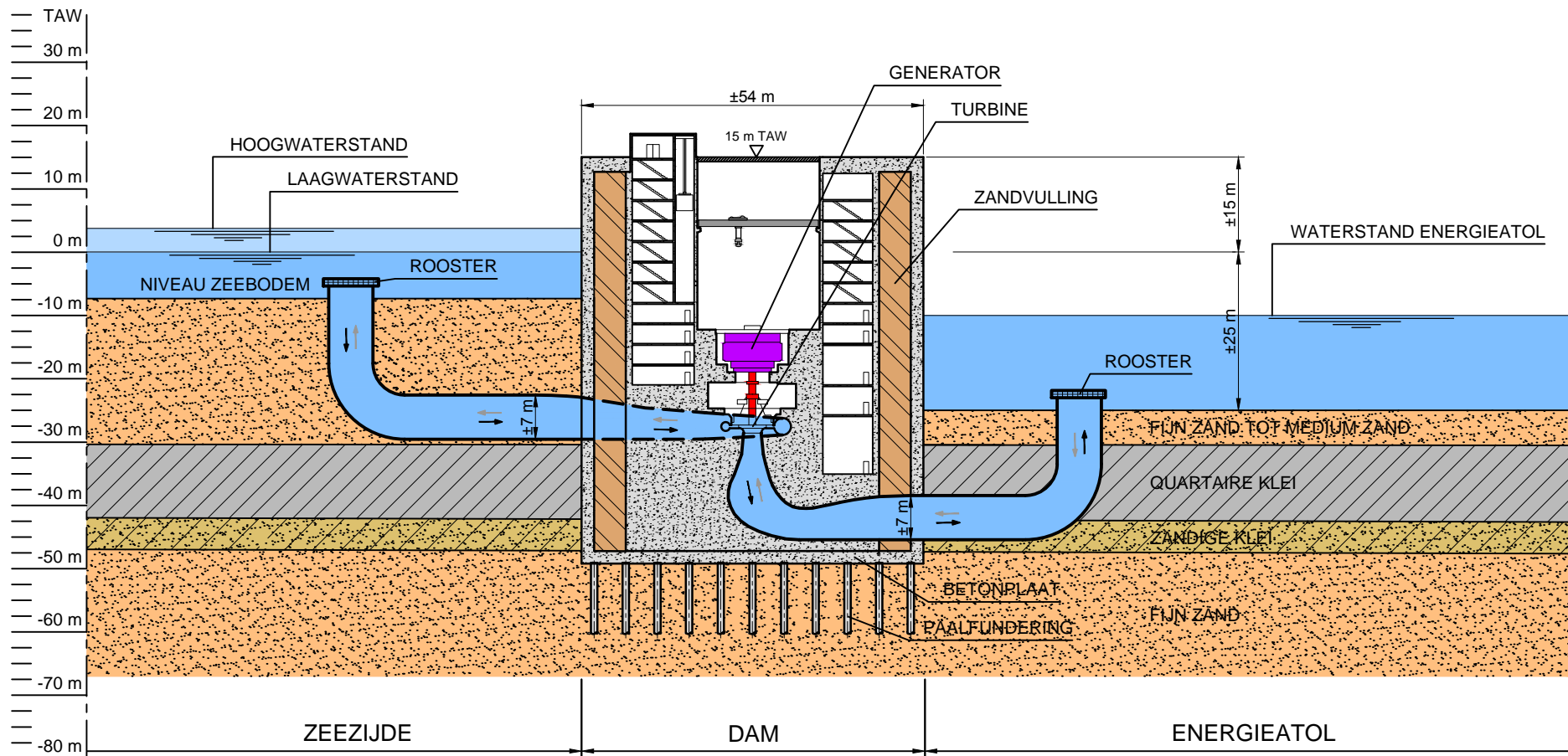
De stroom die wordt geproduceerd door de generator van de pompturbine moet op het hoogspanningsnet gezet worden. Hiervoor dient de stroom getransporteerd te worden via een transmissiekabel. Om de verliezen tijdens het transport te beperken dient het transport te gebeuren onder hoogspanning (HV-High Voltage).

De generator van de turbine levert echter een middelspanning van ongeveer 10 kV (MV-Medium Voltage). Dit betekent dat de **outputspanning van de generator van de turbine moet opgetransformeerd worden tot hoogspanning.** Hiervoor dienen op het energieatol de nodige transformatiestations te worden voorzien.

Het opgetransformeerde voltage is afhankelijk van het hoogspanningsstation waarop het energieatol aangesloten zal worden. De meest courante inputspanningen voor hoogspanningsstations zijn 220 en 380 kV. Om de outputspanning van de pompturbines op te transformeren tot 220 of 380 kV, dienen vermoedelijk twee transformatiestappen voorzien te worden. Een eerste transformatiestap gebeurt met transformatoren die geïntegreerd zijn in de pompturbines. Dit kan bijvoorbeeld een 10kV/70kV transformatiestap zijn die de 10kV (de primaire spanning) zal optransformeren tot 70 kV (de secundaire spanning). Vervolgens is op het energieatol nog een transformator nodig die 70 kV kan optransformeren naar 380kV. Hiervoor kan 1 transformator volstaan.

De transformatoren in bovenstaand schema zorgen voor de werkelijke optransformatie van het voltage. De schakelinstallatie is een stroomonderbreker waarmee de stroom kan afgekoppeld worden. Deze afkoppeling is nodig wanneer onderhoudswerken of aanpassingen aan de elektrische keten moeten gebeuren.

De pompturbine moet in verbinding worden gesteld met het water in het reservoir en met de zee. Deze verbinding kan fysisch worden gerealiseerd door de aanleg van een **aan- en afvoerleiding** (Figuur 22). De aanvoerleiding wordt aangesloten op de inlaat van de turbine, de afvoerleiding wordt



SCHAAL: 1/1.000

Locatie: Zeebrugge

FIG. 22: DOORSNEDE CAISSONDAM MET POMPTURBINE



aangesloten op de uitlaat. De opening van de aan- en afvoerleiding dienen in elk geval onder het waterniveau te worden geplaatst. Het is noodzakelijk de opening van de aan- en afvoerleiding te voorzien van een rooster zodat verstopping van de leiding of beschadiging van de turbinebladen door bv. zeedieren kan vermeden. In de aan- en afvoerleiding wordt een klep voorzien die de toevoer of afvoer naar de turbine regelt.

De grootte van de aan- en afvoerleiding wordt bepaald door het ontwerpdebiet van de pompturbine. Voor de geselecteerde radiale pompturbine is de diameter van de in- en uitlaatopening voor 1 pompturbine ongeveer 7m. De lengte van de aanvoer en afvoerleiding bedraagt ongeveer 75 m. Omdat de verschillende pompturbines onafhankelijk van elkaar moeten kunnen opereren, is per turbine een afzonderlijke aan- en afvoerleiding noodzakelijk.

Voor de aanleg van de aan- en afvoerleidingen van de pompturbine kunnen twee uitvoeringswijzen overwogen worden. Beide uitvoeringswijzen worden toegepast voor de constructie van tunnels.

- Cut and cover. Ter hoogte van het tracé van de leidingen wordt een sleuf uitgebaggerd. Geprefabriceerde betonnen tunnelementen worden vervolgens afgezonken, in de sleuf geplaatst en met elkaar verbonden. Tot slot wordt de sleuf bovenaan terug aangevuld.
- TBM (TunnelBoorMachine). Vanuit de caissondam wordt een horizontale boring uitgevoerd met een tunnelboormachine in de zeebodem. Achter het boorfront worden de betonnen tunnelementen geplaatst en wordt de tunnel waterdicht afgewerkt.

Aangezien de caissondam wordt opgebouwd uit afgezonken betonelementen, lijkt de cut and cover methode het meest voor de hand liggend.

Transmissiekabel

Eenmaal de opgewekte stroom op de juiste spanning werd gebracht wordt ze via een transmissiekabel van het energieatol getransporteerd naar een hoogspanningsstation aan land. Van hieruit kan de stroom verder verdeeld worden. De transmissiekabel zal vermoedelijk een **drie-fasige kabel van XLPE** (cross-linked polyethyleen) zijn. Dit type kabel is uiterst geschikt voor gebruik op zee door een combinatie van een relatief lage kostprijs en uitstekende technische eigenschappen in vergelijking met andere kabeltypes (buigzaam, hoge mechanische sterkte, laag gewicht, resistent tegen hoge temperaturen (tot 250°C)). Dit kabeltype wordt reeds gebruikt voor aan land brengen van de elektriciteit opgewekt door offshore windmolenparken. De transmissiekabel zal voor een deel op de zeebodem en voor een deel aan land worden aangelegd. Om schade aan de kabel te vermijden zal hij zowel in zee als op land ingegraven worden.

Besluit: opbouw van het energieatol

Voor de realisatie van een energieatol in de Noordzee werden bestaande en goed gekende offshore-technieken geselecteerd.

De overdiepte van het energieatol kan worden aangelegd door het wegbaggeren van de zeebodem. Voor de bouw van de dijken werd geopteerd voor stortsteendammen met waterdichte kern.

Voor de pompturbines van het energieatol werd gekozen voor radiale turbines van het Francis-type die beschikbaar zijn binnen de huidige markt. Deze turbines kunnen in de dijken van het energieatol ingebouwd worden door een deel van de dijken te realiseren met een caissondam.

De aansluiting van het energieatol op het hoogspanningsnet kan verwezenlijkt worden met een 3-fasig XPLE kabeltype dat reeds gebruikt wordt voor het aan land brengen van de elektriciteit opgewekt door offshore windmolenparken.

Algemeen kan gesteld worden dat de bouw van een energieatol in de Noordzee technisch uitvoerbaar is met technieken die nu reeds in de markt beschikbaar en toegepast zijn.

3.4 Bepaling van het vermogen

Door het aanleggen van een waterhoogteverschil tussen het reservoir en de Noordzee kan elektrische energie opgeslagen worden in het energieatol. Het vermogen (P) dat door het energieatol kan worden geleverd voor een bepaald waterhoogteverschil (Δh) kan worden bepaald met de volgende formule:

$$P = \rho * g * \eta * \Delta h * Q$$

Hierbij is

P = vermogen (J/s of Watt)

ρ = dichtheid zeewater (+/- 1 ton/m³)

g = zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s²)

η = turbine-efficiëntie voor de radiale Francis-turbine (90%)

Δh = waterhoogteverschil (m)

Q = debiet door de turbines (m³/s)

Het waterhoogteverschil (Δh) is een bepalende parameter voor het vermogen. Δh is het verschil in waterhoogte tussen de Noordzee en het atol. Δh is geen constante. Wanneer energie wordt opgewekt zal het energieatol geleidelijk vollopen, waardoor het waterhoogteverschil afneemt en het effectieve vermogen daalt. Wanneer de waterstanden in zee en in het atol gelijk zijn ($\Delta h=0$) is het effectieve vermogen 0 MW. Bij een maximaal hoogteverschil tussen de waterstand in het energieatol en in de zee, is het vermogen van het energieatol maximaal. De diepte van het energieatol werd arbitrair ingesteld op 25 m, het debiet doorheen de turbines op 2000 m³/s (i.e. het debiet van 20 radiale Francis-turbines). Uit de formule kan worden afgeleid dat het **maximale vermogen voor een energieatol met een diepte van 25 m ongeveer 440 MW bedraagt**.

Het maximale vermogen van het energieatol is bijgevolg vergelijkbaar met het vermogen van de kerncentrale Doel 1 (433 MW) en groter dan het totaal geïnstalleerd vermogen van de offshore windmolenparken Belwind (330 MW) en C-Power (325 MW).

Met 440 MW kan het energieatol voldoende vermogen leveren om te fungeren als primaire of secundaire reserve voor transmissienetbeheerder Elia. Op dit ogenblik heeft Elia immers gecontracteerde primaire en secundaire reserves voor respectievelijk 92 MW en 137 MW. Omdat kan verwacht worden dat de nodige volumes aan primaire en secundaire reserve zullen toenemen, zal deze functie in de toekomst belangrijker worden.

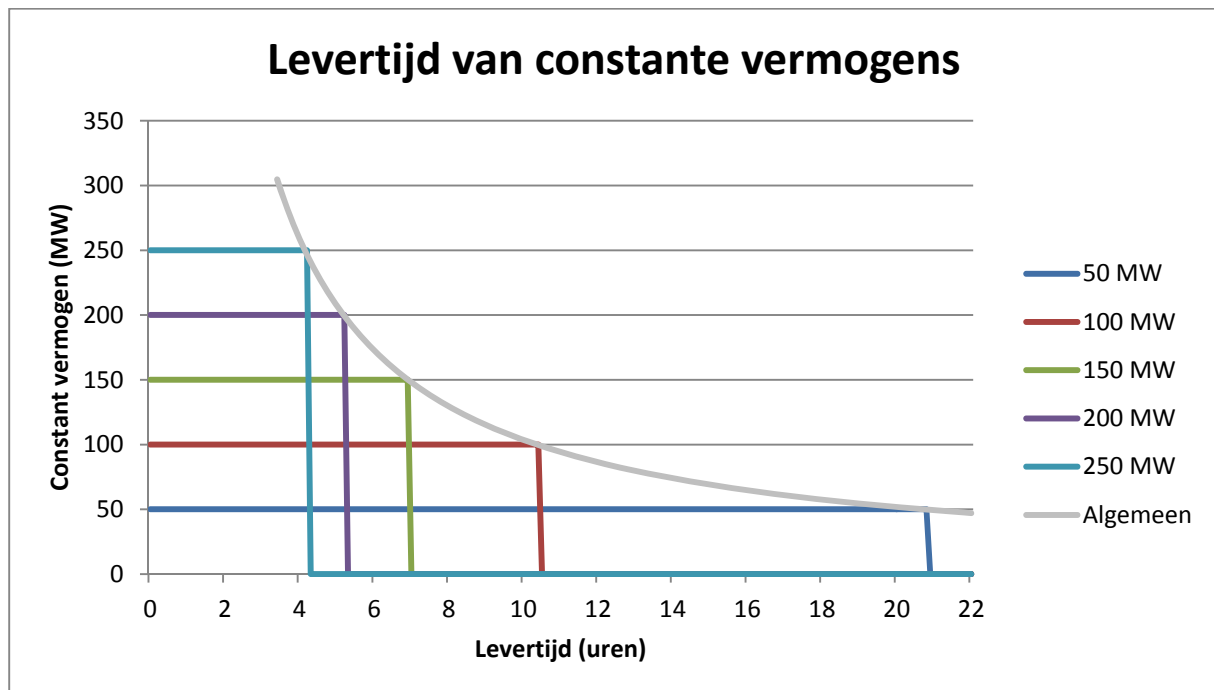
Een piekvermogen van 440 MW volstaat eveneens om het energieatol in te zetten als buffer voor ARP's met een belangrijk aandeel aan hernieuwbare energiebronnen in hun portefeuille. Als een ARP een onevenwicht heeft moet Elia dit onevenwicht opvangen door beroep te doen op zijn reservers. Hiervoor rekent Elia een boete aan aan de ARP. Door gebruik te maken van de beschikbare reservers van het atol kan een ARP deze boetes vermijden.

Een andere belangrijke parameter is de tijd gedurende dewelke het energieatol elektrische energie kan leveren aan het net, de zogenaamde levertijd. Deze hangt af van de opslagcapaciteit (het volume) en het debiet doorheen de turbines, zoals te zien is op onderstaande vergelijking:

$$\text{Levertijd (u)} = \frac{\text{Oppervlakte} \times \text{diepte (= Volume (m}^3))}{\text{Debiet (} \frac{\text{m}^3}{\text{u}})}$$

Het maximaal debiet doorheen de turbines en de diepte van het atol zijn zoals eerder vermeld vastgelegd op respectievelijk 2000 m³/s en 25 m. Rekening houdend met het minimale hoogteverschil van 14 meter dat nodig is om de turbines te kunnen laten werken (cf. technische kenmerken radiale pompturbine §3.3.2.2), is er een actieve waterdiepte in het atol van 11 m. De levertijd hangt nu enkel nog af van de wateroppervlakte van het atol. In dit voorbeeld wordt een waterhoogte in het atol van 11 m bereikt na ongeveer 3 uur. De corresponderende gemiddelde wateroppervlakte en het watervolume bedragen respectievelijk 190 ha (ongeveer een rechthoek van 1 x 2 km) en ongeveer 20 miljoen m³.

Om aan de functies van reserven voor Elia en buffer voor de ARP's te kunnen voldoen is het belangrijk dat het atol gedurende de levertijd een constant vermogen kan leveren. Dit kan door het gebruik van radiale turbines met variabele snelheid. Als het atol vol loopt en de valhoogte neemt af, neemt gelijktijdig het debiet toe om het vermogen constant te houden. De levertijd van dat constant vermogen is dan afhankelijk van de grootte van het vermogen. Dit verband is te zien op Figuur 23.



Figuur 23: Levertijd voor verschillende constante vermogens

Uit deze figuur blijkt dat de looptijden sterk verschillen. Zo kan een constant vermogen van 250 MW een viertal uren geleverd worden, terwijl een vermogen van 50 MW meer dan 20 uur kan geleverd worden.

Besluit: bepaling van het vermogen

Rekening houdend met een diepte van 25 m kan met het energieatol een vermogen van 440 MW opgewekt worden.

Een vermogen van 440 MW is voldoende om het energieatol in te zetten als primaire en secundaire reserve voor transmissienetbeheerder Elia. Hierdoor kan de stabiliteit van het elektriciteitsnet bij een verdere toename van het aantal hernieuwbare energiebronnen in de toekomst verzekerd worden.

Daarnaast is het vermogen van het energieatol ook voldoende om ingezet te worden als buffercapaciteit voor ARP's met hernieuwbare energiebronnen in hun perimeter. Met deze buffer kan de afzet van groene elektriciteit worden geoptimaliseerd, kan de marktwaarde van de opgewekte elektriciteit worden verhoogd worden en kunnen nieuwe investeringen in hernieuwbare energie worden aangewakkerd.

Om te kunnen beantwoorden aan de marktvraag naar secundaire reserve en een buffer voor de ARP's moet het energieatol een constant vermogen kunnen leveren. Het energieatol is in staat een constant vermogen te leveren door het feit dat de geïnstalleerde turbines kunnen werken aan een variabele en programmeerbare snelheid. De levertijd hangt af van het gevraagde vermogen. Zo kan bijvoorbeeld een constant vermogen van 250 MW een viertal uren geleverd worden, terwijl een vermogen van 50 MW meer dan 20 uur kan geleverd worden.

4 Locatiealternatieven van het energieatol

De oppervlakte van het Belgisch deel van de Noordzee bedraagt ongeveer 3.500 km². Een groot deel van deze oppervlakte wordt echter intensief gebruikt voor de scheepvaart, de winning van zand, de bouw van offshore windmolenparken, etc. Een energieatol kan bijgevolg niet eender waar in de Noordzee worden gerealiseerd. De mogelijke locaties van een energieatol worden bepaald door een aantal belangrijke randvoorwaarden.

4.1 Randvoorwaarden voor de bepaling van de locatiealternatieven

4.1.1 De ligging van scheepvaartroutes

Tussen de Belgisch-Franse Kust en Groot-Brittannië passeert jaarlijks 20% van alle mondiale scheepvaarttrafiek. Hiermee is het Kanaal de drukst bevaren scheepvaartroute ter wereld. Het scheepvaartverkeer kan gebruik maken van een aantal internationaal erkende scheepvaartroutes. Het Zeerechtverdrag stelt dat het verboden is om inrichtingen te plaatsen die een invloed kunnen hebben op het gebruik van deze routes¹. Het is bijgevolg uitgesloten een energieatol op deze locaties te realiseren. Schepen zijn echter vrij ook buiten deze routes te varen. Het Zeerechtverdrag stelt immers de vrijheid van scheepvaart² en bijgevolg moet bij elke nieuwe inrichting op zee rekening gehouden worden met de impact op de scheepvaart.

Op Figuur 24 zijn de scheepvaartbewegingen in het jaar 2011 afgebeeld op basis van de gegevens van de Schelderadarketen. De puntjes stellen schepen voor die zich op een bepaald moment in het jaar op deze locatie bevonden. De figuur illustreert duidelijk dat een groot deel van de Noordzee intensief wordt gebruikt voor de scheepvaart.

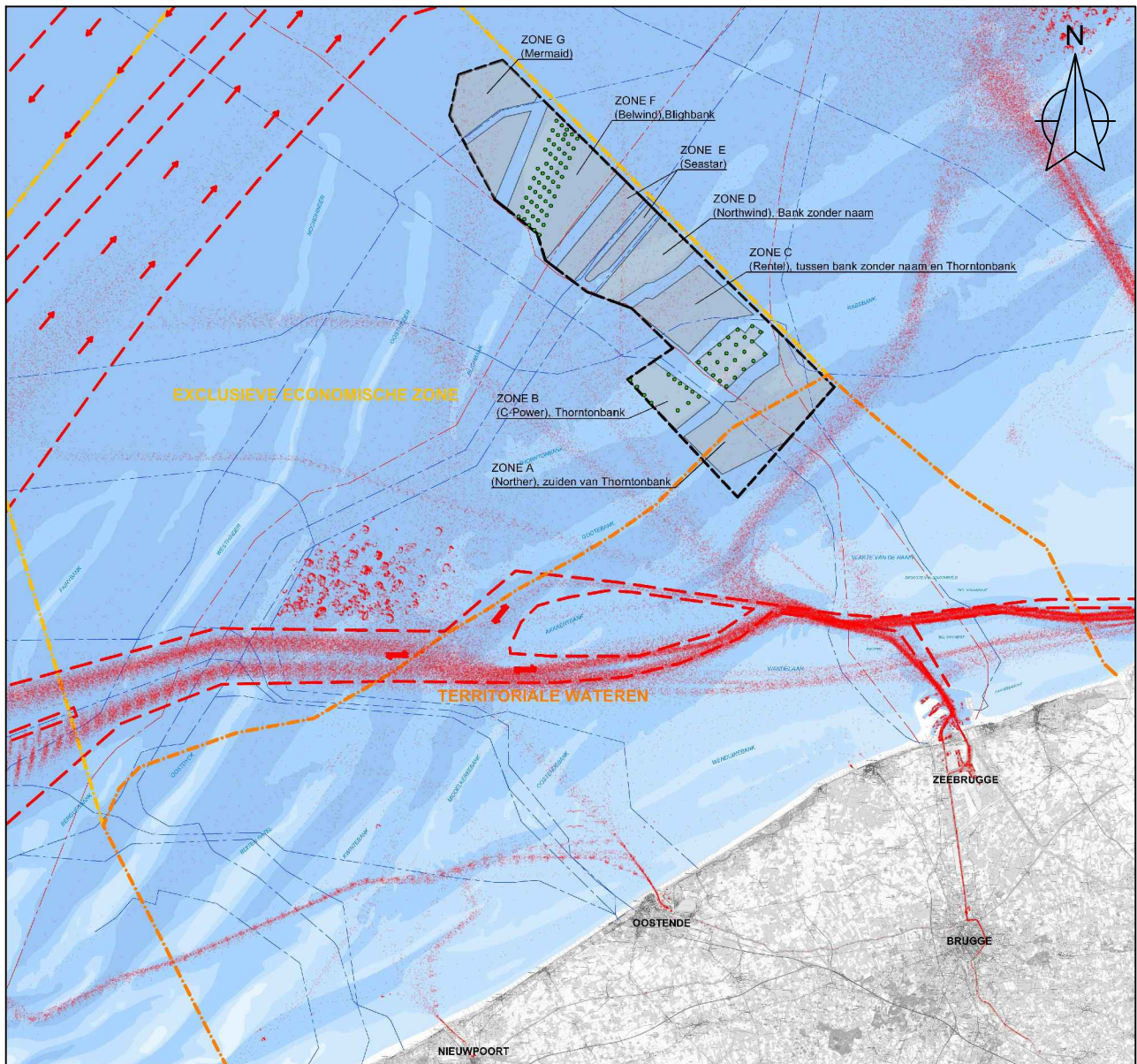
Eenzijds mag de locatie van een energieatol de belangrijke scheepvaartroutes niet hinderen. Anderzijds is de nabijheid van een belangrijke scheepvaartroute een voordeel voor de secundaire functie als schuilhaven.

4.1.2 De ligging van kabels en leidingen

Op de bodem van de Noordzee bevindt zich een uitgebreid netwerk van leidingen. Het gaat om communicatieleidingen, gasleidingen en elektriciteitsleidingen, tussen België, Groot-Brittannië en Scandinavië. Deze leidingen liggen relatief ondiep onder de zeebodem. De ligging van de belangrijke kabels en leidingen wordt aangegeven op Figuur 25.

¹Artikel 60 § 7 Zeerechtverdrag.

²Artikel 58 Zeerechtverdrag



LEGENDE

- Exclusieve economische zone (EEZ)
- Territoriale zee

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

- 0 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 20 m
- +20 m

Leidingen

- - - Communicatiekabel
- - - Gasleiding

Offshore windmolenparken

- Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken
- Windmolenpark
- Windturbine
- - - Landingskabels windmolenpark

Vaarroutes

- - - Vaarweg
- ⇄ Vaarroute
- Vaarroute (enkelrichting)
- Scheepvaartbewegingen

Bron: Schelderadarketen, 2011

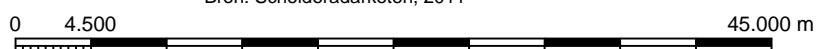
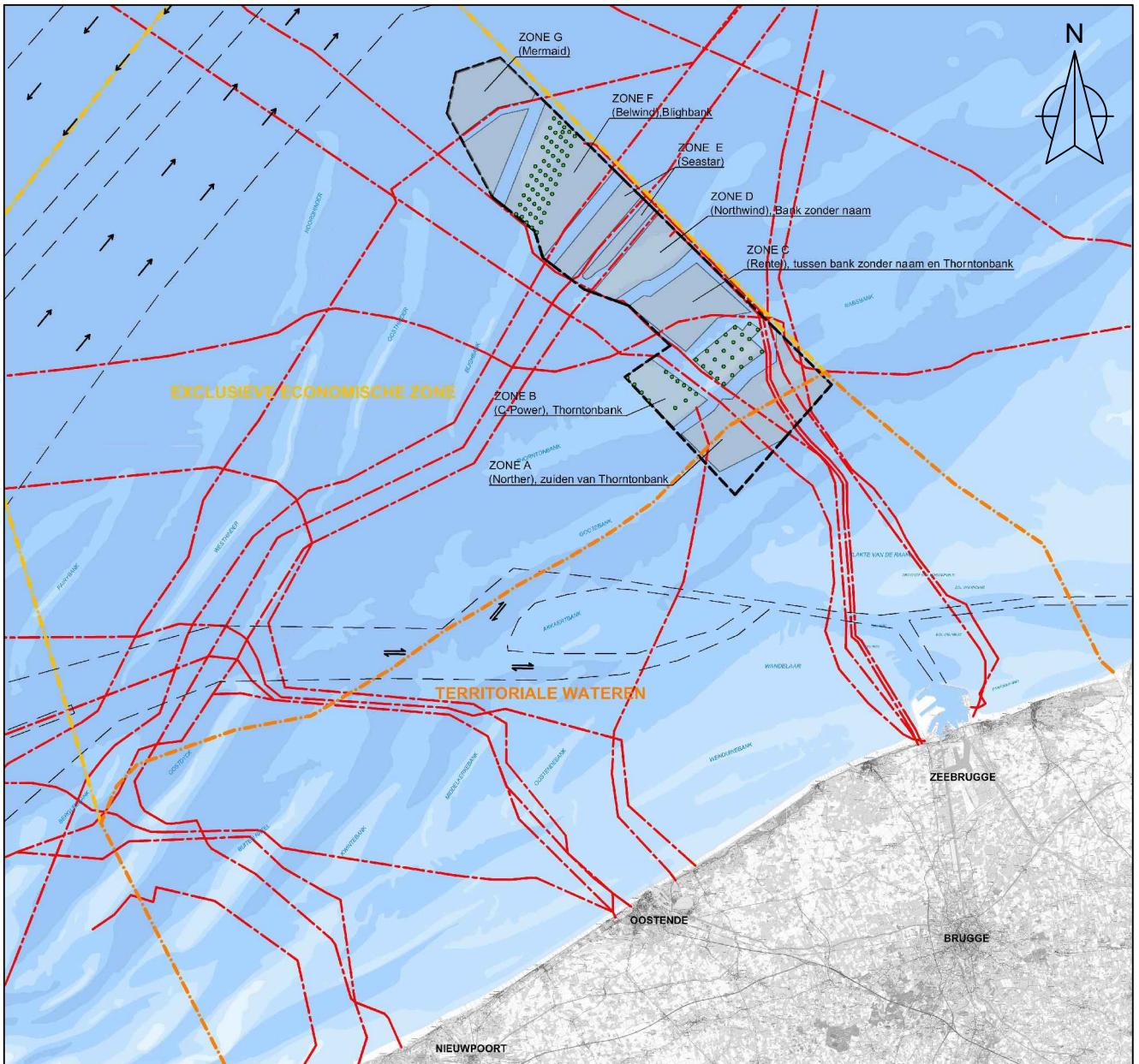


FIG. 24: SCHEEPVAART OP DE NOORDZEE





LEGENDE

— • — Exclusieve economische zone (EEZ)

— • — Territoriale zee

— — — Vaarweg

⇌ Vaarroute

→ Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

0 - 5 m

5 - 10 m

10 - 20 m

+20 m

Offshore windmolenparken

— — — Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken

Windmolenpark

● Windturbine

Leidingen

— — — Leiding

Bron: Kustatlas, 2011



FIG. 25: LIGGING VAN KABELS EN LEIDINGEN IN DE NOORDZEE



De ligging van leidingen vormen zowel een mogelijke beperking als een opportuniteit voor de locatie van een energieatol. Enerzijds dient met de keuze van de locatie vermeden te worden dat bestaande leidingen onbruikbaar zouden worden, of dat de kosten voor de bouw van het atol verhoogd worden omdat leidingen dienen te worden verlegd. Anderzijds kan een locatie van een energieatol nabij een bestaande of geplande elektriciteitskabel de kosten voor de aansluiting op het hoogspanningsnet in belangrijke mate verminderen.

4.1.3 De ligging van zandwinningen

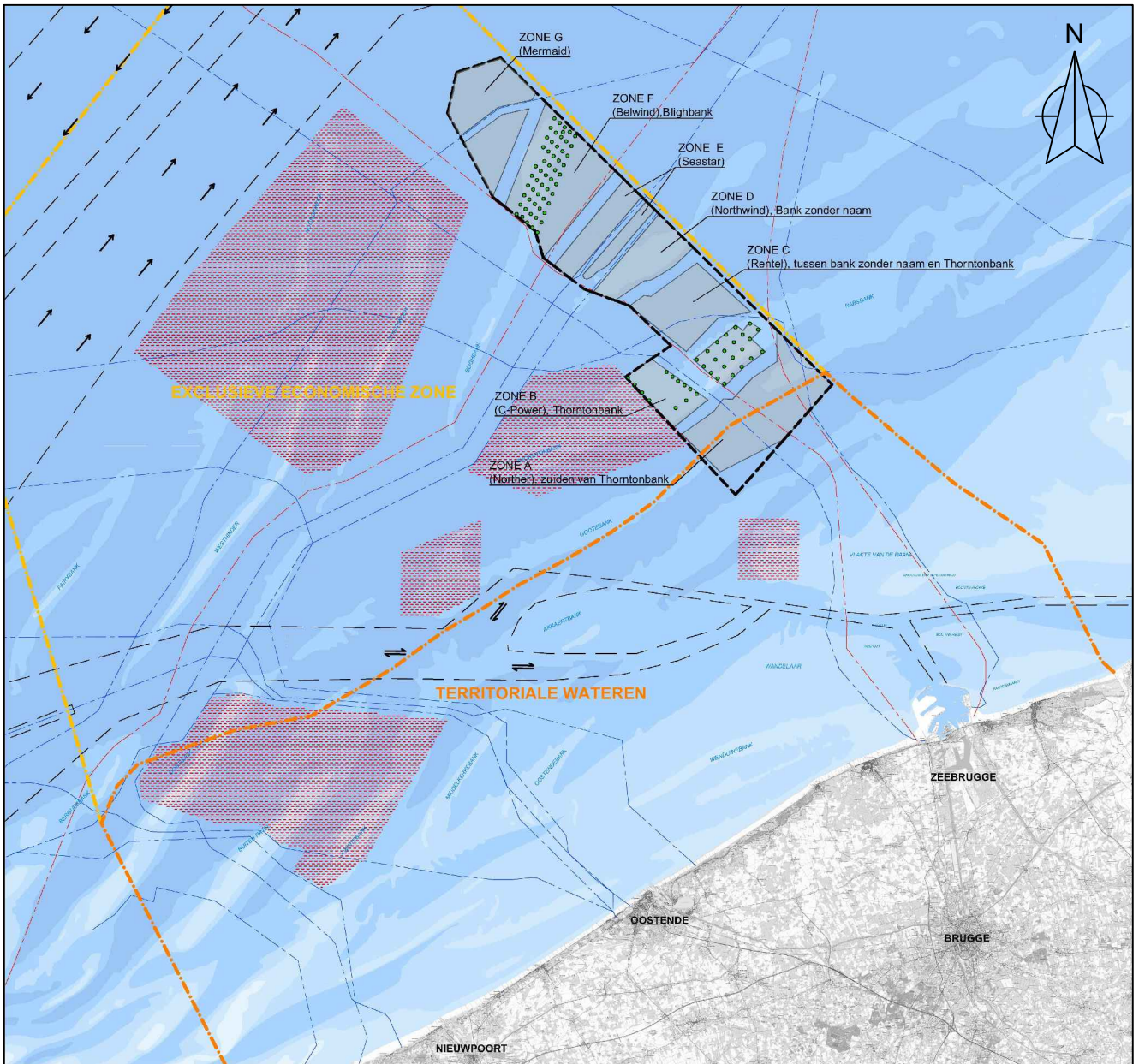
Op Figuur 26 worden de zones in de Noordzee aangeduid die op heden worden gebruikt voor het winnen van zand. In principe kan een energieatol niet in deze zones worden gebouwd, zonder te raken aan de bestaande concessies voor de uitbating van deze winningen. **De potentiële locaties voor de bouw van een energieatol worden aldus mogelijk beperkt door de zones die thans bestemd zijn voor zandwinning.**

4.1.4 De offshore windmolenparken

Eén van de functies van het energieatol is het bufferen van de variabiliteit van windenergie. Het lijkt dan ook aangewezen een locatie voor het atol te overwegen ter hoogte van de bestaande en geplande offshore windmolenparken in de Noordzee. Op die manier kan de opgewekte groene elektriciteit efficiënt in het energieatol worden opgeslagen.

Tot eind 2012 zijn er 7 domeinconcessies verleend voor het ontwikkelen en exploiteren van offshore windmolenparken. Deze concessies zijn vastgelegd in het KB van 20 december 2000 en worden aangeduid op Figuur 27 en in Tabel 4. De concessies bevinden zich op een afstand variërend van 23 tot 56 km voor de kust van Zeebrugge.

Naam windmolenpark	Zone (zie Figuur 28)	Locatie	Nominaal Vermogen	Datum operationeel
C-POWER	B	Thorntonbank	Fase I: 30 MW Fase II: 184.5 MW Fase III: 110.7 MW	Fase I: 2009 Fase II: 2012 Fase III: 2013
BELWIND	F	Bligh Bank	Belwind I: 165 MW Belwind II: 165 MW	Belwind I: 2011 Belwind II: 2013
NORTHWIND (ex Eldepasco)	D	Bank Zonder Naam	216 MW	2013
NORTHER	A	Ten zuiden van de Thornton Bank	300 à 450 MW	> 2014



LEGENDE

Exclusieve economische zone (EEZ)

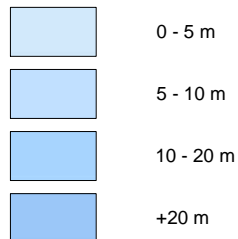
Territoriale zee

Vaarweg

Vaarroute

Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)



Leidingen

Communicatiekabel

Gasleiding

Offshore windmolenparken

Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken

Windmolenpark

Windturbine

Landingskabels windmolenpark

Zandwinning

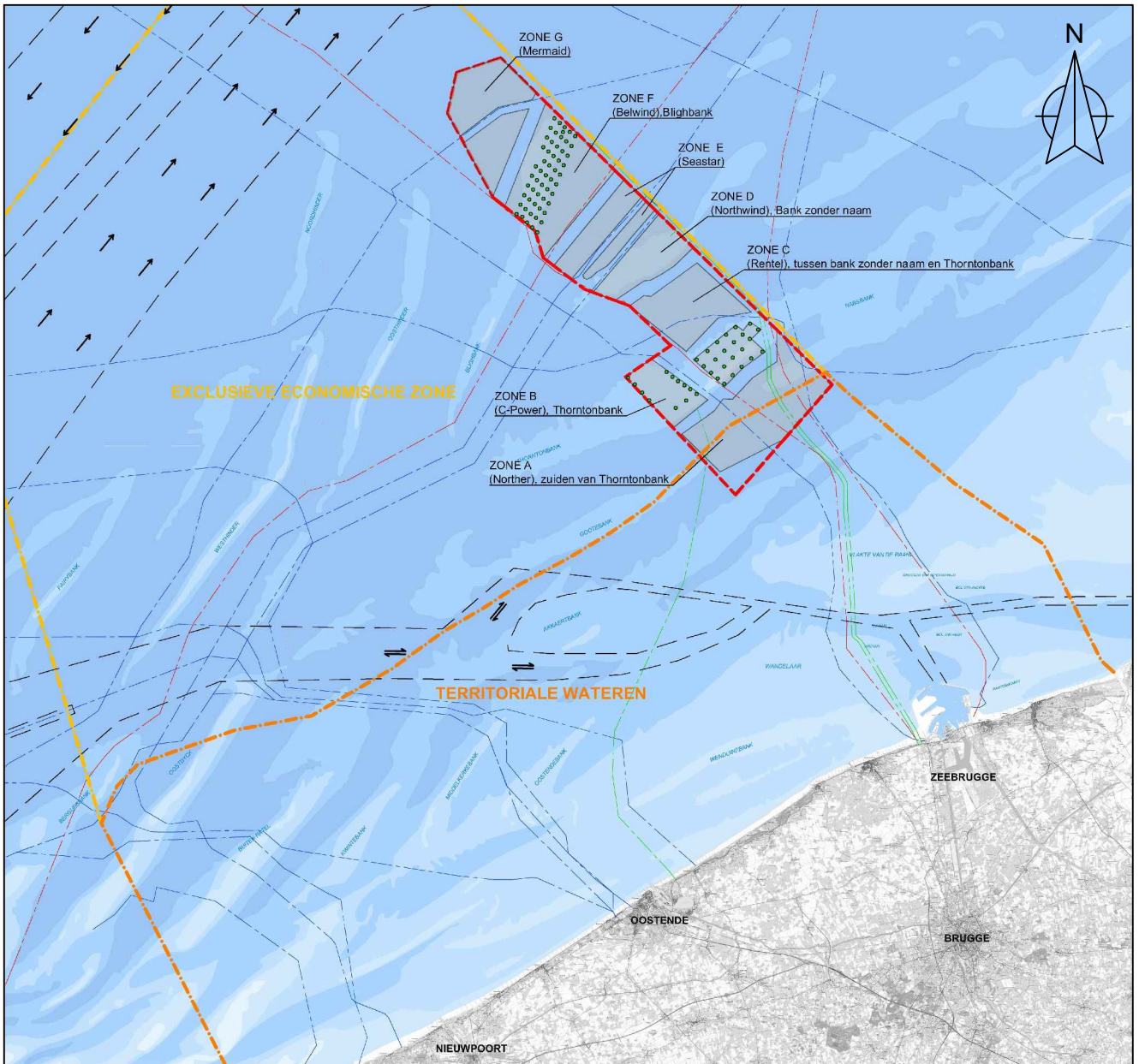
Zandwinning

Bron: Kustatlas, 2011



FIG. 26: ZANDWINNINGEN IN DE NOORDZEE





LEGENDE

- Exclusieve economische zone (EEZ)
- Territoriale zee
- Vaarweg
- Vaarroute
- Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

- 0 - 5 m
- 5 - 10 m

- 10 - 20 m
- +20 m

Leidingen

- Communicatiekabel
- Gasleiding

Offshore windmolenparken

- Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken
- Windmolenpark
- Windturbine
- Landingskabels windmolenpark

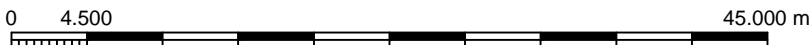


FIG. 27: WINDMOLENPARKEN OP DE NOORDZEE (TOESTAND SEPTEMBER 2012)



RENTEL	C	Tussen Torntonbank en Bank Zonder Naam	288 MW	2015
SEASTAR	E	Tussen 'Bank-Zonder-Naam' en 'Bligh Bank'	246 MW	2014
MERMAID	G	Ten Noorden van de Bligh Bank	482 MW	2017

Tabel 4: Overzicht van de gerealiseerde en geplande offshore windmolenparken in de Belgische Noordzee

Een locatie voor het energieatol binnen de afgebakende ruimte op zee voor de bouw van windmolenparken is quasi uitgesloten, gezien alle beschikbare domeinconcessies inmiddels zijn toegewezen. Een inplanting ten oosten lijkt eveneens uitgesloten gezien de nabijheid van de grens tussen de Nederlandse en Belgische wateren. **Een locatie aan de westelijke, noordelijke of zuidelijke grens van de windmolenparken is mogelijk.**

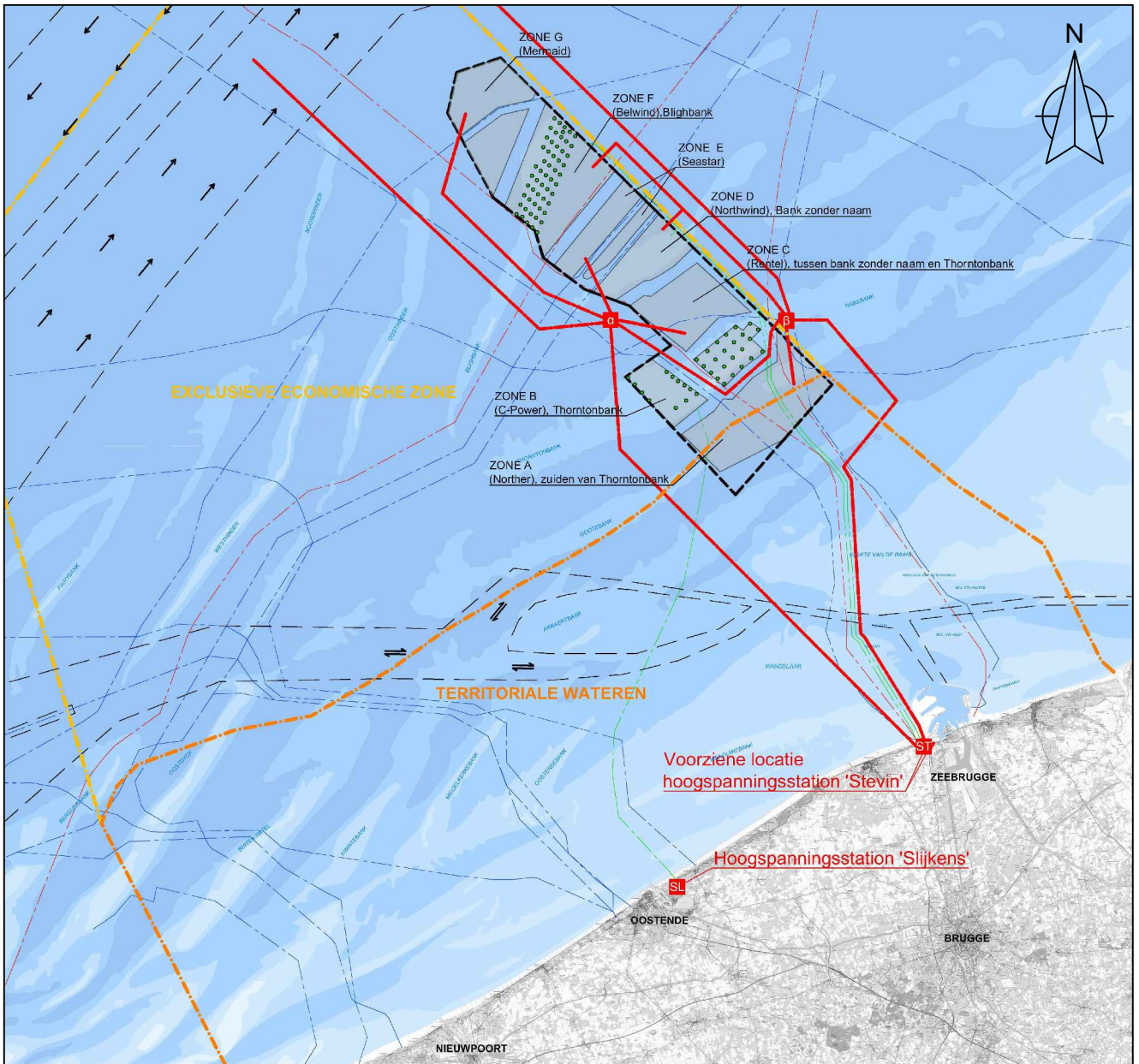
4.1.5 Het “ Stopcontact op Zee” en het Simon Stevin project

Voor de verdere integratie van de windparken op de Noordzee in het hoogspanningsnet, heeft Belgische hoogspanningsnetbeheerder Elia in augustus 2011 haar toekomstvisie geformuleerd om een vermaasd net op zee uit te bouwen, het zogenaamde “Stopcontact op Zee”. Volgens deze visie zullen de offshore windparken met elkaar worden verbonden via 2 hoogspanningsstations op zee, alfa en bèta. Het hoogspanningsstation alfa zal naar alle waarschijnlijkheid worden gebouwd op een eiland, het hoogspanningsstation bèta op een platform. Vanaf deze stations kan de opgewekte groene elektriciteit van de windmolenparken via een gemeenschappelijk kabel naar de kust worden getransporteerd. Op die manier wordt vermeden dat elk windmolenpark afzonderlijk een kabel naar land moet aanleggen, zoals nu het geval is voor de gerealiseerde windmolenparken, C-Power en Belwind. Elia heeft inmiddels de eerste stap gezet in de realisatie van de visie Stopcontact op Zee door einde 2012 de ontwerpstudie voor de bouw van het alfa-station aan te besteden.

Om de groene elektriciteit vanaf het alfa en bèta station via een gemeenschappelijke kabel verder naar het binnenland te transporteren, werd door Elia het Simon Stevin project opgestart. Het Simon Stevin project omvat de bouw van een hoogspanningsstation te Zeebrugge waarop de kabels komende van het alfa- en bèta-station worden aangesloten. Daarnaast wordt een nieuw hoogspanningsstation voorzien te Zomergem en wordt de capaciteit van het 380 kV hoogspanningsnetwerk tussen Zeebrugge en Zomergem verhoogd. De realisatie van het Simon Stevin project wordt voorzien in 2014, na afloop van de vergunningsprocedure.

De combinatie van het Stopcontact op Zee en het Simon Stevin project zal het mogelijk maken om windenergie van op zee aan land te brengen en te transporteren naar het binnenland.

In Figuur 28 wordt een schema gegeven van de visie Stopcontact op Zee en van het Simon Stevin hoogspanningsstation te Zeebrugge.



LEGENDE

— • — Exclusieve economische zone (EEZ)

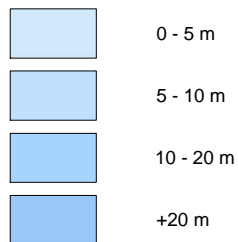
— • — Territoriale zee

— — Vaarweg

⇄ Vaarroute

→ Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)



Leidingen

— — Communicatiekabel

— — Gasleiding

Offshore windmolenparken

— — Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken

■ Windmolenpark

● Windturbine

— — Landingskabels windmolenpark

Visie Elia hoogspanningsinfrastructuur

— — Visie Elia Hoogspanningskabels

⊗ Visie Elia hoogspanningsstation

Bron: Elia



FIG. 28: VOORSTELLING VAN HET STOPCONTACT OP ZEE EN HET SIMON STEVIN PROJECT



Een locatie van het energieatol in de buurt van het Stopcontact op Zee behoort tot de mogelijkheden. Aangezien Elia het alfa-hoogspanningsstation wenst te bouwen op een eiland in de buurt van de windmolenparken, biedt dit de opportuniteit om in combinatie met het alfa-station een energieatol te realiseren en het energieatol efficiënt aan te sluiten op het hoogspanningsnet.

4.1.6 De mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge

De strategische ligging van de Haven van Zeebrugge relatief ten opzichte van de offshore windmolenparken, maakt dat de haven een locatie bij uitstek is voor de realisatie van een energieatol. In vergelijking met andere locaties ter hoogte van de Kustlijn, ligt de Haven van Zeebrugge het kortst bij de offshore windmolenparken. Bijkomend zal ter hoogte van Zeebrugge de elektriciteit van de offshore windparken aan land worden gebracht via het Stopcontact op Zee en het Simon Stevin project.

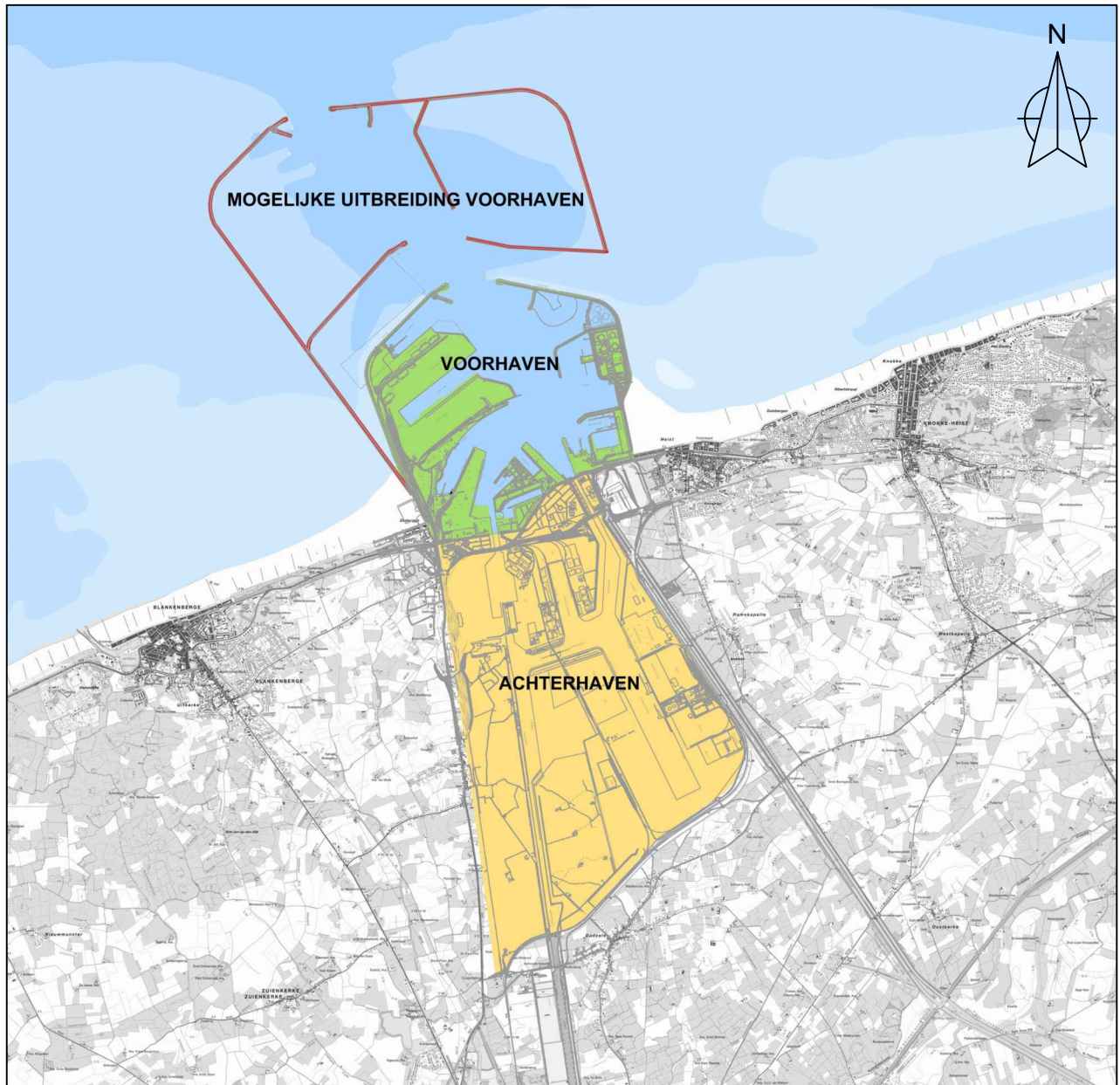
Een nog belangrijkere troef van deze locatie zijn de plannen voor de potentiële uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge.

De haven van Zeebrugge wordt voorgesteld op Figuur 29. De achterhaven wordt aangeduid in het geel, de voorhaven in het groen. De huidige voorhaven is op de zee gewonnen en is beschermd door 2 strekdammen van meer dan 4 km lengte.




Op dit ogenblik is quasi alle beschikbare oppervlakte in de voorhaven en achterhaven ingenomen. Omdat op het land er bijna geen uitbreidingsmogelijkheden meer zijn, rest de haven quasi enkel nog de mogelijkheid om de capaciteit te vergroten door een uitbreiding in zee.

Volgens de huidige visie van de Haven van Zeebrugge zou een uitbreiding kunnen gerealiseerd worden door het verlengen van de bestaande oostelijke en westelijke strekdammen van de voorhaven tot aan de Scheurpas of ongeveer 6,5 km in zee. De uitbreiding wordt afgebeeld in het rood op Figuur 29. Binnen de zone die beschermd wordt door de havendammen kunnen vervolgens nieuwe dokken worden gebouwd en nieuwe havenactiviteiten worden ontwikkeld.

Thans onderzoekt men de haalbaarheid van deze uitbreiding. Bij het Waterbouwkundig Laboratorium wordt een studie uitgevoerd voor het bepalen van het effect van de havenuitbreiding op de lokale zeestroming. In opdracht van de Afdeling Maritieme Toegang wordt een studie uitgevoerd voor het bepalen van de impact van de havenuitbreiding op de onderhoudsbaggerwerken van de vaargeulen in de Noordzee en de voorhaven van Zeebrugge. De haven van Zeebrugge heeft reeds een economische haalbaarheidsstudie laten uitvoeren voor een gedeeltelijke realisatie van de havenuitbreiding.



LEGENDE

-  Mogelijke uitbreiding voorhaven
-  Voorhaven
-  Achterhaven

Bron: MBZ, 2011

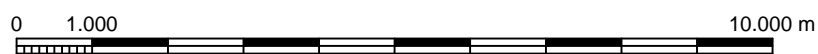


FIG. 29: VOORSTELLING VAN DE STRUCTUUR VAN DE HAVEN VAN ZEEBRUGGE MET DE MOGELIJKE UITBREIDING VAN DE VOORHAVEN



MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP

De uitbreiding van de voorhaven biedt een belangrijke opportuniteit voor de bouw van een energieatol. Indien beide projecten samen worden gerealiseerd, kunnen de dammen nodig voor de havenuitbreiding en de dammen van het energieatol worden gecombineerd.

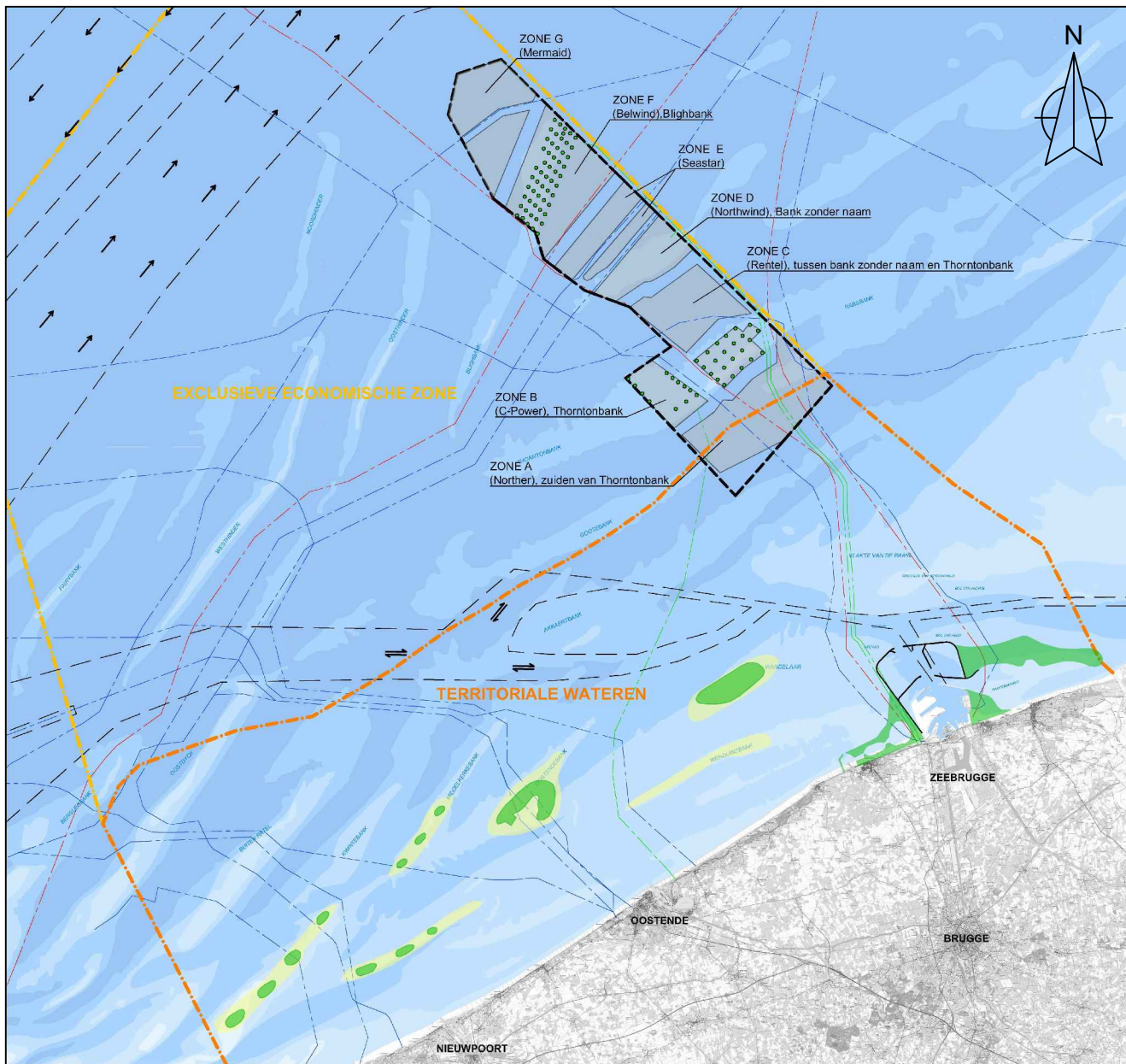
4.1.7 De visie Vlaamse Baaien

Naast de hoger beschreven uitbouw van de Haven van Zeebrugge dient er zich een andere belangrijke opportuniteit aan die de locatie van een energieatol mee kan bepalen, nl. de visie Vlaamse Baaien 2100 (Figuur 30).

Vlaamse Baaien 2100 geeft een visie weer die kan dienen als basis voor de ontwikkeling van de Vlaamse Kust die voor een groot aantal uitdagingen staat. De belangrijkste hiervan is de veiligheid. Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel en wordt de Vlaamse kust en het achterland door de zee bedreigd. De visie Vlaamse Baaien schetst een aantal mogelijke oplossingen voor het beschermen van de Vlaamse kust tegen de zee. Voor een volledig overzicht van de visie Vlaamse Baaien wordt verwezen naar de brochure die werd uitgebracht door de THV Noordzee en Kust (THV Noordzee en Kust, 2009).

Een van de oplossingen die in de visie Vlaamse Baaien wordt voorgesteld is het verhogen van de Vlaamse zandbanken en het aanleggen van kunstmatige eilanden voor de kust. Deze structuren kunnen de verwachte verhoogde golfslag als gevolg van de klimaatsverandering opvangen en zo de kustlijn beschermen.

Het energieatol zou in combinatie met één of meerdere van deze opgehoogde zandbanken of eilanden voor de kust kunnen gerealiseerd worden.



LEGENDE

— • — Exclusieve economische zone (EEZ)

— • — Territoriale zee

— — Vaarweg

⇄ Vaarroute

→ Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

0 - 5 m

5 - 10 m

10 - 20 m

+20 m

Leidingen

— — — Communicatiekabel

— — — Gasleiding

Offshore windmolenparken

— — — Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken

Windmolenpark

• Windturbine

— — — Landingskabels windmolenpark

Vlaamse baaier

Vlaamse baaier

Bron: THV Noordzee en kust, 2009

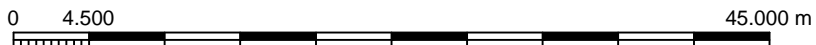


FIG. 30: VOORSTELLING VAN DE VISIE VAN DE VLAAMSE BAAIER



4.2 Keuze van de locatiealternatieven

Rekening houdend met de randvoorwaarden, geschetst in §4.1 (overzicht op Figuur 31a) worden 4 locatiealternatieven voorgesteld. Deze zijn:

- **Energieatol Zeebrugge**
- **Energieatol Thorntonbank**
- **Energieatol Vlakte van de Raan**
- **Energieatol Gootebank**

De locatiealternatieven zijn apart aangeduid op Figuur 31b.

Het is geenszins de bedoeling om met deze alternatieven een exhaustief overzicht te willen geven van de mogelijke locaties van het energieatol. De 4 alternatieven moeten beschouwd worden als type-locaties, die elk hun specifieke kenmerken hebben waarop variaties en afwijkingen mogelijk zijn.

4.2.1 Energieatol Zeebrugge

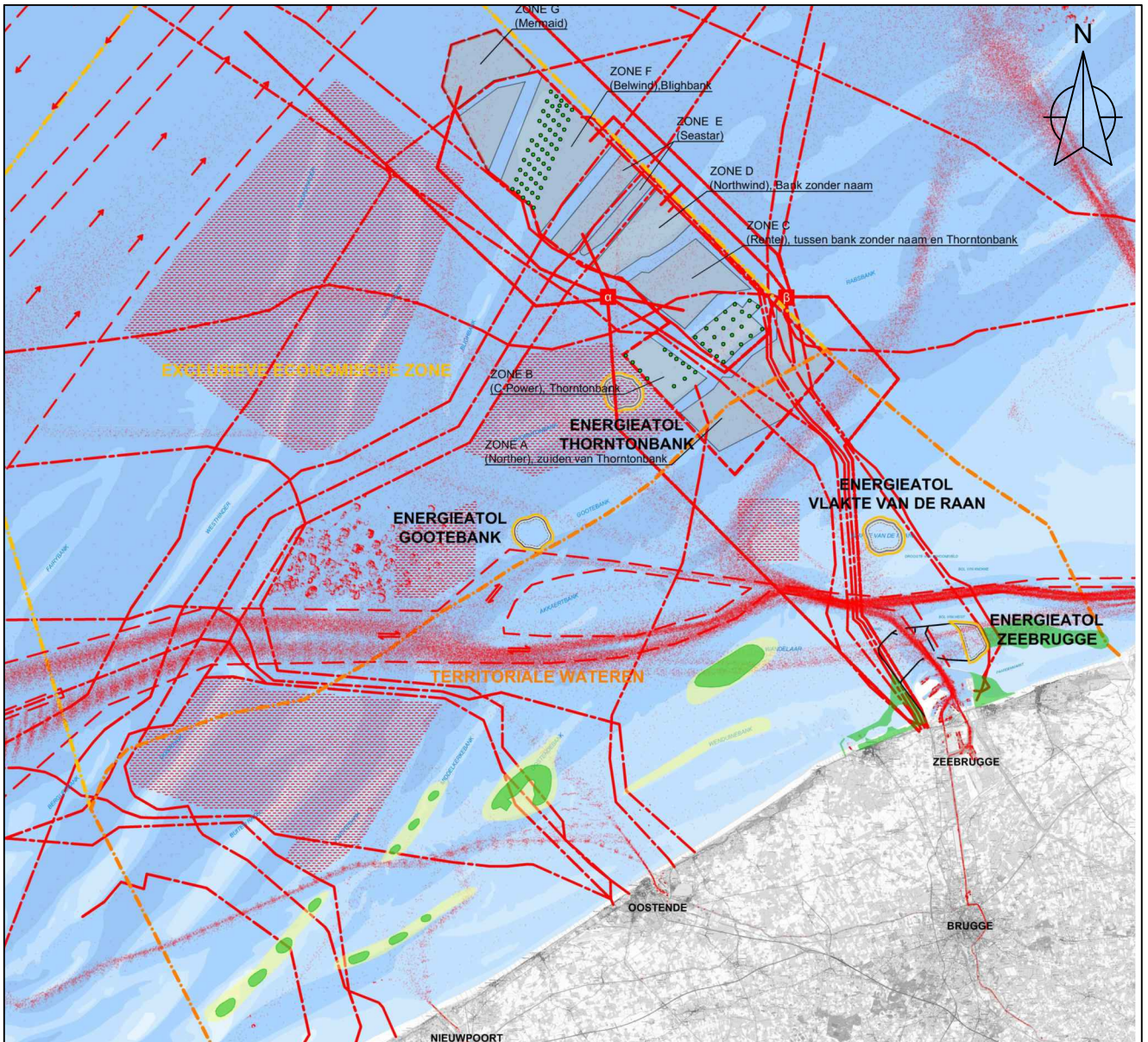
De keuze voor de locatie en de vorm van het **energieatol Zeebrugge** werd in belangrijke mate bepaald door twee opportuniteiten, waarmee de bouw van een energieatol kan gecombineerd worden:

- De ligging nabij de kust en de mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge. Zoals hoger werd toegelicht voorziet de uitbreiding van de voorhaven in een zeewaartse verlenging van de oostelijke en westelijke havendammen.
- De visie Vlaamse Baaien. In de visie Vlaamse Baaien wordt voor de kust van Knokke-Heist de aanleg van een “strandmeer” voorzien.

Andere locatiealternatieven, die in nabijheid van de kust gesitueerd zijn, maar die niet kunnen worden gecombineerd met bestaande of geplande infrastructuurprojecten, werden buiten beschouwing gelaten.

Het energieatol Zeebrugge werd ingepast tussen de oostelijke havendam van de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en het strandmeer Knokke-Heist. Deze inplanting heeft als belangrijk voordeel dat de westelijke dam van het energieatol kan gecombineerd worden met de dam voorzien voor de uitbreiding van de voorhaven. De oostelijke dam van het energieatol kan gecombineerd worden met de aanleg van het strandmeer.

Het is mogelijk dat de aanleg van het energieatol eerder zal plaatsvinden dan de aanleg van de Vlaamse Baaien en bijgevolg van het strandmeer te Zeebrugge. In dat geval kan echter met de baggerspecie van het energieatol reeds een landtong aan de oostkant van het atol aangelegd worden. Deze landtong kan dan dienen als begin voor de eventueel latere aanleg van het strandmeer. Bovendien kan er op dit eiland reeds een jachthaven of andere infrastructuur gebouwd worden.

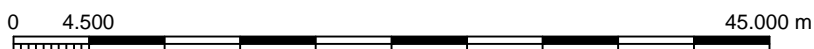


LEGENDE

- Exclusieve economische zone (EEZ)
- Territoriale zee
- Vaarweg
- Vaarroute
- Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

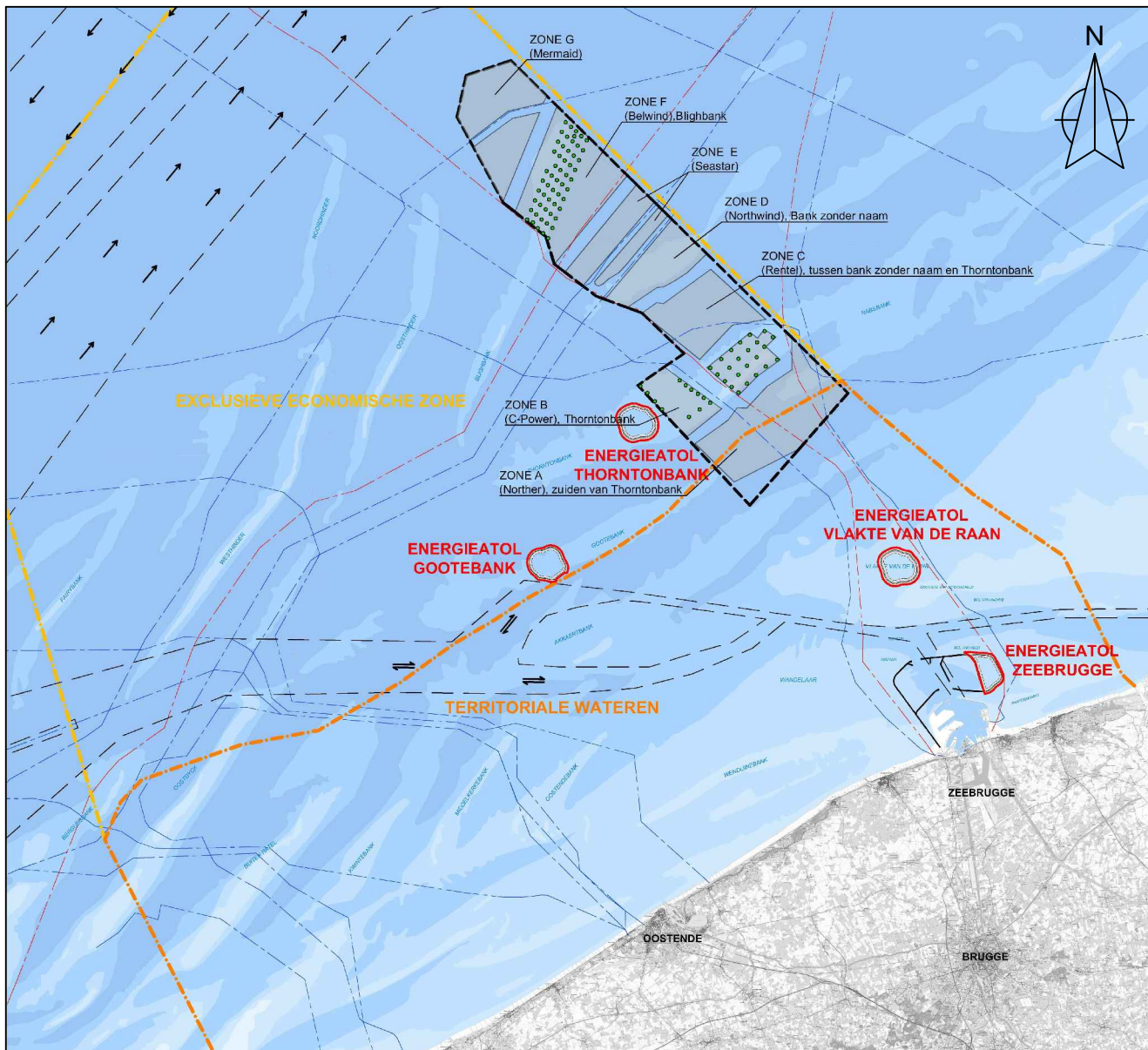
- 0 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 20 m



- +20 m
- Leidingen**
- Communicatiekabel
- Gasleiding
- Offshore windmolenparken**
- Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken
- Windmolenpark
- Windturbine
- Landingskabels windmolenpark
- Energieatol**
- Locatiealternatief

FIG. 31a: OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE RANDVOORWAARDEN



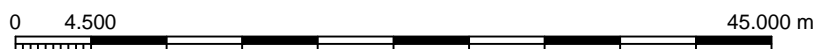


LEGENDE

- Exclusieve economische zone (EEZ)
- Territoriale zee
- Vaarweg
- Vaarroute
- Vaarroute (enkelrichting)

Bathymetrie (waterhoogte boven de zeebodem bij laagwaterstand)

- 0 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 20 m



- +20 m
- Leidingen*
- Communicatiekabel
- Gasleiding
- Offshore windmolenparken*
- Zone vrijgegeven voor offshore windmolenparken
- Windmolenpark
- Windturbine
- Landingskabels windmolenpark
- Energieatol*
- Locatiealternatief

FIG. 31b: SITUERING LOCATIEALTERNATIEVEN ENERGIEATOL



Naast deze opportuniteiten werd de locatie van het energieatol Zeebrugge mee bepaald door de ligging van nutsleidingen en scheepvaartroutes. De oostelijke dam van het energieatol ligt naast een belangrijke gas- en communicatieleiding. De noordelijke dam van het energieatol ligt naast een belangrijke vaargeul die toegang geeft tot de Westerschelde.

De dijkhoogte van het energieatol Zeebrugge werd bepaald zodat de golven de dijken van het reservoir slechts in uitzonderlijke omstandigheden kunnen overtoppen. Dit om te vermijden dat de dijken zware schade kunnen oplopen en zeewater in het reservoir kan terechtkomen. Om de dijkhoogte te berekenen werd gebruik gemaakt van de golfcondities op de Noordzee. Deze condities zijn beschikbaar op de hydrometeoatlas van de Belgische Kust. Voor Zeebrugge wordt de meetboei Bol van Heist gebruikt als referentie. Rekening houdend met de gemeten golfhoogtes wordt veiligheidshalve een dijkhoogte van 11 m TAW aangenomen.

De diepte van het energieatol werd bepaald op basis van de diepte van de natuurlijk voorkomende kleilaag ter hoogte van Zeebrugge. Deze laag van de formatie van Ursel (§ 3.3.1.1 en Figuur 10) situeert zich op -28 m TAW. Teneinde de stabiliteit van het energieatol te kunnen verzekeren dient vanaf deze diepte een ballastlaag van 3 m te worden behouden. De diepte van het energieatol Zeebrugge werd aldus vastgelegd op -25 m TAW.

De dimensies van het energieatol Zeebrugge zijn samengevat in Tabel 5.

Omtrek (km)	Lengte (km)	Breedte (km)	Oppervlakte (ha)	Dijkhoogte (m TAW)	Diepte (m TAW)	Actief Volume (m ³)
7,2	2,2	1,3	265	+11	-25	20 x 10 ⁶

Tabel 5: Dimensies van het energieatol Zeebrugge

Een overzicht van de energetische eigenschappen van het atol Zeebrugge is te zien in Tabel 6. Zoals eerder vermeld is er een minimaal hoogteverschil van 14 meter nodig om elektriciteit te kunnen produceren.

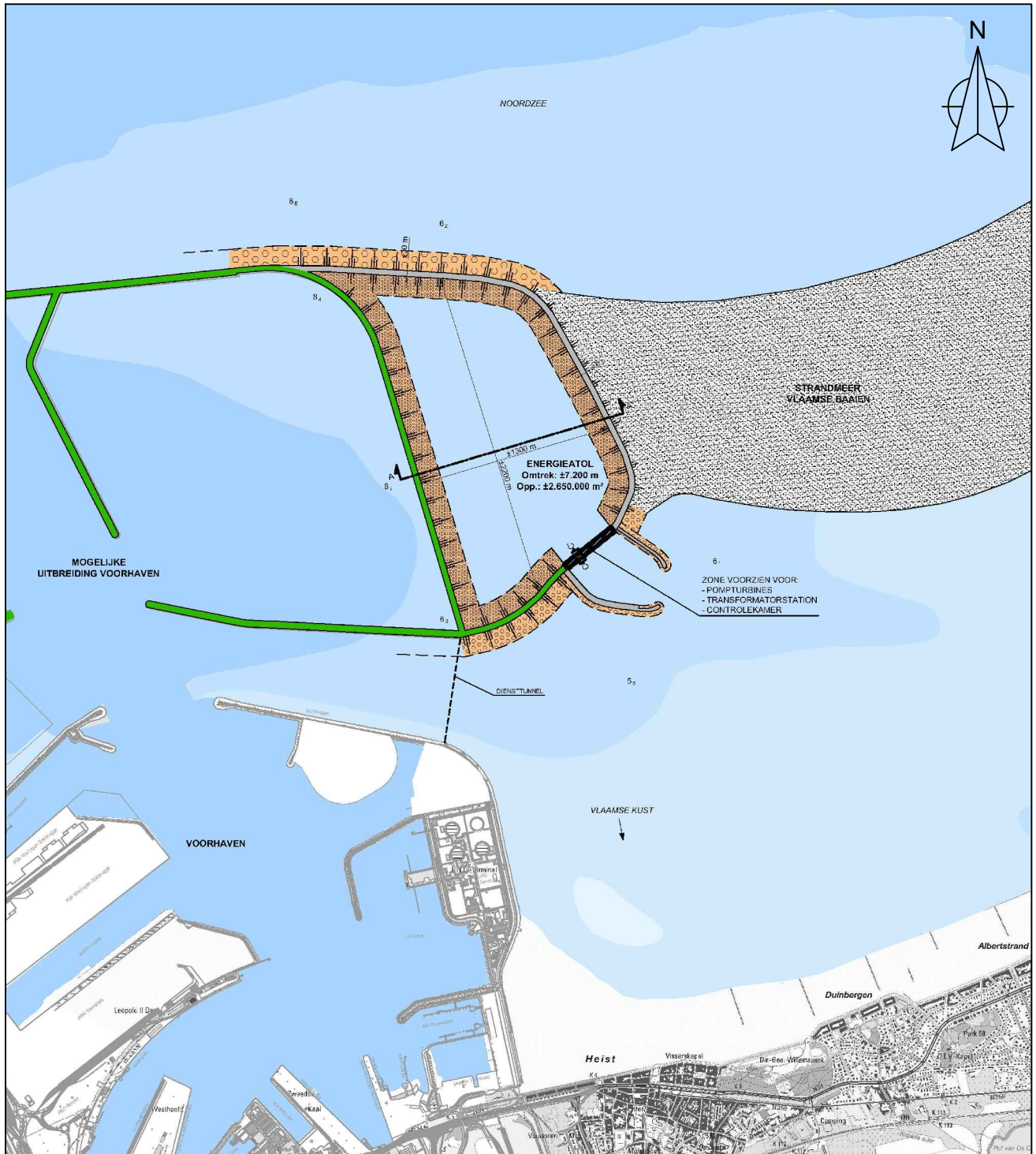
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Piekvermogen	440	MW
Tijd waarop $\Delta h < 14$ m	2,9	uur
Gemiddeld vermogen tot $\Delta h < 14$ m	345	MW
Geleverde energie $\Delta h < 14$ m	1036	MWh
Pompduur	3,8	uur

Tabel 6: Energetische prestaties van het energieatol Zeebrugge



Een schematische voorstelling van het energieatol Zeebrugge is te zien op Figuur 32, het atol zonder strandmeer op Figuur 32b. Een doorsnede van het energieatol Zeebrugge is te zien op Figuur 33.

4.2.2 Energieatol Thorntonbank




Het **energieatol Thorntonbank** bevindt zich op de Thornton-zandbank ten westen van de offshore windmolenparken op 27 km van de kust. De keuze voor deze locatie werd bepaald door:



LEGENDE

- X_y Waterdiepte bij gemiddeld laag laagwaterspring (m) huidige situatie
-  Mogelijke uitbreiding voorhaven Zeebrugge
-  Dam energieatol

Damopbouw energieatol - afdekkende laag

-  Breuksteenblokken
-  Breukstenen
-  Grind

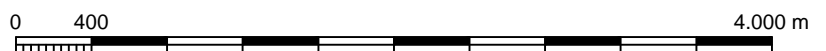
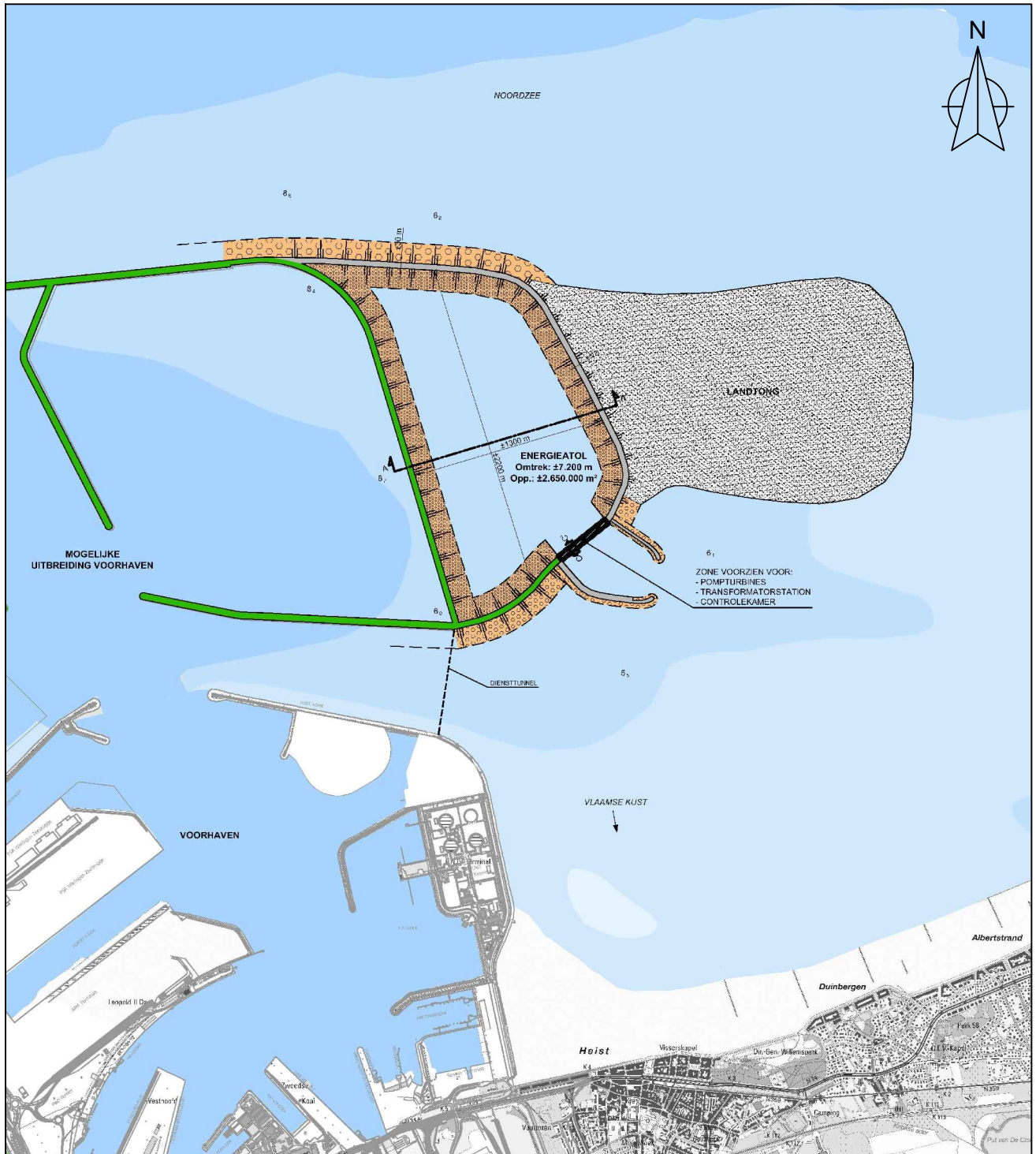




FIG. 32a: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET ENERGIEATOL ZEEBRUGGE IN COMBINATIE MET HET STRANDMEER VAN DE VLAAMSE BAIJEN

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP





LEGENDE

- X_y Waterdiepte bij gemiddeld laag laagwaterspring (m) huidige situatie
-  Mogelijke uitbreiding voorhaven Zeebrugge
-  Dam energieatol

Damopbouw energieatol - afdekkende laag




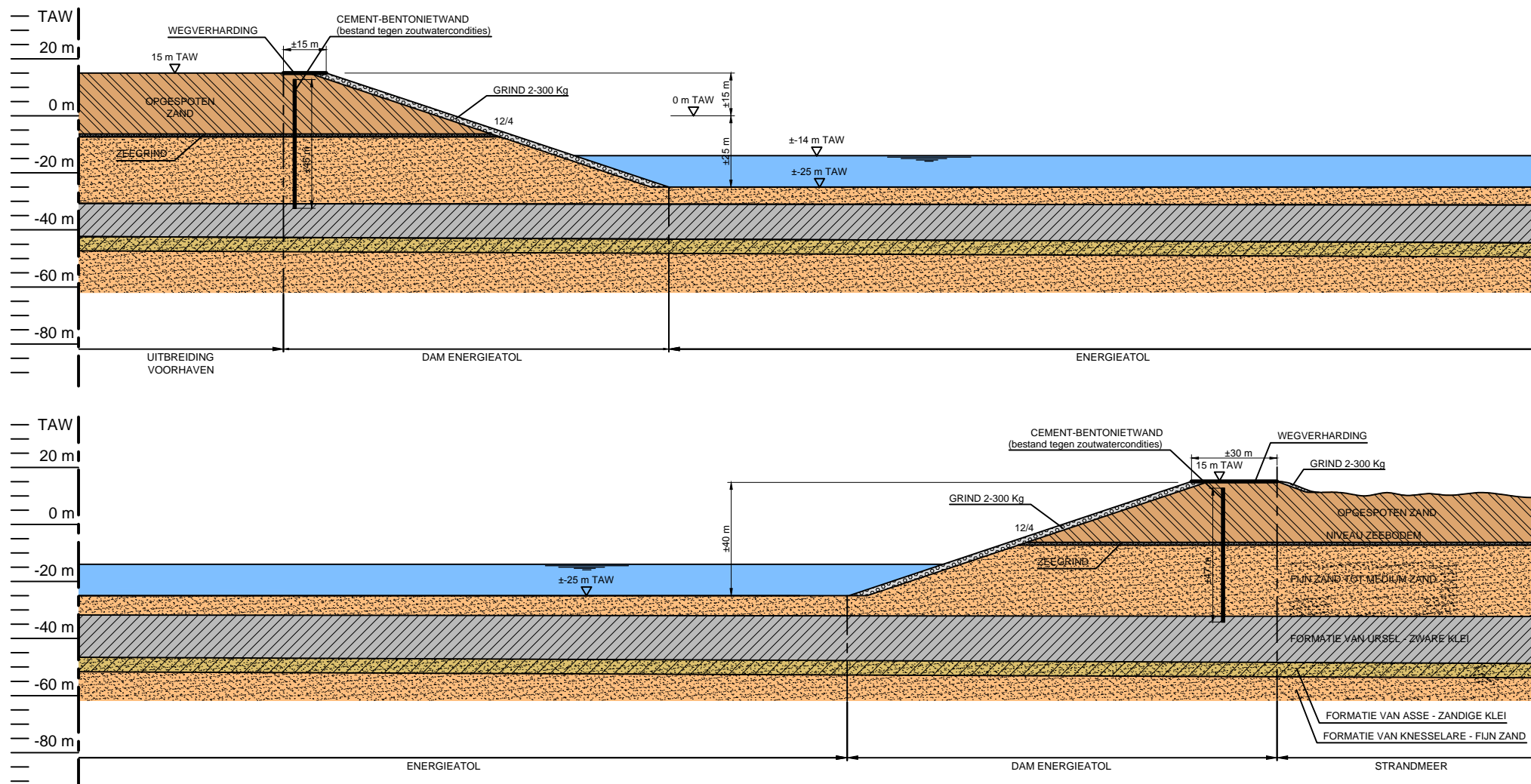
-  Breuksteenblokken
-  Breukstenen
-  Grind



FIG. 32b: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET ENERGIEATOL ZEEBRUGGE



DOORSNEDE A-A' (SCHAAL: 1/2.000)



Locatie: Zeebrugge

FIG. 33: DOORSNEDE VAN HET ENERGIEATOL ZEEBRUGGE



- De nabijheid van de offshore windmolenparken, waarvoor het energieatol als energieopslag zou kunnen fungeren.
- De opportuniteit voor het aansluiten van het energieatol op het hoogspanningsnet via de stekker op zee (alfa-station).
- De eventuele mogelijkheid om de bouw van het energieatol te combineren met de bouw van het alfa-station.

Er dient echter wel opgemerkt te worden dat de voorgestelde locatie overlapt met een deel van de Thorntonbank dat thans bestemd is voor zandwinning.

De vorm van het energieatol Thorntonbank wijkt af van de vorm van het energieatol Zeebrugge. Waar in Zeebrugge de vorm werd bepaald door de combinatie met de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien, werd voor de Thorntonbank een meer ronde vorm gekozen. Met een ronde vorm is de verhouding watervolume/omtrek kleiner.

De hoogte van de dijken van het atol worden bepaald door de golfcondities ter hoogte van de Thorntonbank. Ter hoogte van de Thorntonbank is echter geen meetstation dat informatie geeft over het golfklimaat. Als alternatief kan de informatie van het meetstation Westhinder gebruikt worden voor de Thontonbank. De zandbank Westhinder heeft een sterk gelijkaardige morfologie als de Thorntonbank en bevindt zich op een gelijkaardige afstand van de kust.

Op basis van de gemeten golfhoogtes ter hoogte van de Westhinder-meetboei werd de dijkhoogte vastgelegd op +15 m TAW.

De geologie ter hoogte van de Thorntonbank verschilt van deze van Zeebrugge. Op deze locatie is de kleilaag van Ursel en Asse niet meer aanwezig. De kleilaag die het dichtst bij het oppervlak ligt, is de kleilaag van Kortrijk op een diepte van -80 à -90 mTAW. Het aanleggen van het energieatol tot in de natuurlijke kleilaag is op deze locatie niet haalbaar. Daarom werd ervoor gekozen om de diepte van het reservoir op de Thorntonbank gelijk te stellen aan de diepte van Zeebrugge, namelijk -25 m TAW. Op deze manier kunnen de verschillende locatiealternatieven beter vergeleken worden.

De dimensies van het energieatol Thorntonbank zijn samengevat in Tabel 7.

Omtrek (km)	Lengte (km)	Breedte (km)	Oppervlakte (ha)	Dijkhoogte (m TAW)	Diepte (m TAW)	Actief volume (m ³)
7,2	2,2	1,9	374	+15	-25	32 x 10 ⁶

Tabel 7: Dimensies van het energieatol Thorntonbank

De energetische prestaties van het energieatol Thorntonbank zijn samengevat in Tabel 8.

Omschrijving	Waarde	Eenheid
Piekvermogen	440	MW
Tijd waarop $\Delta h < 14$ m	4,5	uur
Gemiddeld vermogen tot $\Delta h < 14$ m	382	MW
Geleverde energie $\Delta h < 14$ m	+ - 1568	MWh
Pompduur	5,9	uur

Tabel 8: Energetische prestaties energieatol Thorntonbank

Uit Tabel 8 blijkt dat de tijd waarop een waterhoogteverschil van minimaal 14 m bereikt wordt na 4,5 uur. In deze periode wordt gemiddeld 382 MW geleverd en wordt in totaal 1568 MWh elektriciteit geproduceerd. De tijd nodig om het reservoir vanuit een maximale waterstand opnieuw leeg te pompen is 5,9 uur.

In vergelijking met het energieatol Zeebrugge, dat gekenmerkt wordt door een kleiner reservoirvolume, is het totale vermogen hetzelfde. Het vermogen hangt immers uitsluitend af van de valhoogte en het aantal turbines. De totale hoeveelheid energie die kan opgeslagen worden is echter 50% groter.

Het energieatol Thorntonbank wordt schematisch voorgesteld op Figuur 34. Een doorsnede van het energieatol Thorntonbank is te zien op Figuur 35.

4.2.3 Energieatol Vlake van de Raan

Het **energieatol Vlake Van de Raan** bevindt tussen de Haven van Zeebrugge en de offshore windmolenparken op een afstand van 11,5 km van de kust. Het locatiealternatief Vlake van de Raan werd gekozen op basis van haar intermediaire ligging tussen Zeebrugge en de Thorntonbank.

De golfcondities ter hoogte van de Vlake van de Raan sluiten aan bij deze van de Thorntonbank. De dijkhoogte bedraagt dus eveneens +15 mTAW. De geologische ondergrond is vergelijkbaar met het locatiealternatief Zeebrugge. De diepte van het reservoir bedraagt dus eveneens -25 m TAW.

De rest van de dimensies en de energieprestaties zijn vergelijkbaar met het energieatol Thorntonbank, hiervoor kan terug verwezen worden naar Tabel 7 en Tabel 8.

Het energieatol Vlake van de Raan is schematisch voorgesteld op Figuur 36.

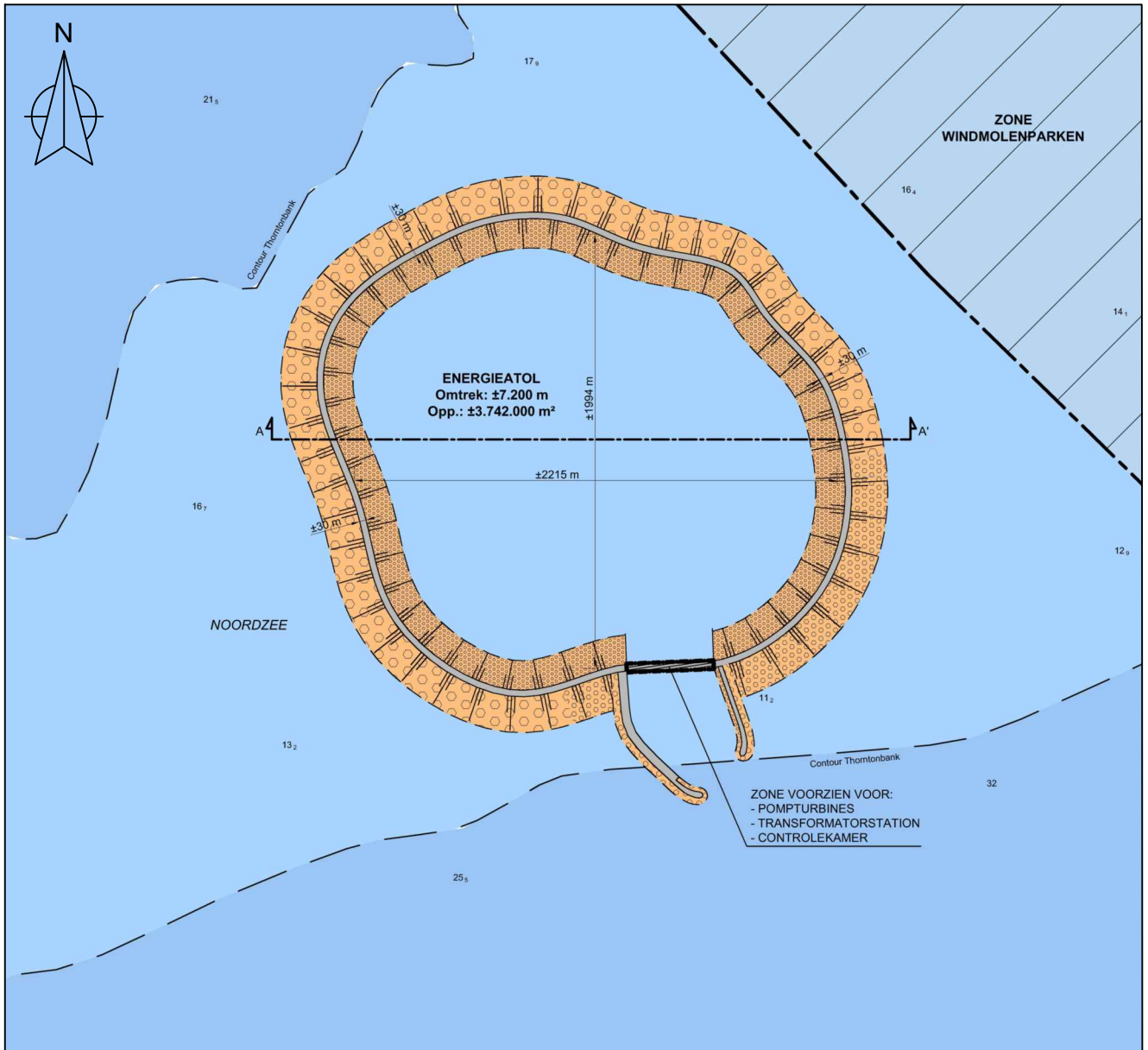
4.2.4 Energieatol Gootebank

Het **energieatol Gootebank** ligt ter hoogte van de Goote-zandbank 22 km voor de kust. Het belangrijkste argument voor de selectie van deze locatie is de mogelijkheid om in combinatie met het atol een schuilhaven te bouwen voor schepen in nood. De locatie Gootebank komt bij uitstek in aanmerking voor de bouw van dergelijke schuilhaven gezien de goede toegankelijkheid via de vaargeul gelegen tussen de Akkaertbank en de Gootebank.

Door de vergelijkbare golfcondities met het energieatol Thorntonbank en Vlake van de Raan bedraagt de hoogte van de dijken eveneens +15 m TAW. De geologische ondergrond is anders dan bij de rest van de locatiealternatieven. Er is een kleilaag van de formatie van Ieper aanwezig op een bruikbare diepte. De diepte van het reservoir wordt ook hier dan vastgelegd op -25 m TAW.

De rest van de dimensies en de energieprestaties zijn vergelijkbaar met het energieatol Thorntonbank en vlake va de Raan. Er kan dus opnieuw verwezen worden naar Tabel 7 en Tabel 8.

Het energieatol Gootebank is schematisch voorgesteld op Figuur 37.





LEGENDE

x_v Waterdiepte bij gemiddeld laag laagwaterspring (m)
huidige situatie

 Dam energieatol

Damopbouw energieatol - afdekkende laag

 Breuksteenblokken

 Breuksteenblokken luwe zijde

 Grind

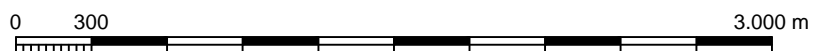


FIG. 34: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET ENERGIEATOL THORNTONBANK

DOORSNEDE A-A' (SCHAAL: 1/2.000)

Locatie: Zeebrugge

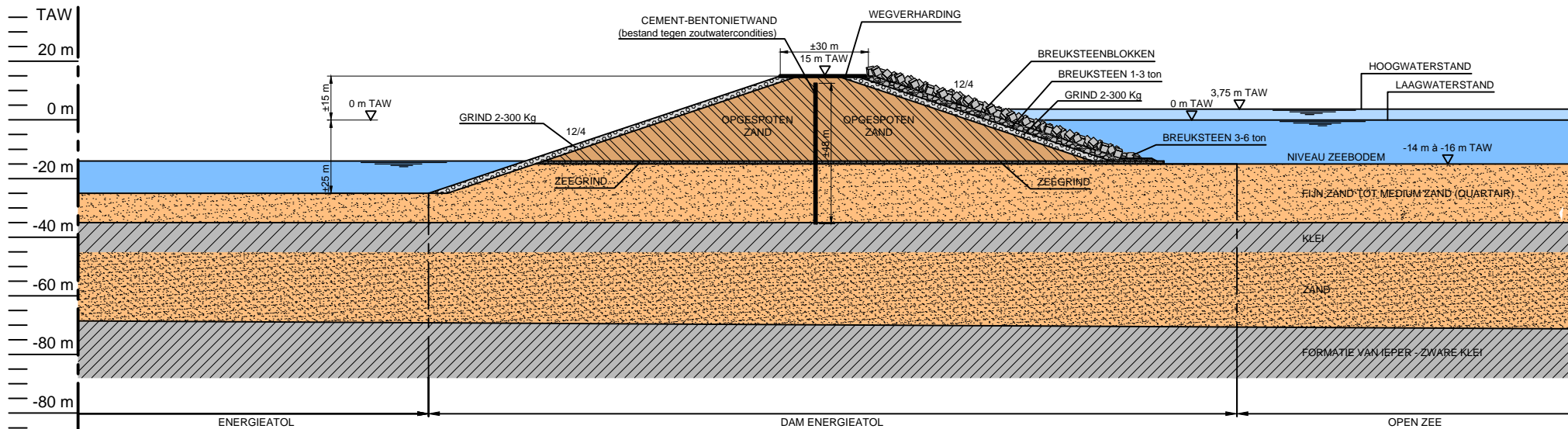
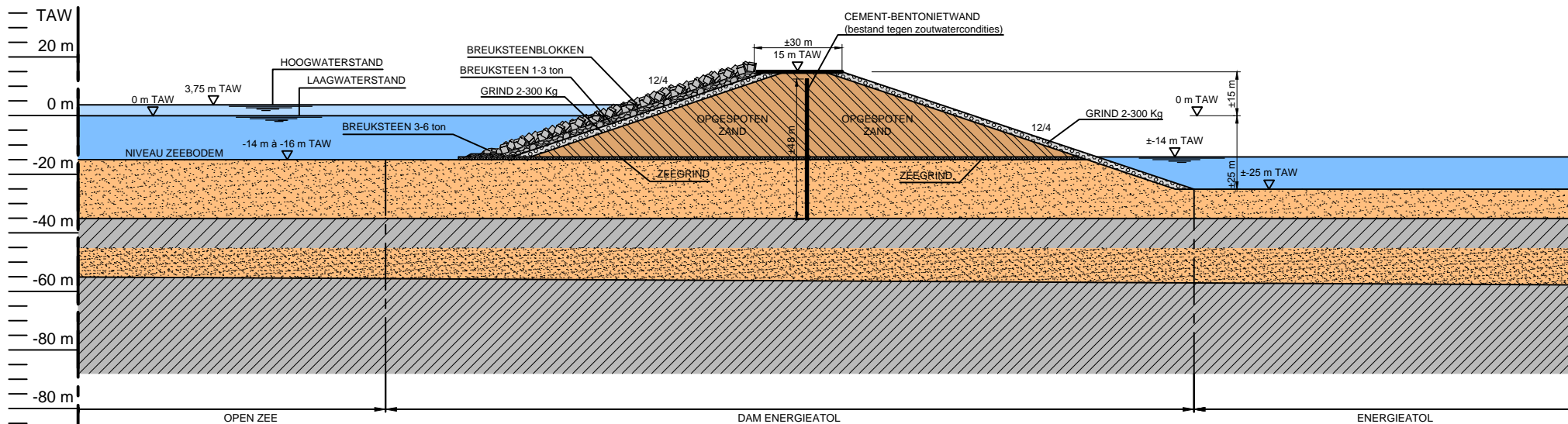
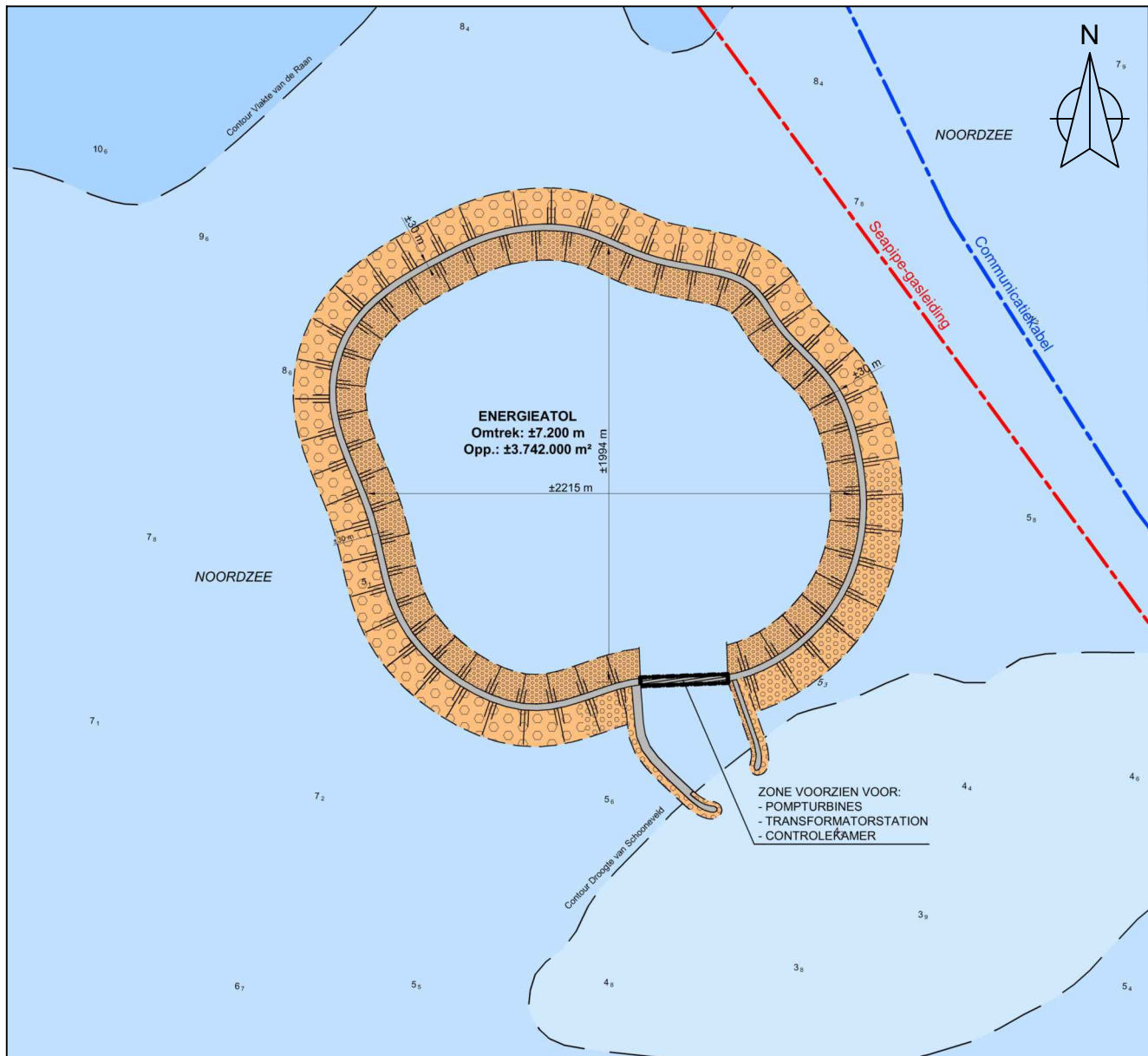


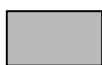
FIG. 35: DOORSNEDE VAN HET ENERGIEATOL THORNTONBANK





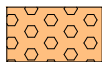
LEGENDE

X_y Waterdiepte bij gemiddeld laag laagwaterspring (m)
 huidige situatie

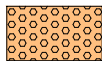


Dam energieatol

Damopbouw energieatol - afdekkende laag



Breksteenblokken



Breksteenblokken luwe zijde



Grind

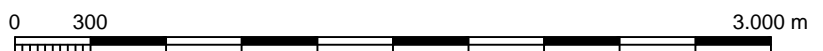
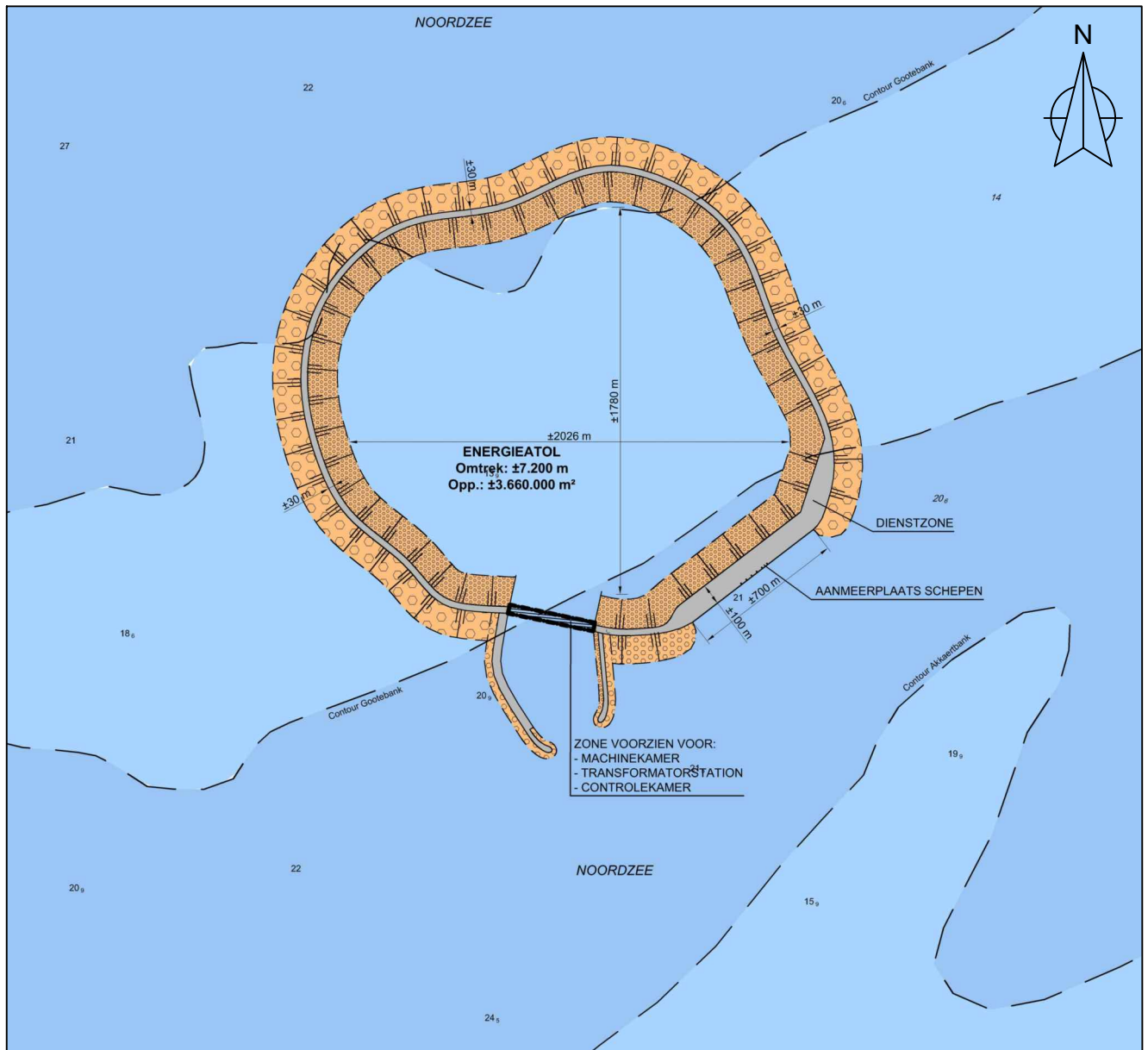


FIG. 36: SCHEMATISCHE VOORSTELLING
 VAN HET ENERGIEATOL VLAKTE VAN DE RAAN




MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP

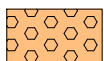



LEGENDE

X_y Waterdiepte bij gemiddeld laag laagwaterspring (m)
huidige situatie

 Dam energieatol

Damopbouw energieatol - afdekkende laag

 Breuksteenblokken

 Breuksteenblokken luwe zijde

 Grind

0 300 3.000 m

FIG. 37: SCHEMATISCHE VOORSTELLING
VAN HET ENERGIEATOL GOETEBANK

Besluit: keuze van de locatiealternatieven

Een energieatol kan niet op elke locatie in de Noordzee worden gerealiseerd. De mogelijke locaties van een energieatol op de Noordzee werden bepaald door op basis van de volgende randvoorwaarden:

- De ligging van kabels en leidingen
- De aanwezigheid van scheepvaartroutes
- De ligging van zandwinningen
- De offshore windmolenparken
- Het “Stopcontact op Zee” en het Simon Stevin project
- De mogelijke uitbreiding van de haven van Zeebrugge
- De visie Vlaamse baaien

Uitgaande van deze randvoorwaarden werden 4 type-locatiealternatieven voor het energieatol in de Noordzee voorgesteld:

- Energieatol Zeebrugge
- Energieatol Thorntonbank
- Energieatol Vlake van de Raan
- Energieatol Gootebank

4.3 Ecologische impact-analyse van de locatiealternatieven

Om een goede beoordeling te kunnen maken van de mogelijke milieu-impact van de locatiealternatieven wordt eerst de huidige status van de natuur en milieuwaarden beschreven. Vervolgens kan de **impact op erosie- en sedimentatiepatronen, de impact op fauna, zeezicht, cultureel erfgoed** en de **mogelijke implicaties voor de visserij sector** onderzocht worden.

4.3.1 Huidige status natuur- en milieuwaarden

4.3.1.1 Bodem, stroming en dynamiek van de geselecteerde gebieden

De zeebodem in het Noordzeegebied voor de Belgische kust maakt deel uit van het continentaal plat in de zuidelijke bocht van de Noordzee, en is vrijwel volledig opgebouwd uit zand, met plaatselijk grind en slib dat in een recent geologisch verleden is aangevoerd. De zandlaag is een quartaire afzetting van om en bij de 20m diepte die op een tertiaire kleilaag rust.

De Vlaamse kust wordt gekenmerkt door een 65 km, zuidwest-noordoost gerichte kustlijn die naar het oosten overgaat in het estuarium van de Westerschelde. Het wind- en golfklimaat wordt gedomineerd vanuit zuidwestelijke tot noordwestelijke richting. De zuidwest-noordoost gerichte vloedstroming (> 1 m/s) is dominant en geeft aanleiding tot een residuele drift in noordoostelijke richting. Door de ligging van zandbanken kan de stroming lokaal variëren in richting en intensiteit (Van den Eynde, 2011). De minimale stroming is bijvoorbeeld lager op diepere punten (0,14 m/s) rondom de Thorntonbank, terwijl op de Thorntonbank de minimale snelheden op 0,21 m/s liggen.

De waterkolom ter hoogte van de 4 locaties varieert van 10-20m op de Thornton- en Gootebank, over een hoogte van 5-10 m op de vlakte van de Raan tot minder dan 5 m in de baai van Heist. Het hoogteverschil tussen eb en vloed is gemiddeld 2,8-4,3 m (Van Lancker, V et al, 2012) wat betekent dat de zandbanken in kwestie nergens periodiek droog komen te staan. Als gevolg spreken we voor alle locaties van habitatype 1110 (zandbanken permanent onder water).

4.3.1.2 Fauna

Algemeen

Op het Belgisch Continentaal Plateau zijn twee gradiënten te onderscheiden in het voorkomen van benthische organismen. Een eerste gradiënt in de biodiversiteit verloopt van west naar oost (met minder diversiteit aan de oostelijke zijde). Een tweede gradiënt verloopt van de ondiepe kustzone naar de zone dieper in zee. In de Noordzee zouden er een 230-tal vissoorten voorkomen, waarvan er duidelijk soorten meer met de kuststrook geassocieerd zijn (bv. paaigebieden van sprot (*Sprattussprattus*)), en soorten die meer in offshore gebieden teruggevonden worden (bv. paaigebieden van tong (*Soleo soleo*)). Ondiepere gedeelten voor de kust zijn belangrijk als groei- en kweekgebied voor tong en schol (*Pleuronectes platessa*). *Voor de vogelgemeenschappen geldt een*

zekere afscheiding tussen kustgebonden soorten (duikers, fuut (*Podiceps cristatus*), zee-eenden, kokmeeuw (*Chroicocephalus ridibundus*) en zilvermeeuw (*Larus argentatus*)) en soorten met een meer offshore karakter (zoals zeekoet/alk (*Alca torda*), drieteenmeeuw (*Rissa tridactyla*) en ook kleine mantelmeeuw (*Larus fuscus*)). Wat betreft zeezoogdieren, is in de zuidelijke bocht van de Noordzee de bruinvis (*Phocoena phocoena*) de belangrijkste en meest voorkomende soort. In mindere mate wordt ook de witsnuitdolfijn waargenomen (*Lagenorhynchus albirostris*). Ter hoogte van de kust, riviermondingen en estuaria wordt geregeld de gewone zeehond (*Phoca vitulina*) en minder frequent de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) gezien.

4.3.2 Algemene ecologische impact van een energieatol

Onder meer op basis van waarnemingen tijdens en na de installatie van offshore windmolenparken kan een inschatting gemaakt worden van de impact die een energieatol met zich mee zou brengen op de huidige natuur- en milieuwaarden. In de eerste plaats zal de installatie van een dijk boven zeeniveau een aanzienlijke **verandering in de habitatstructuur** met zich meebrengen. Dit zowel op een directe manier door de aanwezigheid van nieuw hard substraat en de structurele veranderingen die gestorte steenlagen met zich meebrengen, alsook indirect door **effecten op stromings-, erosie- en sedimentatiepatronen**. In de tweede plaats zal de installatie van windmolens op de dijken van de atollen een directe verstoring van het luchtruim betekenen.

4.3.2.1 Turbiditeit, erosie, sedimentatie

Over de voorbije 150 jaar is er geen noemenswaardige verplaatsing van de zandbanken voor de Belgische kust waargenomen (bij uitzondering van enkele kustgebonden zandbanken). Duidelijke veranderingen in erosie en afzetting van materiaal werden steeds gekoppeld aan menselijke activiteiten. Maar door de stijgende hoeveelheid antropogene ingrepen krijgen we algemeen gezien een grotere hoeveelheid kleine partikels in suspensie. Bij de uitbouw van het atol kan men dan ook een verandering in turbiditeit, erosie en sedimentatie verwachten.

Turbiditeit

De baggerwerken die noodzakelijk zijn voor het maken van het valmeer zullen een lokale verhoogde turbiditeit veroorzaken. De turbiditeit of helderheid van het zeewater wordt bepaald door de hoeveelheid zwevend (in suspensie) materiaal in het water. Ondanks de beperktheid in duur kan het effect van de verhoogde turbiditeit door dispersie over een aanzienlijke afstand merkbaar zijn.

Algemeen kan er gesteld worden dat de aanwezigheid van leem en klei voor een verhoogde turbiditeit zorgt, grind en grof zand zullen minder sterk in suspensie gaan. Om de turbiditeit te beperken tijdens het baggeren kunnen er een aantal milderende maatregelen getroffen worden. Zoals bijvoorbeeld het beperken van de "overflow" tijdens het baggeren, het voorkomen van lekkage van sediment tijdens het transport naar de stortplaats, en het uitvoeren van de werken bij rustige weersomstandigheden (weinig stroming en golfslag).

De Noordzee wordt reeds gekenmerkt door een hoge troebelheid, wat maakt dat bestaande ecosystemen vaak reeds in zekere mate aangepast zijn aan een verhoogde turbiditeit. Verwacht wordt dat de turbiditeit enkel tijdelijk zal verhoogd worden tijdens de constructiefase, maar dat tijdens de exploitatiefase geen of een minimaal effect aanwezig zal zijn.

Erosie en sedimentatie

De aanleg en exploitatie van een nieuwe structuur zal een effect hebben op de huidige stromingen aanwezig op de locatie. Een nieuw dynamisch evenwicht van erosie en sedimentatie zal zich ontwikkelen en dit zal gevolgen hebben op de structuur van de zeebodem. Een erosieput kan gevormd worden (waar de stroming op het atol botst) met afmetingen die in essentie functie zijn van de stromingskarakteristieken, de korrelgrootte van de sedimenten en de vorm en afmetingen van de funderingen. Bescherming tegen erosie is dan ook van fundamenteel belang bij de constructie van het atol. Anderzijds zal er ook sediment bezinken (te verwachten aan de relatief stromingsluwe zijde van het atol).

Zeker in het geval van het locatiealternatief Zeebrugge (dit ligt voor de kuststrook waar de baai van Heist ligt), is het belangrijk om op te merken dat in tegenstelling tot de situatie in open zee (de situatie voor de 3 andere locatiealternatieven), er in de baai van Heist een duidelijk ander regime heerst dat sterker wordt gecontroleerd door de dynamiek van de getijden. Bij de opzet van een energieatol vlak voor de kust (i.e. locatie Zeebrugge) kan er dus een ingrijpende verandering verwacht worden in de getijden- en sedimentatiedynamiek in de baai.

4.3.2.2 Fauna

Interactie atoldijken - fauna

In studies waar windmolenparken werden opgezet met een omliggende waterdiepte van 17-20 m, en waar de basis van de windmolens wat betreft materiaal sterk vergelijkbaar is met het energieatol, werd aangetoond dat er geen noemenswaardige veranderingen waar te nemen vielen op de hoeveelheid en densiteit van macrobenthos en vissen. Uit onderzoek blijkt ook dat naast de diepte van de waterkolom ook de turbiditeit in grote mate de samenstelling van de hyperbenthosgemeenschap (benthos die net boven het sediment leeft) bepaalt (Willems, 2000). Bij een fundamentele verandering van de structuur van de zandbanken kan er dus lokaal een effect verwacht worden. Verder werd er een toegenomen hoeveelheid bruinvissen en zeehonden waargenomen in de zones rond windmolenparken. Waar in het luchtruim een duidelijke verstoring kan plaatsvinden als gevolg van windmolenturbines (zie volgende paragraaf), is wat betreft het wateroppervlak voor vogels de topografie en waterdiepte vooral van belang, dit in functie van rust- en foerageerplaatsen.

De bovenstaande waarnemingen zijn wellicht voor een groot deel terug te brengen tot effecten van een verhoogde voedselbeschikbaarheid. De aanwezigheid van nieuw hard substraat leidt tot kolonisatie door allerlei soorten macrobenthos (Reubens, J.T. et al. , 2011) en biedt een verhoogde

beschikbaarheid van schuil-, paai- en foerageerplekken voor vissen en mariene zoogdieren. Een studie in de windmolenparken op de Thorntonbank vond bijvoorbeeld een verhoogde hoeveelheid kabeljauw (*Gadus morhua*) aan, mogelijks als gevolg van de beschermende erosielagen aan de basis van de molens (Everaert, 2008).

Interactie windmolenparken – vogels

Het opstellen van windturbines op de dijken van het energieatol kan negatieve effecten veroorzaken voor vogelgemeenschappen. Vogels kunnen tijdens het vliegen in aanvaring komen met de turbines, maar het luchtruim kan ook dermate verstoord worden dat gebieden met turbines gemeden worden. De impact is heel verschillend per soortgroep, maar zowel onder algemene als zeldzame of bedreigde soorten worden aanvaringslachtoffers waargenomen.

Iets specifieker voor de 4 mogelijke locaties kunnen we inschatten dat het effect van windturbines op de locatie Thorntonbank een verdere uitbreiding van de verstoring betekent (naast de bestaande zeer grote windmolenparken nabij dit locatiealternatief). Bovendien zullen de turbines op het atol mogelijks ook op een andere vlieghoogte staan dan de turbines in het windmolenpark.

Voor de locatie Zeebrugge zouden windturbines een bedreiging kunnen vormen voor de gebieden die onder vogelrichtlijnen vallen (Sternenschiereiland en Baai van Heist). Ook voor de Vlake van de Raan bestaat een zeker risico, aangezien de vogelsoorten die op het Sternenschiereiland en de Baai van Heist vaak pendelen naar de Vlake van de Raan als foerageergebied. Voor de locatie Gootebank is er geen informatie die een afwijking van de algemene effecten suggereert. Bij het opzetten van het atol zal moeten afgewogen worden wat de risico's zijn en zullen eventuele compensatiemaatregelen (zie verdere paragraaf) uitgevoerd moeten worden om de impact te beperken.

Interactie waterkrachtturbines – vissen

Traditioneel is de installatie van waterkrachtturbines een probleem voor vismigratie en/of – mortaliteit. De eigenschappen van de turbines die in dit project ter studie liggen zijn van die aard dat ze vooral voor kleinere vissen een bedreiging kunnen vormen. Voor grotere vissen moet een rooster ter hoogte van de aanzuigplekken van de turbines een eerste barrière zijn en het aantal vissen dat in de turbines komt zo laag mogelijk houden.

In de eerste plaats geldt dat slecht een beperkt aantal vissen ook effectief in contact zal komen met het energieatol en de omliggende infrastructuur. Van deze individuen zal slechts een bepaalde hoeveelheid in de buurt van de aanzuigkoker van de turbines komen, en zich in een potentieel bedreigende situatie bevinden.

Desondanks werd vastgesteld dat het type turbine dat hier zal worden gebruikt ('Francis' turbine) een relatief hoge overlevingsgraad vertoont (70%) (Čada, 2001). Turbines met een nog hogere overlevingsgraad zijn bijvoorbeeld de Kaplan turbines (ca. 88%) door de vorm van de schoepen. Indien de mogelijkheid zich aandient kan men hier overwegen om voor de meest visvriendelijke turbines te kiezen, of eventuele aanpassingen aan de bestaande turbines te ontwikkelen (i.e. kleinere openingen aan de centrale as of aan de schoepen) (Haelters, 2009).

Het aantal turbines en de locatie van deze turbines kan ook een invloed hebben op de aantrekking van vissen. Vissen worden eerder zelden in de stroming van de turbine meegezogen, maar zwemmen

er zelf graag in mee. Verdere studie zou moeten uitwijzen of de totale zuigkracht van de turbines een significante invloed uitoefent op de aantrekking van bepaalde vissoorten, en of de plaatsing van barrières of begeleidende kanaaltjes om de vissen weg te leiden van de turbines haalbaar en/of nuttig is.

Geluid/trillingen

Effecten van geluidshinder op zoogdieren en vissen lijken in eerste plaats tijdens de constructiefase een rol te spelen, waarbij deze gebieden duidelijk worden gemedend. Maar dit lijkt slechts een tijdelijk effect te zijn. Verder is de geluidshinder die windmolenparken met zich meebrengen vergelijkbaar met scheepvaartactiviteiten, waardoor gewenning een uitgesproken rol kan spelen.

Compensatiemaatregelen

Bij de constructie van een energieatol zal een stuk habitat verloren gaan door de uitgraving van het reservoir. Bovendien zal er tijdens de constructiefase (i.e. de graafwerken) van een bepaalde mortaliteit in de lokale benthische en visgemeenschap sprake zijn. Verder kan door veranderingen in stromings- en erosiedynamiek de vorm van de habitat en de functionele relatie tussen habitat en soort veranderen. In dat opzicht lijkt het wenselijk om de mogelijkheid tot compensatiemaatregelen in de vorm van de creatie van nieuwe habitat(s) te bestuderen.

De locaties Thorntonbank, Gootebank en Vlake van de Raan (hoewel zeer waardevol gebied voor verschillende vogelsoorten) vallen tot op heden niet in habitatrichtlijngebied, en met uitzondering van de Vlake van de Raan (grotere zandbank en dicht bij de kust) lijkt een compensatie van de verloren hoeveelheid zandbank een zware investering. De locatie Zeebrugge treedt wel direct in conflict met bestaande beschermde gebieden, maar hier kan het opzetten van een energieatol binnen de verdere ontwikkeling van de haven onder de visie van de Vlaamse Baaien passen (zie sectie 9.1). Het energieatol voor de locatie Zeebrugge zou binnen het plan Vlaamse Baaien op de nieuwe locatie voor het Sternenschiereiland komen, en de impact op de beschermde fauna is daarom niet volledig neutraal. Langs de andere kant voorziet de visie Vlaamse Baaien een uitbreiding van beschikbaar gebied voor de visdief, kokmeeuw, strand- en botbekplevier, en stern gemeenschappen, wat deze soorten ten goede komt mits een gepaste inrichting van het voorziene gebied.

4.3.2.3 Zeezicht

Het zicht over zee is op de meeste plaatsen vanaf de Belgische kustlijn ongestoord. Beweging in het landschap veroorzaakt door vrachtschepen, vissers, recreatievaart, surfers, etc. vormen een onderdeel van de landschapsbeleving voor de mensen op de dijk. Vooral ter hoogte van de zeehavens is er een druk verkeer van af- en aanvarende schepen. Het huidige landschap ter hoogte van de voorgestelde locaties wordt gekenmerkt door de haven van Zeebrugge en windturbines ter hoogte van de Thorntonbank. De haven van Zeebrugge heeft samen met haar activiteiten een sterk dominant karakter in het landschap. De aanwezigheid van de haven en de windmolens maakt dat er een zekere gewenning is aan een gewijzigd zeezicht ten opzichte van een willekeurige situering in de zee.

Tijdens de constructiefase van het atol zal er een tijdelijke wijziging van het landschap op zee veroorzaakt worden door de aan- en afvaart van schepen met materiaal en de bouwwerkzaamheden op zee. Dit zal een verhoogde intensiteit van verstoring met zich meebrengen, maar dit blijft beperkt in de tijd.

Tijdens de exploitatiefase zal de impact voor een groot deel bepaald worden door de afstand in combinatie met de natuurlijke kromming van de aardbol. Dit bepaalt immers het verdwijnpunt van objecten aan de horizon. Op een afstand van 20 km en gezien vanaf het strand zal een object van ca. 15 m door de natuurlijke aardbolkromming verdwijnen achter de horizon (DTI, 2005). Objecten op verdere afstand zullen uiteraard voor een groter stuk achter de horizon verdwijnen. Voor een waarnemer op de dijk zal de visuele impact groter zijn dan voor een waarnemer op het strand, gezien het hoger gelegen gezichtspunt. Indien we ervan uitgaan dat het energieatol ongeveer 15 m hoog zal zijn, betekent dit dat het atol voor de locaties Thorntonbank (ca. 27 km van de kust) en Gootebank (ca. 22 km van de kust) geen impact zal hebben op het zicht. Indien we aannemen dat de grijze tinten van het atol niet al te ver afwijken van de kleur van het Noordzee water, kunnen we stellen dat het atol op de locatie Vlakke van de Raan (ca. 11.5 km van de kust) wel zichtbaar zal zijn, maar dat de impact mogelijks gelimiteerd blijft afhankelijk van de situatie (bv. meer of minder contrast door weersomstandigheden). De locatie Zeebrugge (ca. 3.3 km van de kust) zal uiteraard een belemmering van het zicht zal veroorzaken.

Naast de directe impact door de zichtbaarheid van het atol wordt het zicht op zee ook beïnvloed door de vernauwing van het breedteveld van de horizon. Objecten die van dichtbij worden waargenomen zullen logischerwijs een groter stuk van het vrije zicht op de horizon wegnemen.

4.3.2.4 Cultureel erfgoed

De bouw van het atol zal geen direct of indirect effect hebben op het cultureel erfgoed langsheen de kustlijn Knokke-Oostende. De landschappelijke waarde van de relictzones, ankerplaatsen en puntrelicten zal niet worden aangetast. Op zee bestaat het cultureel erfgoed voornamelijk uit scheepswrakken (maritieme archeologie).

4.3.2.5 Calamiteiten en moeilijkheden

Vrijkomen van pollutanten uit baggerspecie

De waterkwaliteit kan tijdens de aanleg- en exploitatiefase beïnvloed worden. Zo kunnen er vervuilde sedimenten en pollutanten vrijkomen tijdens het baggerproces. Er worden echter geen lange termijn effect verwacht op de waterkwaliteit vanwege de snelle verdunning door de constante doorstroom van water. De kans op een accidentele lozing met acuut effect op de waterkwaliteit kan als gering beschouwd worden, indien aan de geldende reglementering inzake preventie wordt voldaan.

Lekken van vloeistoffen

Het lekken van vloeistoffen (olie, vetten, etc.) uit de installaties wordt vermeden of beperkt door de aanwezigheid van diverse opvangsystemen (lekbakken, randen, inkuipingen) alsook door de constructiewijze van de onderdelen van de installaties. Uitgaande van het gegeven dat deze opvangsystemen goed functioneren en gebouwd zijn volgens een goed (gecertificeerd) ontwerp, zal er geen negatief milieueffect zijn. Dit is niet het geval indien een windturbine zou omvallen ten gevolge van extreme klimaatcondities of ten gevolge van een aanvaring of een aandrijving door schepen. In dat geval kunnen, wanneer tanks of leidingen bij het ongeval breken of scheuren, de vetten en oliën aanwezig in de turbine vrijkomen en zich in het milieu verspreiden. De kans dat een turbine uit zichzelf omvalt gedurende de levensduur van het project is niet onbestaande maar zeer klein.

Brand

Een ander risico voor het milieu is het ontstaan van brand. Brand in een turbine kan aanleiding geven tot het vrijstellen van toxische of milieuschadelijke stoffen. De machinekamer zal uitgerust zijn met brand/rookdetectors die maken dat personeel gewaarschuwd wordt in geval van eventueel dreigende of beginnende brand. Ook de windturbines zullen met dergelijke detectoren worden uitgerust.

Scheepvaart

Het projectgebied ligt in de buurt van een van de drukst bevaren scheepvaartroutes ter wereld. De Noordzee en het Kanaal zijn een drukke en strategische maritieme transportader. Dagelijks varen zo'n 250 schepen voorbij onze kust. Om het ongevalrisico te beperken werden scheepvaartroutes afgebakend en maritieme wetten ingevoerd. De hoofdvaartroute loopt over Belgisch grondgebied. Belangrijke toegangsvaartroutes leiden naar de Schelde- en kusthavens. Maar op volle zee geldt echter steeds ook de vrijheid van scheepvaart. Rond het atol zal een veiligheidszone (500m) worden aangebracht die afgedwaalde schepen kan weghouden van het atol. Daarnaast moet de aanwezigheid van voldoende signalering (boeien, radarbakens, lichten, ...) ook preventief werken en het risico verkleinen.

4.3.3 Specifieke ecologische impact voor de locatiealternatieven

Voor de ene locatie zijn andere natuurwaarden belangrijk dan voor de andere, en voor sommige locaties is de beschikbare informatie eerder gelimiteerd. Desalniettemin proberen we hier een brede inschatting te maken van de impact op een aantal verschillende factoren voor alle vier potentiële locaties (zie Tabel 9).

De belangrijkste impact van een energieatol op zijn directe omgeving is de wijziging van erosie- en sedimentatiepatronen en de gevolgen voor de vorm en functionaliteit van de omliggende habitats. Hierbij is er een duidelijke afscheiding tussen de locatie Zeebrugge en de drie locaties op offshore zandbanken. Vanwege de nabijheid tot de kust zal de impact op sedimentatiepatronen het grootst zijn in Zeebrugge. Van nature uit bestaat aan de kust een meer dynamisch evenwicht tussen erosie

Locatiealternatief	Erosie en sedimentatie	Impact op vorm habitat	Impact op aquatische fauna	Impact op vogels	Mogelijkheid tot compensatie	Impact op zeezicht
Zeebrugge	(1) mogelijke verandering impact getijdewerking (2) verzanding aan kuststrook	(1) habitat reeds in antropogene invloedssfeer (2) atoldijken vormen nieuwe habitats	(1) potentiële positieve effecten op voedselketen door kolonisatie atoldijken (2) potentiële verandering in fauna/flora	(1) negatieve impact windmolenpark op atoldijken (2) gelegen ter hoogte van vogelrichtlijngebied	(1) atoldijken vormen broedplaats (2) zeer grote natuurcompensatie mogelijk in combinatie met visie Vlaamse Baaien	(1) uitbreiding van verstoring zeezicht
Thorntonbank	(1) gelimiteerde impact op stroming (2) lokaal verhoogde erosie en sedimentatie	(1) fundamentele verandering originele habitat (2) atoldijken vormen nieuwe habitats	(1) minder verstoring door scheepvaart (2) potentiële positieve effecten op voedselketen door kolonisatie atoldijken	(1) negatieve impact windmolenpark op atoldijken	(1) mogelijkheid tot aanleg van landtong met zandoverschot	(1) niet zichtbaar van de kust
Vlakte van de Raan	(1) gelimiteerde impact op stroming (2) lokaal verhoogde erosie en sedimentatie	(1) fundamentele verandering originele habitat (2) atoldijken vormen nieuwe habitats	(1) minder verstoring door scheepvaart (2) potentiële positieve effecten op voedselketen door kolonisatie atoldijken	(1) negatieve impact windmolenpark op atoldijken	(1) mogelijkheid tot aanleg van landtong met zandoverschot	(1) gelimiteerde zichtbaarheid van de kust
Gootebank	(1) gelimiteerde impact op stroming (2) lokaal verhoogde erosie en sedimentatie	(1) fundamentele verandering originele habitat (2) atoldijken vormen nieuwe habitats	(1) minder verstoring door scheepvaart (2) potentiële positieve effecten op voedselketen door kolonisatie atoldijken	(1) negatieve impact windmolenpark op atoldijken	(1) mogelijkheid tot aanleg van landtong met zandoverschot	(1) niet zichtbaar van de kust

Tabel 9: Overzicht ecologische impact locatiealternatieven

en sedimentatie, en kan een energieatol een verschuiving van deze dynamiek veroorzaken. Een mogelijk gevolg is de verdere verzanding van de kuststrook. Op zee is er meer sprake van een dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie, en zal de impact dan ook eerder lokaal blijven (verandering van zeebodem en relatief kleine verandering in stromingspatronen).

De impact op aquatische organismen wordt mee vormgegeven door de impact op de vorm van de habitats. Daarbij kan een potentiële verzanding aan de kust leiden tot een verschuiving in de soortensamenstelling van aquatische fauna en flora gemeenschappen. Daarnaast zorgt de aanleg van atoldijken voor meer diverse habitats, wat mogelijks tot een verrijking van de soortensamenstelling kan leiden. De impact op vogelgemeenschappen is onvermijdelijk negatief door de installatie van windmolens op de dijken van het atol.

Hoewel de grootste effecten dus aan de kuststrook te verwachten zijn, zorgt de nabijheid tot de kust er ook voor dat er een grotere mogelijkheid is om deze veranderingen actief vorm te geven. De mogelijkheid voor compenserende maatregelen is met andere woorden groter naarmate we dicht bij de kust komen. Bereikbaarheid voor onderhoud en eventuele creatie van nieuwe habitat voor de originele fauna is immers moeilijker bij langere afstand van de kust. Specifiek voor de locatie Zeebrugge past het atol binnen de verdere ontwikkeling van de haven. Bovendien voorziet deze visie een uitbreiding van beschikbaar gebied voor de beschermde soorten op het Sterneneiland en Baai van Heist.

Tenslotte is ook de impact op het zicht verbonden met de afstand tot de kust. In principe is de locatie die het verst verwijderd is van de kust hier de beste.

Besluit: ecologische impact-analyse van de locatiealternatieven

De bouw van een energieatol in de Noordzee zal lokaal een impact hebben op de erosie- en sedimentatieprocessen, de lokale habitats, de aquatische fauna, de avifauna en het zeezicht. De resulterende impact van het energieatol is daarom echter niet negatief. Er kan worden verwacht dat er zich ter hoogte van het energieatol meer diverse onderwaterhabitats ontwikkelen, wat een positief effect heeft op de aquatische fauna. Voor avifauna kan echter een negatief effect niet uitgesloten worden wanneer windmolens op de dijken van het energieatol worden geplaatst. Indien het energieatol relatief dicht bij de kust gelegen is, kan er ook een negatieve impact verwacht worden op het zeezicht. Voor compensatie van negatieve milieueffecten kunnen op het energieatol nieuwe natuurzones gecreëerd worden.

De locatiealternatieven die het dichtst bij de kust gelegen zijn, vertonen in het algemeen de grootste ecologische impact, maar bieden tegelijkertijd de grootste opportuniteit voor het inrichten van natuurcompensatiezones.

4.4 Financieel-economische analyse van de locatiealternatieven

In deze haalbaarheidsstudie wordt voor de uitvoering van de financieel-economische analyse uitgegaan van de huidige marktcondities en marktprijzen, meer bepaald van het jaar 2012.

De analyse is daarbij als volgt opgebouwd:

- Bepaling kostprijs voor de bouw en het onderhoud van het energieatol voor de vier locatiealternatieven.
- Benchmarking van de kostprijs met andere energieopslagsystemen.
- Rentabiliteit van het energieatol voor de hoofdfuncties.
- Exploitatie van de nevenfuncties en mogelijke aanpassingen aan het ontwerp van het energieatol ter verhoging van de rentabiliteit.

4.4.1 Bepaling kostprijs energieatol

Algemeen kunnen de kosten voor het energieatol onderverdeeld worden in investeringskosten en operationele kosten nodig om de hoofdfuncties uit te oefenen. De levensduur van het energieatol wordt naar analogie met andere pompaccumulatiecentrales en offshore projecten ingeschat op 50 jaar. De investeringskosten zullen daarbij over de volledige periode afgeschreven worden. De investeringskosten zullen rekening houden met de owner's costs en de engineering, procurement en constructiekosten (EPC). De operationele kosten omvatten de exploitatie en onderhoudskosten (O&M). Er wordt vanuit gegaan dat na de levensduur van 50 jaar, de infrastructuur van het energieatol nog een waarde heeft voor de verdere invulling van de hoofd- of nevenfuncties. De decommissioningkosten of ontmantelingskosten van het energieatol worden bijgevolg verondersteld nul te zijn.

In eerste instantie wordt een algemeen overzicht gegeven van de verschillende kosten. Vervolgens wordt een raming gegeven van deze kosten per locatiealternatief.

4.4.1.1 Investeringskosten

4.4.1.1.1 Civieltechnische werken

De investeringskosten voor de civieltechnische werken omvatten de ontwikkelingskosten, de baggerkosten, de kosten voor de constructie van de ringdijk en het waterdichte scherm en de uitvoeringskosten.

De ontwikkelingskosten voor de bouw van het atol omvatten eerst en vooral de studie, de dimensionering en het opstellen van de bouwplannen. Daarnaast omvatten ze alle kosten voor het voorbereidend terreinonderzoek, de aanvraag van de nodige vergunningen, de aanbesteding en de

toewijzing van het contract.

Voor de baggerwerken moeten naast de eigenlijke kosten voor het baggeren van het energieatol ook het transport en het aanbrengen en profileren van zand en grind begroot worden. De baggerwerken zullen daarbij in eerste benadering met een combinatie van performante sleephopperzuigers en een zeewaardige cutterzuiger uitgevoerd worden.

De kosten voor de constructie van de ringdijk als zeewering omvatten de aankoop, fabricage, transport en verwerking van de stenen in de zeewering (binnen- en buitentalud en teenbescherming). Hierbij wordt verondersteld dat al de uitgebaggerde sedimenten uit het atol volledig terug gebruikt worden in de kern van de aan te leggen ringdijk. Het waterdichte scherm wordt gerealiseerd met een cementbetonietwand.

De uitvoeringskosten, ten slotte, omvatten de mob en demob van het materieel, de inrichtingswerken van de site, personeelskosten, verzekeringen, etc.

4.4.1.1.2 Energietechnische werken

In de energietechnische investeringskosten zitten volgende posten vervat: turbines, machinekamer, inclusief aan- en afvoerleidingen, andere bovengrondse voorzieningen, hoogspanningskabel en aansluitingskosten.

De kostprijs per turbine, met een nominale capaciteit van 22 MW, wordt ingeschat op ca. 16 miljoen euro. Voor een energieatol met een maximaal vermogen van 440 MW met 20 turbines zal de kostprijs bijgevolg 320 miljoen euro bedragen.

De machinekamer omvat alle machines, elektriciteitskabels naar de transformatoren en de aan- en afvoerleidingen. De constructie van de machinekamer zal gebeuren "in den natte", waarbij de elementen vooraf vervaardigd worden om dan over zee getransporteerd en afgezonken te worden (cf. caissonconstructie). De caissons moeten daarbij voor een deel in de zeebodem gegraven worden, waardoor eerst een overdiepte moet aangelegd worden. Voor de aanleg van aan- en afvoerleidingen zal een tunnelsleuf uitgebaggerd worden, waarna de geprefabriceerde tunnelementen afgezonken worden.

Daarnaast zullen ook de nodige bovengrondse voorzieningen moeten gebouwd worden: controlekamer, transformatoren, opslagplaats voor materiaal, werkplaats, weg, verlichting en elektriciteitscabine.

4.4.1.1.3 Investeringsaftrek

De totale investeringskosten dienen nog gecorrigeerd te worden met mogelijk te verkrijgen subsidies. Voor het energieatol werd met een verhoogde investeringsaftrek rekening gehouden.

De investeringsaftrek is een fiscaal voordeel waarbij men een bepaald percentage van de aanschaffingswaarde van de investeringen mag aftrekken van de belastbare winst. In deze haalbaarheidsstudie wordt ervan uit gegaan dat voor het energieatol een eenmalige investeringsaftrek van 15,5% zal bekomen worden, naar analogie met de investeringsaftrek die geldt voor offshore windmolenparken, aangezien het gaat om een milieuvriendelijke investering in onderzoek en ontwikkeling.

4.4.1.1.4 Investeringskosten per locatiealternatief

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de totale investeringskosten van het energieatol voor de vier verschillende locatiealternatieven.

	Zeebrugge	Thorntonbank (*)	Vlakte van de Raan (*)	Gootebank (*)
Civieltechnische investeringskosten	532.980.000	881.040.000	888.480.000	911.224.000
Ontwikkelingskosten	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000
Baggeren, transport en aanbrengen en profileren van zand en grind	119.280.000	148.000.000	131.840.000	147.184.000
Constructie ringdijk als zeewering	322.640.000	638.500.000	659.300.000	659.300.000
Constructie waterdicht scherm	41.440.000	41.440.000	41.440.000	41.440.000
Uitvoeringskosten	42.320.000	45.600.000	48.400.000	55.800.000
Energietechnische investeringskosten	464.060.000	461.660.000	480.860.000	495.260.000
Turbines	320.000.000	320.000.000	320.000.000	320.000.000
Caissonconstructie	100.000.000	100.000.000	100.000.000	100.000.000
Bovengrondse voorzieningen	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000
Kabel & transformatie	16.000.000	12.000.000	28.800.000	39.200.000
Oriëntatie & detailstudie	60.000	60.000	60.000	60.000
Uitvoeringskosten	20.000.000	21.600.000	24.000.000	28.000.000
Investeringsaftrek	-134.600.000	-181.300.000	-184.900.000	-189.900.000
TOTALE INVESTERINGSKOSTEN	862.440.000	1.161.400.000	1.184.440.000	1.216.584.000

Tabel 10: Investeringskosten energieatol vier locatiealternatieven

(*)De investeringskost voor de drie locatiealternatieven dieper in zee (Thorntonbank, Vlakte van de Raan en Gootebank) is door de complexere constructie en werkomstandigheden onzeker. Er moet rekening mee gehouden worden dat deze kosten hoger kunnen uitvallen dan hier begroot (+25%).

Voor het locatiealternatief Zeebrugge wordt de ontwikkeling van het energieatol daarbij gekoppeld aan de zeewaartse havenuitbreiding van Zeebrugge. Hierdoor kunnen bepaalde kosten gedeeld worden. Zo wordt de gemeenschappelijke dijk met het strandmeer verondersteld als aanleunend bij het aangelegd strandmeer-zandmassief in het kader van het Vlaamse Baaien-project. De

gemeenschappelijke dijk langs de kant van de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge wordt verondersteld als volledig ten laste van deze uitbreiding. Enkel de binnenafwerking (profilering en afwerking) met de afdeklaag van het energieatol wordt in deze kosten opgenomen.

Voor de Thorntonbank werd rekening gehouden met een mogelijke combinatie met het alfa-eiland. Zo werden onder meer de kosten voor de baggerwerken gereduceerd door het feit dat het zand voor de aanleg van het alfa-eiland kan gebaggerd worden ter hoogte van de overdiepte van het energieatol. Bovendien kunnen ook de kosten voor de bouw van de ringdijk geoptimaliseerd worden door een deel van het alfa-eiland te gebruiken als ringdijk van het energieatol. Tot slot kunnen ook kosten bespaard worden door het alfa-eiland deels te gebruiken als uitvalsbasis, stockageplaats voor materiaal, etc.

4.4.1.2 Financieringskosten

De totale investeringskosten voor de vier locatiealternatieven variëren van ca. 900 miljoen € tot ca. 1,2 miljard €. De partij die het energieatol zal realiseren zal het energieatol vermoedelijk niet enkel met eigen middelen financieren. Bijgevolg zal een deel van het kapitaal geleend moeten worden. Hierbij werd er vanuit gegaan dat 70% via vreemd vermogen gefinancierd zal worden aan een interestvoet van 6% en op een termijn van 15 jaar.

Dit wil zeggen dat voor het energieatol van Zeebrugge over 15 jaar een totale financieringskost van ca. 335 miljoen € moet in rekening worden gebracht. Voor de locatiealternatieven Thorntonbank, Vlake van de Raan en Gootebank zal de financieringskost respectievelijk 451 miljoen €, 460 miljoen euro en 472 miljoen euro bedragen.

4.4.1.3 Jaarlijkse kosten

De jaarlijkse kosten zullen bestaan uit de kosten voor de exploitatie en het onderhoud van het energieatol (O&M kosten).

In de jaarlijkse O&M kosten voor de waterbouwkundige constructie zitten de herstellingen van de binnentalud dijkbekleding, herstellingen aan het waterdicht scherm, jaarlijkse baggerwerken, het vervangen van deklaagelementen, uitvoeringskosten en onvoorziene kosten. Daarnaast zijn er ook jaarlijkse O&M kosten voor de pompturbines. Deze worden begroot op 2% van deze investeringskosten.

De jaarlijkse O&M kosten zullen daarbij 7,4 miljoen € bedragen voor Zeebrugge, 7,6 miljoen € voor de Thorntonbank, 7,8 miljoen € voor de Vlake van de Raan en 8,2 miljoen € voor de Gootebank.

Besluit: bepaling kostprijs energieatol

De investeringskost voor de bouw van het energieatol bedraagt voor de verschillende locatiealternatieven respectievelijk:

- | | |
|---------------------------------|----------------|
| • Energieatol Zeebrugge: | 860 miljoen € |
| • Energieatol Thorntonbank | 1,16 miljard € |
| • Energieatol Vlake van de Raan | 1,18 miljard € |
| • Energieatol Gootebank | 1,22 miljard € |

Deze kosten omvatten de civieltechnische constructiekosten, de energietechnische constructiekosten evenals de investeringsaftrek. Voor het energieatol Zeebrugge werd rekening gehouden met een gereduceerde investeringskost door een combinatie met de uitbreiding van de haven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien. Voor het energieatol Thorntonbank werd uitgegaan van een combinatie met het alfa-eiland van het Stopcontact op Zee. Door complexere constructie- en werkomstandigheden voor de diepzee locatiealternatieven (Thorntonbank, Vlake van de Raan en Gootebank) moet ermee worden rekening gehouden dat de geraamde investeringskosten hoger kunnen uitvallen (tot +25%).

Daarnaast zal de exploitatie van het energieatol ook de jaarlijkse O&M kosten met zich meebrengen. Deze worden voor de verschillende locatiealternatieven ingeschat op:

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| • Energieatol Zeebrugge: | 7,4 miljoen € |
| • Energieatol Thorntonbank | 7,6 miljoen € |
| • Energieatol Vlake van de Raan | 7,8 miljoen € |
| • Energieatol Gootebank | 8,2 miljoen € |

Het is duidelijk dat vooral het energieatol Zeebrugge een gevoelig lagere kost vertoont in vergelijking met de andere locatiealternatieven. Dit is voornamelijk te wijten aan het feit dat het kan gecombineerd worden met andere offshore projecten waardoor bepaalde infrastructuur gemeenschappelijk kan worden gebruikt. Ook de geringe afstand van het energieatol tot de kust speelt in het voordeel van het energieatol Zeebrugge.

4.4.2 Benchmarking kostprijs met andere elektriciteitsopslagsystemen

Om de totale kosten voor de bouw en de exploitatie van het energieatol te kunnen situeren wordt een benchmarking uitgevoerd met andere elektriciteitsopslagsystemen. Voor een overzicht van de bestaande opslagsystemen en hun kenmerken wordt een beroep gedaan op reeds beschikbare studies via het JRC, het Joint Research Centre van Europa (Joint Research Centre, 2011).

De benchmarking zal gebeuren op basis van de investeringskost per geïnstalleerd vermogen uitgedrukt in €/kW.

In Figuur 3 werd reeds een overzicht gegeven van mogelijke elektriciteitsopslagsystemen, waarbij het energieatol onder de categorie van pompaccumulatiecentrale valt. Uit deze figuur kon afgeleid worden dat de investeringskost per kW voor bestaande systemen varieert van 500 tot 3.600 €/kW.

Indien het energieatol zich binnen deze range zou bevinden, is dit een sterke indicatie dat het project competitief kan zijn in vergelijking met andere pompaccumulatiecentrales. De kostprijs per geïnstalleerd vermogen (investeringskost/kW) voor de vier locatiealternatieven wordt daarbij weergegeven in onderstaande tabel.

Omschrijving	Zeebrugge	Thorntonbank	Vlakte van de Raan	Gootebank
Investeringskosten (€)	862.444.000	1.161.400.000	1.184.440.000	1.216.584.000
Vermogen (kW)	440.000			
Kostprijs /vermogen (€/kW)	1.960	2.640	2.690	2.765

Tabel 11: Investeringskost / kW geïnstalleerd vermogen per locatiealternatief

Hieruit blijkt dat het energieatol van Zeebrugge zich ruim binnen de range van pompaccumulatiecentrales bevindt (500-3.600€/kW). Ook de energieatollen aan de Thorntonbank de Vlakte van de Raan en de Gootebank bevinden zich nog binnen de range. Bijgevolg kunnen de vier locatiealternatieven als competitief beschouwd worden in vergelijking met andere pompaccumulatiecentrales.

Besluit: benchmarking energieatol met gelijkaardige elektriciteitsopslagsystemen.

De kostprijs van het energieatol werd gesitueerd binnen de kostprijs voor andere pompaccumulatiecentrales, uitgedrukt in investeringskost per kW. Aangezien elk locatiealternatief zich in de range bevindt van andere pompaccumulatiecentrales kan het energieatol als competitief beschouwd worden.

4.4.3 Rentabiliteit van het energieatol

De rentabiliteit van het energieatol kan worden bepaald door de kosten voor de bouw en de exploitatie te vergelijken met de opbrengsten die kunnen gegenereerd worden. In eerste instantie wordt een algemeen overzicht gegeven van de opbrengsten uit de hoofdfuncties. Om deze opbrengsten te kunnen inschatten is een simulatie gemaakt van hoe het energieatol in Zeebrugge zou kunnen inspelen op de marktvraag naar secundaire reserve en ARP-buffering voor het jaar 2012. Met deze inkomsten kan dan de rentabiliteit van het energieatol bepaald worden.

4.4.3.1 Opbrengsten uit exploitatie hoofdfuncties energieatol

Het energieatol kan ingezet worden voor volgende hoofdfuncties:

- Als snel inschakelbare reserve voor Elia.
- Als buffer voor het opvangen van onevenwichten van ARP's.
- Prijsarbitrage.

Als **snel inschakelbare reserve** kan het energieatol gecontracteerde primaire en secundaire reserves aan Elia aanbieden. De prijzen hiervoor worden jaarlijks in een ministerieel besluit afgekondigd. Voor 2012³³ werden de aangeleverde volumes aan volgende vastgelegde prijzen vergoed:

- 27,1 euro per MW per uur voor de producent die ertoe gehouden is primaire en secundaire reserves ter beschikking te stellen enkel tijdens periodes van piekuren.
- 31,9 euro per MW per uur voor producenten die ertoe gehouden zijn primaire en secundaire reserves ter beschikking te stellen tijdens periodes van piekuren, daluren en weekenduren.

Voor 2013 bedraagt de reserveringsvergoeding voor secundaire reserve 45 euro per MW per uur.

Naast deze reserveringsvergoeding is er ook een vergoeding voor de werkelijk geleverde energie als secundaire reserve. Deze vergoeding is nooit lager dan 50 EUR/MWh maar kan tijdens grote tekorten wel hoger liggen.

Elia doet naast de secundaire reserves ook beroep op de zogenaamde **bids+** om het evenwicht te bewaren. Bij dit systeem koopt Elia vermogen per opbod om een tekort weg te werken. Het energieatol kan via dit systeem ook bijdragen tot het bewaren van het evenwicht. Aangezien van het bids+ systeem meestal wordt gebruik gemaakt bij grote tekorten liggen de vergoedingen gevoelig hoger dan de gemiddelde elektriciteitsprijs.

Daarbovenop kan het energieatol ook ingezet worden als **buffer voor het opvangen van onevenwichten van ARP's**. Zo kunnen de onevenwichtskosten - die ARP's aan Elia verschuldigd zijn –

³³ Ministerieel besluit van 23/12/2011 houdende het opleggen van prijs- en leveringsvoorwaarden voor het leveren in 2012 van de primaire en secundaire regeling door verschillende producenten

vermeden worden. Er wordt vanuit gegaan dat de inkomsten voor het energieatol 75% bedraagt van de vermeden boete van de ARP.

Ter aanvulling van bovenstaande functies kan het energieatol ook inspelen op verschillen in de prijs van elektriciteit op bepaalde tijdstippen op de energiebeurs (**prijsarbitrage**). Economisch gezien is het interessant om elektriciteit aan te kopen en op te slaan aan een lage prijs en vervolgens opnieuw op de markt te brengen aan een hoge prijs.

4.4.3.1.1 Opbouw van het model

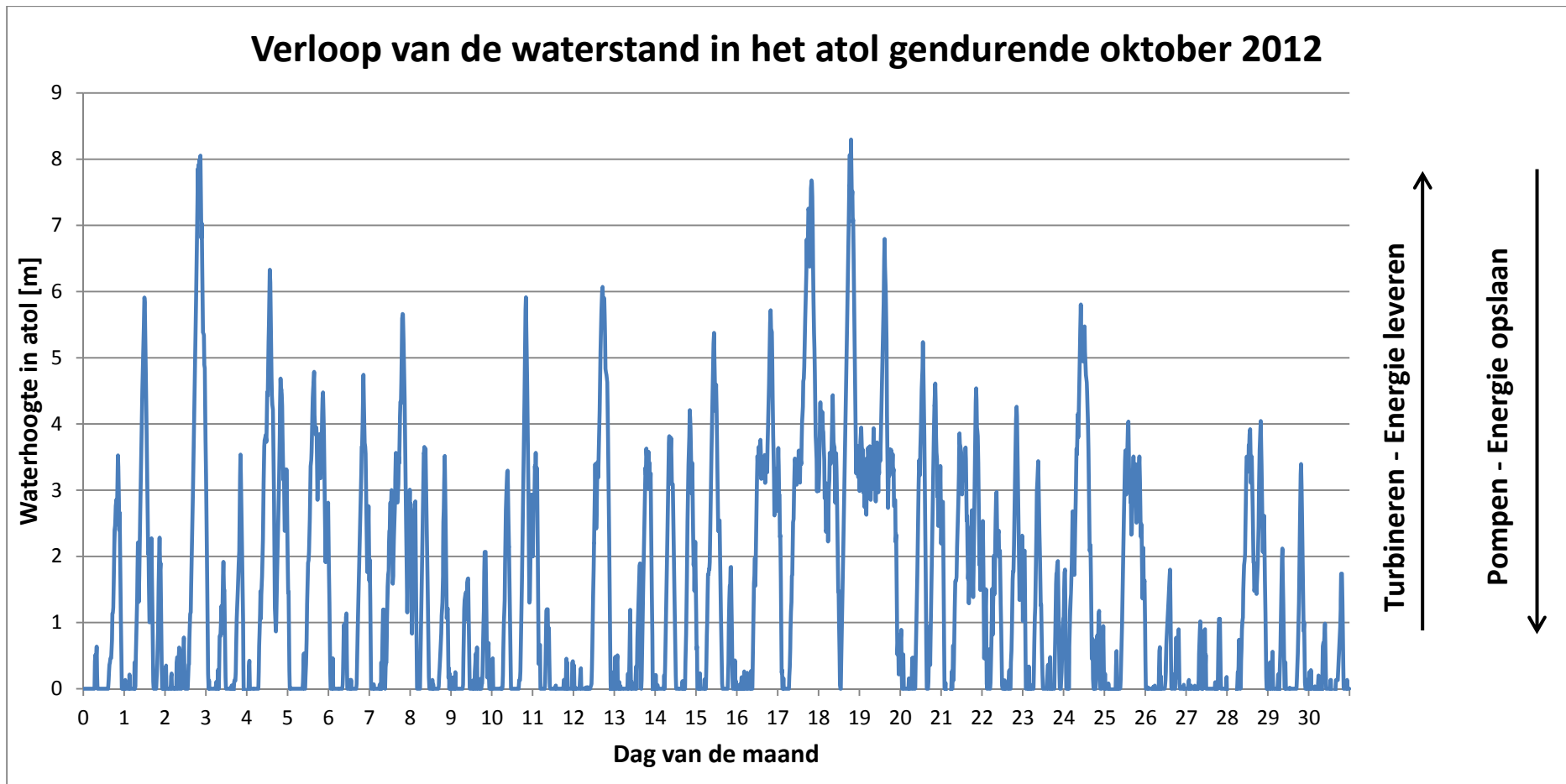
Het model dat opgesteld is om de inkomsten uit de primaire functies in te schatten maakt gebruik van de werkelijke gegevens van 2012. De gevraagde volumes en prijzen van secundaire reserves, bids+ en onevenwichten van ARP's zijn op kwartierbasis beschikbaar op de website van Elia. De huidige regelgeving bepaalt dat Elia maximaal 50 MW secundaire reserve mag reserveren bij 1 leverancier. In deze simulatie is dit dan ook het maximale vermogen dat als secundaire reserve geleverd wordt. Voor de elektriciteitsprijs wordt de spotprijs op de Belpex gebruikt. Met al deze gegevens kan een model worden opgesteld dat de werking van het energieatol simuleert.

De belangrijkste functie van het energieatol is het leveren van secundaire reserve aan Elia. Het model is dan ook zo opgebouwd dat aan deze vraag altijd voldaan is. Pas in tweede instantie en als de energie-inhoud van het atol voldoende hoog is, wordt er energie geleverd aan de ARP's. Dit systeem van minimale energie-inhoud zorgt ervoor dat er altijd een zekere hoeveelheid energie opgeslagen is in het atol, een buffer, om altijd aan de vraag van Elia naar secundaire reserve te kunnen voldoen. In derde instantie wordt dan energie geleverd aan Elia via de bids+. Aan prijsarbitrage wordt enkel gedaan als de prijzen op de Belpex hoog zijn.

4.4.3.1.2 Resultaten

De simulatie werd uitgevoerd voor het volledige jaar 2012. Bij wijze van voorbeeld wordt de werking van het energieatol voor de maand oktober weergegeven op Figuur 38. Op deze figuur wordt de waterstand in het atol uitgezet in functie van de tijd. Als de waterstand 0 meter bedraagt, betekent dit dat het atol leeg is en de energie-inhoud dus maximaal is. Bij stijgende waterhoogte loopt er water in het atol en wordt er energie geleverd, bij dalende waterhoogte wordt er water uit het atol gepompt en energie opgeslagen. Als de waterhoogte 11 meter bedraagt zit het atol vol en kan er geen energie meer geleverd worden. De energie-inhoud is dan 0.

Uit de simulatie werden de geleverde of opgeslagen volumes aan energie afgeleid. De inkomsten hieruit werden bepaald door deze volumes te vermenigvuldigen met de marktprijzen op dat ogenblik. Van deze inkomsten moet echter nog de elektriciteitskost van het pompen en de injectie- en afnamevergoedingen verschuldigd aan Elia worden afgetrokken. De 'netto'-inkomsten voor het energieatol Zeebrugge worden dan samengevat in Tabel 12.



Figuur 38: Voorbeeld van de werking van het atol Zeebrugge gedurende oktober 2012

Functie	Opbrengst (EUR)
Secundaire reserve:	
• Activeringsvergoeding	11.844.317
• Reserveringsvergoeding	13.972.200
Totaal secundaire reserve:	25.816.517
ARP buffering	7.853.391
Prijsarbitrage	374.795
TOTAAL	34.044.703

Tabel 12: Gesimuleerde opbrengsten energieatol Zeebrugge in 2012.

Zoals te zien is in Tabel 12 bestaat de opbrengst uit secundaire reserve uit twee delen. Eén deel is de eerder vermelde reserveringsvergoeding, de vergoeding voor het ter beschikking stellen van reservevermogen. Het andere deel is de activeringsvergoeding. Dit is een vergoeding voor de werkelijk geleverde energie aan Elia. Uit de resultaten blijkt dat de reserveringsvergoeding een belangrijke bron van inkomsten is. Het permanent beschikbaar stellen van een bepaald vermogen legt dan ook aanzienlijke beperkingen op aan de werking van het atol.

Om het rendement van het atol te kunnen bepalen wordt de Return on Equity (ROE) berekend. De ROE geeft de verhouding weer tussen de jaarlijkse nettowinst en het geïnvesteerd eigen vermogen. Het is dus een maat voor de rentabiliteit van het eigen vermogen. De ROE werd berekend op basis van volgende veronderstellingen:

- Het CAPEX-bedrag, de initiële investeringskost, werd integraal uitgegeven in jaar 0, het jaar voorafgaand aan de exploitatie.
- De gebruikte interestvoet bedraagt 6%
- Een inflatie van 2% per jaar.
- Projectfinancieringskosten zoals commitment fees en interim interesten werden niet in rekening gebracht.
- De terugbetalingstermijn van de lening bedraagt 15 jaar.
- De verdeling tussen geleend en eigen kapitaal bedraagt 70/30.

Rekening houdend met bovengenoemde opbrengsten en veronderstellingen zou bijvoorbeeld voor het energieatol Zeebrugge op een termijn van 50 jaar een rentabiliteit (ROE) van 2,07% bekomen worden.

4.4.3.1.3 Verhoging van het gereserveerd secundair vermogen

Zoals eerder vermeld kan Elia volgens de huidige regels maximaal 50 MW reserveren bij één leverancier. Er wordt echter verwacht dat door de sterke toename van de productie van hernieuwbare energie Elia meer beroep gaat moeten doen op secundaire reserves om het evenwicht te bewaren. Hierdoor kan verondersteld worden dat gereserveerde secundaire reserves in de toekomst omhoog zullen gaan.

Op basis van de evolutie in reserveringsvergoedingen in de jaren 2011 (19,4 EUR/MW/uur), 2012 (31,9 EUR/MW/uur) en 2013 (45,0 EUR/MW/uur) kan er vanuit gegaan worden dat deze in de toekomst mogelijk nog verder stijgen.

Om het effect van deze eventuele veranderingen te kunnen inschatten zijn er twee extra simulaties uitgevoerd:

- Eén waarbij het gereserveerd vermogen opgetrokken wordt naar 150 MW en de reserveringsvergoeding dezelfde blijft (i.e. 31,9 EUR/MW/uur).
- Eén met ook 150 MW aan gereserveerd vermogen maar waarbij de reserveringsvergoeding verdubbeld wordt (i.e. 63,8 EUR/MW/uur).

De resultaten van deze twee en de oorspronkelijke simulatie voor het energieatol Zeebrugge zijn samengevat in Tabel 13.

Scenario	Gereserveerd Vermogen [MW]	Reserveringsvergoeding [EUR/MW/uur]	ROE Zeebrugge
1	50	31,9	2,07 %
2	150	31,9	5,70 %
3	150	63,8	11,58 %

Tabel 13: Overzicht van de resultaten voor 3 scenario's

Uit de tabel blijkt duidelijk dat het verhogen van het gereserveerde vermogen en de reserveringsvergoeding een grote en gunstige invloed heeft op de rentabiliteit van het project.

De resultaten voor de verschillende locatiealternatieven volgens de drie scenario's zijn te zien in Tabel 14.

Scenario	ROE Zeebrugge	ROE Thorntonbank	ROE Vlakte van de Raan	ROE Gootebank
1	2,07 %	0,78 %	0,70 %	0,60 %
2	5,70 %	3,73 %	3,63 %	3,48 %
3	11,58 %	7,97 %	7,79 %	7,55 %

Tabel 14: Resultaat voor de verschillende locatiealternatieven

Door de hogere investeringskost ligt het rendement van de andere locatiealternatieven gevoelig lager dan dit van Zeebrugge.

Besluit: rentabiliteit van het energieatol

Het atol kan inkomsten krijgen door het uitoefenen van volgende hoofdfuncties:

- **Secundaire reserve voor Elia:**
 - Reserveringsvergoeding
 - Activeringsvergoeding
- **Buffer voor de ARP's**
- **Prijsarbitrage**

De rentabiliteit van het energieatol (ROE) kan, als gevolg van verwachte evoluties op het gebied van de reservering van secundair vermogen, bepaald worden volgens verschillende scenario's:

1. 50 MW secundair vermogen aan 31,9 EUR/MW/uur
2. 150 MW secundair vermogen aan 31,9 EUR/MW/uur
3. 150 MW secundair vermogen aan 63,8 EUR/MW/uur

Een simulatie volgens de gegevens van 2012 geeft volgende resultaten (ROE) voor de vier locatiealternatieven:

Scenario	Zeebrugge	Thorntonbank	Vlakte van de Raan	Gootebank
1	2,07 %	0,78 %	0,70 %	0,60 %
2	5,70 %	3,73 %	3,63 %	3,48 %
3	11,58 %	7,97 %	7,79 %	7,55 %

Hieruit blijkt dat de verhoging van het gereserveerde secundaire vermogen en de reserveringsvergoeding een grote en gunstige invloed hebben op de rentabiliteit van het project. De rentabiliteit ligt dus in de range 2,07-11,58% voor Zeebrugge, 0,78-7,97% voor de Thorntonbank, 0,70-7,79% voor de Vlakte van de Raan en 0,60-7,55% voor de Gootebank.

Er kan ook vastgesteld worden dat door de lagere investeringskosten het energieatol van Zeebrugge een hoger rendement heeft dan de andere locatiealternatieven.

4.4.4 Optimalisatie van de rentabiliteit

De rentabiliteit van het energieatol kan nog verder verhoogd worden via de inrichting van nevenfuncties en door een aanpassing aan het ontwerp.

4.4.4.1 Optimalisatie rentabiliteit door nevenfuncties

Nevenfuncties zijn functies die gebruik maken van de beschikbare infrastructuur van het energieatol voor het inrichten van aanvullende activiteiten. De nevenfuncties zijn belangrijk voor het vergroten van het draagvlak met het oog op de realisatie van een energieatol, zowel maatschappelijk als financieel.

De volgende nevenfuncties worden onderscheiden:

- Productie van groene stroom uit windenergie.
- Oprichting van een marien wetenschappelijk centrum.
- Natuurzones.
- Schuilhaven.
- Uitvalsbasis voor herstellingen aan offshore windmolenparken.
- Algenkweek.
- Toerisme.
- Kustbescherming.
- Productie van groene stroom uit getijdenenergie.

In de volgende paragrafen wordt elke van deze functies toegelicht.

4.4.4.1.1 Productie van groene stroom uit windenergie

Tijdens de voorbije jaren werd fors geïnvesteerd in de bouw van offshore windmolenparken. Dit gezien de grote beschikbare ruimte op de Noordzee maar vooral omdat de windcondities er zeer voordelig zijn. Zo zal een offshore windmolen ongeveer 40% van de tijd op vollast kunnen draaien, terwijl dit voor een onshore windmolen slechts 20 à 25% is.

Volgens een studie van de CREG (CREG, 2011) bedraagt de investeringskost voor offshore wind ongeveer 3.800.000 € per geïnstalleerde MW. Deze kost ligt gevoelig hoger dan deze voor onshore wind (1.366.000 €/MW) (CREG, 2010). Een zeer groot deel van deze meerkost moet toegeschreven worden aan de complexe funderingstechnieken voor offshore windmolens.

De hoge kostprijs voor het bouwen van de funderingen van offshore windmolens zou kunnen verminderd worden wanneer de dijken van het energieatol zouden worden gebruikt voor het plaatsen van windmolens. Met deze windmolens kan het energieatol groene elektriciteit opwekken.

Indien op de dijken van het atol een 16-tal windmolens geïnstalleerd zouden worden met nominaal vermogen van 6 MW, zou per jaar ongeveer 336.000 MWh aan groene elektriciteit geproduceerd worden. Hiermee kunnen ongeveer 96.000 gezinnen gedurende 1 jaar van stroom worden voorzien (stroomverbruik van 3.500 kWh/gezin/jaar (VREG, 2012)).

Aangezien het energieatol van Zeebrugge dicht bij de kust ligt, wordt hier geopteerd om kleinere windturbines te gebruiken zodat de invloed op het landschap minder groot is. Naar analogie met de reeds geplaatste turbines op de dijken van de voorhaven van Zeebrugge zullen deze turbines een nominaal vermogen van 0,8 MW hebben.

Het plaatsen van windturbines op het energieatol is haalbaar. Door gebruik te maken van de dijken van het energieatol hoeven geen complexe offshore funderingstechnieken gebruikt te worden. De windmolens kunnen instaan voor de energievoorziening op het energieatol en voor de levering van groene stroom aan het hoogspanningsnet.

4.4.4.1.2 Oprichting marien wetenschappelijk centrum

In de buurlanden Nederland en Frankrijk bestaat er een nationaal wetenschappelijk centrum voor het onderzoek van de zee. In Nederland is dit het NIOZ “Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, in Frankrijk is dit het Ifremer “Institut Français de REcherche pour exploitation de la MER”. Het NIOZ heeft vestigingen op Texel en Yerseke. Het Ifremer telt 26 vestigingen langs de Franse Kust en in de Franse overzeese gebieden.

Beide instituten werden opgericht voor het uitvoeren van fundamenteel en toegepast wetenschappelijk onderzoek voor estuaria, zeeën en oceanen.

In België bestaat er geen equivalent instituut voor de Noordzee. Vlaanderen kent het Vlaams Instituut voor de Noordzee (VLIZ) dat een coördinatie- en informatieplatform is voor zeewetenschappelijk onderzoek. Maar het VLIZ ontplooit zelf geen onderzoeksactiviteiten.

De infrastructuur van een energieatol biedt een uitstekende opportuniteit voor de oprichting van een marien wetenschappelijk centrum. Het centrum zou kunnen worden opgericht op een verbreding van de dijken in de golfluwe zone van het energieatol.

Het centrum zou een voortrekkersrol kunnen spelen in het wetenschappelijk onderzoek naar:

- De mariene ecologie. Deze studies richten zich op het bestuderen en begrijpen van de mariene ecosystemen, variërend van plankton, benthos, vissen, vogels tot zoogdieren.
- De mariene biochemie. Dit domein bestudeert de oorsprong en het lot van organische materialen op moleculair niveau en kan bijdragen aan de zoektocht naar hernieuwbare grondstoffen uit zeeorganismen (bv. algen).
- “Blauwe” hernieuwbare energiebronnen, zoals golfenergie, OTEC (ocean thermal energy conversion) of het omzetten van het temperatuursverschil tussen het water aan de oppervlakte en de diepere lagen in de zee voor het opwekken van elektriciteit, etc.
- Nieuwe of verbeterde baggertechnieken.

- Productie van drinkbaar water uit zout water (ontzilting).
- Effecten van de klimaatsverandering op zeewaterspiegel, golfhoogte, windkracht, etc.

Verder kan het centrum een ontmoetingsplaats vormen voor alles wat te maken heeft met Cleantech en kan het een locatie bieden voor inrichten van seminaries, congressen, netwerking-events, etc.

De oprichting van een marien wetenschappelijk centrum zou een grote en belangrijke sprong voorwaarts betekenen voor het marien onderzoek en het onderzoek naar “blauwe” hernieuwbare energie. Het onderzoekscentrum zou ook een belangrijke bijdrage kunnen leveren in het consolideren van de positie van België aan de wereldtop voor wat betreft offshore-technieken.

4.4.4.1.3 Creatie natuurzones

In België in het algemeen en in Vlaanderen bij uitstek is er een grote druk op de beschikbare ruimte. Ook aan de Belgische kust is dit probleem pertinent. De toename van het toerisme heeft de voorbije decennia de al korte kuststrook sterk verstedelijkt. Daarbovenop is er vanuit de Vlaamse havens een groeiende vraag naar meer ruimte voor de uitbouw van nieuwe havenactiviteiten.

Wil men in de toekomst nieuwe toeristische, haven- of andere projecten aan de kust realiseren dan zal er onvermijdelijk ruimte moeten bijkomen voor natuurcompensatie.

Het energieatol biedt de mogelijkheid om deze **natuurcompensatie op zee** te realiseren.

De dijken van het atol bieden een hard substraat onder water wat zal leiden tot een verhoogde biodiversiteit van de mariene fauna. Hierdoor zal ook de abundantie en de biomassa van bepaalde soorten toenemen.

Ook boven het waterniveau kan er aan natuurcompensatie worden gedaan. De dijken van het energieatol kunnen dienen als broed- en foerageerplaatsen voor vogels. Met het eventuele overschot aan zand dat vrijkomt bij de bouw van het energieatol, kan aansluitend op de dijken een droogvallende plaat of laag overstroombaar eiland worden aangelegd. Op deze locaties kunnen zeezoogdieren een nieuwe leefruimte vinden.

Met het energieatol kunnen nieuwe natuurcompensatiezones gecreëerd worden en dit zowel onder als boven het zeewaterniveau. Op deze manier kan een belangrijke drempel worden weggenomen voor de ontwikkeling van nieuwe projecten aan de Belgische Kust of langs de Westerschelde.

4.4.4.1.4 Algenkweek

Binnen het energieatol is er een groot volume aan water beschikbaar dat in zekere mate is afgeschermd van de ruwe Noordzee. Deze wateroppervlakte zou kunnen gebruikt worden voor het kweken van algen.

Algen zijn op te delen in twee grote groepen: microalgen en macroalgen. Microalgen worden minder frequent gekweekt en de kweekinfrastructuur vergt een aanzienlijke investering. Voor algenkweek in het energieatol lijken daarom de macroalgen de beste optie. De macroalgenssoort *Laminaria* is het meest geschikt op basis van de resistentie tegen parasieten, de eenvoud van oogsten, de gemiddelde opbrengsten, etc.

De meest aangewezen kweekmethode voor het energieatol is een kweek op lange lijnen. Lange lijnen zijn draden gemaakt van synthetische vezels waarop de algen kunnen bevestigd worden. De constructie is eenvoudig, gemakkelijk uitbreidbaar maar is wel gevoelig aan mechanische beschadiging.

Het kweken van algen in het energieatol moet rekening houden met de structuur en de werking van het atol. Zo zullen de wisselingen tussen pompen en turbineren zorgen voor een sterk variërende waterstand en stromingen. De lijnen zullen hierop voorzien moeten zijn en zullen ook best parallel met de stromingsrichting van het water geplaatst worden. Omwille van de afstand die best bewaard wordt tot de zone van de turbines van het atol, de schuine dijken van het atol en de oogstmethode wordt geschat dat de algenkweek kan toegepast worden op 50% van het totale wateroppervlak. Aangezien er voldoende in- en uitstroom van vers zeewater is, zullen geen extra nutriënten moeten toegevoegd worden. De aanwezigheid van zout zeewater impliceert dat enkel zoutwaterorganismen gekweekt kunnen worden en de gebruikte materialen corrosiebestendig moeten zijn. Door de soms hoge windsnelheden op zee en het feit dat er binnen het atol ook golven kunnen gevormd worden, moeten de lijnen en hun aanhechtingen mechanisch sterk genoeg zijn. Bij het loskomen van de lijnen kunnen deze in de turbines terechtkomen en grote schade aanrichten.

Aangezien er voor de groei van algen warmte en licht nodig zijn, wordt er vanuit gegaan dat de productie beperkt is tot 250 à 300 dagen per jaar. De oogst kan handmatig of machinaal gebeuren, waarbij machinaal de economisch meest interessante optie is. De machinale oogst gebeurt door middel van een daarvoor uitgerust oogstschip dat in het atol zal worden gebracht.

Na de oogst worden de algen als eerste stap in de verwerking gedroogd. Dit kan handmatig maar gebeurt best via daarvoor uitgeruste droogmachines. Deze droging kan op het atol uitgevoerd worden. Daarna kunnen de nuttige bestanddelen aan land geëxtraheerd worden.

Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de mogelijkheid voor de kweek van algen in het energieatol, wordt verwezen naar de studie van het VITO "Algenkweek in een energieatol" dd. december 2012. Het eindrapport van deze studie is beschikbaar bij Ecorem nv.

4.4.4.1.5 Toerisme

Door de hoge ontwikkelingsdruk voor toerisme aan de Vlaamse Kust zijn de voorbije decennia veel duingebieden ingenomen voor de bouw van hoge flatgebouwen. Om de kwaliteit van de kust te verbeteren is er nood aan nieuwe ruimte.

Door het energieatol bereikbaar te maken voor toeristen via een passagiershaven of jachthaven en het bouwen van een verblijf, kunnen nieuwe toeristische activiteiten ontwikkeld worden.

Deze ontwikkeling zou een bijdrage kunnen leveren aan de werkgelegenheid en de economie in de kustregio.

4.4.4.1.6 Schuilhaven

Scheepsrampen als met de Tricolor en de Prestige tonen de nood aan van een duurzame oplossing voor het opvangen van geaccidenteerde schepen op de Noordzee. Op dit ogenblik ligt deze verantwoordelijkheid bij de havens in het bredere verzorgingsgebied van de Westerscheldemonding en de zuidelijke Noordzee. Maar in praktijk zijn weinig havens bereid deze schepen te herbergen.

De bouw van een offshore schuilhaven die deze functie kan vervullen is een mogelijke oplossing, maar de hoge kostprijs van dergelijk project verhindert de realisatie.

Indien de schuilhaven kan gecombineerd worden met de bouw van een energieatol, is het project mogelijk wel financierbaar.

Dergelijke schuilhaven kan aan schepen in nood de volgende faciliteiten bieden (THV Noordzee en Kust, 2009):

- Mogelijkheden voor noodnauwkeurigheid en noodreparaties boven en onder het waterniveau.
- Mogelijkheid voor het bergen van lading: overslag van droge lading, overpompen van vloeibare lading en brandstof, opslag van geborgen lading.
- Opvangen van olie lekken van geaccidenteerde schepen.
- Behandeling en verwerking van geruimde olie.
- Laten stranden van schepen.
- Sleep en bergingsstation: geeft beschutting voor stand-by ploegen en bij onmiddellijke noodinterventies, overligfaciliteiten en aflossing bemanning.
- CPS (sosrep, briefing crisiscentrum): met ondersteuning door weer- en golfvoorspelling bij operaties, noodaggregaten, hijsmaterieel, noodplannen voor redding en communicatie.
- Helihaven: voor redding, communicatie en verbinding (aan- en afvoer personeel en materieel).
- Diensthaven: met overligfaciliteiten en aflossing van bemanning voor materieel voor olieruiming bij accidentele en frauduleuze lozingen.

Uit het bovenstaand overzicht is het duidelijk dat de integratie van een schuilhaven in het energieatol de strategische waarde van het project sterk kan verhogen. Omdat vele van deze functies thans moeten worden ingevuld door de Noordzeehavens, kan er vanuit deze hoek een belangrijk draagvlak gecreëerd worden voor de realisatie van een energieatol.

4.4.4.1.7 Uitvalbasis onderhoud offshore windmolens

De kostprijs van offshore windenergie in de toekomst zal sterk afhangen van de mate waarin de onderhoudskosten van de windmolens kunnen gereduceerd worden.

Per jaar heeft een windmolen één tot anderhalve dag onderhoud nodig. Voor de thans ongeveer 90 geïnstalleerde windmolens in de Belgische domeinconcessies zijn er dus op jaarbasis 90 tot 135 onderhoudsdagen nodig. Wanneer de thans op zee vergunde gebieden volledig zijn ingenomen door offshore windmolens, is het duidelijk dat er permanent onderhoud zal moeten worden uitgevoerd.

Gezien de afstand van de windmolenparken tot de kust (het dichtstbijzijnde park ligt op 21 km van de kust, het verste op 60 km), is dit niet steeds vanzelfsprekend. Personen die instaan voor het onderhoud kunnen gehuisvest worden op schepen die quasi permanent voor anker liggen ter hoogte van de windparken. Alternatief kunnen onderhoudsploegen per helikopter naar de windparken gebracht. Het drukken van de kostprijs hiervan vormt een belangrijke uitdaging.

Een energieatol in de nabijheid van de offshore windmolenparken is een opportuniteit om het onderhoud en de reparaties van de windmolens, sneller en efficiënter te maken. Het heeft de vereiste oppervlakte om materialen op te slaan en een werkruimte voor herstellingen in te richten. **Het energieatol kan aldus als permanente uitvalsbasis voor de het onderhoud van de offshore windmolenparken fungeren.**

4.4.4.1.8 Kustbescherming

Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel, verhoogt de golfslag als gevolg van grotere stormen en wordt de Belgische kust en het achterland door de zee bedreigd. Zonder ingrijpende maatregelen bestaat het risico dat een deel van de Belgische kuststrook moet worden opgegeven.

Een mogelijke oplossing is de bouw van dijken in zee die de grootste golven kunnen breken voor ze aan land komen.

Op voorwaarde dat het energieatol relatief dicht bij de kust gelegen is, zouden de dijken van het energieatol deze functie kunnen vervullen. De dimensionering van de dijken zal in elk geval moeten worden aangepast aan de stormen van de toekomst, wil het energieatol gedurende meerdere jaren in werking blijven.

De kustgebieden die in de “schaduw” van het energieatol liggen zouden op deze manier kunnen gevrijwaard worden van de gevolgen van de klimaatsverandering. Vanzelfsprekend blijft dit effect beperkt in ruimte. Deze functie van het atol zal pas volledig tot haar recht kunnen komen wanneer ze gekaderd wordt in een ruimer kustbeschermingsplan voor de toekomst.

4.4.4.1.9 Productie van groene stroom uit getijdenenergie

Omdat het energieatol gelegen is in de Noordzee, is het waterpeil buiten het energieatol onderhevig aan de getijden. Dit verschil in waterpeil heeft een impact op het energierendement van het atol.

Om een bepaalde hoeveelheid elektrische stroom op te slaan, wordt water uit het energieatol weggepompt en wordt aldus een waterhoogteverschil gerealiseerd tussen het energieatol en de

Noordzee. De energie nodig om een bepaald volume water uit het atol te pompen is afhankelijk van de opvoerhoogte. Hoe hoger het waterpeil buiten het atol, hoe meer energie moet gebruikt worden om een volume water uit het atol weg te pompen. Voor een bepaald waterpeil binnen het atol, zal het dus meer energie vragen om bij vloed water uit het atol te pompen dan bij eb.

Om de opgeslagen elektrische energie terug op te wekken, wordt water vanuit de Noordzee via de turbines in het atol gelaten. De hoeveelheid energie die hierdoor kan worden opgewekt is afhankelijk van het waterhoogteverschil tussen de Noordzee en het atol. Voor een bepaald waterpeil binnen het atol zal het atol meer elektriciteit kunnen leveren bij vloed dan bij eb.

Indien bij de exploitatie van het energieatol ingespeeld wordt op de eb-vloed cyclus door elektriciteit op te slaan bij eb en elektriciteit te produceren bij vloed, kan een extra hoeveelheid elektriciteit gegenereerd worden.

Omdat deze extra elektriciteit wordt opgewekt door gebruik te maken van de getijdenwerking, kan men hier effectief spreken over groene elektriciteit. De verkoop van deze groene elektriciteit kan een bijkomende opbrengst genereren voor het energieatol. Aangezien het gaat over groene energie, kunnen hiervoor bovendien groene stroomcertificaten (GSC's) bekomen worden

4.4.4.1.10 Rentabiliteit nevenfuncties

Zoals hierboven beschreven zal het energieatol naast de hoofdfuncties ook verschillende nevenfuncties, zoals **getijdenwerking**, **algenkweek** en **productie van groene elektriciteit uit windmolens** kunnen uitoefenen. Uiteraard zullen deze nevenfuncties de kosten en baten van het energieatol beïnvloeden. Dit geldt ook voor de andere nevenfuncties (oprichting van een marien wetenschappelijk centrum, de inrichting van natuurzones, toeristische activiteiten, een uitvalsbasis voor onderhoud van windmolens en kustbescherming). Echter, aangezien deze niet evident zijn om te begroten, worden deze in deze financiële analyse buiten beschouwing gelaten.

Zo kan het energieatol in aanvulling op de drie hoofdfuncties ook gebruik maken van de **getijdenwerking**, waardoor groene stroom geproduceerd wordt, die recht geeft op groenestroomcertificaten van 20€ per MWh. Idealiter wordt daarbij elektriciteit geproduceerd bij hoogwaterstand en opgeslagen bij laagwaterstand. Echter, omwille van de combinatie met de andere functies, kan het ook voorkomen dat er geproduceerd wordt bij laagwater. Aangezien het in de huidige fase van het onderzoek moeilijk is om de opbrengsten uit getijdenwerking in te schatten, worden deze inkomsten niet meegenomen in de financiële analyse maar wordt getijdenwerking beschouwd als een 'upside potential', een potentiële bron van extra inkomsten.

Indien in het energieatol Zeebrugge **algen** zouden worden gekweekt op 50% van de beschikbare oppervlakte, zou per jaar een oogst van ongeveer 1860 ton kunnen worden gehaald. Indien er vanuit gegaan wordt dat algen zullen worden gekweekt gedurende een periode van 50 jaar, kunnen de opbrengsten voor het energieatol Zeebrugge ingeschat worden op ongeveer 500 miljoen euro. (VITO,2012)

Zoals hoger werd besproken zouden op de dijken van het energieatol 16 **windmolens** kunnen geplaatst worden met een nominaal vermogen van 6 MW. Indien er vanuit gegaan wordt dat deze windmolens gedurende 40% van de tijd groene stroom kunnen leveren, kan hiermee ongeveer 336.000 MWh per jaar worden opgewekt. Aan een verkoopprijs van 50 € per MWh en ervan uitgaande dat groene stroomcertificaten ter waarde van 74,4 € per MWh kunnen verkregen worden, zouden deze windmolens op een termijn van 20 jaar ruim 1 miljard € kunnen opbrengen.

In het geval van Zeebrugge, met de kleinere windturbines van 0,8 MW, is dit een opbrengst van 135 miljoen €. Het resultaat van de exploitatie van de nevenfuncties voor de verschillende locatiealternatieven en de verschillende scenario's wordt gegeven in Tabel 15.

Scenario	ROE Zeebrugge	ROE Throntonbank	ROE Vlakte van de Raan	ROE Gootebank
1	6,73 %	7,25 %	7,11 %	6,91 %
2	9,84 %	9,32 %	9,13 %	8,88 %
3	16,43 %	13,43 %	13,14 %	12,75 %

Tabel 15: Samenvatting van de resultaten voor de exploitatie van hoofd- en nevenfuncties

Door toevoeging van deze nevenfuncties zou het resultaat voor Zeebrugge van een range 2,07%-11,75% kunnen evolueren naar een range 6,73%-16,43%. Voor de andere locatiealternatieven is de toename in rentabiliteit nog groter door de hogere opbrengsten van de windturbines.

4.4.4.2 *Optimalisatie rentabiliteit door aanpassing ontwerp*

De financieel-economische haalbaarheid van het project zou kunnen verhoogd worden door het opschalen van het energieatol. Dit kan gebeuren door:

- Verhoging van het vermogen door het bijplaatsen van turbines.
- Verhoging van het vermogen door het verdiepen van het energieatol.
- Verhoging van het vermogen door het bijplaatsen van turbines en het verdiepen van het energieatol.

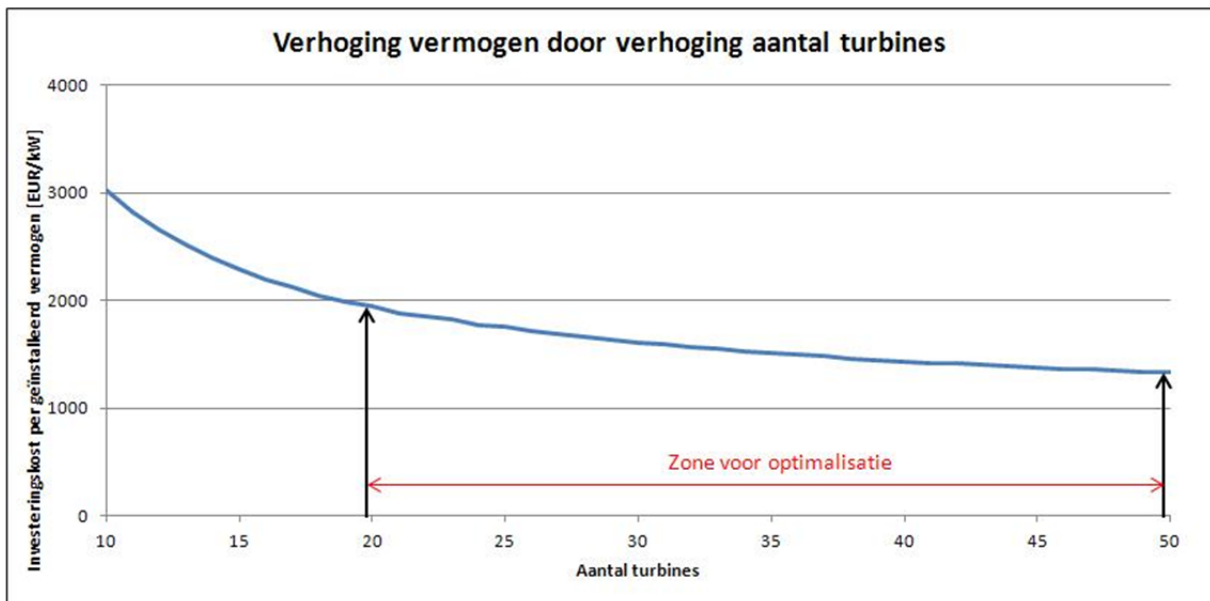
In welke mate deze opties een impact hebben op de financieel-economische haalbaarheid zal voor het energieatol Zeebrugge worden geëvalueerd aan de hand van een bepaling van de verhouding investeringskost/vermogen uitgedrukt €/kW.

4.4.4.2.1 *Verhoging van het vermogen door het bijplaatsen van turbines*

Het uitgangspunt voor deze aanpassing is dat een belangrijke functie van het energieatol is om zeer snel een groot vermogen te kunnen leveren, zij het gedurende een relatief korte tijd te fungeren als secundaire reserve. Het installeren van een hoger vermogen zou de verhouding investeringskost/vermogen kunnen reduceren.

Bij wijze van voorbeeld wordt voor het energieatol Zeebrugge een simulatie gemaakt van de impact van de verhoging van het aantal turbines op de verhouding investeringskost/vermogen. Het aantal turbines wordt verhoogd van 20 tot 50, waardoor ook het debiet toeneemt.

Het effect van het verhogen van het aantal turbines op de investeringskost per geïnstalleerd vermogen is te zien op onderstaande Figuur 40.



Figuur 40: Impact van het vergroten van het aantal turbines van het energieatol Zeebrugge op de verhouding investeringskost/kW

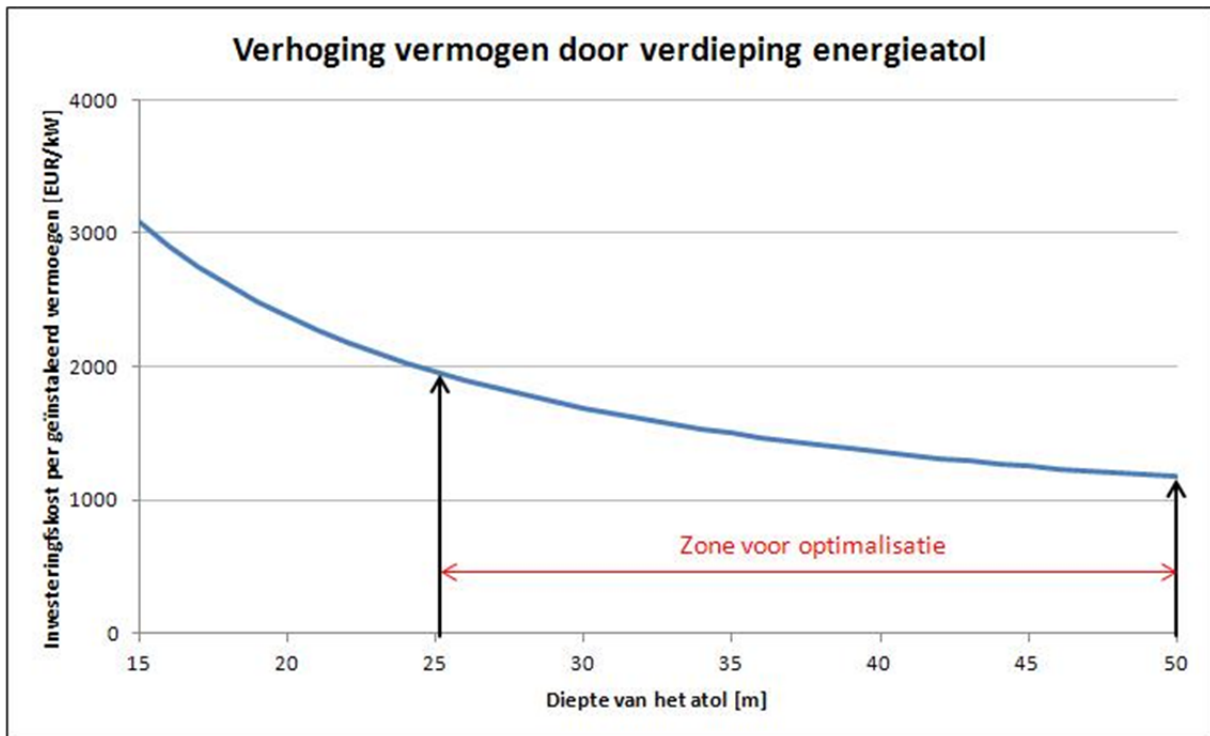
Uit de figuur is het duidelijk dat door het bijplaatsen van het aantal turbines de verhouding investeringskost/vermogen gevoelig afneemt. In het geval dat het energieatol 50 turbines zou hebben, komt het ongeveer in het midden van de range terecht voor pompaccumulatiecentrales (500 – 3.600 €/kW) met een kostprijs per geïnstalleerd vermogen van ongeveer 1330 euro. De tijd gedurende welke het energieatol elektriciteit kan produceren neemt echter af.

Het opvoeren van het vermogen voor het energieatol door het bijplaatsen van turbines is bijgevolg een optie voor het verhogen van de financieel-economische haalbaarheid.

4.4.4.2.2 Verhoging van het vermogen door het verdiepen van het energieatol

Naast een verbreding van het atol en een verhoging van het aantal turbines, kan ook het energieatol verdiept worden waardoor de valhoogte toeneemt. Het opvoeren van de valhoogte leidt tot een stijging in vermogen.

De trend wordt weergegeven op Figuur 41.



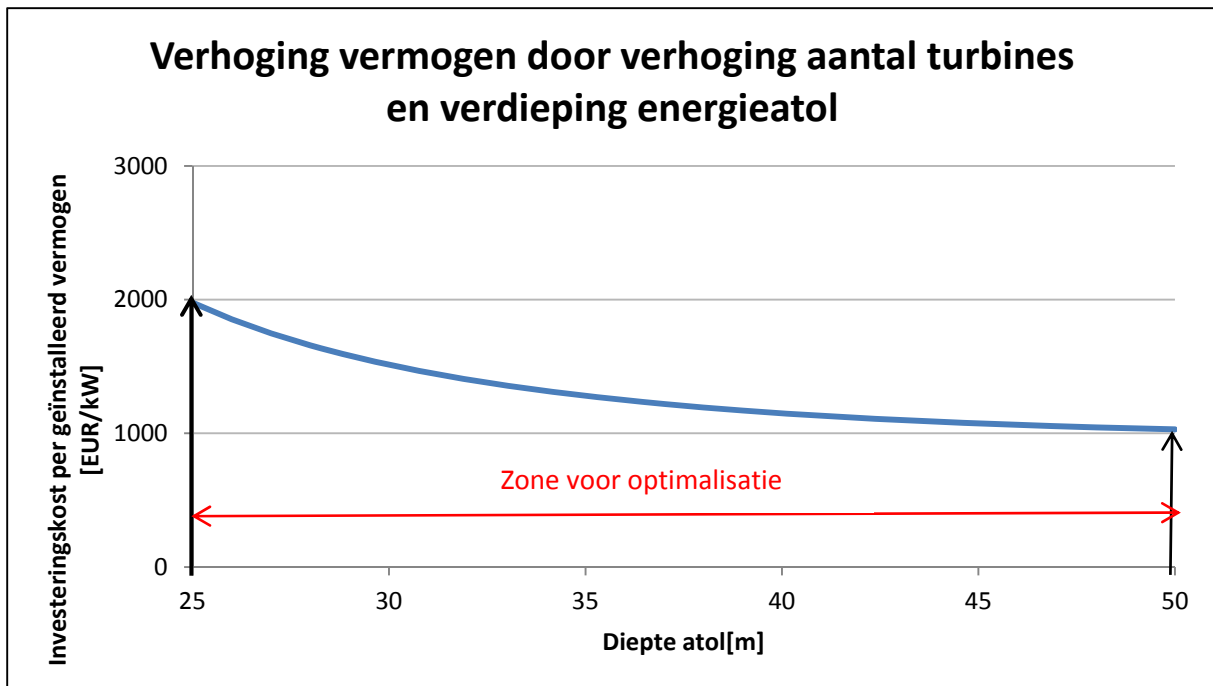
Figuur 41: Impact van het vergroten van de valhoogte op de verhouding investeringskost/vermogen

Uit de figuur is duidelijk dat door het vergroten van de valhoogte de investeringskost per geïnstalleerd vermogen daalt. Door een extrapolatie te maken, blijkt dat de optimale extra verdieping iets minder dan 30 meter bedraagt met een investeringskost per geïnstalleerd vermogen van 1100 euro.

Het verdiepen van het energieatol is een optie voor het verhogen van de financieel-economische haalbaarheid.

4.4.4.2.3 Verhoging van het vermogen door het bijplaatsen van turbines en het verdiepen van het energieatol

Voor een verdere optimalisatie werd dus een simulatie uitgevoerd waarbij niet alleen de valhoogte maar ook het aantal turbines kan toenemen. De resultaten van deze simulatie zijn te zien op Figuur 42.



Figuur 42: Impact van het vergroten van de valhoogte en het verhogen van het aantal turbines op de verhouding kostprijs/kW

Uit de figuur kan worden afgeleid dat de combinatie van het vergroten van de valhoogte en het verhogen van het aantal turbines een zeer positief effect heeft op de totale investeringskost per geïnstalleerde kW.

Extrapolatie van de curve geeft een optimale extra diepte van 26 meter met 57 turbines bij een investeringskost per geïnstalleerde kW van 980 euro.

Een combinatie van de verdieping van het energieatol met een verhoging van het aantal turbines leidt tot een sterke verhoging van de financieel-economische haalbaarheid van het project

Besluit: optimalisatie van de rentabiliteit

De rendabiliteit van het energieatol zou nog verder kunnen verhoogd worden door de inzet van nevenfuncties en door een bijsturing van het ontwerp.

Doordat de nevenfuncties voor een groot stuk gebruik kunnen maken van de reeds aanwezige infrastructuur in het energieatol, zullen deze functies voornamelijk extra opbrengsten creëren. Bijgevolg zullen deze de rentabiliteit van het energieatol verhogen. De verbetering in rentabiliteit is samengevat in volgende tabel:

	Zeebrugge	Throntonbank	Vlakte van de raan	Gootebank
Hoofd- + nevenfuncties	2,07%-11,58%	0,78%-7,97%	0,7%-7,79%	0,6%-7,55%
Hoofd- + nevenfuncties	4,73%-16,43%	7,25%-13,43%	7,11%-13,14%	6,91%-12,75%

De kostprijs per geïnstalleerd vermogen zou kunnen verminderd worden door het bijplaatsen van turbines of het vergroten van de valhoogte. Zo zouden 50 turbines ipv 20 de kostprijs per geïnstalleerd vermogen kunnen laten dalen van ca. 1.960 naar ca. 1.330 €/kW, terwijl een extra verdieping van iets minder dan 30 meter deze kostprijs naar 1.100 €/kW zou brengen. De combinatie van het vergroten van de valhoogte en het verhogen van het aantal turbines biedt echter het meeste voordeel met een investeringkost per geïnstalleerd vermogen van 980 €/kW.

5 Juridische aspecten van het ontwerp, bouw en uitbating van een energieatol

Het ontwerp, bouw en uitbating van offshore elektriciteitsinfrastructuur is gebonden aan een specifiek wetgevend kader. Om de effecten van dit wetgevend kader na te gaan is beroep gedaan op de expertise van advocatenkantoor Stibbe. De belangrijkste probleemstellingen zijn:

- Wat is het gevolg van een eventuele verbinding met de kust (cf. Energieatol Zeebrugge)? Valt het energieatol onder federale of Vlaamse bevoegdheid?
- Dient het atol een concessie toegewezen te krijgen voor gebruik van de zone in de Noordzee? Zo ja, welke stappen dienen hiertoe ondernomen te worden?
- Wat zijn de vergunningsprocedures die gelden voor de bouw en uitbating van het energieatol (incl. elektriciteitskabels) in de Noordzee?

Deze selectie van meest relevante vragen wordt nu in volgende paragrafen besproken. De volledige juridische nota opgemaakt door Stuibbe is beschikbaar bij Ecozem.

5.1 Juridische aspecten van een verbinding met de kust

Deze vraag moet tweevoudig worden onderzocht: de internationaalrechtelijke implicaties en de gevolgen op de nationale (interne) bevoegdheidsverdeling binnen België.

Met betrekking tot de wateren zijn er drie juridische zones: de interne wateren, de territoriale zee en de exclusieve economische zone (EEZ).

De **interne wateren** maken deel uit van de binnenwateren. Deze laatste omvatten ook de wateren van de kanalen, rivieren, meren en binnenzeeën. De grens voor de interne wateren is de basislijn van waar de territoriale wateren worden gemeten. Ook wateren van de zeehavens tot aan de basislijn behoren tot de interne wateren.

Permanente havenwerken die een integrerend onderdeel van het havensysteem vormen, worden als een deel van de kust beschouwd en niet als een deel van de territoriale zee. Buiten de kust gelegen installaties en kunstmatige eilanden worden niet als permanente havenwerken beschouwd.

De eigendom van de delen van de haven van Zeebrugge en de aanhorigheden die eigendom waren van de Staat, werd overgedragen aan de Gewesten.

De vraag is nu of door een fysieke verbinding met de kust het atol als een permanent havenwerk zal worden beschouwd en aldus als behorend tot het Vlaamse Gewest. Het is niet duidelijk wat er precies bedoeld wordt met een permanent havenwerk. In het internationaal recht wordt er enkel een negatieve definitie van een permanent havenwerk gegeven, namelijk geen buiten de kust gelegen installaties en geen kunstmatige eilanden.

Het Internationaal Gerechtshof oordeelde: 'These works are generally installations which allow ships to be harboured, maintained or repaired and which permit or facilitate the embarkation and disembarkation of passengers and the loading or unloading of goods'. Verder definieerde de Technical Aspects of the Law of the Sea Working Group van de International Hydrographic Organization 'havenwerken' als 'Permanent man-made structures built along the coast which form an integral part of the harbor system such as jetties, moles, quays or other port facilities, coastal terminals, wharves, breakwaters, sea walls, etc'. Er moet overtuigend bewijs zijn dat bijvoorbeeld een dijk een direct doel in havenactiviteiten heeft om deze als een permanent havenwerk te kunnen beschouwen.

Het atol zal dus slechts als een permanent havenwerk gezien worden indien het een direct doel in de havenactiviteiten heeft. Dit zal slechts het geval kunnen zijn indien de gegenereerde elektriciteit wordt voorbehouden voor de havenactiviteiten. Dat zal wellicht niet het geval zijn, gelet op de beoogde capaciteit.

Vanaf de basislijn beginnen **de territoriale wateren**. Deze zone eindigt 12 mijl gemeten vanaf de basislijn. De territoriale wateren vallen onder de soevereiniteit van de kuststaat.

Een derde mariene zone is de **exclusieve economische zone (EEZ)**. Deze zone sluit aan op de territoriale zee. De grootste afstand bedraagt in België 47 mijl vanaf de basislijn. België bezit in de EEZ soevereine rechten ten behoeve van de exploratie en exploitatie, het behoud en het beheer van de natuurlijke rijkdommen, levend en niet-levend, van de wateren boven de zeebodem en van de zeebodem en de ondergrond daarvan, en met betrekking tot andere activiteiten voor de economische exploratie en exploitatie van de zone, zoals de opwekking van energie uit het water, de stromen en de winden en bezit rechtsmacht ten aanzien van de bouw en het gebruik van kunstmatige eilanden, installaties en inrichtingen, het wetenschappelijk zeeonderzoek en de bescherming en het behoud van het mariene milieu. De kuststaat is exclusief bevoegd voor wat betreft kunstmatige eilanden, installaties en inrichtingen voor economische doeleinden en installaties die van invloed kunnen zijn op de uitoefening van de rechten van de kuststaat in de EEZ. Er kunnen veiligheidszones rond de installaties gevestigd worden. Installaties die niet meer worden gebruikt of verlaten zijn, moeten verwijderd worden. Een voorstelling van de territoriale wateren en de exclusieve economische zone is te zien op Figuur 30.

Het is verboden om inrichtingen te plaatsen die een invloed kunnen hebben op het gebruik van erkende routes die essentieel zijn voor de internationale scheepvaart.

De bepalingen van de wet van 13 juni 1969 inzake de exploratie en de exploitatie van niet-levende rijkdommen van de territoriale zee en het continentaal plat (hierna: "Wet van 13 juni 1969") zijn van toepassing op installaties en inrichtingen in de EEZ, ook wanneer deze voor andere doeleinden gebruikt worden dan de exploratie en exploitatie van minerale en andere niet-levende rijkdommen.

Het continentaal plateau omvat de zeebodem en de ondergrond van de onderzeese gebieden in de EEZ en begint voorbij de territoriale zee tot maximum 47 mijl vanaf de basislijn. België heeft er de soevereine rechten ter exploratie en exploitatie van de minerale en andere niet-levende rijkdommen.

De **interne wateren** maken deel uit van de binnenwateren en vormen een deel van het Belgisch grondgebied. Ze vallen onder de bevoegdheid van de Gewesten. Het Vlaams Gewest reikt aldus tot

aan de basislijn.

De **territoriale wateren** vallen onder de bevoegdheid van de federale overheid. Daarenboven beschikt het Vlaamse Gewest over een aantal extraterritoriale bevoegdheden in zee inzake bepaalde materies die tot hun materiële bevoegdheden behoren, zoals het baggeren en de zeevisserij.

Hoewel het Vlaamse Gewest internationale extraterritoriale bevoegdheden uitoefent in aangelegenheden waarvoor het materieel bevoegd is, wordt deze bevoegdheid op een aantal aangelegenheden betwist door de federale overheid. Dit geldt onder andere voor de mariene zones waarover België een functionele jurisdictie uitoefent, zoals de **EEZ**. De federale overheid beschouwt dit als een residuaire bevoegdheid. De nieuwe energiebronnen op basis van artikel 6, § 1, VII, BWHI vallen onder de bevoegdheid van de Gewesten. Maar indien windmolenparken worden geplaatst op het continentaal plat, is de federale overheid bevoegd.

De in zee voorbehouden zone voor het bouwen en exploiteren van installaties voor de productie van elektriciteit uit wind, water of stromen, is actueel beperkt tot de zone die aan de hand van coördinaten is vastgesteld door het KB van 20 december 2000.

5.2 Afbakening van een domeinconcessie op de Noordzee

Voor een installatie voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden in zee dient een domeinconcessie verkregen te worden op basis van de Wet van 13 juni 1969 en het KB van 20 december 2000 betreffende de voorwaarden en de procedure voor de toekenning van domeinconcessies voor de bouw en de exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden, in de zeegebieden waarin België rechtsmacht kan uitoefenen (hierna: "KB van 20 december 2000").

Aangezien de mogelijke ligging 1, 2 en 3 zich in de Noordzee binnen de Belgische territoriale wateren en op het Belgisch continentaal plat afspelen is de Federale overheid daarvoor bevoegd. Ook ten aanzien van de ligging van het energieatol aangesloten op / nabij de haven lijkt de federale overheid bevoegd.

Zelfs indien men toch zou kunnen bewerkstelligen dat de Vlaamse overheid zich bevoegd zou achten (indien energieatol als havenwerk kan gekwalificeerd worden), zou dat maar kunnen nadat het energieatol gebouwd is. Er moet dus ons inziens in elk geval eerst een domeinconcessie verkregen worden.

Het juridisch kader betreffende de domeinconcessie wordt voorzien door het KB van 20 december 2000.

Een domeinconcessie kan enkel toegekend worden aan installaties die in de perimeter zoals bepaald in het KB gepland worden. Op dit moment zijn enkel de 7 zones voor windmolenparken voor de Belgische kust aangeduid in het KB. Aangezien het energieatol in elk van de drie ons voorgelegde hypothesen buiten één van de 7 aangeduide zones wordt geconcipieerd, is een uitbreiding van het KB onontbeerlijk. Hierbij moet er op gewezen worden dat in het federaal regeerakkoord van 1 december 2011 men zich heeft voorgenomen nieuwe gebieden (weliswaar voor windenergie) aan te duiden.

Een aanvraag wordt ingediend bij het CREG en bevat de gebruikelijke gegevens (gegevens aanvrager, (technische) nota en verscheidene kaarten en plannen) en de nodige documenten om de financiële en economische draagkracht van de aanvrager te kunnen beoordelen (jaarrekeningen, balansen,..) (artikel 4 KB 20 december 2000).

Als de aanvraag volledig is wordt deze binnen tien werkdagen volgend op de ontvangst in een register van concessieaanvragen ingeschreven (artikel 5 KB 20 december 2000). Binnen vijftien werkdagen volgend op de inschrijving wordt de aanvraag bekendgemaakt in het Belgisch Staatsblad en in drie nationale kranten.

Deze periode laat belanghebbenden toe om een aanvraag tot mededinging in te dienen.

De betrokken administraties en het CREG evalueren het technisch dossier en brengen een advies uit binnen zestig dagen na de aanhangig making van de zaak. Dit advies kan de oplegging van technische voorwaarden vooropstellen.

Binnen 60 werkdagen na indiening van de adviezen brengt de afgevaardigde van de minister na

raadpleging van de beheerder van het transmissienet, zijn voorstel tot het toekennen van een domeinconcessie of zijn voorstel tot weigering. Binnen de zestig werkdagen te rekenen vanaf de ontvangst van het voorstel van de afgevaardigde van de minister maakt de Minister (de Minister van energie: Melchior Wahtelet) zijn beslissing bekend.

De timing voor het behalen van deze vergunning is iets minder dan 1 jaar.

Er kan nog gewezen worden op het *Koninklijk besluit van 11 april 2012 tot instelling van een veiligheidszone rond de kunstmatige eilanden, installaties en inrichtingen voor de opwekking van energie uit het water, de stromen en de winden in de zeegebieden onder Belgische rechtsbevoegdheid*. Vanaf de exploitatiefase wordt een veiligheidszone van vijfhonderd meter ingesteld rondom kunstmatige eilanden, installaties of inrichtingen voor de opwekking van energie uit het water, de stromen en de winden, gemeten vanaf elk punt van de buitengrens ervan. Zowel de bestaande en geplande windturbines als het energieatol (kunnen) genieten van de veiligheidszone.

Op basis van de kaarten die wij ter beschikking hebben lijkt de in overweging genomen inplanting op de Thorntonbank zich op meer dan 500 meter van het concessiegebied voor de windmolens te bevinden.

5.3 Vergunningsprocedures voor de bouw en uitbating van een energieatol in de Noordzee

De bouw en exploitatie van offshore elektriciteitsproductie-installaties vereist, naast de domeinconcessie, twee vergunningen:

- a) een bouw- en exploitatievergunning van de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde Estuarium (BMM);
- b) een vergunning voor het leggen van elektriciteitskabels in zee van de FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie.

In de mate het energieatol zou aansluiten op het net via een aansluitingspunt gelegen op het land en voor zover de projectontwikkelaar van het energieatol zou gehouden zijn tot de aanleg van die landkabel, zijn nog volgende vergunningen vereist:

- c) een stedenbouwkundige vergunning voor kabels op het land van het Vlaamse Gewest; en
- d) in de mate de landkabel over of langs het openbaar domein gaat en:
 - een spanning van 70kV of minder heeft: domeintoelating te bekomen via de geïntegreerde procedure in het kader van de stedenbouwkundige vergunningsaanvraag
 - een spanning van meer dan 70kV heeft: een wegvergunning voor de hoogspanningsverbinding van de FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, op grond van de wet van 10 maart 1925 op de electriciteitsvoorziening.

Het dient vermeld dat de bouw van een zogenaamd “stopcontact op zee” overwogen wordt. Indien het energieatol op dat punt op zee zou aansluiten, dienen deze laatste “land”vergunningen niet verkregen te worden.

De Vlaamse procedure voor een stedenbouwkundige en milieuvergunning wordt hierna besproken, in de hypothese dat het energieatol als permanent havenwerk kan beschouwd worden. Een vergelijkend overzicht tussen de Federale en Vlaamse vergunningsprocedure wordt gegeven in Tabel 16.

De wegvergunning voor hoogspanningsverbinding (de zg. wegenistoelating) wordt gegeven door de gemeenten, wanneer de lijnen zich niet buiten de grenzen van haar grondgebied uitstrekken, en desgevallend door de bestendige deputatie van de provincie, indien de lijnen op het grondgebied van verscheidene gemeenten zijn aangelegd. In dit laatste geval worden de betrokken gemeentebesturen vooraf gehoord. In ieder geval is de beslissing slechts uitvoerbaar na goedkeuring door de Koning, die haar mag wijzigen. Wanneer de aan te leggen lijnen lopen over het grondgebied van meer dan een provincie of wanneer zij de landsgrenzen overschrijden, worden de wegenistoelatingen door de Koning verleend, waarbij de betrokken gemeente- en provinciebesturen vooraf worden gehoord.

In elk geval, zowel bij een aansluiting op land als op zee, dient met Elia een **aansluitingscontract** te

Vergunningsprocedures bouw en uitbating atol	
Federale vergunningsprocedure	Vlaamse vergunningsprocedure – Enkel mogelijk bij Zeebrugge
Domeinconcessie	Milieuvergunning
<ul style="list-style-type: none"> • Uitbreiding van het KB dat perimeters bepaalt is noodzakelijk. Deze uitbreiding is reeds opgenomen in het regeerakkoord van 1 december 2011 (wel alleen voor offshore windparken) • Aanvraag ingediend bij de CREG met nodige gegevens (gegevens aanvrager, technische nota, jaarrekeningen,...) • Binnen 10 werkdagen na ontvangst ingeschreven in register van concessieaanvragen • Binnen 15 werkdagen na inschrijving bekendgemaakt in Belgisch Staatsblad en 3 nationale kranten • Binnen 60 dagen na aanhangig maken: evaluatie door betrokken administraties en CREG • Binnen 60 werkdagen na indiening van adviezen: afgevaardigde van de minister brengt zijn voorstel • Binnen 60 werkdagen na ontvangst voorstel afgevaardigde van de minister maakt de minister (Minister van energie: Melchior Wahtelet) zijn beslissing bekend <p>TOTALE DUUR: ongeveer 1 jaar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vergunningsaanvraag indienen via formulier opgesteld volgens bijlage 4 van VLAREM I + eventuele extra documenten • Opstellen van een veiligheidsrapport, energiestudie en milieueffectenrapport (MER). • Aanvraag wordt ingediend bij de bestendige deputatie van de provincie (West-Vlaanderen) • Na aanvraag wordt er gedurende 30 dagen een openbaar onderzoek georganiseerd • De afdeling Milieuvergunningen van het Departement LNE (Minister van Leefmilieu: Joke Schauvliege), het Agentschap R.O.-Vlaanderen (Minister van ruimtelijke ordening: Phillipe Muyters) en het VEA (departement LNE) brengen advies uit. • Binnen 90 dagen na ontvankelijkheidsverklaring: de provinciale milieuvergunningscommissie dient advies in • Binnen 4 maanden: de deputatie van de provincieraad neemt haar beslissing
Bouw- en exploitatievergunning van de BMM	Stedenbouwkundige vergunning
<ul style="list-style-type: none"> • Dossier indienen met nodige gegevens (gegevens exploitant, technische nota, jaarrekeningen,...) • Milieueffectenbeoordeling (MER) uitvoeren • Binnen 15 dagen bekendgemaakt in Belgisch Staatsblad • Periode van 60 dagen voor belanghebbende om standpunten, opmerkingen en bezwaren te betekenen aan bestuur • BMM strekt advies uit en stuurt dit samen met de aanvraag naar de minister (Minister van Noordzee: Johan Vande Lanotte) • Minister neemt beslissing <p>TOTALE DUUR: 6-8 maanden</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Atol kan geclasificeerd worden als werk van algemeen belang dus bijzonder procedure • Vergunningsaanvraag indienen bij Vlaamse regering of de gewestelijk stedenbouwkundige ambtenaar • Als de vergunning goedgekeurd wordt mag er al gebruik gemaakt worden van de vergunning vanaf de 36^{ste} dag na aanplakking

Tabel 16: Vergelijkend overzicht van de Federale en Vlaamse vergunningsprocedures voor de bouw en uitbating van een energieatol

worden afgesloten, waarin de modaliteiten en voorwaarden van de aansluiting vastgelegd worden.

Voorafgaandelijk wordt de impact van de inplanting van het energieatol in de haven in vogelrichtlijngebied uiteengezet. In dit kader moet er eveneens op gewezen worden dat er een wijziging op til is i.v.m. de aanduiding van het bestaande habitatrictlijngebied, aan de kust.

Niet enkel in de scenario's dat het energieatol niet wordt ingeplant bij de haven (vlakte van de Raan en Thorntonbank) maar ook in het geval dat het energieatol met een fysieke verbinding aan de kust verbonden is en niet gekwalificeerd wordt als een permanent havenwerk, zal de federale overheid bevoegd zijn. In dit geval wordt de federale vergunningsprocedure gevolgd.

Voor het scenario dat het energieatol met een fysieke verbinding aan de kust verbonden is én het atol toch als een permanent havenwerk gekwalificeerd zou worden, wordt de vergunningsprocedure van het Vlaams gewest gevolgd.

Federale vergunningsprocedure

De hierna volgende analyse met betrekking tot de federale vergunningsprocedure van toepassing op de inplanting van de energieatol in zeegebied is onder voorbehoud van goedkeuring van het "toekomstig marien ruimtelijk plan van de Belgische zeegebieden". Het plan zal de huidige en toekomstige activiteiten en installaties in de Belgische zeegebieden in kaart brengen. Dit plan zal een kader vooropstellen, zonder dat hier onmiddellijk bestemmingsvoorschriften aan gekoppeld zullen worden. De ontwerp tekst ligt momenteel bij de Raad van State en wordt verwacht goedgekeurd te zijn en te verschijnen in het Belgisch Staatsblad voor de zomer van 2012.

Activiteiten van burgerlijke bouwkunde zijn uitdrukkelijk onderworpen aan het verkrijgen van een vergunning en/of machtiging krachtens artikel 25 van de Wet Mariene Milieu.

In de rechtsleer wordt geargumenteed dat met activiteiten van burgerlijke bouwkunde alle vormen van burgerlijke bouwwerken in de zeegebieden wordt bedoeld, voor zover deze activiteiten niet noodzakelijk zijn voor de uitoefening van de bevoegdheden van het Vlaamse Gewest overeenkomstig artikel 6 §1, X, laatste lid van de Bijzondere Wet van 8 augustus 1980 tot hervorming der instellingen en voor zover deze activiteiten niet vallen onder de wet van 13 juni 1969 inzake het continentaal plat. Het lijkt ons redelijk om aan te nemen, dat de term "activiteiten van burgerlijke bouwkunde" de oprichting van installaties en inrichtingen zoals *een energieatol* omvat. De oprichting van een energieatol is dan aan een vergunning en/of machtiging in de zin van artikel 25 van de Wet Mariene Milieu onderworpen.

De vergunnings- en/of machtigingsprocedure werd bij het Koninklijk Besluit van 7 september 2003 houdende de procedure tot vergunning en machtiging van bepaalde activiteiten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België (hierna "KB van 7 september 2003") geregeld.

Het KB van 7 september 2003 integreert de procedure voor het verkrijgen van een bouw- en exploitatievergunning voor de bouw van het energieatol.

De exploitant kan in één aanvraag een "*machtiging voor de bouw en een vergunning voor de exploitatie*" van het energieatol aanvragen.

Een procedure mét inspraak wordt voorzien voor de vergunning of machtiging van burgerlijke bouwkunde en industriële activiteiten.

Naast de gebruikelijke gegevens (gegevens exploitant, aantonen financiële en economische draagkracht) zal de exploitant ook een milieu-effectenbeoordeling dienen uit te voeren.

Het milieueffectenrapport bevat een deel betreffende de voorgenomen activiteit als dusdanig, een deel betreffende de effecten van de voorgenomen activiteit op het mariene milieu en een niet-technische samenvatting van beide delen.

De aanvraag wordt ten hoogste na 15 dagen, te rekenen vanaf de aanvang van de termijn voor het behandelen van de aanvraag bekendgemaakt in het Belgisch Staatsblad. Voor belanghebbenden loopt er een termijn van 60 dagen om standpunten, opmerkingen en bezwaren te betekenen aan het bestuur.

Het BMM strekt een advies uit over de aanvraag en stuurt dit samen met de aanvraag naar de Minister. De Minister dient zijn advies te motiveren en aan te geven waarom afwijkende adviezen en opmerkingen werden verworpen.

Bij de beoordeling van elke aanvraag houdt de Minister rekening met de algemene doelstellingen van de wet, in het bijzonder het beginsel van het preventief handelen, het voorzorgsbeginsel en het beginsel van duurzaam beheer. Hij houdt eveneens rekening met de resultaten van de milieu-effectenbeoordeling.

Vanuit een praktisch oogpunt neemt deze procedure 6-8 maanden in beslag, zonder rekening te houden met de tijd die is vereist voor opmaak van een milieueffectenbeoordeling.

Gewestelijke vergunningsprocedure

Het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan Afbakening Zeehavengebied Zeebrugge is ruimtelijk niet van toepassing op het gebied waar het energieatol aan de haven geïnstalleerd zou worden.

Als het energieatol met een fysieke verbinding aan de kust verbonden is én het atol als een permanent havenwerk gekwalificeerd zou worden, is het waarschijnlijk dat de vergunningsprocedure van het Vlaams gewest gevolgd wordt aangezien het energieatol dan op Vlaams grondgebied komt te liggen

Milieuvergunning

Het energieatol is een als hinderlijk ingedeelde inrichting ingedeeld onder rubriek 20, subrubriek 20.1.5. betreffende installaties voor de productie van hydro-elektrische energie. Dit is een inrichting waar het Vlaams Energieagentschap advies verleent en waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM een milieucoördinator van het tweede niveau moet worden aangesteld

Een vergunningsaanvraag voor de exploitatie van klasse 1 en klasse 2 inrichtingen wordt onderworpen aan de procedure voor de hoogste klasse; in casu klasse 1.

De vergunningsaanvraag voor de exploitatie van een hinderlijke inrichting dient te geschieden door middel van een aanvraagformulier waarvan het model is vastgesteld in bijlage 4 van VLAREM I. De

aanvraag moet alle gegevens bevatten die als verplicht zijn aangeduid in dit model.

Bij een vergunningsaanvraag voor een klasse 1 inrichting dienen een situeringsplan, één of meer uitvoeringsplannen, een bewijs van de betaling van de dossiertaks en een uittreksel uit het kadastraal plan toegevoegd worden. Een veiligheidsrapport en milieueffectenrapport (hierna "project-MER"), indien vereist, worden ook toegevoegd.

Het Besluit van de Vlaamse Regering van 10 december 2004 houdende vaststelling van de categorieën van projecten onderworpen aan een project-MER voorziet in Bijlage II onder puntje 3 dat energiebedrijven, m.n. *"installaties voor de productie van hydro-elektrische energie met een elektrisch vermogen van 5 megawatt of meer"* onderworpen zijn aan het opstellen van een project-MER. De initiatiefnemer kan evenwel een gemotiveerd verzoek tot ontheffing indienen.

Overeenkomstig artikel 4.5.1 van het Decreet van 5 april 1995 houdende algemene bepalingen inzake milieubeleid (hierna: DABM) geldt de verplichting van een inrichting tot het opstellen van een omgevingsveiligheidsrapport onder de dubbele voorwaarde dat de inrichting in kwestie een hogedrempelinrichting is in het kader van het Samenwerkingsakkoord van 21 juni 1999 betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn (hierna: "Samenwerkingsakkoord") én dat de inrichting in kwestie een aanvraag voor een milieuvergunning of een wijziging van de milieuvergunning indiende. Wij begrijpen dat er voor de werking van het energieatol geen gebruik gemaakt wordt van gevaarlijke stoffen in de zin van het Samenwerkingsakkoord. Bijgevolg zal er geen omgevingsveiligheidsrapport opgemaakt moeten worden voor de exploitatie van het energieatol.

Bij een vergunningsaanvraag voor een nieuwe inrichting met een totaal jaarlijks energiegebruik van tenminste 0,1 PetaJoule wordt een energiestudie toegevoegd.

Deze vergunningsaanvraag wordt ingediend bij de bestendige deputatie van de provincie waar de inrichting is gelegen, aldus per hypothese de provincie West-Vlaanderen. Gedurende dertig dagen wordt een openbaar onderzoek georganiseerd.

De afdeling Milieuvergunningen van het Departement LNE en in de regel het Agentschap R.O-Vlaanderen brengen steeds advies uit over de aanvraag. In casu ook het Energieagentschap. De provinciale milieuvergunningscommissie, als gezaghebbend orgaan, dient binnen negentig dagen na de datum van ontvankelijkheidsverklaring een advies in. De deputatie van de provincieraad neemt haar beslissing binnen een termijn van 4 maanden.

Tegen beslissingen over vergunningsaanvragen in eerste aanleg genomen door de deputatie van de provincieraad kan beroep worden ingesteld bij de Vlaamse regering.

Stedenbouwkundige vergunning

De bouw van een waterkrachtcentrale is krachtens artikel 4.2.1 van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening (hierna: "VCRO") steeds onderworpen aan de stedenbouwkundige vergunningsplicht. Artikel 4.2.1. VCRO stelt immers dat *"niemand [...] zonder voorafgaande stedenbouwkundige vergunning [...] bouwwerken [mag] verrichten, met uitzondering van onderhoudswerken"*.

Het plaatsen van een energieatol voldoet aan deze omschrijving en is aldus vergunningsplichtig.

Er bestaan twee onderscheiden administratieve procedures voor de toekenning van een vergunning: de reguliere procedure en de bijzondere procedure. Voor handelingen van algemeen belang of voor aanvragen ingediend door publiekrechtelijke of semipubliekrechtelijke rechtspersonen dient de bijzondere procedure te worden gevolgd. Welke deze handelingen van algemeen belang zijn, wijst de Vlaamse regering aan in haar besluit van 5 mei 2000. Ingevolge artikel 2, 4° van het aangehaalde besluit worden ook beschouwd als werken, handelingen en wijzigingen van algemeen belang, deze werken, handelingen en wijzigingen die betrekking hebben op de openbare elektriciteitsleidingen en de bijhorende infrastructuur, zoals transformatorstations en installaties voor de productie van elektriciteit. Voor de exploitatie van het energieatol zal derhalve de afwijkende vergunningsprocedure gelden, vermits het klaarblijkelijk de bedoeling is om de geproduceerde elektriciteit op het net te injecteren.

Binnen de bijzondere procedure wordt de vergunning afgeleverd door hetzij de Vlaamse regering of de gedelegeerde stedenbouwkundige ambtenaar, hetzij de gewestelijke stedenbouwkundige ambtenaar.

Van een vergunning afgegeven binnen de bijzondere procedure, mag gebruik worden gemaakt vanaf de zesendertigste dag na de dag van aanplakking. Na een beslissing van de Vlaamse Regering, de gedelegeerde of de gewestelijke stedenbouwkundige ambtenaar staat enkel nog een beroep tot vernietiging en/of schorsing open bij de Raad voor Vergunningsbetwistingen.

Deze procedure heeft als voordeel ten opzichte van de reguliere dat ze veel korter en derhalve ook veel sneller is. Zo zal het vergunningverlenende bestuursorgaan binnen een vervaltermijn van zestig dagen een beslissing nemen over de vergunningsaanvraag. Om een geldige stedenbouwkundige vergunningsaanvraag in te dienen, moeten eveneens een aantal uitvoeringsbesluiten nageleefd worden.

Vergunning voor de aanleg van de aansluitingskabels

Het Koninklijk besluit van 12 maart 2002 betreffende de nadere regels voor het leggen van elektriciteitskabels die in de territoriale zee of het nationaal grondgebied binnenkomen of die geplaatst of gebruikt worden in het kader van de exploratie van het continentaal plat, de exploitatie van de minerale rijkdommen en andere niet-levende rijkdommen daarvan of van de werkzaamheden van kunstmatige eilanden, installaties of inrichtingen die onder Belgische rechtsmacht vallen bepaalt de procedure voor het leggen van de noodzakelijke kabels op de zeebodem.

De aanvragen tot vergunning voor de aanleg van elektriciteitskabels worden gericht aan de federale minister bevoegd voor energie of zijn afgevaardigde via aangetekend schrijven met ontvangstbewijs. De aanvraag wordt ingediend door middel van een verzoekschrift in twaalf exemplaren.

Op advies van de betrokken administraties en van de BMM voor wat betreft de beoordeling van de milieueffecten, de federale minister bevoegd voor energie binnen maximaal 135 werkdagen vanaf de ontvangst van een volledige vergunningsaanvraag te beslissen over de aanvraag. Het KB legt de toekenningscriteria vast op grond waarvan de minister de vergunningsaanvraag kan goed- of afkeuren.

Besluit: juridische aspecten van het ontwerp, bouw en uitbating van een energieatol

Om de vraag te beantwoorden welke overheid (federale of gewestelijke) bevoegd is voor het afleveren van de nodige vergunningen, moet gekeken worden naar het feit of het atol kan beschouwd worden als een permanent havenwerk of niet.

Indien het energieatol kan gezien worden als een permanent havenwerk valt het atol (eens aangelegd) mogelijks onder de bevoegdheid van het Vlaamse Gewest. Aangezien het energieatol echter geen direct doel lijkt te hebben in de havenactiviteiten, lijkt het dus echter geen permanent havenwerk te zijn. Bijgevolg lijkt de federale overheid bevoegd voor het afleveren van de nodige vergunningen. Voor de volledigheid is ook echter de Vlaamse vergunningsprocedure onderzocht.

Voor de bouw en uitbating van een energieatol is een domeinconcessie vereist. Alle voorgestelde locatiealternatieven liggen buiten de zones voorzien in het KB van 20 december 2000, die de domeinconcessies afbakend.

Voor het verkrijgen van een concessie is een uitbreiding van het KB noodzakelijk. Deze uitbreiding is reeds voorzien in het regeerakkoord, maar wel alleen voor offshore windmolenparken. Een aanvraag voor een domeinconcessie wordt ingediend bij de CREG. De periode voor het verkrijgen van een domeinconcessie bedraagt ongeveer 1 jaar.

Hoewel de geplande uitbreiding van de concessiezone enkel geldt voor offshore windmolenparken, is in het marien ruimtelijk plan van de Noordzee wel al de mogelijkheid tot de bouw van een energieatol opgenomen. Er kan dus verondersteld worden dat de wetgeving rond de concessies zal aangepast worden.

Naast een domeinconcessie zijn nog volgende vergunningen nodig (federale vergunningsprocedure):

- **Bouw- en milieuvergunning van de BMM**
- **Vergunning voor het leggen van een elektriciteitskabel op zee van de FOD economie**

Voor het aansluitingspunt op land zijn nog volgende extra vergunningen nodig:

- **Stedenbouwkundige vergunning van het Vlaams gewest voor elektriciteitskabels op land**
- **Indien de kabels openbaar domein kruisen en**
 - **Spanning \leq 70 kV dan is er een domeintoelating nodig. Deze procedure is geïntegreerd in de procedure voor de stedenbouwkundige vergunning**
 - **Spanning $>$ 70 kV dan is er een wegvergunning van de FOD economie nodig**

In elk geval is er ook een aansluitingscontract met ELIA nodig.

Algemeen kan ook besloten worden dat er momenteel geen regelgeving over de opslag van elektriciteit, wel voor de opwekking en distributie. De business van elektriciteitsopslag is nog niet gereguleerd en dus volledig afhankelijk van de vrije markt. Om de realisatie van een energieatol en andere opslagvormen van elektriciteit haalbaar te maken is een regulatie van deze activiteiten via een wetswijziging noodzakelijk.

6 SWOT-analyse van de locatiealternatieven

Om één of meerdere voorkeurslocatiealternatieven te bepalen, wordt voor elk locatiealternatief een SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)-analyse uitgevoerd. In de SWOT-analyse worden de sterktes, de zwaktes, de opportuniteiten, die een alternatief kunnen versterken, en de bedreigingen, die een alternatief kunnen verzwakken, in kaart gebracht. De criteria die gebruikt worden voor het beoordelen van elk locatiealternatief zijn de volgende:

- Bouwtechnische criteria.
- Geschiktheid voor het uitbaten van nevenfuncties.
- Mogelijke combinatie met andere offshore projecten.
- Ecologische impact.
- Financieel-economische haalbaarheid.
- Juridische knelpunten of opportuniteiten.

6.1 Evaluatie van de locatiealternatieven

6.1.1 Energieatol Zeebrugge

Het energieatol Zeebrugge is het locatiealternatief dat het dichtst bij de kust gelegen is. Deze nabijheid van de kust geeft dit locatiealternatief een aantal belangrijke troeven. Zo wordt de constructie van het atol eenvoudiger door de goede bereikbaarheid en de minder extreme weersomstandigheden. Deze weeromstandigheden maken ook dat de dijken van het energieatol minder hoog moeten opgetrokken worden dan op volle zee. Dit effect wordt nog versterkt door de mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge die voor extra afscherming kan zorgen wanneer het energieatol in combinatie met de uitbreiding wordt aangelegd. De haven van Zeebrugge maakt ook de verbinding met land gemakkelijker. De elektrische aansluiting van het atol kan via de geplande constructie van het hoogspanningsstation Stevin gebeuren. Het energieatol Zeebrugge is ook zeer geschikt voor een combinatie met tal van secundaire functies zoals toerisme, kustbescherming, algenkweek, een marien wetenschappelijk centrum en productie van windenergie. Deze functies kunnen de rentabiliteit van het atol verhogen. Dit alles maakt dat het energieatol Zeebrugge een gevoelig lagere kostprijs heeft dan de andere locatiealternatieven. Een extra voordeel van deze locatie is de aanwezigheid van een kleilaag op een bruikbare diepte.

Het feit dat het energieatol Zeebrugge dicht bij de kust gelegen is maakt echter wel dat er een grotere ecologische impact kan verwacht worden dan bij de andere locatiealternatieven. Het energieatol Zeebrugge zou een impact kunnen hebben op de erosie en sedimentatieprocessen en op de getijdenwerking ter hoogte van de kust. Bovendien is het atol gelegen in het vogelrichtlijngebied. Door de ligging nabij de kust is de impact op het zeezicht ook groter.

Er zijn een aantal opportuniteiten die het het locatiealternatief van Zeebrugge kunnen versterken. Zo is er de reeds eerder aangehaalde combinatie met de mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge. Daarnaast kan het energieatol ook gecombineerd worden met de realisatie van het strandmeer en het kustbeschermingsplan van de Vlaamse Baaien. Dit strandmeer kan dan gebruikt worden om een grote natuurcompensatiezone op te richten. Hierdoor kan de grotere milieu-impact die het locatiealternatief heeft, gecompenseerd worden.

De grootste bedreigingen die het alternatief kunnen verzwakken zijn uitstel of het niet realiseren van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse baaien.

Een overzicht van de SWOT-analyse voor het energieatol Zeebrugge is te zien in Tabel 17.

6.1.2 Energieatol Thorntonbank

De belangrijkste sterktes van het energieatol Thorntonbank komen voort uit de nabijheid van de offshore windmolenparken en het bijhorende geplande alfa-eiland. Door de nabijheid van dit alfa-eiland kan de elektrische connectie met het vasteland eenvoudig gebeuren. Bovendien kunnen de kosten gedrukt worden als het atol gebouwd kan worden in combinatie met het alfa-eiland. De locatie dicht bij de offshore windmolenparken biedt ook de mogelijkheid om een offshore uitvalsbasis in te richten voor het onderhoud van de windmolenparken. Deze locatie is ook dieper in zee gelegen waardoor de milieu-impact beperkter is.

De diepe ligging in zee geeft ook wel aanleiding tot een aantal zwaktes van de locatie. Zo zijn de weersomstandigheden in volle zee extremer waardoor er hogere dijken nodig zijn en de bouw bemoeilijkt wordt. Dit zal leiden tot een hogere kostprijs dan deze voor het energieatol Zeebrugge. Een bijkomen minpunt is dat het locatiealternatief van de Thorntonbank gelegen is in een zandwinningszone. Bij een mogelijke bouw van het energieatol zal hiermee rekening moeten gehouden worden. Een laatste punt is de geologische ondergrond, er is namelijk geen kleilaag aanwezig op de juiste diepte. Dit zal een zekere invloed hebben op de efficiëntie van het atol.

De opportuniteiten van dit alternatief zijn zoals eerder vermeld de combinatie met het alfa-eiland en de mogelijke vergroting van de zone voor offshore domeinconcessies. Dit zou het verkrijgen van een vergunning kunnen vergemakkelijken.

De belangrijkste bedreiging voor dit locatiealternatief is de mogelijke uitbreiding van de zone exclusief bestemd voor offshore windmolenparken. Een dergelijke uitbreiding op de locatie van het energieatol zou de bouw van het atol bemoeilijken.

Een overzicht van de SWOT-analyse voor het energieatol Thorntonbank is gegeven in Tabel 18.

6.1.3 Energieatol Vlake van de Raan

Het locatiealternatief op de Vlake van de Raan ligt verder uit de kust dan het energieatol Zeebrugge, maar dichterbij de kust dan de twee andere locatiealternatieven. Deze relatief vlotte bereikbaarheid en het grotere wateroppervlak dan het energieatol Zeebrugge, maakt dat dit locatiealternatief het meest geschikt is voor het kweken van algen. De nabijheid van scheepvaartroutes maakt de locatie ook geschikt voor het inrichten van een schuilhaven. Net zoals in Zeebrugge is ook hier een kleilaag aanwezig op de juiste diepte.

De zwaktes van dit locatiealternatief zijn zoals bij het energieatol Thorntonbank gerelateerd aan de relatief diepe ligging in zee. Hierdoor moeten de dijken hoger zijn en wordt de bouw bemoeilijkt. Doordat de kust dichterbij is, kampt dit locatiealternatief nog steeds met een impact op het zeezicht. Een extra zwakte is het ontbreken van een hoogspanningsstation in de buurt voor de aansluiting op het elektriciteitsnet. Dit alles maakt dat de kostprijs hoger ligt dan bij het energieatol van Zeebrugge en Thorntonbank.

Het energieatol Vlake van de Raan is wel gelegen langs de geplande landkabel van het stopcontact op zee. Langs deze mogelijke kabel kan het energieatol dan elektrisch verbonden worden met het vasteland.

Net zoals bij het energieatol Thorntonbank is de belangrijkste bedreiging een mogelijke uitbreiding van de zone exclusief bestemd voor offshore windmolenparken.

Een overzicht van de SWOT-analyse voor het energieatol Vlake van de Raan wordt gegeven in Tabel 19.

6.1.4 Energieatol Gootebank

Het energieatol Gootebank is vlak naast een belangrijke scheepvaartroute gelegen. Dit maakt dit locatiealternatief uiterst geschikt voor de constructie van een schuilhaven. Het energieatol kan ook gebruikt worden om algen te kweken. Door de grote afstand tot de kust is de milieu-impact beperkt. Ook hier is een kleilaag aanwezig op de juiste diepte.

De zwaktes van het locatiealternatief zijn ook hier gebonden aan het feit dat het atol ver in zee is gelegen, wat aanleiding geeft tot hogere dijken, moeilijkere bouw, verminderde bereikbaarheid en dus tot een hogere kostprijs, de hoogste van alle locatiealternatieven. Bovendien is er geen hoogspanningsstation in de nabijheid.

De grote troef van dit locatiealternatief is de schuilhaven. Zoals eerder in de studie is aangehaald is er vanuit de Noordzeehavens behoefte voor een gecoördineerde aanpak van de problematiek van geaccidenteerde schepen. Een schuilhaven kan daar een belangrijke rol spelen en de locatie van het atol is in dit opzicht ideaal.

Ook hier bestaat het mogelijk gevaar dat deze zone wordt ingedeeld als een zone die exclusief bestemd is voor offshore windmolenparken.

Een overzicht van de SWOT-analyse van het energieatol Gootebank is gegeven in Tabel 20.

6.2 Selectie voorkeursalternatief

Uit de voorgaande bespreking van de verschillende weerhouden locatiealternatieven onder de vorm van een SWOT-analyse kan nu een ranking worden opgesteld van het meest tot het minst preferentiële locatiealternatief:

1. Energieatol Zeebrugge
2. Energieatol Thorntonbank
3. Energieatol Vlake van de Raan
4. Energieatol Gootebank

Op de eerste plaats, **als beste locatiealternatief komt uit de SWOT-analyse duidelijk Zeebrugge naar voor**. Het energieatol Zeebrugge combineert een aantal technisch-functionele voordelen met een lage kostprijs in vergelijking met de andere locatiealternatieven. Bovendien vormen de mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien belangrijke opportuniteiten die het locatiealternatief Zeebrugge versterken. Zo kan het belangrijkste nadeel van het locatiealternatief, de grotere milieu-impact door de ligging dicht bij de kust, gecompenseerd worden door een natuurcompensatie op het strandmeer van de Vlaamse Baaien.

Op de tweede plaats komt het energieatol Thorntonbank. Hoewel uit de SWOT-analyse blijkt dat Zeebrugge veruit het beste locatiealternatief is, is de locatie op de Thorntonbank het overwegen waard. De voordelen van de mogelijke combinatie met het alfa-eiland en de nabijheid van de offshore windmolenparken geven dit locatiealternatief een voorsprong op de andere twee.

De locatiealternatieven **Vlake van de Raan en Gootebank kunnen als min of meer vergelijkbaar worden beschouwd** en hebben op basis van de SWOT-analyse een mindere voorkeur. Het locatiealternatief Vlake van de Raan heeft door zijn lagere kostprijs wel de voorkeur op het locatiealternatief Gootebank.

Van de 2 beste locatiealternatieven werd een artist-impressie toegevoegd in de Figuren 43, 44, 45, 46, 47 en 48. Voor het opmaken van de impressies werd vertrokken van de bestaande situatie ter hoogte van Zeebrugge en de Thorntonbank. De impressies werden op schaal in 3D gegenereerd met de software 3ds Max.

Energieatol Zeebrugge

Artist impressies op Figuur 43, 44 en 45 (in combinatie met het strandmeer van de Vlaamse Baaien) en op Figuur 46, 47 en 48

Sterkten van het alternatief (S)	Zwakten van het alternatief (W)
<ul style="list-style-type: none"> • Goede bereikbaarheid door nabijheid van de kust • Beperkte dijkhoogte (11 mTAW) als gevolg van lagere golfhoogte • Minder extreme omstandigheden voor bouw energieatol in vergelijking met andere alternatieven, beschutting door uitbreiding voorhaven Zeebrugge • Kleilaag aanwezig op beperkte diepte voor waterdichting • Nabijheid van toekomstig hoogspanningsstation Stevin voor aansluiting energieatol op electriciteitsnet • Fysische verbinding met land mogelijk • Zeer geschikt voor een combinatie met de secundaire functies toerisme, marien wetenschappelijk centrum, kustbescherming • Geschikt voor algenkweek (nabijheid tot de kust) en windmolens op dijken • Lage kostprijs in vergelijking met andere alternatieven 	<ul style="list-style-type: none"> • Milieu-impact: impact op erosie- en sedimentatieprocessen, op getijdenwerking ter hoogte van de kust, gelegen in vogelrichtlijngebied, impact op zeezicht
Opportunities die het alternatief kunnen versterken(O)	Bedreigingen die het alternatief kunnen verzwakken (T)
<ul style="list-style-type: none"> • Combinatie mogelijk met de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge (ontwerpstudies lopende) • Combinatie mogelijk met de realisatie van strandmeer Vlaamse Baaien • Integratie van energieatol in uitgebreid kustbeschermingsplan Vlaamse Baaien • Mogelijkheid tot inrichting van grote natuurcompensatiezone op strandmeer 	<ul style="list-style-type: none"> • Geen of uitstel realisatie uitbreiding voorhaven van Zeebrugge • Geen of uitstel realisatie Vlaamse Baaien

Tabel 17: SWOT-analyse energieatol Zeebrugge



FIG. 43: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE IN COMBINATIE
MET HET STRANDMEER VAN DE VLAAMSE BAAIEN
INVALSHOEK VANUIT DE KUST

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP





FIG. 44: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE IN COMBINATIE
MET HET STRANDMEER VAN DE VLAAMSE BAIEN
INVALSHOEK VANUIT DE NOORDZEE

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



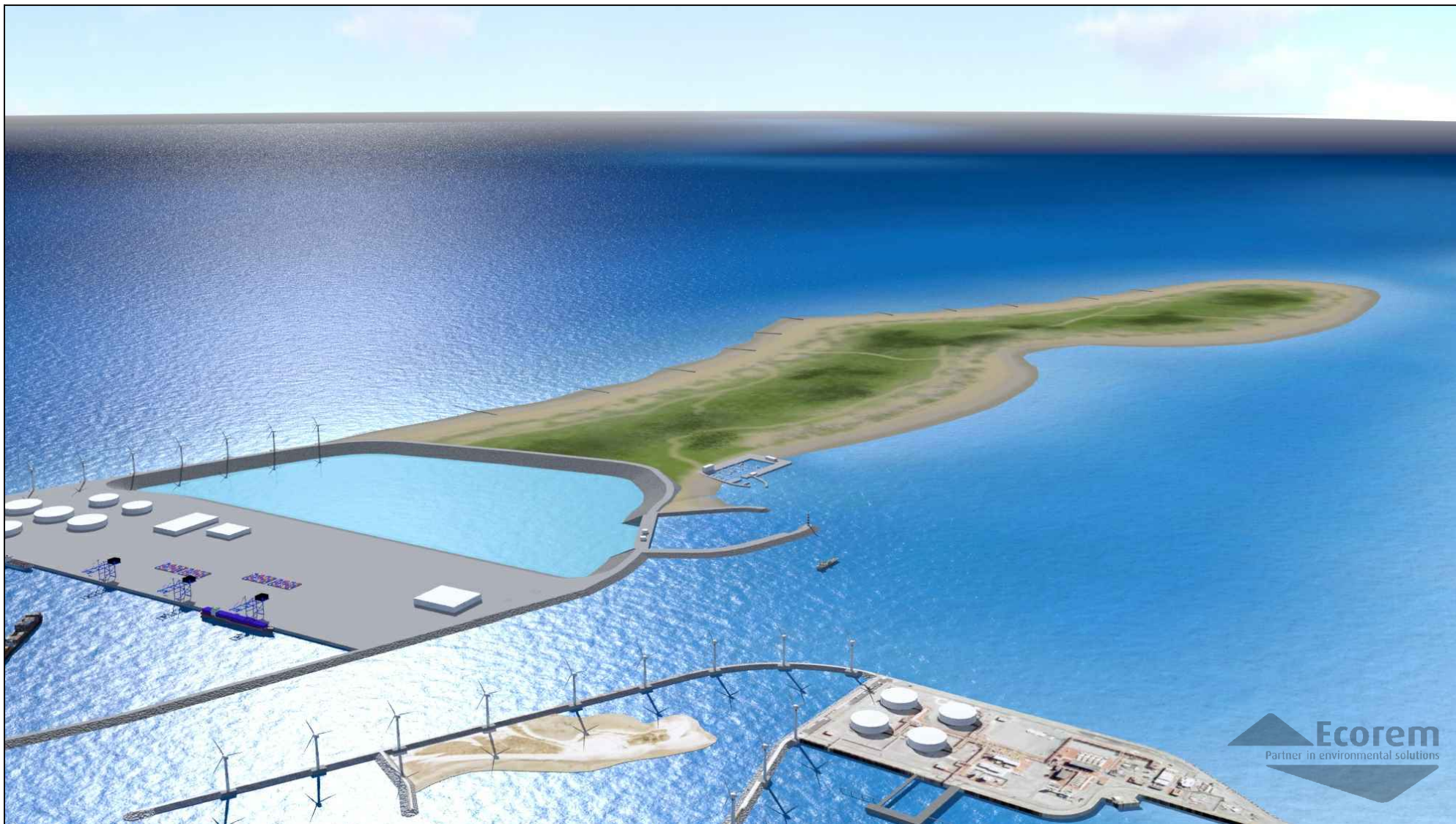


FIG. 45: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE IN COMBINATIE
MET HET STRANDMEER VAN DE VLAAMSE BAIEN
INVALSHOEK VANUIT DE HUIDIGE VOORHAVEN VAN ZEEBRUGGE

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP





FIG. 46: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE
INVALSHOEK VANUIT DE KUST

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP





FIG. 47: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE
INVALSHOEK VANUIT DE NOORDZEE

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



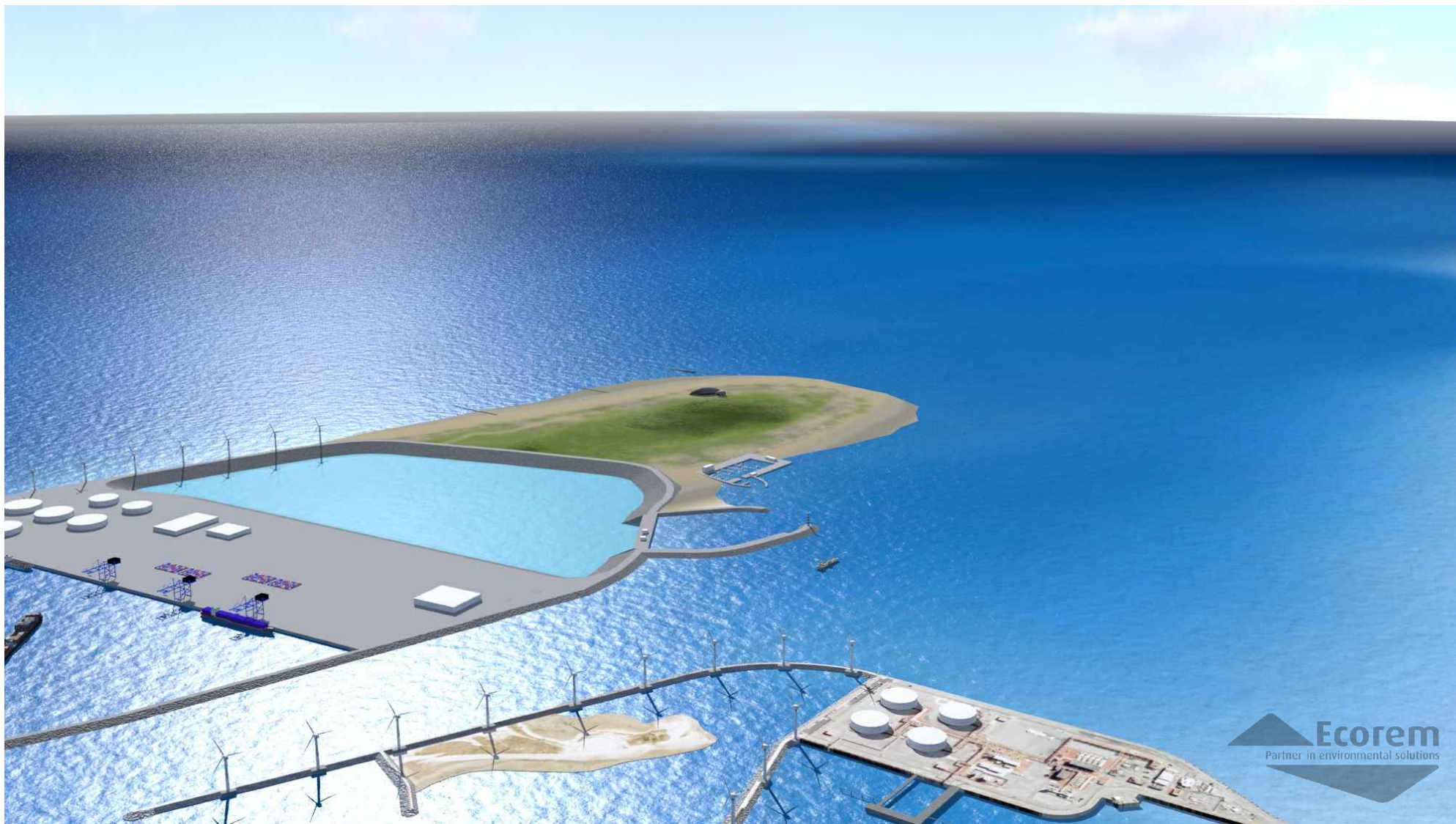


FIG. 48: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL ZEEBRUGGE
INVALSHOEK VANUIT DE HUIDIGE VOORHAVEN VAN ZEEBRUGGE

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



Energieatol Thorntonbank

Artist impressies op Figuur 49, 50 en 51

Sterkten van het alternatief (S)	Zwakten van het alternatief (W)
<ul style="list-style-type: none"> • Nabijheid alfa-station voor aansluiting energieatol op electriciteitsnet • Zeer geschikt voor een combinatie met de secundaire functies uitvalsbasis onderhoud offshore windmolens, windmolens op dijken (nabijheid van offshore windmolenparken) • Geschikt voor algenkweek (grote beschikbare oppervlakte) en schuilhaven • Beperkte milieu-impact • Kostenreductie mogelijk door combinatiemogelijkheid met alfa-eiland 	<ul style="list-style-type: none"> • Kleilaag te diep gelegen voor volledige waterdichting • Hogere dijkhoogte (15 mTAW) nodig in vergelijking met energieatol Zeebrugge • Extremere omstandigheden voor bouw energieatol • Verminderde bereikbaarheid door grote afstand tot de kust • Hogere kostprijs i.v.m. energieatol Zeebrugge • Gelegen in zandwinningszone
Opportunities die het alternatief kunnen versterken(O)	Bedreigingen die het alternatief kunnen verzwakken (T)
<ul style="list-style-type: none"> • Combinatie mogelijk met alfa-eiland (concreet project, studie voor ontwerp alfa-eiland aanbesteed) • Mogelijke vergroting zone van de bestaande offshore domeinconcessies i.k.v. vergunning energieatol 	<ul style="list-style-type: none"> • In mogelijke uibreidingszone exclusief bestemd voor offshore windmolenparken

Tabel 18: SWOT-analyse energieatol Thorntonbank



FIG. 49: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL THORNTONBANK
OOSTELIJKE INVALSHOEK

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



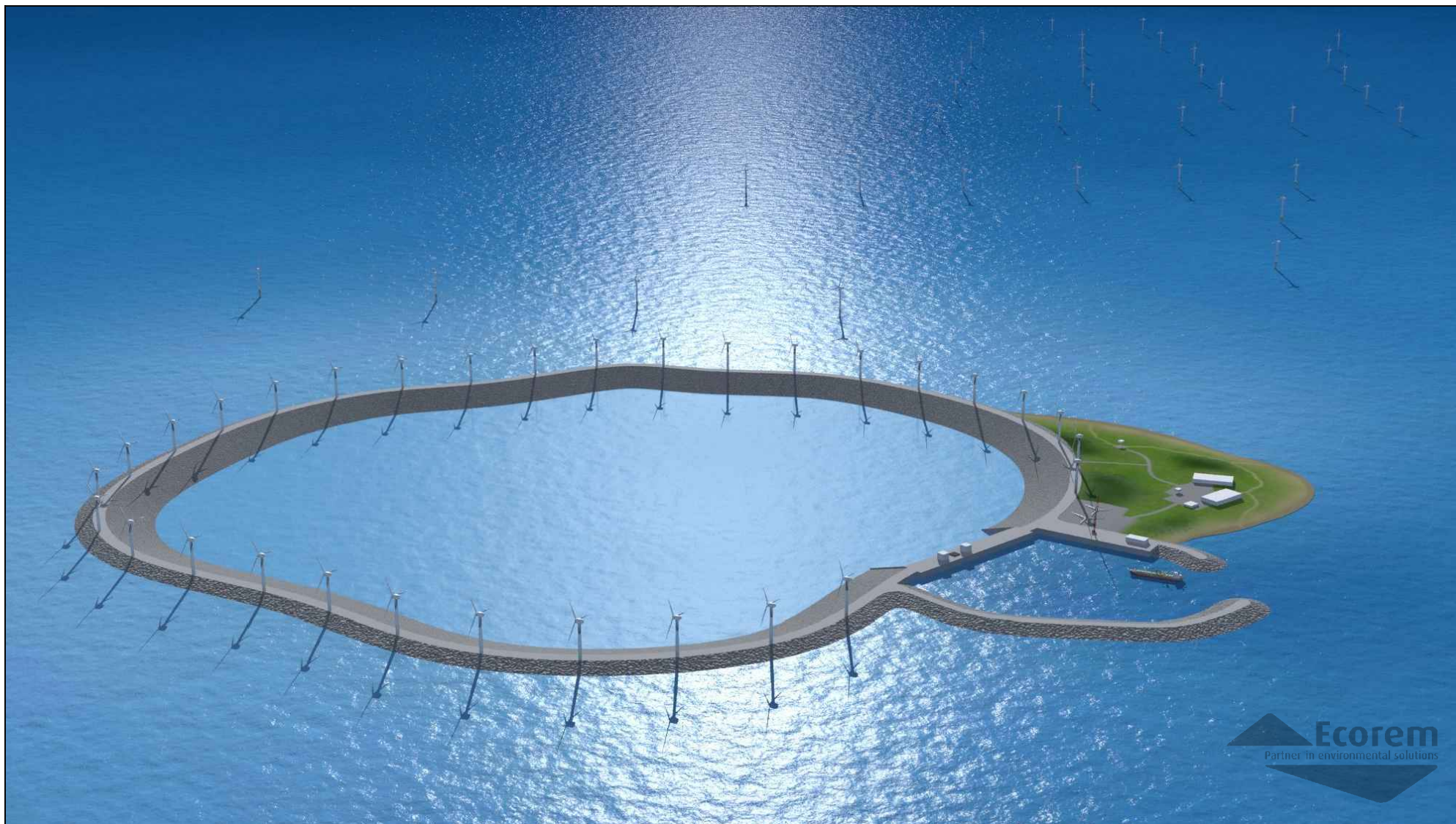


FIG. 50: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL THORNTONBANK
WESTELIJKE INVALSHOEK RICHTING WINDMOLENPARK C-POWER

MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP



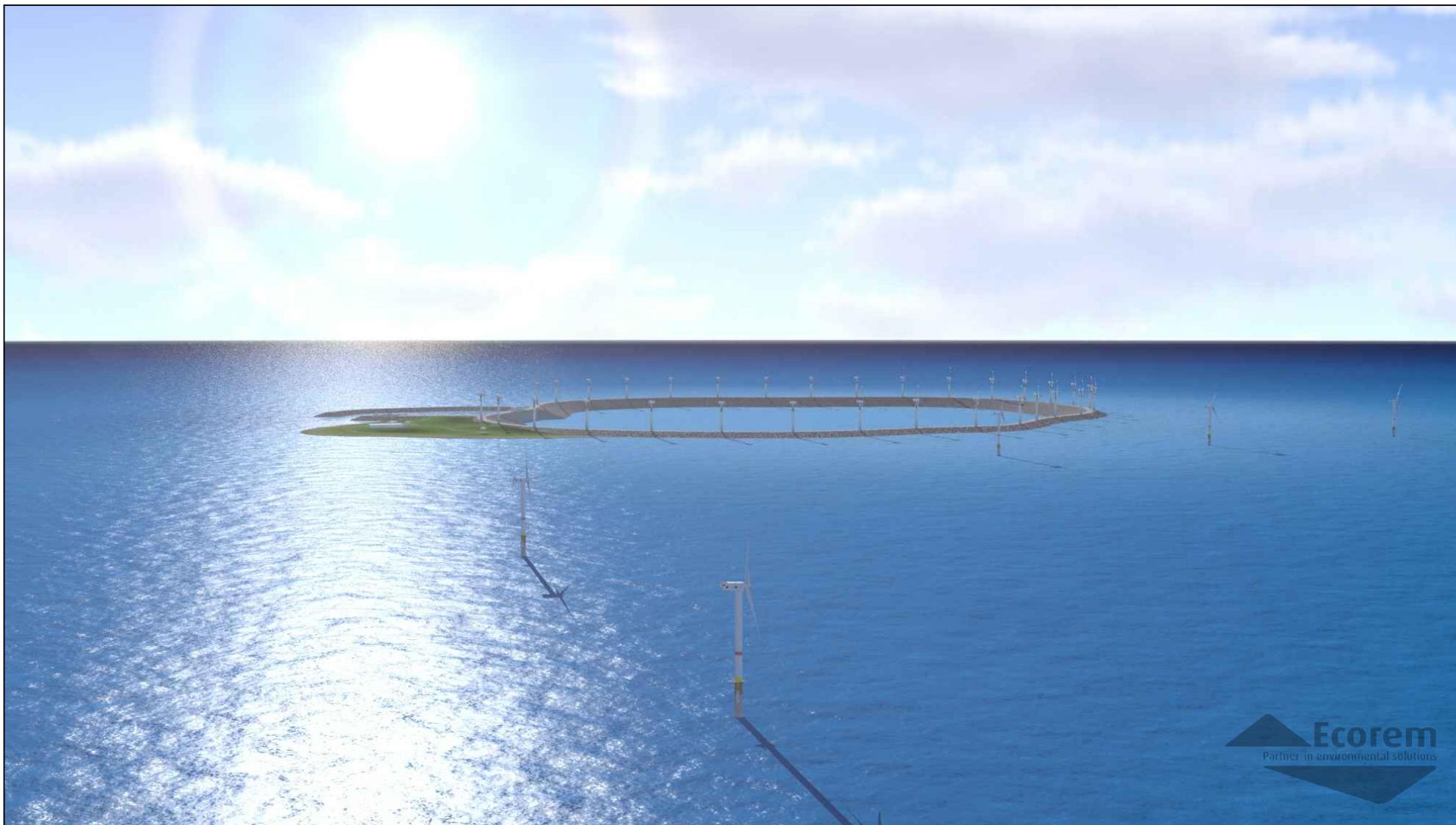


FIG. 51: ARTIST IMPRESSIE ENERGIEATOL THORNTONBANK -
OOSTELIJKE INVALSHOEK VANUIT WINDMOLENPARK C-POWER



MIP-Haalbaarheidsstudie "Het Energieatol: Energieopslag in de Noordzee" - MIP

Energieatol Vlakte van de Raan

Sterkten van het alternatief (S)	Zwakten van het alternatief (W)
<ul style="list-style-type: none"> • Relatief dicht bij de kust in vergelijking met energieatol Thorntonbank en Gootebank • Kleilaag aanwezig op beperkte diepte voor realisatie waterdichting • Zeer geschikt voor een combinatie met de secundaire functies algenkweek (relatief dicht bij kust + grote oppervlakte) • Geschikt voor schuilhaven 	<ul style="list-style-type: none"> • Milieu-impact: impact op zeezicht • Hogere dijkhoogte (15 mTAW) nodig in vergelijking met energieatol Zeebrugge • Extremere omstandigheden voor bouw energieatol • Hogere kostprijs i.v.m. energieatol Zeebrugge en energieatol Thorntonbank • Geen nabijheid van (toekomstig) hoogspanningsstation voor aansluiting op elektriciteitsnet
Opportunities die het alternatief kunnen versterken(O)	Bedreigingen die het alternatief kunnen verzwakken (T)
<ul style="list-style-type: none"> • Aansluiting op elektriciteitsnet via landingskabel van het Stopcontact op Zee 	<ul style="list-style-type: none"> • In mogelijke uitbreidingszone exclusief bestemd voor offshore windmolenparken

Tabel 19: SWOT-analyse energieatol Vlakte van de Raan

Energieatol Gootebank

Sterkten van het alternatief (S)	Zwakten van het alternatief (W)
<ul style="list-style-type: none"> • Kleilaag aanwezig op beperkte diepte voor realisatie waterdichting • Zeer geschikt voor een combinatie met de secundaire functie schuilhaven (nabijheid belangrijke vaarroute) • Geschikt voor algenkweek (grote oppervlakte) • Beperkte milieu-impact 	<ul style="list-style-type: none"> • Hogere dijkhoogte (15 mTAW) nodig in vergelijking met energieatol Zeebrugge • Extremere omstandigheden voor bouw energieatol • Verminderde bereikbaarheid door grote afstand tot de kust • Hogere kostprijs i.v.m. energieatol Zeebrugge, energieatol Thorntonbank en energieatol Vlake van de Raan • Geen nabijheid van (toekomstig) hoogspanningsstation voor aansluiting op elektriciteitsnet
Opportunities die het alternatief kunnen versterken(O)	Bedreigingen die het alternatief kunnen verzwakken (T)
<ul style="list-style-type: none"> • Behoeft vanuit de noordzeehavens voor een gecoördineerde aanpak van de problematiek van geaccidenteerde schepen 	<ul style="list-style-type: none"> • In mogelijke uitbreidingszone exclusief bestemd voor offshore windmolenparken

Tabel 20: SWOT-analyse energieatol Gootebank

Besluit: SWOT-analyse van weerhouden locatiealternatieven

Uit de SWOT-analyse is een duidelijke ranking bekomen van de verschillende locatiealternatieven. Van meest naar minst preferentieel gerangschikt geeft dit:

1. Energieatol Zeebrugge
2. Energieatol Thorntonbank
3. Energieatol Vlakte van de Raan
4. Energieatol Gootebank

Als beste locatiealternatief komt uit de SWOT-analyse duidelijk Zeebrugge naar voor. Het energieatol Zeebrugge combineert een aantal technisch-functionele voordelen met een lage kostprijs in vergelijking met de andere locatiealternatieven. Bovendien vormen de mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien belangrijke opportuniteiten die het locatiealternatief Zeebrugge versterken. Zo kan het belangrijkste nadeel van het locatiealternatief, de grotere milieu-impact, gecompenseerd worden door de inrichting van natuurcompensatiezones op zee.

7 Algemeen besluit van de haalbaarheidsstudie

In opdracht van het Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform werd door Ecorem nv in samenwerking met de partners MBZ en Rent-a-Port de haalbaarheidsstudie “Energieatol – energieopslag op de Noordzee” uitgevoerd.

In de haalbaarheidsstudie werd de technische, administratief-juridische en financieel-economische haalbaarheid onderzocht van een energiebuffer op de Noordzee, die de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen kan stabiliseren.

Deze energiebuffer werd in de studie het energieatol genoemd. In het energieatol wordt elektrische energie afkomstig van hernieuwbare energiebronnen opgeslagen onder de vorm van waterkracht.

Voor alle basiscomponenten van het energieatol werd in de studie een ontwerp uitgewerkt. Aangezien voor elke component een beroep kon worden gedaan op technisch goed gekende en in de markt beschikbare technieken, kon worden besloten dat een bouw van een energieatol offshore technisch haalbaar is.

Op basis van een locatiestudie, die rekening hield met de reeds bestaande structuren op de Noordzee, werden 4 concrete locatiealternatieven voor het energieatol voorgesteld:

- Het energieatol Zeebrugge
- Het energieatol Thorntonbank
- Het energieatol Vlake van de Raan
- Het energieatol Gootebank

Voor elke locatiealternatief werd een SWOT-analyse uitgevoerd. De criteria die gebruikt werden voor het beoordelen van elk locatiealternatief zijn de volgende:

- Bouwtechnische criteria.
- Geschiktheid voor het uitbaten van nevenfuncties.
- Mogelijke combinatie met andere offshore projecten.
- Ecologische impact.
- Financieel-economische haalbaarheid.
- Juridische knelpunten of opportuniteiten.

Op basis van de SWOT-analyse werden de locatiecriteriën als volgt gerangschikt:

1. Energieatol Zeebrugge
2. Energieatol Thorntonbank
3. Energieatol Vlake van de Raan
4. Energieatol Gootebank

De SWOT-analyse toonde duidelijk aan dat het energieatol Zeebrugge het voorkeursalternatief is. Het energieatol Zeebrugge combineert een aantal technisch-functionele voordelen met een lage kostprijs in vergelijking met de andere locatiealternatieven. Bovendien vormen de mogelijke uitbreiding van

de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien belangrijke opportuniteiten die het locatiealternatief Zeebrugge versterken. Zo kan het belangrijkste nadeel van het locatiealternatief, de grotere milieu-impact, gecompenseerd worden door de inrichting van natuurcompensatiezones op zee.

Teneinde na te gaan of de realisatie van een energieatol ook financieel-economisch haalbaar is, werd zowel een benchmarking met andere systemen om elektriciteit op te slaan, als een kosten-baten analyse uitgevoerd. De benchmarking studie wees uit dat het energieatol duidelijk competitief is in vergelijking met andere elektriciteitsopslagsystemen. Met de kosten-baten analyse werd aangetoond dat het energieatol rendabel is met een ROE van ongeveer 12% indien de grens voor het vermogen dat Elia maximaal kan reserveren bij één leverancier en de bijhorende reserveringsvergoeding opgetrokken worden. Deze rendabiliteit kan verder verhoogd worden door het energieatol ook voor andere functies dan de opslag van elektrische energie in te zetten.

Naast de opslag van elektrische energie werd aangetoond dat het energieatol ook kan gebruikt worden voor nevenfuncties, zoals de productie van groene stroom uit wind, de kweek van algen, de bescherming van de kustlijn tegen de gevolgen van de klimaatsverandering, het onderbrengen van geaccidenteerde schepen in een schuilhaven en de oprichting van een marien wetenschappelijk centrum.

Via een administratief-juridische studie werd aangegeven hoe het huidig wetgevend en beleidskader dient te worden bijgestuurd om een effectieve realisatie van een energieatol mogelijk te maken.

De haalbaarheid van dit project kan enkel verzekerd worden door het invoeren van een regulering voor energieopslag. Vandaag is er enkel regulering voor productie en transmissie van elektriciteit. De opslag van elektriciteit is thans niet gereguleerd en is volledig afhankelijk van de vrije markt. **Om de realisatie van een energieatol en andere opslagvormen van elektriciteit haalbaar te maken is het reguleren van deze activiteiten via een wetswijziging dus nodig.**

Als besluit van de haalbaarheidsstudie kan worden gesteld dat het energieatol technisch en financieel-economisch haalbaar is en dat het de transitie naar een groene economie kan mogelijk maken door de discontinuïteit van hernieuwbare energiebronnen op te vangen en te stabiliseren met behulp van waterkracht.

8 Niet-technische samenvatting

Inleiding

In opdracht van het Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform (MIP) werd door Ecorem, in samenwerking met de partners MBZ en Rent-a-Port, de haalbaarheidsstudie “Energieatol – Energieopslag in de Noordzee” uitgevoerd.

Het MIP stimuleert en ondersteunt bedrijven in Vlaanderen in het onderzoek naar de toepassing van milieuvriendelijke technologieën. Het voorstel van haalbaarheidsstudie “Energieatol: waterkrachtcentrale in de Noordzee” werd bij het MIP ingediend in april 2011. In september 2011 verleende het MIP, het Vlaams Energieagentschap (VEA), de Vlaamse openbare Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT) en de Raad van Bestuur van het VITO samen de goedkeuring voor de uitvoering van de haalbaarheidsstudie. De haalbaarheidsstudie werd opgestart op 1 oktober 2011.

Projectsituering

Sinds het begin van de 20^{ste} eeuw is de gemiddelde temperatuur op aarde met ongeveer 0,74°C gestegen. Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is deze temperatuursstijging zo goed als zeker veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteit.

Om een verdere stijging te voorkomen, werd in 1992 door de Verenigde Naties het klimaatverdrag “United Nations Framework Convention on Climate Change” afgesloten. In 1997 werd dit klimaatverdrag door het Kyoto-protocol vertaald in een concrete doelstelling: een gemiddelde daling van de uitstoot van broeikasgassen met 5% ten opzichte van het niveau van 1990 tegen 2012.

Voor de periode na het Kyoto-protocol (2012 tot 2020) formuleerde Europa de 20-20-20 klimaatsdoelstelling. Deze doelstelling houdt in dat tegen 2020:

- De gemiddelde uitstoot van broeikasgassen moet verlaagd worden met 20% ten opzichte van 1990.
- Het energieverbruik met gemiddeld 20% moet dalen ten opzichte van 1990.
- Gemiddeld 20% van het energieverbruik moet afkomstig zijn van hernieuwbare energiebronnen.

Europa opteert dus duidelijk voor hernieuwbare energie als één van de speerpunten voor het aanpakken van de klimaatcrisis.

Hernieuwbare energiebronnen, zoals windenergie en zonne-energie, hebben echter te kampen met een belangrijk nadeel. Deze **hernieuwbare energiebronnen** worden gekenmerkt door een **niet-stabiele, variabele productie** als gevolg van variërende meteorologische omstandigheden. Bovendien kan ondanks het gebruik van gesofisticeerde weermodellen deze variabele productie

thans niet exact voorspeld worden.

Dit heeft als gevolg dat de elektriciteitsproductie van deze hernieuwbare energiebronnen slechts moeilijk afgestemd kan worden op de vraag naar elektriciteit. Dit leidt tot **twee belangrijke problemen**:

- **Een eerste probleem is dat de injectie van een variabele en niet juist te voorspellen hoeveelheid groene stroom op het elektriciteitsnet het evenwicht van het net in het gedrang kan brengen.** Hierdoor zou een black-out kunnen ontstaan waarbij de stroom geheel of gedeeltelijk kan uitvallen.
- **Een tweede probleem is dat de variabele productie de concurrentiële positie van hernieuwbare energie op de elektriciteitsmarkt verzwakt.**

Een mogelijke oplossing voor deze problematiek is het inpassen van een **energiebuffer** in het net, die elektriciteit kan opslaan en vrijgeven wanneer nodig. Met dergelijke buffer zou de **variabiliteit in de productie van groene elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen opgevangen kunnen worden**. Deze energiebuffer kan gerealiseerd worden door groene elektriciteit op te slaan onder de vorm van waterkracht.

Voorstelling energieatol

Hoofdfuncties van het energieatol

De hoofdfuncties van het energieatol zijn de functies die een oplossing bieden voor de variabele productie van hernieuwbare energiebronnen door de opslag van elektriciteit onder de vorm van waterkracht.

Er werden 3 hoofdfuncties onderscheiden:

- ***Snel inschakelbare reserve voor transmissienetbeheerder ELIA.*** Door het energieatol in te zetten als reserve kan Elia de stabiliteit van het elektriciteitsnet behouden en grootschalige stroompannes vermijden.
- ***Buffer voor het opvangen van productieafwijkingen binnen een perimeter van een ARP.*** Het energieatol kan als buffer fungeren voor hernieuwbare energiebronnen, waardoor de marktwaarde van groene elektriciteit wordt verhoogd en nieuwe investeringen in hernieuwbare energiebronnen worden gestimuleerd.
- ***“Trading” van elektriciteit of prijsarbitrage.*** Het energieatol kan de afzet van elektriciteit optimaliseren door elektriciteit op te slaan tijdens periodes van kleine vraag en elektriciteit te produceren tijdens periodes met een grote vraag.

De hoofdfuncties worden beschouwd als basisfuncties, die wanneer ze worden geplaatst binnen een competitief marktkader inkomsten kunnen genereren voor het energieatol.

Uitvoeringsalternatieven

In functie van het reservoirtype werden in de studie 3 uitvoeringsvormen onderscheiden: een valmeercentrale, een spaarbekkencentrale en een combinatie van een valmeer- en een

spaarbekkencentrale. Bij een **valmeercentrale** wordt een overdiepte gecreëerd. Energie wordt opgeslagen door water uit het reservoir weg te pompen zodat het peil binnen dit reservoir lager komt te staan dan dat van de Noordzee. Door water vanuit de Noordzee in het reservoir te laten lopen, wordt de opgeslagen energie terug omgezet in elektriciteit. Bij een **spaarbekkencentrale** wordt een overhoogte gecreëerd. Energie wordt in het reservoir opgeslagen door water vanuit de Noordzee op te pompen. Deze energie kan terug omgezet worden door het water over turbines in de Noordzee te laten stromen. Bij een **combinatie van een spaarbekkencentrale met een valmeercentrale** wordt zowel een overhoogte als een overdiepte gecreëerd. Afhankelijk van het waterniveau in het reservoir en de wens om elektriciteit op te slaan of te produceren, wordt het principe van het spaarbekken of het valmeer toegepast. Het idee is dat een energiepotentieel zowel kan opgebouwd worden door een waterniveau in het reservoir lager dan het zeeniveau als door een waterniveau in het reservoir hoger dan het zeeniveau.

Op basis van een vergelijking van de mogelijke uitvoeringsvormen werd de valmeercentrale als meest voordelige uitvoeringsalternatief weerhouden.

Opbouw van het energieatol

De technische uitvoerbaarheid van een energieatol op de Noordzee werd onderzocht door in de studie voor elke basiscomponent van het energieatol (reservoir, pompturbines en transmissiekabel) een ontwerp uit te werken.

Voor de bouw van de dijken van het atol werden twee types van dammen weerhouden. Een **betonnen caissondam** werd geselecteerd voor het deel van de dijk waar de pompturbines worden geïnstalleerd. Voor het overige deel van de te realiseren dijklichamen werd een **stortsteendam** geselecteerd. De overdiepte van het atol kan worden gerealiseerd door het wegbaggeren van de zeebodem. Het zand dat hierbij vrijkomt kan worden hergebruikt voor het aanleggen van de kern van de dijken van het atol.

Voor de pompturbines werd gekozen voor een **radiale turbine met variabele snelheid van het Francis-type**. Deze turbine biedt voor het energieatol een aantal belangrijke voordelen: de radiale turbine kan opereren bij beperkte valhoogtes en kan zeer snel omschakelen van pompmodus naar turbinemodus en vice versa. Het vermogen van de turbine bedraagt 22 MW en heeft een omzettingsefficiëntie van 90 à 95%.

Voor de elektrische verbinding van het energieatol met het land werd een **3-fasige cross-linked polyethyleenkabel** geselecteerd. Dit type kabel is uiterst geschikt voor gebruik op zee door een combinatie van een relatief lage kostprijs en uitstekende technische eigenschappen in vergelijking met andere kabeltypes.

Aangezien voor de bouw van de basiscomponenten van een energieatol technieken werden gecombineerd die nu in de markt beschikbaar en toegepast zijn, is de bouw van een energieatol technisch uitvoerbaar.

Bepaling van het vermogen

Rekening houdend met een diepte van 25 m kan met het energieatol **een vermogen van 440 MW** opgewekt worden. Hiervoor is een debiet van 2000 m³/s nodig. Als het atol een looptijd van 3 uur moet hebben en rekening houdend met het minimale hoogteverschil van 14 m, bedraagt het benodigd volume water ongeveer 20 miljoen m³.

Een vermogen van 440 MW is voldoende om het energieatol in te zetten als primaire en secundaire reserve voor transmissienetbeheerder Elia. Hierdoor kan het energieatol bijdragen tot het verzekeren van de stabiliteit van het elektriciteitsnet.

Daarnaast is het vermogen van het energieatol ook voldoende om ingezet te worden als buffercapaciteit voor ARP's met hernieuwbare energiebronnen in hun perimeter. Met deze buffer kan de afzet van groene elektriciteit worden geoptimaliseerd, kan de marktwaarde van de groene elektriciteit worden verhoogd worden en kunnen nieuwe investeringen in hernieuwbare energie worden gestimuleerd.

Locatiealternatieven van het energieatol

Voorstelling van de locatiealternatieven

In de studie werden 4 type-locatiealternatieven voor het energieatol voorgesteld. De mogelijke locaties van een energieatol op de Noordzee werden bepaald door op basis van **ruimtelijke en juridische randvoorwaarden**.

De ruimtelijke randvoorwaarden die in rekening werden gebracht zijn:

- De ligging van de scheepvaartroutes.
- De ligging van kabels en leidingen.
- De ligging van de zandbanken.
- De ligging van zandwinningen.
- De offshore-windmolenparken.
- Het Stopcontact op Zee en het Simon Stevin-project.
- De mogelijke uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge.
- De visie Vlaamse Baaien.

De juridische randvoorwaarden die in overweging werden genomen zijn:

- De bevoegdheid over de Noordzee.
- De domeinconcessies op de Noordzee.
- De huidige zandwinningen op de Noordzee.

De voorgestelde locatiealternatieven zijn: het energieatol Zeebrugge, het energieatol Thorntonbank, het energieatol Vlakte van de Raan en het energieatol Gootebank.

- **Energieatol Zeebrugge.** Het energieatol Zeebrugge is gesitueerd ter noordoosten van de huidige voorhaven van Zeebrugge op 3,3 km voor de kust. De keuze voor de locatie van het energieatol Zeebrugge werd in belangrijke mate bepaald door twee opportuniteiten, waarmee de bouw van het atol kan gecombineerd worden:
 - De mogelijke zeewaartse uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge.
 - De visie Vlaamse Baaien, waarbij de Vlaamse zandbanken worden opgehoogd om de kust te beschermen tegen de gevolgen van de klimaatsverandering.
 De combinatie van deze 3 projecten heeft een belangrijke positieve impact op zowel de constructiekost, de milieu-impact als het bekomen van de nodige vergunningen voor realisatie.
- **Energieatol Thorntonbank.** Het energieatol Thorntonbank is gesitueerd ter hoogte van de Thornton-zandbank ten westen van de offshore windmolenparken op 27 km van de kust. De keuze voor deze locatie werd bepaald door:
 - De nabijheid van de offshore windmolenparken, waarvoor het energieatol als energieopslag zou kunnen fungeren.
 - De opportuniteit voor het aansluiten van het energieatol op het hoogspanningsnet via het stopcontact op zee.
 - De eventuele mogelijkheid om de bouw van het energieatol te combineren met de bouw van het stopcontact op zee.
- **Energieatol Vlakte van de Raan.** Het energieatol Vlakte Van de Raan bevindt tussen de Haven van Zeebrugge en de offshore-windmolenparken op een afstand van 11,5 km van de kust. Het locatiealternatief Vlakte van de Raan werd gekozen op basis van haar intermediaire ligging tussen Zeebrugge en de offshore windmolenparken.
- **Energieatol Gootebank.** Het energieatol Gootebank ligt ter hoogte van de Gootte-zandbank op 22 km voor de kust aan de belangrijke vaargeul tussen de Akkaertbank en de Gootebank.

Ecologische impact van de locatiealternatieven

De bouw van een energieatol in de Noordzee zal lokaal een impact hebben op de erosie- en sedimentatieprocessen, de lokale habitats, de aquatische fauna, de avifauna en het zeezicht. De resulterende impact van het energieatol is daarom echter niet negatief. Er kan worden verwacht dat er zich ter hoogte van het energieatol meer diverse onderwaterhabitats ontwikkelen, wat een positief effect heeft op de aquatische fauna. Voor avifauna kan echter een negatief effect niet uitgesloten worden wanneer windmolens op de dijken van het energieatol worden geplaatst. Indien het energieatol relatief dicht bij de kust gelegen is, kan er ook een negatieve impact verwacht worden op het zeezicht. Voor compensatie van negatieve milieueffecten kunnen op het energieatol nieuwe natuurzones gecreëerd worden.

De locatiealternatieven die het dichtst bij de kust gelegen zijn, vertonen in het algemeen de grootste ecologische impact, maar bieden tegelijkertijd de grootste opportuniteit voor het inrichten van natuurcompensatiezones.

Financieel-economische analyse van de locatiealternatieven

De kostprijs voor de bouw van de locatiealternatieven wordt weergegeven in Tabel 21.

	Zeebrugge	Thorntonbank (*)	Vlakte van de Raan (*)	Gootebank (*)
Civieltechnische investeringskosten	532.980.000	881.040.000	888.480.000	911.224.000
Ontwikkelingskosten	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000
Baggeren, transport en aanbrengen en profileren van zand en grind	119.280.000	148.000.000	131.840.000	147.184.000
Constructie ringdijk als zeewering	322.640.000	638.500.000	659.300.000	659.300.000
Constructie waterdicht scherm	41.440.000	41.440.000	41.440.000	41.440.000
Uitvoeringskosten	42.320.000	45.600.000	48.400.000	55.800.000
Energietechnische investeringskosten	464.060.000	461.660.000	480.860.000	495.260.000
Turbines	320.000.000	320.000.000	320.000.000	320.000.000
Caissonconstructie	100.000.000	100.000.000	100.000.000	100.000.000
Bovengrondse voorzieningen	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000
Kabel & transformatie	16.000.000	12.000.000	28.800.000	39.200.000
Oriëntatie & detailstudie	60.000	60.000	60.000	60.000
Uitvoeringskosten	20.000.000	21.600.000	24.000.000	28.000.000
Investeringsaftrek	-134.600.000	-181.300.000	-184.900.000	-189.900.000
TOTALE INVESTERINGSKOSTEN	862.440.000	1.161.400.000	1.184.440.000	1.216.584.000

Tabel 21: Investeringskosten energieatol vier locatiealternatieven

(*)De investeringskost voor de drie locatiealternatieven dieper in zee (Thorntonbank, Vlakte van de Raan en Gootebank) is door de complexere constructie en werkomstandigheden onzeker. Er moet rekening mee gehouden worden dat deze kosten hoger kunnen uitvallen dan hier begroot (+25%).

Door de opportuniteit van de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse Baaien werd de kostprijs voor het energietol Zeebrugge geoptimaliseerd. De kostprijs voor het energietol Thorntonbank werd gereduceerd door een maximale combinatie met het alfa-eiland van het Stopcontact op Zee.

Om deze kostprijs voor de realisatie van een energietol te kunnen situeren binnen de huidige marktomstandigheden, werd een vergelijking uitgevoerd met de kostprijs van andere elektriciteitsopslagsystemen.

De vergelijking toont aan dat alle locatiealternatieven op basis van kostprijs competitief zijn met andere elektriciteitsopslagsystemen.

Naast de benchmarking werd ook de rentabiliteit van de locatiealternatieven bepaald aan de hand van een kosten-baten analyse over een periode van 50 jaar. De rentabiliteit werd bepaald voor de uitoefening van de hoofdfuncties met behulp van de gegevens voor het jaar 2012. Om de effecten van eventuele veranderingen in regelegeving omtrent de reservering van secundaire reserves werden drie scenario's beschouwd. Hierbij werd het maximaal gereserveerd vermogen en de reserveringsvergoeding verhoogd.

Om het rendement van het atol te kunnen bepalen wordt de Return on Equity (ROE) berekend. De ROE geeft de verhouding weer tussen de jaarlijkse nettowinst en het geïnvesteerd eigen vermogen.

Het is dus een maat voor de rentabiliteit van het eigen vermogen. De ROE werd berekend op basis van volgende veronderstellingen:

- Het CAPEX-bedrag, de initiële investeringskost, werd integraal uitgegeven in jaar 0, het jaar voorafgaand aan de exploitatie.
- De gebruikte interestvoet bedraagt 6%.
- Een inflatie van 2% per jaar.
- Projectfinancieringskosten zoals commitment fees en interim interesten werden niet in rekening gebracht.
- De terugbetalingstermijn van de lening bedraagt 15 jaar.
- De verdeling tussen geleend en eigen kapitaal bedraagt 70/30.

De resultaten voor de verschillende scenario's en de verschillende locatiealternatieven zijn te zien in onderstaande tabel:

Scenario	Zeebrugge	Thorntonbank	Vlakte van de Raan	Gootebank
1	2,07 %	0,78 %	0,70 %	0,60 %
2	5,70 %	3,73 %	3,63 %	3,48 %
3	11,58 %	7,97 %	7,79 %	7,55 %

De kosten-baten analyse toont dat het energieatol mits verhoging van het maximaal gereserveerd vermogen en reserveringsvergoeding een rendabel project is met de hoogste ROE voor het locatiealternatief Zeebrugge.

Om de rentabiliteit verder verhogen kunnen nevenfuncties ingericht worden op het atol. Nevenfuncties zijn aanvullende functies, die gebruik maken van de beschikbare infrastructuur van het energieatol.

Er werden 9 nevenfuncties onderscheiden:

- **Productie van groene stroom uit windenergie.** Op de dijken van het energieatol kunnen windmolens geplaatst worden die gebruik maken van de gunstige windcondities op de Noordzee voor het opwekken van groene stroom.
- **Oprichting van een marien wetenschappelijk centrum.** In België bestaat er thans geen wetenschappelijk centrum dat specifiek gericht is op het onderzoek van de Noordzee. De oprichting van een marien wetenschappelijk centrum op het energieatol zou een grote sprong voorwaarts kunnen betekenen in het marien onderzoek in België. Dit centrum zou ook een draaischijf kunnen worden in het onderzoek naar nieuwe "blauwe" hernieuwbare energiebronnen, zoals getijdenenergie of golfenergie.
- **Creatie natuurzones.** Op en rond het energieatol kunnen natuurzones gecreëerd worden die een nieuwe habitat bieden voor mariene en avifauna. De natuurzones kunnen gebruikt worden als compensatie voor de ontwikkeling van nieuwe toeristische, haven- of andere projecten aan de kust.
- **Algenkweek.** Het reservoir van het energieatol is een ideale locatie voor het kweken van macro-algen die kunnen gebruikt worden in voedingsmiddelen en op termijn voor de productie van biobrandstoffen.

- **Toerisme.** Door het energieatol bereikbaar te maken voor toeristen via een passagiershaven of jachthaven, kunnen nieuwe toeristische activiteiten worden ontwikkeld, die aanleiding zullen geven tot nieuwe werkgelegenheid.
- **Schuilhaven.** Het energieatol is een zeer strategische locatie voor de bouw van een schuilhaven waarin geaccidenteerde schepen snel kunnen worden opgevangen en milieuschade als gevolg van lekken tot een minimum kan worden beperkt. Bovendien kunnen hierdoor hoge bergingskosten van gezonken schepen worden vermeden.
- **Uitvalsbasis voor herstellingen aan offshore windmolenparken.** Een energieatol in de nabijheid van de offshore windmolenparken is een opportuniteit om het onderhoud en de reparaties aan de offshore windmolens, sneller en efficiënter te maken. Het heeft de vereiste oppervlakte om materialen op te slaan en een werkruimte voor herstellingen in te richten.
- **Kustbescherming.** Een energieatol in de buurt van de kust zal een deel van de kustregio beschermen tegen de verwachte zeespiegelstijging en de verhoogde golfslag op de Noordzee als gevolg van de klimaatopwarming.
- **Productie van groene elektriciteit uit getijdenenergie.** Door de ligging in de Noordzee kan het energieatol groene elektriciteit produceren uit getijdenenergie.

De nevenfuncties zijn van strategisch grote waarde voor het vergroten van het draagvlak en het verhogen van de inkomsten met het oog op de realisatie van een energieatol.

De rentabiliteit kan nog worden verhoogd wanneer naast de hoofdfuncties ook nevenfuncties op het energieatol worden ingericht.

SWOT-analyse van de locatiealternatieven

Teneinde na te gaan welke van de locatiealternatieven als voorkeursalternatief kan worden beschouwd werd een SWOT-analyse uitgevoerd. Hiervoor werd elk locatiealternatief beoordeeld op de volgende criteria:

- Bouwtechnische criteria
- Hoofd- en nevenfuncties
- Combinatiemogelijkheden met andere offshore-projecten
- Ecologische impact
- Financieel-economische haalbaarheid
- Juridisch kader

Op basis van een SWOT-analyse kunnen de locatiealternatieven als volgt worden gerangschikt:

1. Energieatol Zeebrugge
2. Energieatol Thorntonbank
3. Energieatol Vlake van de Raan
4. Energieatol Gootebank

Het energieatol Zeebrugge kan dus duidelijk beschouwd worden als voorkeursalternatief.

Besluit

Algemeen kan besloten worden dat de bouw van een energieatol offshore uitvoeringstechnisch, juridisch en administratief haalbaar is. Door het uitoefenen van van verschillende functies is het energieatol rendabel met een rentabiliteitsrange voor het locatiealternatief Zeebrugge van 2,07%-11,58% voor de hoofdfuncties. De voorkeurslocatie is Zeebrugge door de combinatie met de uitbreiding van de voorhaven van Zeebrugge en de Vlaamse baaien. Aangepaste en nieuwe wetgeving inzake de opslag van energie is wel nodig.

Algemeen besluit van de haalbaarheidsstudie

"BLUE ENERGY"

Het concept van het Energieatol in de Noordzee is haalbaar, dissemineerbaar en kan bijdragen tot de transitie naar een groene economie. Door opslag van water via pompaccumulatie, is het mogelijk om de discontinuïteit van hernieuwbare energiebronnen te stabiliseren.

Opgemaakt te Aartselaar,

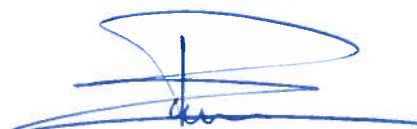
op 30 april 2013



Dr. W. Mondt
CEO Ecorem
Projectleider



ir. P. Hambach
Director



ir. E. Vermaut
Business Unit Manager



ir. Katrijn Peeters
Business Unit Manager



ir. Flor Vercammen
Consultant

9 Bibliografie

Courtens, W. et al. . (2006). *Zeevogels en zeezoogdieren van de Vlakte van de Raan*.

Čada, G. (2001). *The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival*.

CREG. (2011). *De analyse van de kosten en onrendabele topberekening voor offshore wind in België*.

CREG. (2010). *De verschillende ondersteuningsmechanismen voor groene stroom in België* .

CREG. (2010). *De verschillende ondersteuningsmechanismen voor groene stroom in België* .

CREG. (2010). *De verschillende ondersteuningsmechanismen voor groene stroom in België*.

Doucé, F. (2003). *Waterkracht*.

DTI. (2005). *Guidance on the assessment of the impact of offshore wind farms*.

Elia. *Hoogspanningsnet in de Noordzee, een toekomstvisie*.

European Commission FP7 THINK Project. (2012). *Electricity Storage: how to facilitate its deployment and operation in the EU*.

Everaert, J. (2008). *Effecten van windturbines op de fauna in Vlaanderen. Onderzoeksresultaten, discussie en aanbevelingen*.

Haelters, J. (2009). *Monitoring of marine mammals in the framework of the construction and exploitation of offshore wind farms in Belgian marine water*.

Joint Research Centre. (2011). *Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan*.

Lindeboom, H.J. et al. (2011). *Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation*.

Pladys, i. W. *Zeebouw Zeezand Zeebrugge*.

Reubens, J.T. et al. . (2011). *Aggregation and feeding behaviour of pouting (*Trisopterus luscus*) at wind turbines in the Belgian part of the North Sea* . .

Stibbe. (2012). *Juridische vragen en discussiepunten bij het ontwerp en de bouw van een energieatol*.

THV Noordzee en Kust. (2009). *Vlaamse Baaien 2100*.

UMIX. (2008). *Mapping energy flows*.

Van den Eynde, D. (2011). *Numerieke modellering van het sedimenttransport ter hoogte van het "North Sea Power" windpark*.

Van Lancker, V et al. (2012). *Quantification of erosion/sedimentation patterns to trace the natural versus anthropogenic sediment dynamics (QUEST4D)*.

VITO. (2009). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*.

VLIZ. (2006). *De Vlakte van de Raan van onder het stof gehaald*.